

Philippe MAYAUX¹, Valéry GOND^{2,1}, Michel MASSART¹,
Michelle PAIN-ORCET³, Frédéric Achard¹

¹ Unité de surveillance mondiale de la végétation
Institut pour l'environnement durable
Centre commun de recherche
Commission européenne, TP 440
21020 Ispra (VA)
Italie

² Cirad-forêt
Laboratoire régional de télédétection
Ird
BP 165
97323 Cayenne Cedex
France

³ Cirad-forêt
Campus international de Baillarguet
BP 5035
34032 Montpellier Cedex 1
France

Évolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale

Des projets d'aménagement forestier du bassin du Congo, fondés sur l'utilisation intensive de l'imagerie satellitaire, mettent au point diverses méthodes. Celles-ci concernent notamment la cartographie des forêts, à différentes échelles, l'extraction et le suivi du réseau de pistes, la cartographie des ouvertures du couvert. Des capteurs à très haute résolution, comme Ikonos, permettent de mesurer l'impact de l'exploitation sur la dégradation forestière.

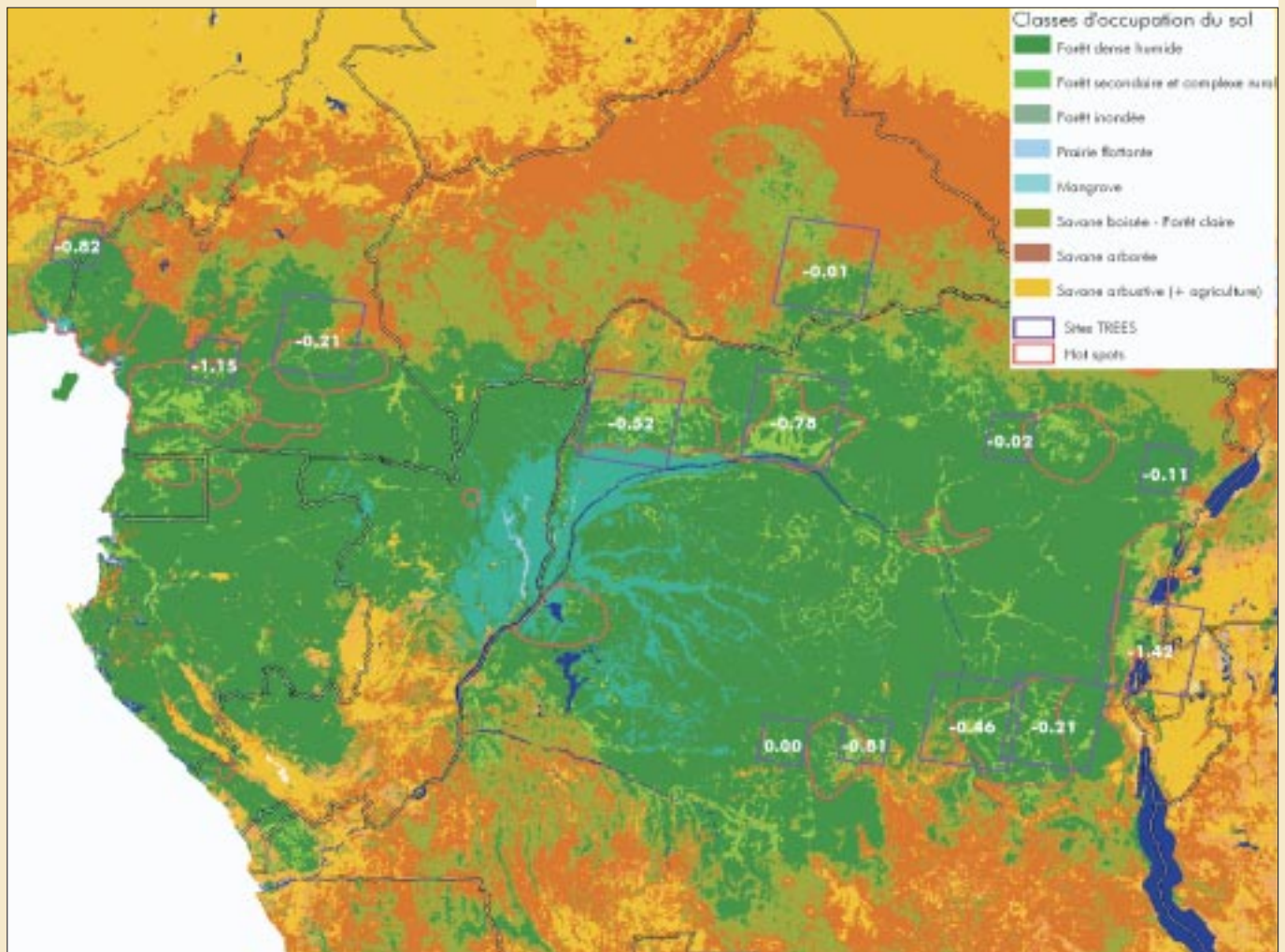


Figure 1.

Carte des forêts d'Afrique centrale dérivée des images optiques Spot-4 Végétation et radar Ers. Principales zones de déforestation d'Afrique centrale définies par une équipe d'experts régionaux et sites de mesure de déforestation. Le taux de déforestation mesuré dans chaque site est indiqué en blanc.

Map of Central Africa's forests derived from optical images from Spot-4 Vegetation and ERS radar, showing the main areas of deforestation, as defined by a team of regional experts, and deforestation measurement sites. Rates of deforestation measured in each site are shown in white.

RÉSUMÉ

ÉVOLUTION DU COUVERT FORESTIER DU BASSIN DU CONGO MESURÉE PAR TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

Depuis une décennie, les cartes de végétation d'Afrique centrale sont principalement dérivées d'images satellitaires. L'étendue forestière du bassin du Congo, son accessibilité réduite et son évolution rapide localement justifient l'utilisation de la télédétection. La cartographie du couvert forestier d'Afrique centrale et l'analyse de son évolution constituent l'un des objectifs du projet Trees visés par le Centre commun de recherche. La méthode combine des informations de sources diverses et repose sur un échantillonnage stratifié qui utilise des capteurs aux caractéristiques complémentaires. De 1990 à 1997, quatre types de région ont ainsi été identifiés, de « stable » à « perturbée ». La croissance démographique de certaines villes, les axes de circulation, l'ouverture de pistes d'exploitation constituent les principaux facteurs de pression sur le milieu forestier. Même si à l'échelon régional les changements peuvent sembler peu importants comparés à ceux observés dans d'autres zones, des situations locales très contrastées peuvent coexister. Le suivi du milieu doit, donc, faire appel à des capteurs plus précis en termes de résolution spatiale. Ainsi, dans le cadre de projets d'aménagement forestier, le Cirad-forêt s'attache à mettre au point des méthodes pour extraire et suivre le réseau de pistes forestières ou pour cartographier les ouvertures du couvert. Enfin, les capteurs à très haute résolution, tel Ikonos, permettent de détecter les changements à une échelle plus fine et de mesurer l'impact de l'exploitation sur la dégradation forestière.

Mots-clés : télédétection, cartographie, Afrique centrale, bassin du Congo.

ABSTRACT

REMOTE SENSING TO MEASURE CHANGES IN FOREST COVER IN THE CONGO BASIN

In the last ten years, most vegetation maps of central Africa have been derived from satellite images. The sheer size of the Congo Basin's forests, access difficulties and the rapidly changing local situation provide ample reasons for the use of remote sensing. Overall mapping and monitoring of Central Africa's forest cover is one of the objectives of the Joint Research Centre's TREES project. The method combines information from different sources and is based on stratified sampling from complementary sensors. From 1990 to 1997, four regional vegetation classes were identified, ranging from "stable" to "disturbed" (hot spots). Rapid population growth in some towns, traffic corridors and new logging tracks are the main factors of pressure on this forest environment. Although these changes in forest cover may seem of less importance at regional level than those observed in other zones, this can mask the coexistence of highly contrasting local situations. Tracking changes in this environment therefore requires sensors providing greater precision in terms of spatial resolution. CIRAD-Forêt is working to develop methods to extract and monitor the network of logging tracks and to map openings in forest cover. Finally, very high resolution sensors, such as Ikonos, are used to detect changes on a much smaller scale in order to measure the impacts of logging on forest degradation.

Keywords: remote sensing, mapping, Central Africa, Congo Basin.

RESUMEN

EVOLUCIÓN DE LA CUBIERTA FORESTAL DE LA CUENCA DEL CONGO MEDIDA POR TELEDETECCIÓN ESPACIAL

Desde hace una década, los mapas de vegetación de África Central están basados principalmente en imágenes de satélites. La amplitud forestal de la cuenca del Congo, su difícil accesibilidad y la rápida evolución local justifican la utilización de la teledetección. La cartografía de la cubierta forestal de África Central y el análisis de su evolución son uno de los objetivos que persigue el proyecto *Trees* del Centro Común de Investigación (CCI). El método combina información de distintas fuentes y se basa en un muestreo estratificado que utiliza captadores de características complementarias. De esta forma, se identificaron cuatro tipos de región que iban de "estable" a "perturbada" entre 1990 y 1997. El crecimiento demográfico de algunas ciudades, los ejes de circulación y la apertura de pistas de explotación constituyen los principales factores de presión sobre el medio forestal. Aunque en el ámbito regional los cambios puedan parecer poco importantes comparados con los observados en otras zonas, pueden coexistir situaciones locales muy diferentes entre sí. El seguimiento del medio debe, por lo tanto, recurrir a captadores más precisos en términos de resolución espacial. Así pues, en el marco de proyectos de ordenación forestal, el Cirad-forêt intenta poner a punto métodos para extraer y seguir la red de pistas forestales o para cartografiar las aperturas de la cubierta. Por último, los captadores de muy alta resolución, como Ikonos, permiten detectar los cambios a una escala más detallada y medir el impacto de la explotación en la degradación forestal.

Palabras clave: teledetección, cartografía, África Central, cuenca del Congo.

Introduction

Les forêts humides du bassin du Congo représentent le second massif forestier tropical. À ce titre, elles influencent de nombreux processus écologiques aux échelles mondiale et locale ; elles représentent, surtout, un élément important de l'économie et de la culture des populations qui les peuplent. Or, nous n'avons qu'une connaissance encore partielle de leur étendue et de leur évolution. Les capteurs satellitaires permettent aujourd'hui de cartographier les forêts du bassin du Congo et de mesurer l'évolution de leur surface de manière fiable. Le projet Trees du Centre commun de recherche de la Commission européenne a développé un prototype d'observatoire des forêts tropicales fondé sur l'utilisation intensive de l'imagerie satellitaire et la consultation permanente d'experts régionaux (ACHARD *et al.*, 2002). Nous présentons ici les résultats du projet Trees en Afrique centrale, ainsi que quelques applications de la télédétection au suivi local des écosystèmes forestiers, développées par le Cirad-forêt.

Cartographie du couvert forestier d'Afrique centrale

Dans la foulée des premières études botaniques et écologiques, les travaux de cartographie de la végétation d'Afrique centrale ont débuté dans les années 1930, fondés sur l'interprétation de photographies aériennes, appuyée par de très nombreux relevés de terrain. Les cartes nationales (DEVRED, 1959 ; LAUDET, 1967 ; LETOUZEY, 1968 ; CABALLÉ, FONTÈS, 1977) reposent alors principalement sur la compilation d'études régionales, d'où des problèmes de compatibilité des légendes et de raccord des cartes contiguës. BOULVERT (1986), le CENADEFOR (1985) et le SPIAF (1995) ont produit les premiers documents phytogéographiques cohérents à l'échelle nationale, par le recours à des photos aériennes, des images satellitaires et à de nombreux transects de terrain.

Depuis une dizaine d'années, les cartes de végétation d'Afrique centrale sont principalement dérivées d'images satellitaires (LAPORTE *et al.*, 1998 ; MAYAUX *et al.*, 1997, 1998 ; GOND *et al.*, 1997) qui bénéficient d'atouts indéniables : prise de vue

simultanée sur de très larges étendues, acquisition répétitive (suivi saisonnier et interannuel des écosystèmes), précision géométrique des nouveaux outils, observation dans des longueurs d'onde hors du champ visible (surcroît d'information thématique)...

Il est possible, aujourd'hui, d'exploiter pleinement la complémentarité des différents systèmes : données optiques à basse résolution spatiale et à haute fréquence d'acquisition pour les écosystèmes homogènes ou saisonniers, données optiques à haute résolution spatiale dans les paysages complexes, données radar dans les régions ennuagées en permanence et pour discriminer les zones humides. La figure 1 montre la distribution des principales classes forestières en Afrique centrale, dérivée d'images Spot-4 Végétation (optique à 1 km de résolution spatiale) et Ers (radar à 200 m de résolution). Pour les six pays du bassin du Congo, les surfaces forestières dérivées de cette carte sont reprises dans le tableau I.

Tableau I.
Surfaces nationales de forêts tropicales en Afrique centrale en 2000, mesurées sur la carte d'occupation du sol dérivée des images optiques Spot-4 Végétation et radar Ers (MAYAUX, MALINGREAU, 2001).

Surfaces d'occupation du sol (x 1 000 ha)	Forêt dense humide	Forêt marécageuse et mangrove	Total forêt	Forêt secondaire et complexe rural	Savanes boisées et arborées
Cameroun	20 255	170	20 425	1 845	15 848
Congo	16 264	5 158	21 421	488	5 725
Gabon	21 238	208	21 446	1 008	1 423
Guinée équatoriale	1 863	7	1 870	392	34
République centrafricaine	5 619	77	5 696	675	51 890
République démocratique du Congo	101 465	8 242	109 707	11 880	91 460
Afrique centrale	166 703	13 862	180 565	16 288	166 382
Afrique	189 949	16 136	206 085	25 317	535 165

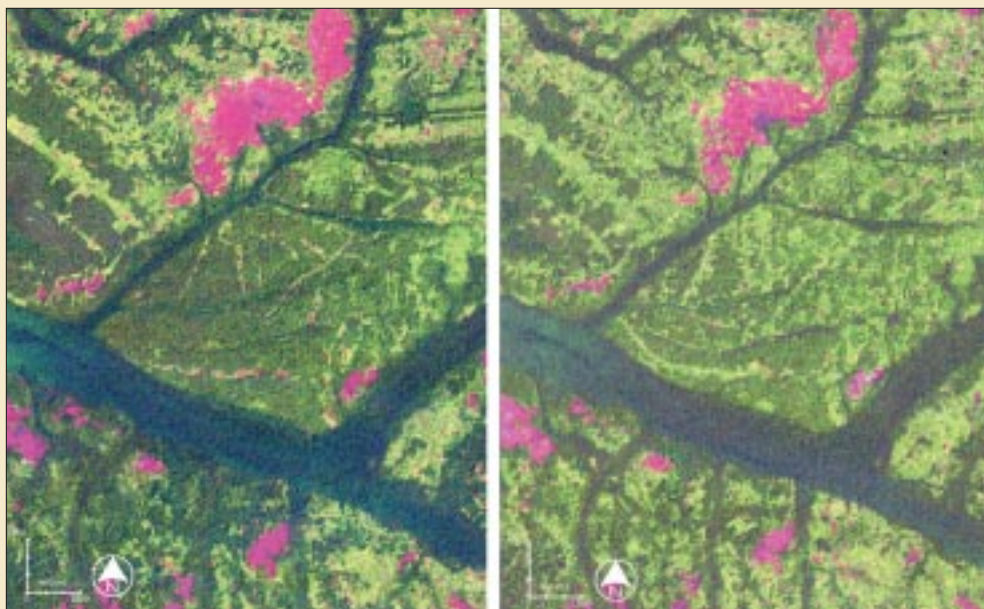


Figure 2.

Exemple de déforestation observée dans la région de Géména (République démocratique du Congo), entre 1986 et 1994, sur un couple d'images Landsat TM. *Deforestation in the Gemena region (Democratic Republic of the Congo), between 1986 and 1994, illustrated by a pair of Landsat TM images.*

Mesure des changements d'occupation du sol

Méthode

La mesure des changements du couvert forestier doit prendre en compte les caractéristiques spatiales du processus en Afrique centrale :

- les îlots de déforestation sont relativement petits, ce qui requiert une mesure à une échelle spatiale suffisamment grande ;
- les massifs forestiers, et par là les surfaces « déforestables », couvrent des surfaces immenses, mais la déforestation n'est pas uniformément distribuée dans le temps et dans l'espace ; elle reste localisée dans des poches bien précises, ce qui milite pour une approche stratifiée ;
- de vastes régions (bande littorale, Kivu) restent sous influence nuageuse quasi permanente.

Le projet Trees a, dès lors, privilégié une mesure statistique par échantillonnage stratifié. Les différentes étapes sont les suivantes :

- Définition du domaine forestier humide à basse résolution (figure 1).
- Identification des zones de changement rapide (ACHARD *et al.*, 1997 ; MAYAUX, ACHARD, 1998). L'identification des « hot spots » de déforestation repose sur une méthode combinant les avis d'experts internationaux ayant une bonne connaissance des activités régionales et des indicateurs dérivés de la télédétection, telles la fragmentation du manteau forestier, la présence de feux.
- Stratification en quatre strates depuis les zones sans changement attendu jusqu'aux hot spots de déforestation.
- Sélection statistique de 100 sites d'observation. Des sites d'observation de taille d'une scène Landsat (180 x 180 km) ou d'un quart de scène dans les régions homogènes sont sélectionnés au sein de chaque strate, avec une densité plus élevée de sites parmi les hot spots ; les

zones sans changement attendu sont également sondées. Cent sites ont été tirés au sort sur la ceinture inter-tropicale (Amérique latine, Asie du Sud-Est et Afrique), dont vingt en Afrique (Madagascar et Afrique de l'Ouest incluses).

- Interprétation visuelle des changements sur les images de 1990 et 1997 (ou à des dates voisines). Des images satellitaires Landsat TM (à 30 m de résolution spatiale) de 1990 et 1997 sont acquises et interprétées par des équipes ayant une bonne connaissance des conditions régionales (figure 2).
- Interprétation croisée de 10 % de chaque scène par une équipe indépendante (Istituto d'Oltre Mare, Florence). La concordance des interprétations de changement forestier s'est révélée supérieure à 90 %.
- Extrapolation statistique des résultats au niveau régional et mondial, avec correction des biais liés à la couverture nuageuse.

Résultats

Dix-sept hot spots ont été identifiés en Afrique centrale par les experts (polygones rouges sur la figure 1). Le risque majeur de déforestation est observé au Sud-Cameroun. Une croissance élevée de la population, concentrée dans des villes comme Douala, Yaoundé ou Ebolowa, a accru la pression agricole. L'accès à la forêt est facilité par l'ouverture de routes d'extraction par les sociétés forestières. En République démocratique du Congo, la déforestation est également concentrée le long des voies de communication, et là aussi la principale cause en est la demande en produits alimentaires des grandes villes de la région (Kinshasa, Lubumbashi, Kisangani, Brazzaville et Bangui). Au Kivu, les mouvements de population liés aux troubles civils ont également conduit à des atteintes graves à la biodiversité, même si le déclin de l'industrie du bois a laissé intact le couvert forestier là où les populations n'ont pu pénétrer (DRAULANS, VAN KRUNKELSVEN, 2002).

Tableau II.
Estimation des surfaces forestières tropicales en 1990 et 1997
et changement annuel moyen (ACHARD *et al.*, 2002).

		Afrique (10 ⁶ ha)	Amérique latine (10 ⁶ ha)	Asie du Sud-Est (10 ⁶ ha)	Monde (10 ⁶ ha)
Surfaces forestières en 1990		198 ± 13	669 ± 57	283 ± 31	1 150 ± 54
Surfaces forestières en 1997		193 ± 13	653 ± 56	270 ± 30	1 116 ± 53
Déforestation	Surface annuelle	0,85 ± 0,30	2,5 ± 1,4	2,5 ± 0,8	5,8 ± 1,4
	Taux (%)	0,43	0,38	0,91	0,52
Recrû	Surface annuelle	0,14 ± 0,11	0,28 ± 0,22	0,53 ± 0,25	1,0 ± 0,32
	Taux (%)	0,07	0,04	0,19	0,08
Changement net	Surface annuelle	- 0,71 ± 0,31	- 2,2 ± 1,2	- 2,0 ± 0,8	- 4,9 ± 1,3
	Taux (%)	0,36	0,33	0,71	0,43
Dégradation	Surface annuelle	0,39 ± 0,19	0,83 ± 0,67	1,1 ± 0,44	2,3 ± 0,71
	Taux (%)	0,21	0,13	0,42	0,20

L'observation des taux de déforestation mesurés dans les sites individuels (figure 1) montre que la définition des *hot spots* correspond bien à la réalité. Tous les sites hors de cette strate présentent des taux de déforestation très faibles (0 à - 0,11 %), tandis que les surfaces déforestées sont significativement plus élevées sur les sites tombant dans les *hot spots*.

Les chiffres régionaux montrent que l'Afrique centrale est une région calme en termes de déforestation, par rapport à l'Asie du Sud-Est, même si près de 700 000 ha disparaissent chaque année (tableau II). L'Afrique, dans sa totalité, ne contribue que pour 15 % à la déforestation mondiale. Cette estimation continentale masque cependant de grandes différences régionales. Les sites d'observation localisés à Madagascar et en Afrique de l'Ouest montrent une réduction de couvert forestier beaucoup plus rapide (jusqu'à 4 %). Toutefois, le nombre trop réduit de sites empêche une estimation régionale.

La séquence principale de colonisation de la forêt dans la région est la suivante. D'abord, les sociétés forestières, exploitant les concessions octroyées par le gouvernement, ouvrent un réseau de pistes primaires et secondaires, fragmentant ainsi le manteau forestier (encadré 1 ; GOND

et al., 2003). Lorsque la demande urbaine en produits alimentaires (manioc, bananes, maïs, viande de brousse...) est importante, des populations s'installent le long de ces ouvertures et commencent le commerce de tels produits, ce qui entraîne une colonisation de la forêt primaire (figure 2). Si la pression démographique est faible ou trop éloignée, les pistes forestières peuvent se refermer en quelques années.

L'approche adoptée, pour devenir réellement opérationnelle, souffre de deux limitations :

- L'optimisation des sites d'observation repose sur un échantillonnage

stratifié. La qualité de la stratification est un élément clé de la fiabilité des résultats. Une stratification fondée sur des critères quantitatifs, mesurables et comparables dans le temps doit être mise en place, nourrie d'un vaste processus de consultation permanente d'experts régionaux.

- La dégradation engendrée par l'exploitation forestière intensive n'est actuellement pas quantifiable avec suffisamment de précision par la télédétection. Des capteurs satellitaires à très haute résolution (1 à 5 m) sont maintenant disponibles, et devraient permettre de répondre à ce besoin (encadré 3).

Encadré 1

Le projet *Forest Resource Assessment 2000* (FAO, 2001) produit des estimations de déforestation à partir de deux techniques différentes : par une compilation et une harmonisation de rapports nationaux (Foris) et par un échantillonnage d'images Landsat (*Remote Sensing Survey*). Les rapports nationaux, fournis et validés par les pays eux-mêmes, se fondent sur des inventaires nationaux ou locaux ou, à défaut d'inventaire récent, sur les avis d'un panel d'experts. Le taux de déforestation estimé pour l'Afrique est plus élevé que celui du projet Trees (- 0,55 % en ne prenant en compte que les pays à forêt humide contre - 0,36 %). Cette forte différence peut résulter de l'absence d'inventaire récent en Afrique centrale, soulignée par le projet Fra 2000 (chapitre 15). L'échantillonnage d'images Landsat est stratifié sur la base de la dominance forestière (forêt dense, forêt claire, savane). Cette méthode donne, pour les forêts d'Afrique (sèches et humides), une estimation de - 0,43 % de déforestation, ce qui est très proche des estimations Trees, en supposant que la déforestation est égale dans tous les écosystèmes.

Encadré 2

Le traitement de l'image, réalisé par le Cirad-forêt et le laboratoire Geotrop du Cirad-amis, permet de visualiser le tracé des pistes d'exploitation, en fonction de leur ancienneté (figure 3).

Chaque objet se caractérise par sa courbe de réflectance dans chacune des bandes spectrales. Pour la détection des pistes, les bandes spectrales du rouge, du proche infrarouge et du moyen infrarouge permettent d'optimiser la séparation entre le sol nu et la végétation. Le sol compacté possède une forte réflectance dans le moyen infrarouge, alors que le couvert forestier réfléchit surtout dans le proche infrarouge. Plus le sol est humide, plus il aura une faible réponse dans le rouge.

Sur cette composition colorée, les pistes en bleu sont les plus récentes, le sol est visible. Celles qui apparaissent en blanc ont été ouvertes depuis un an ou deux. Le sol est compacté.

Les pistes les plus anciennes tendent à se confondre avec la végétation qui, progressivement, les recouvre et apparaissent alors en jaune-vert.

L'extraction des pistes forestières en milieu tropical peut être une opération facilement mise en œuvre à partir de données satellitaires (GOND *et al.*, 2003).

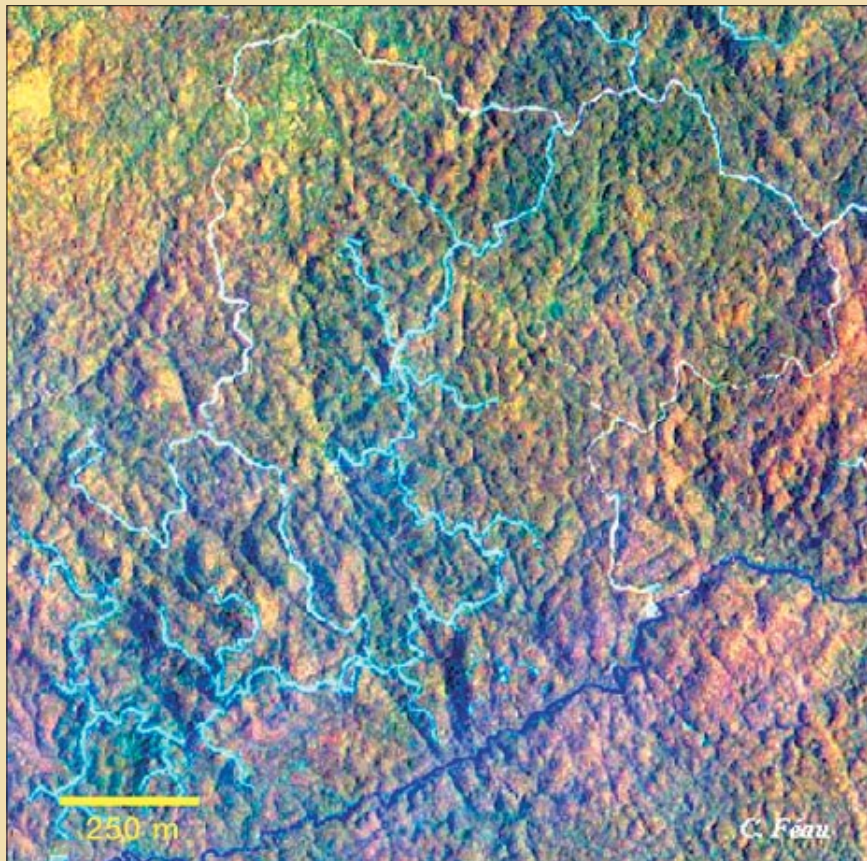


Figure 3.

Extrait d'une image Landsat 7 ETM, du 8 mars 2000. Composition colorée (RVB/PIR-MIR-R) sur la zone d'aménagement du projet Sbl (Société des bois de Lastourville) au Gabon.

Extract from a Landsat 7 ETM image, taken on 8 March 2000. Colour composite image (RVB/PIR-MIR-R) of the SBL (Lastourville Logging Company) project area in Gabon.

Conclusions et perspectives

L'accessibilité et l'étendue des forêts d'Afrique centrale rendent tout à fait pertinente l'utilisation de la télédétection spatiale pour leur cartographie et la mesure de leur évolution. Jamais auparavant de telles informations n'ont été disponibles à une telle échelle. La faculté d'actualisation régulière des données de télédétection permet un suivi fiable de l'évolution rapide des surfaces forestières.

De plus, les techniques spatiales s'améliorent en permanence. L'approche cartographique est ainsi devenue un processus itératif où chaque nouvelle technique améliore les produits précédents. Les données de terrain restent néanmoins essentielles à une bonne interprétation des données spatiales et à la définition de produits utiles aux actions de développement et de conservation. Une meilleure coordination des projets de terrain et des projets de télédétection est dès lors souhaitable.

À terme, une gestion rationnelle et durable des écosystèmes forestiers humides requiert la mise en place d'un véritable observatoire des forêts d'Afrique centrale, impliquant les services forestiers et cartographiques nationaux, les exploitants forestiers, les populations locales, les Ong locales et internationales et les agences spatiales. Le partage transparent des informations spatiales sur le même territoire peut, en effet, être le point de départ d'une prise de conscience de la complexité des interrelations écologiques, économiques et sociales entre les différents acteurs du secteur forestier d'Afrique centrale.

Remerciements

Les interprétations des images Landsat du projet Trees ont été réalisées par les institutions suivantes : Foiben-Taosarintanin 'i Madagasikara (Madagascar), I-Mage Consult (Belgique), Vito (Belgique), Centre national d'information environnementale (République démocratique du Congo).

Encadré 3

L'image de la figure 4 se situe sur un dispositif expérimental sylvicole représenté par dix parcelles de 9 ha (Boukoko-La Lolé), suivi par le Cirad-forêt depuis 1982. Tous les arbres sont localisés et il existe une importante base de données floristiques et dendrométriques. Un projet de mise en relation des informations fournies par les images avec les données d'inventaire et estimation de la biomasse est prévu, en partenariat avec l'université du Maryland (N. Laporte).

De façon plus générale, l'utilisation de ces images à très haute résolution concerne, d'une part, la possibilité d'une reconnaissance spectrale des espèces et, de là, une analyse de leur répartition spatiale. Ces études sont à mettre en relation avec les analyses menées en génétique (stratégie des espèces) mais aussi en géomorphologie (conditions de station).

Les recherches de corrélations entre le diamètre des couronnes mesuré sur les images et le volume de bois sous-jacent ont toute leur place dans les projets d'inventaire forestier. Cela permettra de mieux apprécier les zones d'exploitation par identification des individus intéressants (espèce, volume) et de mettre en place une exploitation à faible impact, nécessitant un minimum d'infrastructures (piste d'exploitation).

Enfin, d'autres perspectives sont envisagées avec l'apport de la très haute résolution pour l'étude des phénomènes naturels comme le chablis. Ceux-ci pourront être mieux analysés dans leur structure, leur forme et leur répartition spatiale au sein de la canopée (GOND, PAIN-ORCET, 2001).

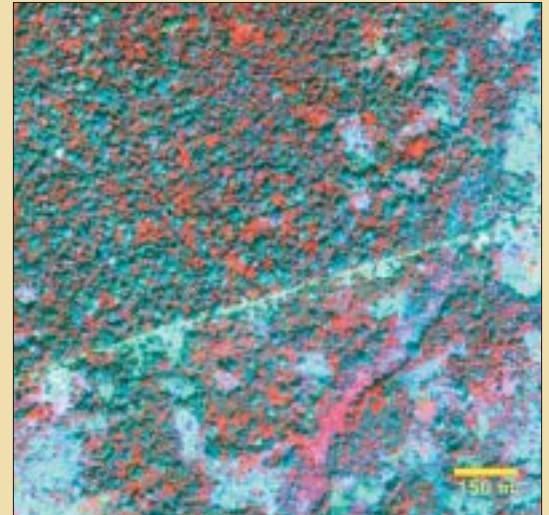


Figure 4.

Extrait d'une image Ikonos à 4 m de résolution spatiale sur la région de Mbaiki (République centrafricaine), acquise le 4 février 2001.

Extract from a 4 m spatial resolution Ikonos image of the Mbaiki region (Central African Republic), dated 4 February 2001.

Références bibliographiques

- ACHARD F., EVA H., GLINNI A., MAYAUX P., RICHARDS T., STIBIG H.-J., 1997. Identification of deforestation hot spot areas in the humid Tropics. Luxembourg, European Commission, Trees publication series B, Research report n° 4, 100 p.
- ACHARD F., EVA H., STIBIG H.-J., MAYAUX P., GALLEGU J., RICHARDS T., MALINGREAU J.-P., 2002. Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests. *Science* (297) : 999-1002.
- BOULVERT Y., 1986. Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1:1 000 000. Notice explicative n° 104. Paris, France, Orstom.
- CABALLÉ G., FONTÈS J., 1977. Formations végétales. Planche A9 (échelle : 1/2 000 000). In : Walter R. (éd.). Atlas du Gabon. Paris, France, Berger-Levrault.
- CENADEFOR, 1985. Carte écologique du couvert végétal du Cameroun. Yaoundé, Cameroun, Cenadefor.
- DEVRED R., 1958. La végétation forestière du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique*, 65 : 409-468.
- DRAULANS D., VAN KRUNKELSVEN E., 2002. The impact of war on forest areas in the Democratic Republic of Congo. *Oryx*, 36 (1) : 35-40.
- FAO, 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. Rome, Italie, Fao Forestry Paper 140, Main report.
- GOND V., FONTÈS J., LOUDJANI P., 1997. Dynamique des biomes africains par l'analyse de séries temporelles satellitaires. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Sciences de la vie/Life Sciences*, 320 : 179-188.
- GOND V., PAIN-ORCET M., 2001. Development of tropical forestry inventories using multi-resolution analysis. 18th biannual Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment (May 16-18, 2001), Amherst (Massachusetts), États-Unis. Sous presse.
- GOND V., FÉAU C., PAIN-ORCET M., 2003. Télédétection et aménagement forestier tropical : les pistes d'exploitation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 275 (1) : 29-36.
- LAPORTE N. T., GOETZ S. J., JUSTICE C. O., HEINICKE M., 1998. A new land cover map of central Africa derived from multi-resolution, multi-temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (18) : 3537-3550.
- LAUDET D., 1967. Congo. Phytogéographie. Paris, France, Orstom.
- LETOUZEY R., 1968. Étude phytogéographique du Cameroun. In : Encyclopédie biologique LXIX, Paris, France, Lechevalier.
- MAYAUX P., ACHARD F., MALINGREAU J.-P., 1998. Global tropical forest area measurements from coarse resolution satellite imagery : a comparison with other methodologies. *Environmental Conservation*, 25 (1) : 37-52.
- MAYAUX P., JANODET E., BLAIR-MYERS C. M., LEGEAY-JANVIER P., 1997. Vegetation Map of Central Africa, Scale 1/5M. Luxembourg, European Commission, Trees Publications Series D, n° 1, 32 p.
- MAYAUX P., ACHARD F., 1998. Suivi à long terme de la végétation d'Afrique centrale à partir de l'imagerie satellitaire. In : Nasi R., Amsallem I., Drouineau S. (éd.). La gestion des forêts denses africaines aujourd'hui. Actes du séminaire Forafri de Libreville, 12-16 octobre 1998.
- MAYAUX P., MALINGREAU J.-P., 2001. Le couvert forestier d'Afrique centrale : un nouvel état des lieux. *Bulletin des Séances académiques de la Société Royale d'Outre-Mer*, 46 (2000-4) : 475-486.
- SPIAF, 1995. Carte forestière de synthèse de la République démocratique du Congo. Kinshasa, République démocratique du Congo, Service permanent d'inventaire et d'aménagement forestier.

Synopsis

REMOTE SENSING TO MEASURE CHANGES IN FOREST COVER IN THE CONGO BASIN

Philippe MAYAUX, Valéry GOND,
Michel MASSART, Michelle PAIN-
ORCET, Frédéric ACHARD

In the last ten years, most vegetation maps of central Africa have been derived from satellite images. The sheer size of the Congo Basin's forests, access difficulties and the rapidly changing local situation provide ample reasons for the use of remote sensing.

Mapping Central Africa's forest cover

Overall mapping of Central Africa's forest cover and analyses of the changes taking place are one of the objectives of the Joint Research Centre's TREES project. The method combines information from different sources (expert opinions and indicators developed from satellite images) and is based on stratified sampling from complementary sensors (Spot 4 Vegetation, ERS, Landsat TM).

From 1990 to 1997, four regional vegetation classes were identified, ranging from those described as "stable" to those where major changes have been detected (hot spots).

Measuring land use changes

Rapid population growth recorded in some towns, traffic corridors and new logging tracks are the main factors of pressure on the Congo Basin's forest environment.

Although these changes in forest cover may seem of less importance at regional level than those observed in other areas of the world, this can mask the coexistence of highly contrasting local situations. Consequently, tracking changes in this environment requires sensors providing greater precision in terms of spatial resolution. To contribute to forest management projects, CIRAD-Forêt is working to develop a method to extract and monitor the network of logging tracks opened up by logging companies or to map openings made in forest cover. Finally, very high resolution sensors, such as Ikonos, can be used to detect changes on a much smaller scale in order to measure the impacts of logging on forest degradation.