

POSSIBILITÉS D'UTILISATION D'IMAGES LANDSAT AMÉLIORÉES, A L'ÉCHELLE DE 1/200.000, POUR LA CONNAISSANCE DES FORÊTS

Interprétation et cartographie des types de végétation ligneuse et d'occupation
du sol en zone soudano-guinéenne.

par J. GUELLEC

SUMMARY

THE POSSIBILITIES OF UTILIZATION OF LANDSAT IMAGES, IMPROVED TO A SCALE OF 1/200.000, FOR FORESTRY DATA

New techniques of teledetection make it possible to obtain images from radiation reflected from objects on the ground. These images are recorded in four spectral bands by the multi-spectral spectrometer (MSS) carried aboard LANDSAT satellites. The scale of the pictures supplied by NASA is 1/3.400.000, and enlargements to 1/1.000.000 or 1/500.000 are insufficient for anything other than regional or global surveys.

Thanks to the assistance of the Compagnie Générale de Géophysique, it has been possible to carry out a survey of lignous vegetation. Recourse is had to visualizations on a scale of 1/200.000, obtained by computer processing of data from a LANDSAT magnetic recording. The purpose is to determine the possibilities of identification of physiognomical types of vegetation in the Sudanese zone. These experiments, carried out over an area of 12.000 square kilometres in Cameroun, are explained in this article.

RESUMEN

POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE IMAGENES LANDSAT MEJORADAS, A ESCALA 1/200.000, PARA EL CONOCIMIENTO DE LOS BOSQUES

Las nuevas técnicas de teledetección permiten obtener imágenes a partir de la radiación reflejada por los objetos al sol, imágenes que se registran en cuatro bandas espectrales por el espectrómetro multiespectral (M.S.S.), instalado a bordo de los satélites LANDSAT. La escala de las fotografías proporcionadas por la NASA es de 1/3.400.000 y las ampliaciones a escala 1/1.000.000 ó 1/500.000 son insuficientes para estudios distintos de aquéllos de carácter regional o global.

En la actualidad, se puede llevar a cabo un estudio de la vegetación leñosa, mediante el concurso de la Compagnie Générale de Géophysique. Para este estudio se recurre a visualizaciones a escala 1/200.000 obtenidas por procesamiento de datos en computadora de un registro magnético LANDSAT. El objetivo perseguido consiste en determinar las posibilidades de identificación de los tipos fisionómicos de vegetación leñosa en zona Sudanesa. En este artículo se explican los distintos datos de esta experimentación, ejecutada en una zona de 12.000 km² en Camerún.

PRÉAMBULE

Lorsqu'en Juillet 1972, le premier satellite d'observation des ressources terrestres appelé à l'époque ERTS puis connu ensuite sous le nom de LANDSAT 1 fut lancé dans l'espace, un important courant scientifique d'inspiration nord-américaine fut à l'origine des nombreuses études qui par la suite exploitèrent les enregistrements électromagnétiques obtenus par le radiomètre multispectral placé à bord du satellite. Les forestiers furent parmi les principaux utilisateurs, mais très vite, il apparut que pour le monde forestier tropical les procédés d'analyse automatisée des bandes magnétiques d'enregistrement étaient à la fois trop coûteux et décevants car non basés sur une « vérité-terrain » suffisante, c'est pourquoi le département des forêts de la FAO soucieux de mettre à la disposition des pays tropicaux un outil efficace et abordable à la fois techniquement et financièrement donna la priorité aux interprétations visuelles et les fit mettre en œuvre dans le projet pilote FAO/PNUE de surveillance continue du couvert forestier tropical pris dans le projet FAO/PNUE d'évaluation des ressources forestières tropicales actuellement en voie d'achèvement.

Dans ce cadre d'action, la FAO fit appel au CTFT et tout particulièrement à M. GUELLEC qui réalisa l'interprétation visuelle des images Landsat du CAMEROUN, du BÉNIN, de l'ANGOLA, de la GUINÉE, du LAOS, du CAMBODGE, du VIETNAM, de la République Dominicaine du GUATEMALA, de l'HONDURAS, de EL SALVADOR, de COSTA RICA et du PARAGUAY, à partir des documents analogiques standards fournis par la NASA.

Soucieux d'accroître les possibilités d'interprétation visuelle des documents Landsat, le CTFT a également cherché à interpréter des documents « améliorés » c'est-à-dire résultant d'un traitement sur ordinateur des bandes magnétiques d'enregistrement ayant pour but essentiel d'améliorer les contrastes. Ces études ont été menées d'une part sur le S.E. de la GUINÉE à partir d'un document amélioré par le BEICIP selon le procédé dit VIZIR et d'autre part au Centre du CAMEROUN à partir d'un document amélioré par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG), c'est ce dernier travail qui fait l'objet de l'article de M. GUELLEC.

Nous devons donc remercier la CGG d'avoir gracieusement mis à la disposition du CTFT des documents à l'échelle du 1/200000 de grande qualité qui ont permis après divers traitements photographiques, une identification précise des formations forestières d'une zone de 12 000 km² en zone soudanienne du CAMEROUN.

Nous devons également remercier la FAO d'avoir permis d'effectuer les survols de la zone d'étude au cours des opérations de contrôle terrain du Projet FAO/PNUE de surveillance continue du couvert forestier tropical.

J. CLEMENT
IGREF
Chef de la Division
Inventaires et Aménagements
Du Centre Technique Forestier Tropical

INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

Depuis de nombreuses années le Centre Technique Forestier Tropical utilise pour ses expérimentations et la préparation des études forestières de tous types qui lui sont demandées les moyens d'information que les techniques de télédétection mettent à sa disposition et qui lui permettent d'atteindre ses objectifs.

L'évaluation des ressources forestières en vue de la mise en valeur et de l'aménagement des régions boisées est l'activité principale de la Division d'Inventaire du

Centre Technique Forestier Tropical. Elle s'exerce dans toutes les parties du monde mais particulièrement sur le continent africain dans le domaine de la forêt dense humide guinéo-congolaise comme dans les régions de forêt dense sèche de forêt claire et de savane boisée des zones soudano-guinéennes et soudano-sahéliennes.

Si les données statistiques d'évaluation du potentiel du matériel ligneux sont obtenues à partir de sondages

au sol, de nombreuses opérations telles que reconnaissances générales, localisation des zones d'action, étude des possibilités d'accès et de pénétration, identification physiologique des formations végétales, classification des types de forêt, etc... sont réalisées à partir de documents de télédétection qui permettent aussi la réalisation des cartes thématiques, résultant de leur interprétation, à partir desquelles sont généralement estimées les superficies.

Le document utilisé couramment est la photographie aérienne à axe vertical dont l'échelle peut varier de 1/5.000-1/10.000 à 1/80.000 selon les études à réaliser.

L'interprétation des clichés photographiques permet, du fait de leur très bonne résolution spatiale, d'extraire un grand nombre d'informations qualitatives et quantitatives, d'analyser des détails de petites dimensions et de les reporter sur carte généralement établie à l'échelle de 1/50.000 qui permet une précision graphique satisfaisante pour accompagner et éclairer les autres résultats statistiques d'un inventaire.

Il importe que les photographies utilisées présentent une image récente du terrain auquel cas l'actualisation de l'interprétation peut être complétée soit par des opérations au sol longues et onéreuses, soit à l'aide d'une nouvelle couverture photographique qui, lorsqu'elle concerne des étendues de plusieurs millions d'hectares, lors d'inventaires régionaux et nationaux, est d'un coût élevé. En outre la période de prise de vue doit être judicieusement choisie ce qui parfois oblige à des attentes incompatibles avec le programme établi.

Les nouvelles techniques de télédétection mettent à la disposition des utilisateurs des documents extrêmement utiles.

Il s'agit principalement d'images obtenues à partir du rayonnement réfléchi par les objets au sol enregistrées dans quatre bandes spectrales par le spectromètre multispectral (M. S. S.) embarqué à bord des satellites de ressources terrestres (Landsat).

BUT DE L'EXPÉRIMENTATION

La Compagnie Générale de Géophysique qui effectue des recherches dans ce domaine a proposé au Centre Technique Forestier Tropical de réaliser une étude de la végétation ligneuse à l'aide de visualisations, à l'échelle de 1/200.000, obtenues par traitement sur ordinateur des données d'un enregistrement magnétique Landsat.

Le but de cette expérimentation est de contribuer à déterminer les possibilités d'utilisation de ces visualisations au point de vue de l'identification des types physiologiques de végétation ligneuse en zone soudanienne.

Cette expérimentation entre dans le cas général d'une étude réalisée habituellement par interprétation des photographies aériennes qui aboutit après identifi-

Pour des études forestières, dans le cadre des objectifs définis sommairement précédemment, la résolution au sol — 57 m × 79 m — est satisfaisante mais la résolution spatiale — plus petits objets pouvant être individualisés sur les images — des clichés fournis par la N. A. S. A. à l'échelle de 1/3.400.000 et leurs agrandissements photographiques, 1/10⁶ et 1/500.000 les plus utilisés, est insuffisante pour des études autres que nationales ou régionales. Les images à ces échelles permettent une vision globale de la distribution des grandes unités physiologiques, suffisantes pour établir un document de reconnaissance mais ne peuvent révéler de nombreux détails qu'il serait indispensable de connaître préalablement à un inventaire forestier local par exemple.

Dans ce cas, il serait souhaitable de pouvoir disposer de documents analogiques issus d'enregistrement Landsat mais réalisés à plus grandes échelles et réunissant les avantages suivants :

a) permettre l'identification et la reproduction graphique d'unités physiologiques de surface compatible avec les résultats statistiques des études (entre 6 et 10 hectares au minimum) ;

b) pouvoir être comparés avec l'interprétation réalisée sur des documents de télédétection analogiques, soit similaires (images enregistrées à des époques différentes) soit avec des photographies aériennes à axe vertical à grande échelle ;

c) l'étude comparative que l'on vient de citer ne peut être réalisée qu'à l'aide d'images, issues d'enregistrements magnétiques de très bonne résolution spatiale, tolérant, après l'interprétation et le dessin des contours, un agrandissement photographique satisfaisant à l'échelle des photographies à comparer.

cation des formations végétales, à leur cartographie, à l'évaluation de leur superficie et à l'estimation des proportions des formations ligneuses.

Localisation géographique de la zone d'étude

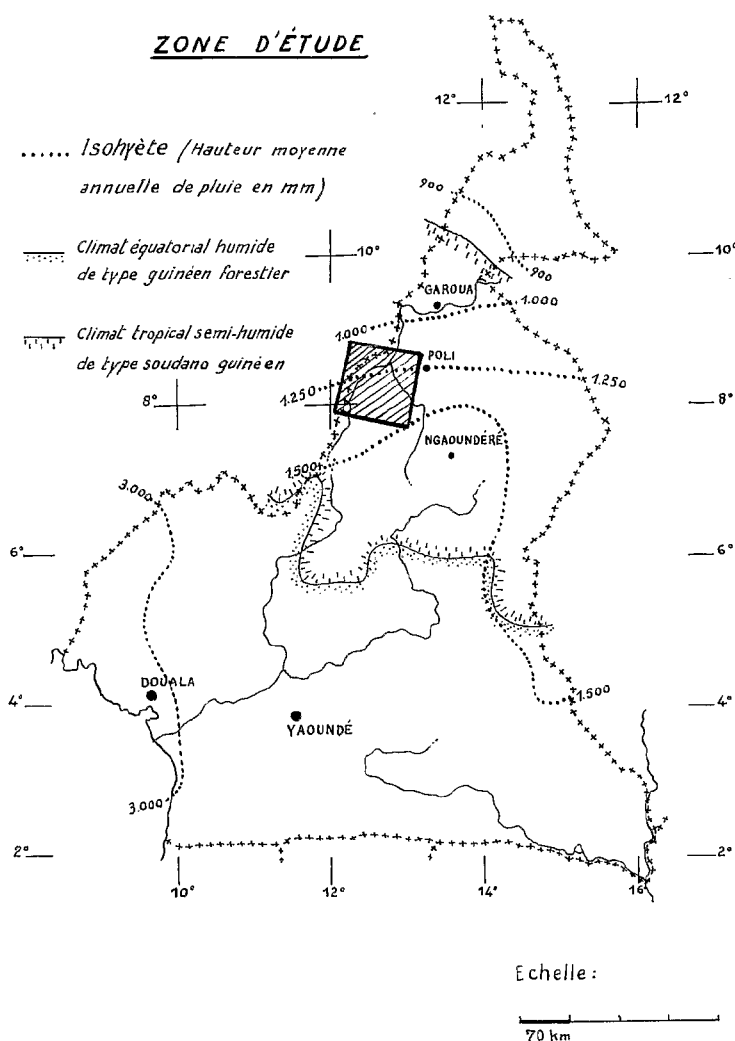
La zone d'étude est située en République Unie du Cameroun, en région soudanienne, limitée par les méridiens 12°00 et 13°10 EST et les parallèles 7°40 et 8°45 NORD.

Le socle géologique de la zone d'étude est formé dans sa totalité de roches granitiques que recouvrent des sols ferrugineux tropicaux généralement peu profonds.

La zone est drainée par la rivière Faro tributaire important de la Bénoué qui prend sa source sur les

RÉPUBLIQUE UNIE DU CAMEROUN

ZONE D'ÉTUDE



plateaux de l'Adamaoua. Elle reçoit à l'Ouest, au Sud de l'agglomération de Tchamba, le Deo son affluent principal. Ces cours d'eau sont soumis au régime tropical. Les premières pluies apparaissent en Mai et Juin mais les crues se développent en Juillet pour décroître en Septembre.

Les rivières Faro et Deo ont un cours permanent alors que tous leurs affluents secondaires coulent temporairement.

Le climat est tropical semi-humide de type soudano-guinéen. Le régime pluviométrique, compris entre les isohyètes 1 300 m et 1 500 mm est caractérisé par une seule saison des pluies de mai à octobre et une seule saison sèche. Les massifs montagneux granitiques culminant à plus de 1.000 mètres (Banglang, Monts Alantika) sont soumis à un sous-climat tropical à plus forte pluviométrie.

Le type physiognomique dominant dans la zone d'étude est la savane arborée avec tapis herbacé continu et présence de taches boisées sur des interfluves et dans les vallées.

La couverture arbustive occupe des espaces importants. Elle domine généralement sur les sols érodés. Quelques îlots de savane boisée occupent les bas de pentes de certains massifs granitiques et parfois les versants et les arêtes jusqu'à des altitudes supérieures à 800 mètres.

Les cultures essentiellement vivrières sont peu développées du fait de la faible densité de la population, exception faite de la rive gauche du Faro au pied des Monts Alantika et dans les vallées descendant de cette chaîne, où les surfaces cultivées sont plus importantes.

DOCUMENTS UTILISÉS

NATURE DES DOCUMENTS DE BASE FOURNIS PAR LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE

Les documents qui ont servi de base à l'analyse visuelle sont constitués par quatre images sur film positif noir et blanc. Chaque image représente la même partie du terrain dans une bande spectrale différente. Ces visualisations résultent du traitement informatique de la scène 2151-08394 enregistrée le 22-6-75 par le spectromètre multi-spectral embarqué à bord du satellite Landsat 2. Les images fournies par la C. G. G. à l'échelle de 1/200 000, ne concernent qu'une partie de

la scène et couvrent une superficie de 12.000 km² présentée en trois parties d'un format de 20 cm × 54 cm.

Le spectromètre multi-spectral est un capteur à balayage. Un miroir oscillant balaie la zone survolée et envoie le rayonnement réfléchi par les objets au sol à quatre groupes de capteurs constitués chacun de six cellules. Chaque groupe est sensible à une bande de longueur d'onde du spectre électro-magnétique.

Domaine du du spectre	Bande ou canal	Longueur d'onde (microns)	Sensibilité
Visible	4	0,5 à 0,6	au bleu-vert
	5	0,6 à 0,7	au jaune-orangé-rouge
Transition :			
visible et proche			
I. R.	6	0,7 à 0,8	au rouge et proche infra-rouge
Proche I. R.	7	0,8 à 1,1	au proche infra-rouge

Le balayage est réalisé ligne par ligne. En réalité, six lignes du terrain sont observées à chaque oscillation du miroir perpendiculairement à la trajectoire du satellite. Chaque ligne est formée de 3.240 taches élémentaires (pixels) dont les dimensions au sol sont de 57 mètres de largeur et de 79 mètres de hauteur. Une scène comporte 2.340 lignes et couvre au sol un parallélogramme de 185 km × 185 km.

Les variations d'intensité des radiations des taches élémentaires reçues du sol sont transformées en impulsions électriques et mises en mémoire sur bandes magnétiques qui sont ensuite transmises à des stations réceptrices à terre lorsque le satellite entre en vue de ces dernières, où les informations reçues sont également enregistrées sur bandes magnétiques à partir desquelles deux types de documents peuvent être produits.

Différents procédés de décodage pour obtenir une image sont possibles :

a) Les informations enregistrées sur la bande magnétique sont transformées en signaux lumineux et projetées par balayage, ligne par ligne, canal par canal, sur un écran de télévision ou sur une pellicule sensible pour être converties en images photographiques à très petite échelle que l'on peut ensuite agrandir. Ces images maintenant familières sont fournies par U.S. Geological Survey — Eros Data Center et certaines stations de réception dans le monde.

b) Pour obtenir une image plus élaborée la bande magnétique est traitée par ordinateur.

On considère la valeur multi-spectrale qui caractérise chaque tache élémentaire dans chaque bande spectrale et on établit une classification. Un programme de visualisation des données est établi canal par canal. L'ordinateur étant couplé à une imprimante les données s'inscrivent par balayage sur un film, ligne par ligne, canal par canal, pour apparaître après traitement du film sous une forme photographique. L'imprimante donne une représentation par points de l'image. Un film est plaqué sur un tambour qui tourne à une vitesse synchronisée avec le déplacement latéral d'une caméra dont le spot vient l'impressionner en fonction de l'intensité lumineuse de la tache élémentaire. Les nuances de gris sont définies par 13 ou 17 niveaux allant du blanc à la tonalité noire, afin d'obtenir une image lisible, aux contrastes satisfaisants.

La couleur pour chaque bande spectrale est obtenue par l'adjonction d'un filtre devant la caméra. L'échelle de ces images est fonction des appareillages utilisés. Le 1/100.000 est l'échelle la plus grande qui semble actuellement pouvoir être produite en conservant précision et netteté compatibles avec les impératifs de l'interprétation.

C'est ce procédé de restitution de données de télé-détection qu'applique la Compagnie Générale de Géophysique.

Le but essentiel du traitement informatique est d'obtenir :

1° une image géométriquement correcte et d'une précision équivalente à une carte géographique à même échelle. Un traitement particulier est nécessaire pour lequel des éléments sont enregistrés sur la bande magnétique. Elle comporte un fichier de transformations géométriques qui groupe les paramètres de correction d'altitude, d'échelle et d'attitude ;

2° une amélioration des contrastes de l'image afin de faire apparaître d'une manière satisfaisante les phénomènes recherchés par l'utilisateur. Elle est réalisée progressivement en affectant aux taches élémentaires (pixels) de chaque canal des niveaux de gris judicieusement choisis.

L'amélioration est une phase du traitement très importante qui conditionne la qualité de l'image facteur essentiel d'une bonne interprétation.

Les taches élémentaires (pixels) enregistrées dans chaque bande spectrale ont une valeur correspondant à l'intensité du rayonnement électro-magnétique réfléchi par les objets au sol.

Lors de la restitution analogique, le rayonnement est traduit en tons de gris. Le spectromètre multi-spectral pouvant distinguer 256 intensités différentes le nombre de tonalités peut être élevé et ne peuvent être représentés dans leur totalité. L'œil ne distinguant qu'une vingtaine de tons de gris, l'image ne serait pas déchiffrable.

On recherche alors, entre les intensités extrêmes enregistrées, une gamme satisfaisante de gris en opérant des groupements d'intensités très voisines caractérisant des objets d'état et de nature analogues.

L'ordinateur permet par traitements successifs de choisir, entre les niveaux d'intensités extrêmes enregistrées, une gamme de gris représentatifs favorisant de bons contrastes entre les unités de paysage composant une scène. Cette recherche doit être guidée par le souci de répondre aux objectifs des utilisateurs en mettant en évidence les phénomènes propres aux thèmes (végétation, sols, etc...).

Cette démarche a été celle de la Compagnie Générale de Géophysique. La scène est représentée par 4 visualisations correspondant aux quatre bandes spectrales sur film positif noir et blanc.

DOCUMENTS D'INTERPRÉTATION

Les films positifs noir et blanc des canaux 4, 5, 6, 7, lorsqu'ils sont de bonne qualité peuvent être utilisés

pour l'interprétation. L'observation des clichés peut se faire à l'aide d'une visionneuse dans laquelle on place

les films munis d'un filtre de couleur correspondant à la bande spectrale, ou de couleur arbitraire. L'image agrandie apparaît sur un écran. Il est possible de superposer 2, 3 ou 4 canaux, de réaliser différentes combinaisons pour faire apparaître des compositions colorées permettant de mettre en évidence des phénomènes non discernables sur les seules images noir et blanc.

A défaut de cet appareil coûteux dont de très nombreux bureaux d'étude ne peuvent disposer, on peut obtenir sur film ou sur papier photographique une composition colorée à partir des films négatifs ou positifs noir et blanc des différents canaux.

Dans ce cas, les films des canaux choisis sont photographiés sur une pellicule trichome en affectant à chaque canal une couche sensible correspondant à sa couleur spectrale ou à une couleur arbitraire.

Il est souhaitable, afin d'obtenir le maximum d'informations d'une composition colorée, de réaliser en laboratoire des documents d'essai pour tester diverses combinaisons multi-spectrales et fixer son choix sur celle qui apporte le plus de renseignements spécifiques pour les études à entreprendre.

La reproduction de compositions colorées à partir des films noir et blanc, en vue de l'interprétation visuelle nécessite une maîtrise parfaite des techniques et des procédés photographiques.

Le Centre Technique Forestier Tropical s'est adressé au Centre d'Etudes et de Réalisations Cartographiques Géographiques* avec lequel la recherche de la meilleure composition colorée a été entreprise.

Deux procédés de reproduction ont tout d'abord été envisagés :

a) la reproduction des films originaux noir et blanc de trois canaux sur un support photographique à trois couches sensibles,

b) la reproduction sur support photographique à partir de la copie sur films diazochromes des canaux choisis.

Reproduction photographique

La qualité du document obtenu est très bonne. Il est cependant difficile d'effectuer de nombreux essais en combinant les canaux afin de faire apparaître le maximum de phénomènes permettant de saisir les aspects des unités de paysage par ces nuances. C'est un procédé long et onéreux.

(*) 191, rue Saint-Jacques — 75005 Paris — Les recherches sont dirigées par M. J. GAUDIN, T. HUSBERG, A. SIMONIN.

Reproduction par diazochromie

Elle consiste à reproduire sur support polyester portant une émulsion colorée sensible les images d'une scène pour n'importe quel canal. La gamme des couleurs est très grande et il est possible de reproduire les images des différents canaux, à partir des films positifs noir et blanc, sur une couche colorée quelconque.

C'est un avantage très important. De nombreux essais de couleurs peuvent ainsi être faits en laboratoire, avant l'adoption de la combinaison définitive. La reproduction de l'image sur un film transparent diazochrome est obtenue en moins de dix minutes. Au fur et à mesure des tirages on superpose les films colorés de 2, 3 ou 4 canaux afin d'apprécier la meilleure composition et de fixer son choix sur les canaux à utiliser et sur la couleur à leur affecter afin d'atteindre les objectifs que l'on s'est fixés.

Plusieurs essais en laboratoire ont ainsi été réalisés en combinant 3 et 4 canaux :

Canaux	Couleurs choisies
4	jaune
5	rouge
7	cyan et bleu
5	magenta
6	bleu
7	orangé
4	jaune
5	magenta
6	orangé et bistre
7	cyan

La combinaison : canal 4 reproduit en **jaune**
canal 5 reproduit en **magenta**
canal 7 reproduit en **cyan**.

qui présente les meilleurs contrastes devant faciliter l'identification de phénomènes correspondant à l'objet de notre étude, a été retenue et reproduite sur papier photographique.

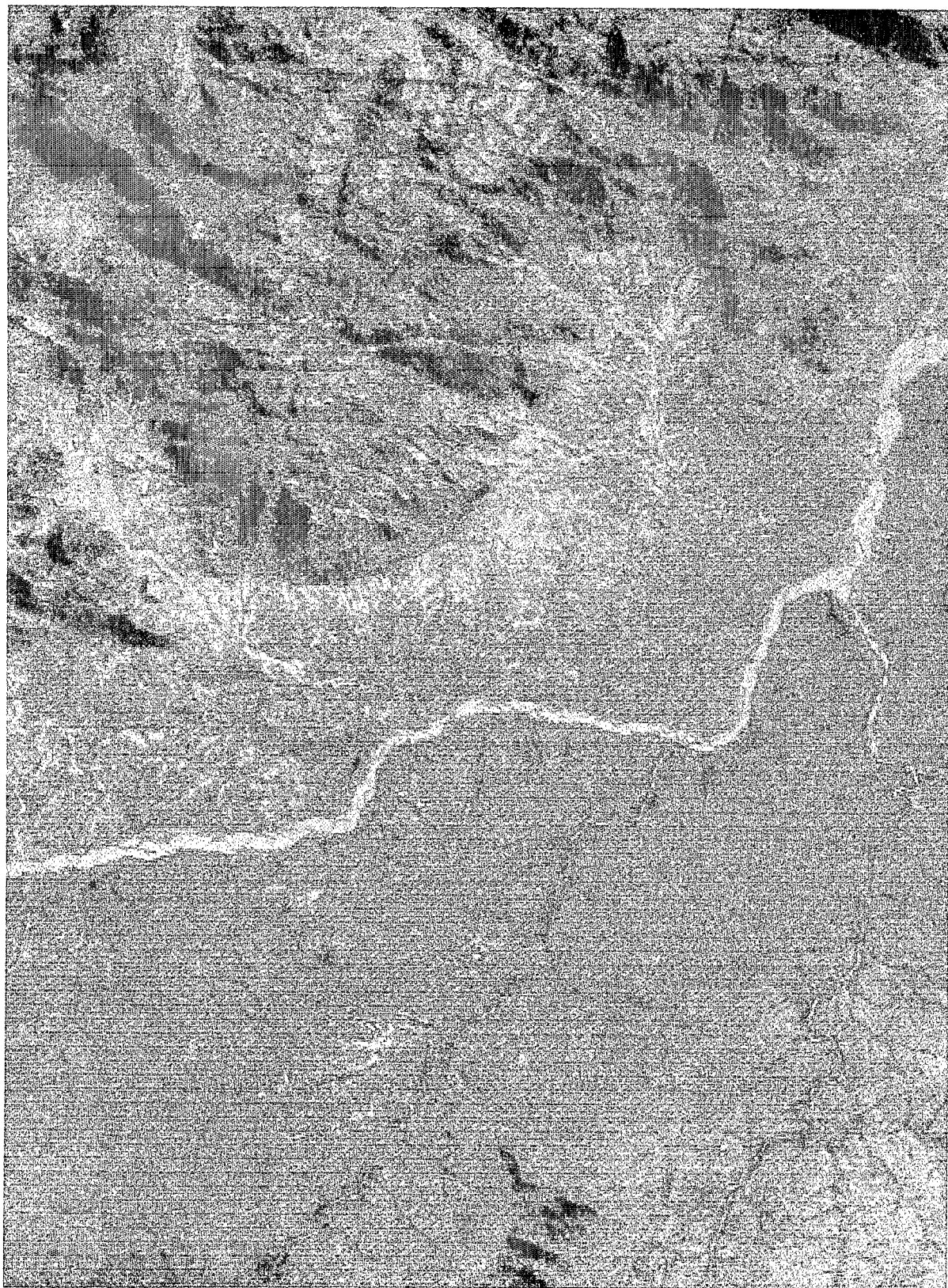
Ces canaux et les couleurs correspondantes sont ceux adoptés par le Eros Data Center pour la réalisation des compositions colorées qu'il fournit. Elles sont équivalentes aux photographies infra-rouge fausses couleurs maintenant familières aux photo-interprètes.

Un film coloré bistre correspondant au canal 6 a été réalisé. Le diazochrome de cette bande spectrale, située aux limites du visible et du proche infra-rouge, superposé à la composition colorée apporte des informations complémentaires sur la végétation et les sols.

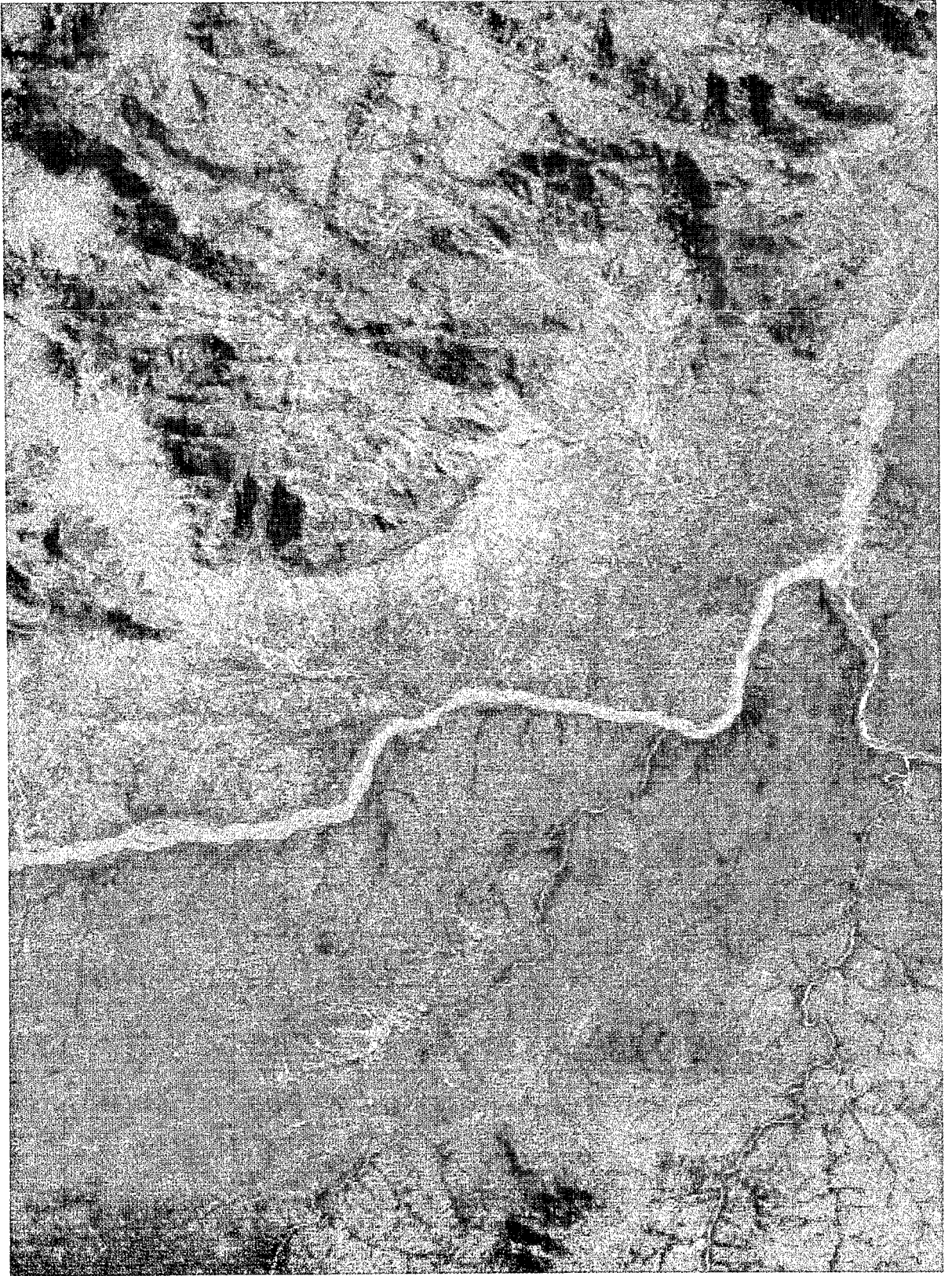
Des tirages positifs sur papier photographique ont également été produits. Il est possible d'obtenir des reproductions avec d'excellents contrastes pour servir au maquillage du support transparent qui sera utilisé pour la rédaction de la carte.

Ci-contre, image obtenue sur le canal n° 4.

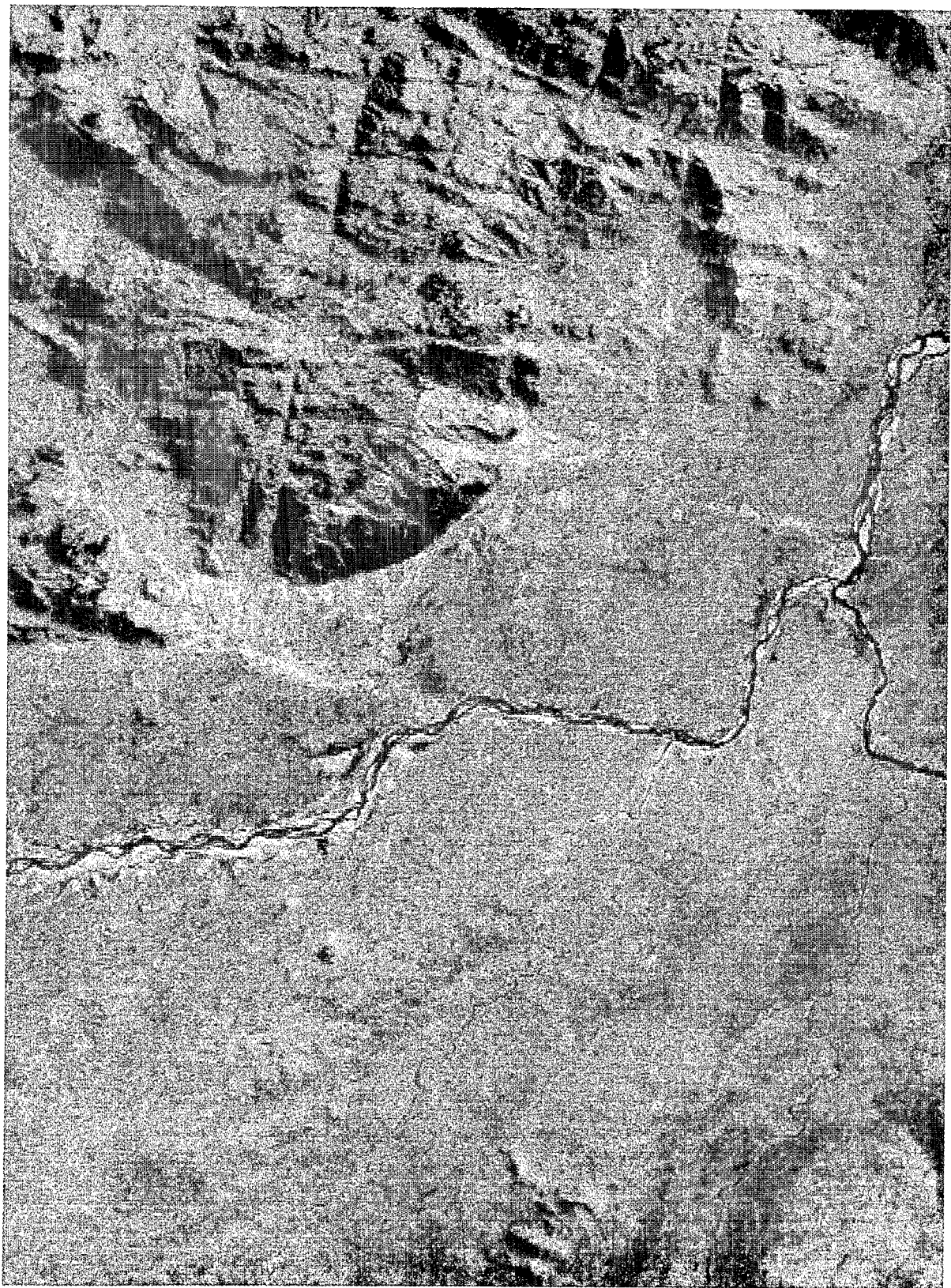
Sur les pages suivantes sont reproduites les images obtenues avec les canaux 5, 6 et 7.



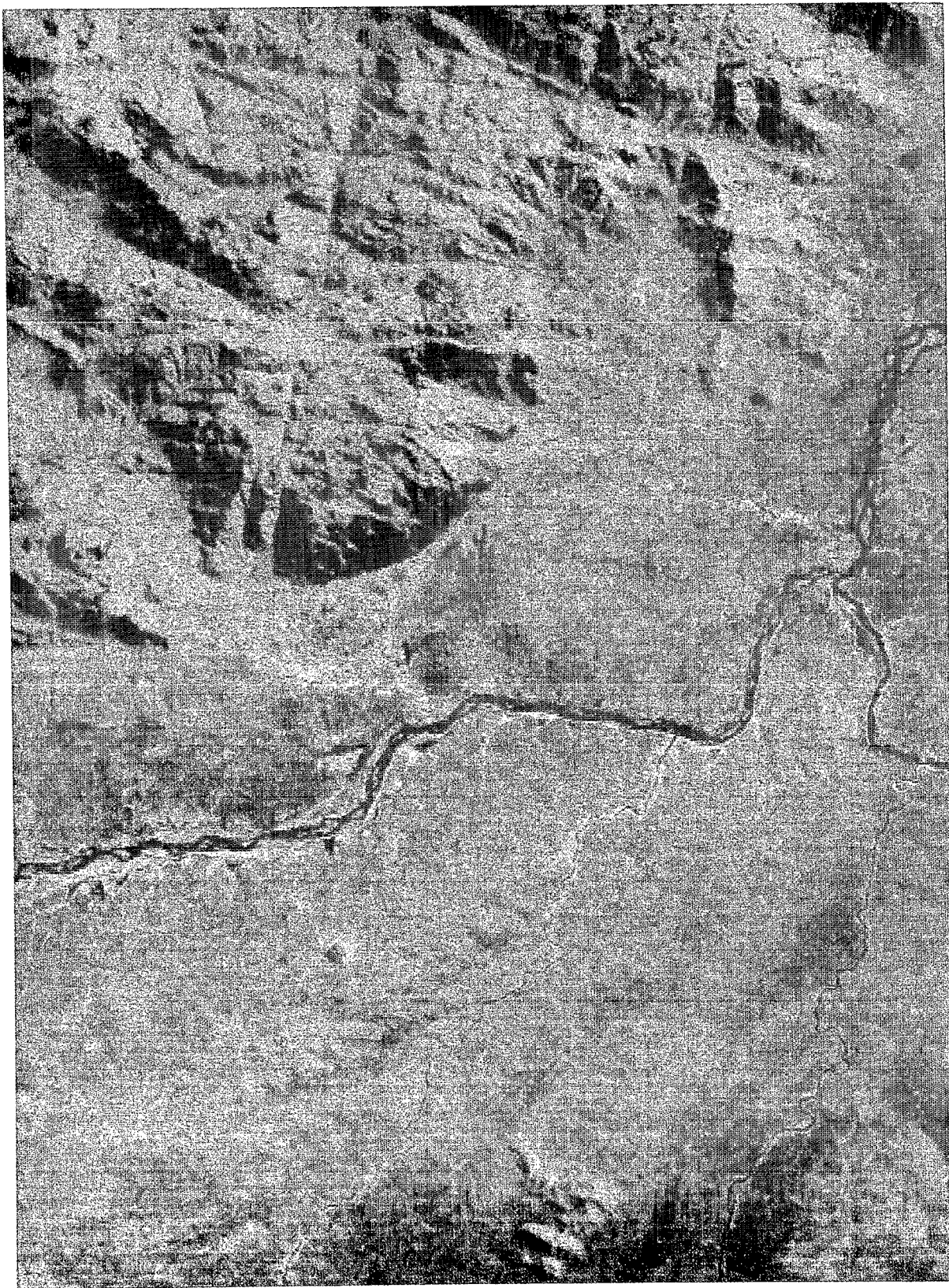
Canal n° 4



Canal n° 5



Canal n° 6



Canal n° 7

INTERPRÉTATION

MÉTHODE

Pour aboutir à l'identification des types physiologiques de la végétation notre démarche a été la suivante :

Recherche de la documentation géographique, floristique, géologique, pédologique, climatique relative à la zone d'étude.

Survols aériens de la zone

Les reconnaissances au sol n'ayant pas pu être réalisées, ils ont été effectués au mois de juin 1978 correspondant à la période d'enregistrement de la scène (juin 1974). Ils ont permis le recensement des types physiologiques de végétation présents dans le périmètre d'étude et l'établissement d'une classification provisoire basée sur la nomenclature des types africains de végétation définie à Yangambi.

Examen des images des quatre bandes spectrales et de la composition colorée

Les images servant à l'interprétation visuelle sont des documents analogiques. Les nuances de gris et de couleurs reproduisent les variations d'intensité du rayonnement réfléchi par les objets, les groupes d'objets, le sol, en fonction de l'éclairement solaire qu'ils reçoivent, de leur nature, de leur état.

A des plages d'aspect différent dans un canal considéré correspondent des types de végétation ou d'occupation du sol différents. On compare, en les examinant sous stéréoscope, les images des bandes spectrales 5 et 7 avec la composition colorée qui s'apparente aux fausses couleurs photographiques. Elle est obtenue, ainsi que nous l'avons vu, par combinaisons des bandes spectrales 4, 5, 7 (visibles et proche infra-rouge).

Le jaune est affecté au canal 4.

Le magenta est affecté au canal 5.

Le cyan est affecté au canal 7.

Les contours des unités sont confrontés. On recherche les composantes dominantes sur l'image colorée. Les hypothèses émises sont vérifiées à l'aide des autres bandes spectrales et des diazochromes originaux.

L'analyse de la scène est globale et se fait à l'aide des films de tous les canaux et de la composition colorée.

Les films positifs en noir et blanc des bandes spectrales 4-5 et 6-7 sont d'abord observés simultanément sous stéréoscope à miroirs à la table lumineuse. Les canaux de chaque couple appartiennent au même domaine spectral, respectivement le visible et le proche infra-rouge, et enregistrent plus ou moins nettement les mêmes phénomènes ; les signatures des objets de même nature sont très proches et les contours des plages homologues correspondent.

En vision binoculaire, les limites des faciès sont mieux perçues et le dessin, lors du maquillage, s'effectue d'une manière plus précise et plus rapide qu'en vision monoculaire.

On examine ensuite le couple 5-7 :

Ces deux canaux qui apportent les meilleures informations sur la couverture végétale ont été retenus pour être comparés à la composition colorée, synthèse des bandes 4, 5, 7 et pour servir à l'interprétation définitive.

Le support transparent sur lequel les contours des unités et leur numéro code seront portés, a été superposé à l'image de la bande spectrale 5 dans laquelle les phénomènes du milieu naturel s'expriment mieux.

Etudes de sites caractéristiques sur les images et les photographies aériennes à l'échelle de 1/50.000 (Missions AE 110-111-NC 31 I - 1953-54).

Elles consistent à rechercher les correspondances existant entre l'aspect des types de végétation (tonalité - physiologie) sur les photographies et l'aspect des unités homologues (tonalité - forme) sur les images. On établit ensuite des clés d'interprétation.

Après l'étude comparative images - photographies et la confrontation avec les cartes d'observations actuelles qui permettent l'actualisation du couvert végétal on établit des clés d'interprétation et la classification définitive des types physiologiques de végétation ligneuse et d'occupation du sol pouvant être identifiés sur les images. On entreprend ensuite l'interprétation exhaustive.

Classification des unités physiologiques de la végétation et de types d'occupation du sol présents dans la zone d'étude et pouvant être identifiés sur les images LANDSAT améliorées.

FORMATIONS MIXTES FORESTIÈRES ET FORMATIONS GRAMINÉENNES

- Savane boisée
- Savane arborée
- Savane arbustive
- Savane herbeuse.

FORMATIONS ÉDAPHICO-CLIMATIQUES

- Galerie forestière
- Zone inondée
- Groupement saxicole.

TYPES D'OCCUPATION DU SOL

- Cultures (zones densément cultivées)
- Sols nus (sans végétation, érosion, sable).

EAUX

FORMATIONS COMPLEXES

- Galerie forestière inondée
- Savanes arborée et arbustive sur sols érodés
- Mosaïque cultures-savanes.

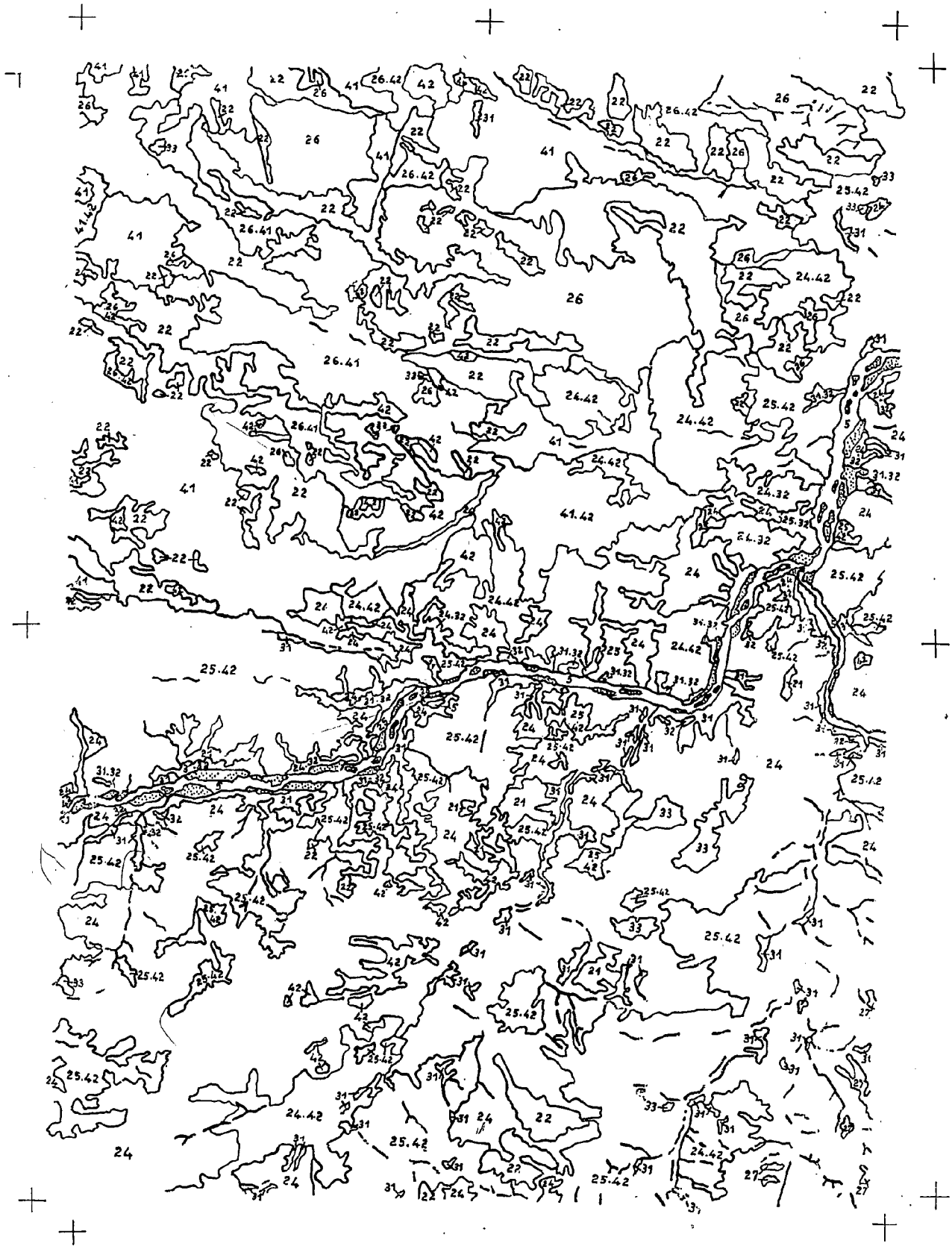
ÉTUDE COMPARATIVE DES IMAGES DES QUATRE BANDES SPECTRALES

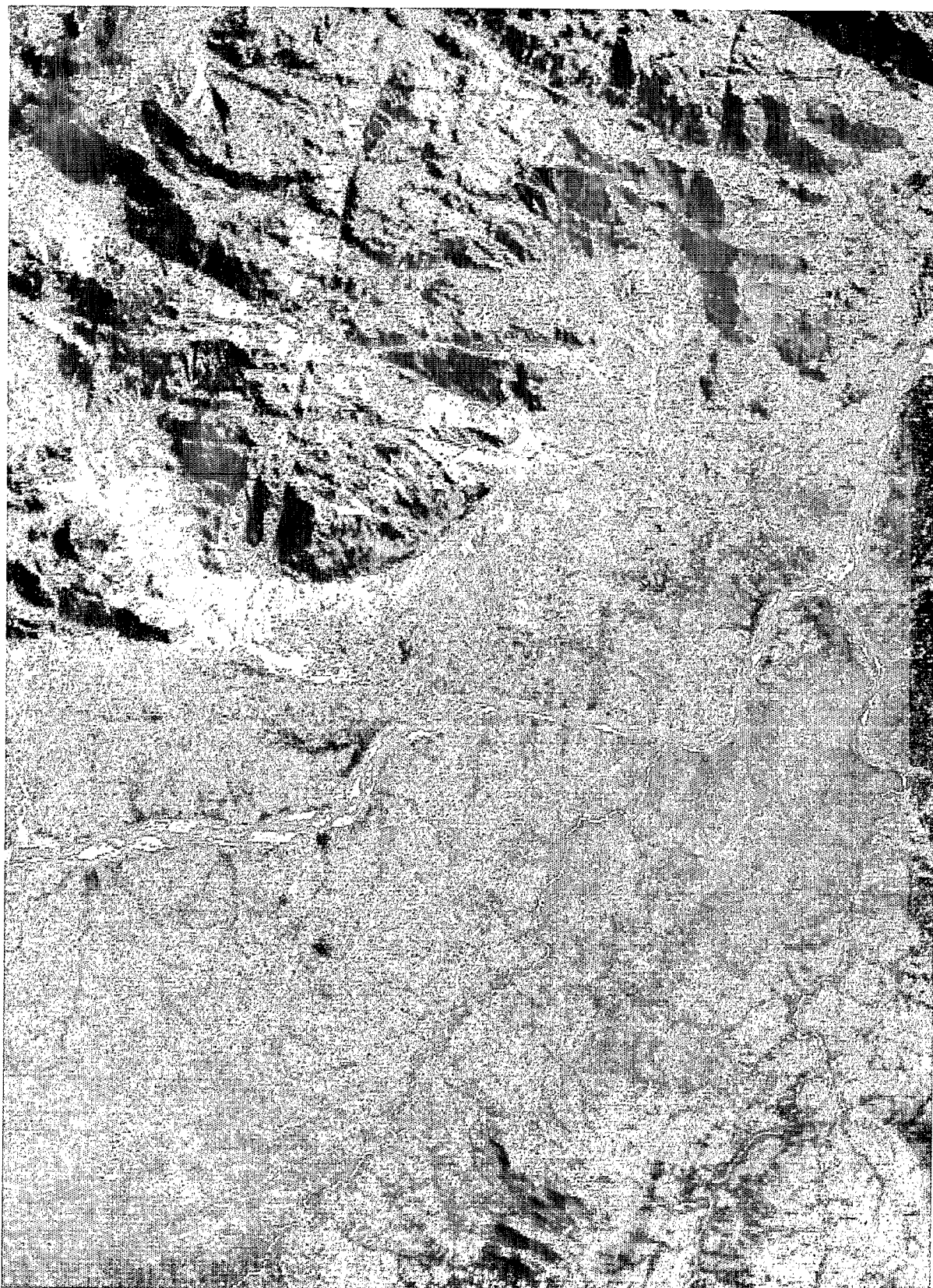
Canaux examinés	Observations générales	Unités physionomiques Densité du couvert des couronnes d'arbres	Tonalités correspondantes
4 - 5	Les mêmes faciès avec des contours correspondants se retrouvent sur les images de l'une et l'autre bande spectrale. Les contrastes sont meilleurs dans le canal 5 et les intensités de gris discernables plus nombreuses. Les plages noir dense parsemant la zone à fort relief se rapportent aux ombres des versants orientés à l'ouest. Elles masquent des formations boisées observées au cours de la reconnaissance.	Forte Moyenne Faible et très faible Sans couvert ligneux	Canal 4 : gris foncé Canal 5 : noir - gris foncé Canal 4 : gris moyen Canal 5 : gris moyen - gris foncé Canal 4 : gris tacheté de clair Canal 5 : gris clair Canal 4 : blanc Canal 5 : blanc
6 - 7	Les mêmes faciès, avec des contours moins précis sur le canal 6, se retrouvent sur les images des deux bandes et présentent parfois les mêmes tonalités. Cette remarque concerne les unités à faible couverture végétale dont la signature dans les deux bandes, plus prononcée dans le canal 7, semble influencée par l'état et la nature du sol. En zones de relief (roches granitiques) certains faciès de versants orientés à l'est, sans végétation, apparaissent noir dense sur les deux images. Les cours d'eau permanents sont plus larges sur l'image du canal 7 (influence des franges de sable humide du lit mineur ?), mais la mare (S.S.O. du confluent FARU-DEO) a les mêmes limites dans les deux canaux.	Forte Moyenne Faible et très faible Sans couvert ligneux	Canal 6 : gris clair et blanc Canal 7 : gris clair et blanc Canal 6 : gris moyen et foncé Canal 7 : gris moyen et foncé Canal 6 : gris foncé Canal 7 : gris foncé Canal 6 : gris clair Canal 7 : gris, gris moyen à blanc
5 - 7	Les deux images présentent de bons contrastes. Les niveaux de gris sont mieux gradués sur la visualisation du canal 5. Seuls les faciès influencés par le relief ou réfléchissant fortement (couverture végétale dense, sols secs) ont des limites correspondantes sur les deux images ainsi que les ombres des versants non éclairés. Les eaux libres, les sables humides n'apparaissent pas sur l'image de la bande 5. Des faciès sur alluvions et sols érodés, présentant les caractères d'une formation végétale dans le canal 5, sont sur l'image de la bande 7, masqués par une tonalité très sombre.	Forte Moyenne Faible et très faible Sans couvert ligneux	Canal 5 : gris foncé Canal 7 : gris clair et blanc (mêmes contours) Canal 5 : gris moyen et foncé Canal 7 : gris moyen et foncé (contours en partie différents) Canal 5 : gris tacheté de clair Canal 7 : gris foncé (contours en partie différents) Canal 5 : blanc Canal 7 : gris moyen à blanc (contours en partie différents)

Interprétation d'images Landsat : scène 22-6-75 - 2151 - 08394, visualisations 2 et 3, ci-contre.
Classification des unités physionomiques interprétées.

N° code

1 — <i>Formations forestières</i>	33	Groupement saxicole.
11 Forêt dense sèche (de basse altitude) : < 800 m.	34	Hygrophytes herbeuse et arbustive.
12 Forêt dense sèche (de montagne) : > 800 m.		
2 — <i>Formations mixtes forestières et formations graminéennes</i>	4 — <i>Types d'occupation du sol</i>	
21 Savane boisée (de basse altitude).	41	Cultures — (zone densément cultivée).
22 Savane boisée (de montagne).	42	Sols nus : (sans végétation — érosion — sable).
24 Savane arborée.		
25 Savane arbustive.	5 — <i>Eaux : rivières, lacs, étangs, mares permanentes.</i>	
26 Savanes arborée et arbustive de montagne.		
27 Savane herbeuse.		
28 Savane altimontaine.		
3 — <i>Formations édaphico-climatiques</i>		
31 Galeries boisée, arborée, arbustive.		
32 Zone périodiquement inondée.		
		<i>Formation complexes</i>
	24-42	Savane arborée et érosion.
	25-42	Savane arbustive et érosion.
	26-42	
	31-32	Galerie boisée périodiquement inondée.
	41-24	Cultures en savane arborée.
	41-26	





Composition colorée.

ANALYSE DE L'INTERPRÉTATION
Apparence des unités physionomiques sur les images des
quatre bandes spectrales et la composition colorée.

N° Code	Bandes MSS Unités physionomiques	4	5	6	7	Composition colorée (4-5-7)	Apparences sur les diazochromies des bandes spectrales 4-5-6
2122	Savane boisée	gris moyen	gris à gris foncé	gris	gris à gris clair	rouge à rouge vif (avec herbe)	Canal 4 : jaune Canal 5 : violet dense Canal 7 : bleu clair
	Savane boisée sur massifs granitiques	gris foncé à noir	gris foncé à noir	gris clair tacheté de noir	gris	violet	Canal 4 : jaune Canal 5 : violet et violet dense Canal 7 : bleu clair
24	Savane arborée	gris moyen ponctué de gris	gris moyen ponctué de gris	gris moyen et foncé	gris moyen et foncé	rouge ponctué de gris bleuté	Faible réflectance dans la bande 5 - Moyenne dans la bande 7
25	Savane arbustive	gris	gris clair	gris foncé	gris foncé	gris bleuté ponctué et tacheté de rouge violacé	Bande 4 : jaune clair Bande 5 : Magenta clair tacheté de blanc Bande 7 : bleu clair tacheté de bleu
27	Savane herbeuse	gris très clair à blanc	gris très clair à blanc ponctué de gris	gris clair	gris clair et très clair ponctué de gris	gris bleuté clair	Canal 4 : blanc ponctué de jaune Canal 5 : blanc ponctué de violet
31	Galerie forestière	gris sombre	gris sombre	gris clair	gris clair à blanc	rouge dense	Canal 7 : blanc bleuté Canal 4 : jaune moyen Canal 5 : violet dense ponctué finement de violet clair
32	Zone inondable	gris sombre	gris sombre	noir	gris foncé à noir	noir violacé	Canal 7 : blanc Canal 4 : jaune dense Canal 5 : violet dense
33	Formations saxicoles	gris sombre	gris sombre à très sombre	gris moyen à gris clair	gris moyen	rouge tacheté et ponctué de bleu - jaune (vert bouteille)	Canal 7 : bleu profond Canal 4 : jaune Canal 5 : violet
41	Zones culturales	gris clair à blanc	blanc ponctué de gris clair	gris clair	gris à gris clair	gris très clair bleuté ponctué de brun clair et tacheté de petites plages jaune verdâtre	Canal 7 : bleu ponctué de clair et de blanc Canal 4 : blanc tacheté ponctué de jaune Canal 5 : blanc ponctué violet Canal 7 : bleu clair tacheté de blanc
42	Sol sans végétation						
	a) Erosion	blanc tacheté de gris clair	blanc marbré de gris clair et moyen	gris clair tacheté de gris	gris sombre	bleu et bleu clair	Canal 4 : blanc tacheté de jaune clair Canal 5 : blanc tacheté de violet clair Canal 7 : bleu
	b)	gris tacheté de blanc	gris foncé à clair	gris foncé tacheté de gris	gris foncé tacheté de noir et de gris	bleu foncé tacheté et ponctué de violet	Canal 4 : jaune clair Canal 5 : violet clair tacheté de blanc Canal 7 : bleu foncé tacheté de clair
	Sable	blanc	blanc	blanc	gris	gris bleuâtre	Canal 4 : blanc Canal 5 : blanc Canal 7 : bleu ponctué de clair
5	Eau : rivières, mares	seuls de menus filets gris très clair se distinguent	seuls de menus filets gris clair se distinguent	noir	noir profond	bleu (tonalité homogène)	Canal 4 : blanc Canal 5 : blanc Canal 7 : bleu dense

Signification des tonalités principales sur la composition colorée.

Rouge : Combinaison du jaune et du magenta, correspondant à une faible réflectance dans les bandes spectrales 4 et 5 non masquée par la bande 7 qui enregistre une forte réflectance (blanc). Cette teinte caractérise la présence d'une végétation ligneuse et permet une discrimination satisfaisante entre différents

types de savanes forestières (variation de densité du rouge) et des types d'occupation du sol (cultures, sans végétation).
Bleu : La teinte est d'autant plus bleue que l'unité physionomique considérée réfléchit moins dans le proche infra-rouge. C'est particulièrement le cas pour l'eau libre sur l'image (rivières - mare). Les teintes bleues claires et foncées qui permettent de différencier certaines pla-

ges indiquent les qualités édaphiques des couches superficielles du sol et l'influence du socle telles les zones sans ou avec une végétation squelettique : érosion digitée des vallées, sur interfluves et sur versants des Monts Alantika.

Blanc : Indique une réflectance élevée dans les trois bandes spectrales. Les canaux 4 et 5 soulignent l'absence d'une végétation ligneuse et le canal 7 l'influence combinée du sol et d'une végétation basse herbacée (sols secs préparés pour les cultures, savane herbeuse).

Noir-Violet très foncé : La réflectance est nulle dans la bande 7 et très faible dans les bandes 4 et 5.

Cette tonalité se remarque surtout dans les zones de relief (Monts Alantika-Inselbergs). Elle correspond aux ombres portées des versants orientés à l'ouest et marque la végétation existante. La réflectance des versants sud et sud-ouest, faiblement éclairés à l'heure de l'enregistrement (08h.39), est néanmoins un peu plus forte dans le domaine du spectre visible (canaux 4 et 5).

Etude des unités physiologiques de la composition colorée.

21 - 22
Savane boisée : Cette unité est mise en évidence par une tonalité rougeâtre qui résulte de la combinaison du jaune et du magenta traduisant une faible réflectance dans les bandes 4 et 5.

La faible présence du bleu indique une forte réflectance dans le canal 7.

24
Savane arborée : La coloration violacée tachetée de gris bleuâtre indique une réflectance moyenne dans les trois canaux caractérisant une formation végétale ligneuse à faible densité du couvert des couronnes d'arbres.

25
Savane arbustive : Les plages gris bleuté, tachetées et ponctuées de rouge violacé traduisent une réflectance moyenne dans la bande 7 et forte dans les canaux 4 et 5, mettant en évidence l'influence des sols (bleu et blanc) et la très faible densité du couvert ligneux, composée d'une végétation généralement arbustive installée sur des sols peu profonds parfois fortement érodés.

27
Savane herbeuse : Elle présente sur l'image une tonalité gris bleuté clair tra-

duisant une forte réflectance dans tous les canaux. Le fond bleuté (canal 7) indique une influence du sol. Ces plages sans végétation ligneuse décelable occupent de petits plateaux d'interfluves.

31
Galeries forestières : Elles sont caractérisées sur les images par leur structure linéaire et une tonalité rouge dense résultant d'une faible réflectance dans les bandes 4 et 5 et très forte dans la bande 7.

32
Zones inondables : La dominante noirâtre, résultant de la faible réflectance dans le canal 7, est l'indice de zones très humides. La tonalité violacée plus ou moins sombre met en évidence la présence d'une végétation arborée.

33
Groupements saxicoles : La réflectance est faible dans les trois canaux.

La tonalité vert bouteille, combinaison des canaux 4 et 7 souligne l'influence du sol (affleurements). Le brun violacé indique la présence de végétation.

Ce faciès se situe le plus généralement sur l'interfluve et se rapporte à des cuirasses latéritiques de type boisé occupées par des formations arbustives et arborées claires.

41
Zones culturales : La réflectance de ce faciès est forte dans toutes les bandes spectrales. Si une ponctuation brun clair (canal 5) apparaît localement, indice d'une faible végétation, la tonalité gris clair, dominante, avec des nuances jaunâtres (canal 4) peut correspondre à un sol préparé pour les cultures, mais sec ; le lit sableux des rivières sillonnant ces unités ne présente aucune trace d'humidité.

42
Sols sans végétation : La coloration bleue et bleu clair, forte réflectance dans les bandes 4 et 5 et moyenne à faible dans la bande 7, correspond à des zones fortement érodées. Le risque de confusion possible avec les zones très humides et inondables peut être évité par l'étude topographique des

		sites concernés et la période climatique.			pas. En Juin, période d'étiage, les cours d'eau permanents ont leur niveau le plus bas. C'est le sable du lit, sous une faible profondeur de l'eau qui réfléchit dans le visible.
		D'autres faciès d'érosion, sur sols ferrugineux tropicaux peu profonds, ont l'aspect de brûlis mais la réflectance assez forte dans les bandes spectrales 4 et 5 dément cette hypothèse malgré leur très faible réflectivité dans la bande 7.			Des faciès complexes qui allient les caractéristiques de plusieurs unités peuvent être discernés.
Eaux :	5	Les eaux libres se distinguent bien sur la composition colorée où le bleu les caractérise (canal 7). Les bandes 4 et 5 enregistrent une très forte réflectance. L'eau n'apparaît	31 - 32 :		Galerias forestières inondées.
			24 - 42 :		Savanes arborée et arbustive sur sols érodés.
			25 - 47		
			41 - 24 :		Mosaïque cultures-savanes.

CONCLUSIONS

L'analyse visuelle d'images Landsat améliorées à l'échelle de 1/200.000 a permis d'identifier les grands types physiologiques de végétation ligneuse avec un degré d'objectivité satisfaisant pour des études préliminaires à des travaux forestiers. Les corrections géométriques et d'échelle apportées aux restitutions leur confèrent une précision graphique comparable aux cartes I.G.N. de même échelle.

Indiquons cependant qu'une légère différence d'échelle existe : si dans le sens nord-sud la correspondance est bonne — 1/200.000 —, dans le sens est-ouest elle est de 1/192.000. Cet étirement d'est en ouest (glissement vers l'ouest dû à la rotation de la terre ou aux caractères de l'imprimante ?) n'empêche pas une bonne précision graphique dans le positionnement des détails cartographiés. La qualité des documents de base fournis a permis l'identification et la représentation des structures homogènes d'une superficie de 16 hectares.

L'individualisation des unités sur les images dépend de l'homogénéité des tonalités correspondant à des faciès de même nature et des contrastes existant entre les différents faciès. L'amélioration des contrastes consiste à répartir d'une manière équilibrée les niveaux de gris sur les visualisations multispectrales.

Dans ce domaine des améliorations doivent être apportées. Les bandes spectrales 4-5-6 présentent des contrastes satisfaisants, moins bons dans la bande 7 et la composition colorée, synthèse des bandes 4-5-7. Sur cette dernière l'échelle de densité des teintes présente 13 niveaux ; 8 niveaux, les moins denses matérialisant les fortes et moyennes réflectances sont discernables, les 5 niveaux les plus sombres ne peuvent être nettement différenciés, certains en zones de relief masquent totalement une végétation pourtant existante.

Dans le cas d'études particulières, surveillance continue de la couverture forestière, estimation de l'évolution de la végétation dans un intervalle de plusieurs années par exemple, les images améliorées à moyenne échelle peuvent être confrontées avec des documents de télédétection enregistrés à d'autres niveaux (photographies aériennes).

La correspondance entre les unités identifiées sur les deux documents doit être réalisée ce qui implique la recherche de critères objectifs d'identification sur des images de bonne qualité à une échelle, si possible supérieure à 1/200.000.

L'interprétation réalisée ne s'applique qu'à l'image étudiée. Si la méthode schématiquement exposée peut être appliquée dans tous les cas, les variables apportées par une situation géographique différente, le climat, la période d'enregistrement des données et la qualité des images, contraignent à une analyse nouvelle pour chaque scène.

En fonction des postulats formulés au début de cette note, nous résumerons en disant que, si le nombre des unités physiologiques identifiées est satisfaisant, la superficie moyenne des petites formations végétales interprétées (16 hectares) devrait être inférieure pour être compatible avec certaines études que nous sommes appelés à réaliser.

Il serait souhaitable, dans le domaine de l'interprétation visuelle et compte tenu des moyens de télédétection actuels, de pouvoir disposer d'images à plus grande échelle (1/100.000 par exemple) de bonne résolution spatiale et de qualité équivalente à celles fournies par la Compagnie Générale de Géophysique.

Ajoutons pour conclure qu'en ce qui concerne les travaux spécifiques de la Division d'inventaires forestiers du C.T.F.T., en zones forestières guinéennes et boisées soudanaises, l'on peut considérer l'utilisation des images par interprétation visuelle comme opérationnelle relativement aux travaux préliminaires, étude de la couverture végétale, de la densité relative du couvert forestier, de l'état édaphique des sols, la cartographie.

Cependant elles ne peuvent en aucun cas nous libérer des opérations statistiques sur le terrain qui pourront être mieux approchées, peut-être simplifiées, à l'aide de visualisation à résolution au sol plus fine et permettant la vision stéréoscopique (1).

(1) Par SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre). Mise en orbite prévue en 1984.