

Bulletin de la Société belge de Géologie Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	T. 97 V. 97	fasc. 2 deel 2	pp. 141-145 blz. 141-145	Bruxelles 1988 Brussel 1988
--	----------------	-------------------	-----------------------------	--------------------------------

## ANALYSE SPECTRALE ET INTERPRETATION LITHOLOGIQUE D'UNE SOUS-SCENE SPOT DU NORD DU BURUNDI

par Ph. TREFOIS (°)

**ABSTRACT** - In the region of Ngozi (Northern Burundi) a SPOT 512x512 pixels subscene has been studied in order to estimate the possibilities of lithologic discrimination in tropical vegetation conditions. The scene displays a variety of landscapes where vegetation is always present (cultivated areas, bushes, trees and savanna). The geology is composed of granitoids intruding a Middle Proterozoic sedimentary series. Several multispectral processings have been applied, including false color composites ratioing, IHS transform and masking and principal component analysis and imagery. Known lithologic units can be recognized with a various success; most striking however was the determination of the extent of a syenite intrusion.

**RESUME** - Dans la région de Ngozi (Nord du Burundi), une sous-scène SPOT de 512x512 pixels a été étudiée dans le but d'évaluer ses possibilités de discrimination lithologique dans des conditions de végétation tropicale. La scène montre une variété de paysages où la végétation est toujours présente (cultures, buissons, arbres et savanne). La géologie est constituée de granitoïdes intrudant une série sédimentaire Protérozoïque Moyen. Plusieurs traitements multispectraux ont été effectués, parmi lesquels des compositions de ratios en fausses couleurs, la transformée en intensité, teinte, saturation et l'analyse des composantes principales. Une discrimination des lithologies a pu être effectuée, comprenant la délimitation d'une intrusion de syénite.

### 1. INTRODUCTION

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet PEPS 286 et du programme GARS (Geological Applications of Remote Sensing) de l'UNESCO-IUGS(°°). La scène de 512x512 pixels sur laquelle elle porte est extraite de l'image multispectrale SPOT 125/356 saisie le 26 août 1986. Elle a été choisie en fonction de deux critères :

- couvert végétal important,
- lithologie variée et bien connue sur la base de levés de terrain et de la carte géologique au 1/100 000 (CLAESSENS et DREESSEN, 1981).

Le but de ce travail est de tester l'efficacité de différentes méthodes de traitement d'images pour la discrimination des lithologies dans une région à couvert végétal important, et d'analyser le contenu spectral des images (la structure des données).

Il apparaît, en effet, que les méthodes directes de discrimination ou d'identification des lithologies basées sur les propriétés spectrales des roches ou des sols d'altération ne donnent que

peu de résultats dans le cas de paysages à couvert végétal naturel important, et a fortiori dans les zones de cultures et d'utilisation agricole intense et variée du sol.

### 2. DESCRIPTION DE LA REGION, LITHOLOGIE

Dans la scène étudiée, le paysage est constitué de nombreuses collines dont les sommets herbeux sont consacrés aux pâturages, tandis que les flancs et les fonds de vallées, sont divisés en petites parcelles affectées à des cultures vivrières.

Il subsiste localement des lambeaux de forêt primaire sur les crêtes et quelques zones marécageuses dans des fonds de vallées importantes.

Le sous-sol est constitué d'une série métasédimentaire d'âge burundien (Protérozoïque Moyen) où l'on distingue une série à alternance pélitico-arénacées comprenant des niveaux de volcanites et, à la base, des quartzites avec quelques intrusions de roches basiques.

(°) Laboratoire de Télédétection Aérospatiale, Musée royal de l'Afrique centrale, B-1980 Tervuren

(°°) IUGS - Union internationale des Sciences géologiques.

Un massif de granites calco-alcalines est intrusif dans cet ensemble, et est lui-même intrudé par un complexe alcalin à syénite (fig. 1).

### 3. TRAITEMENTS ET ANALYSES SPECTRALES

#### 3.1. COMPOSITION EN FAUSSES COULEURS

Les éléments du paysage et en particulier l'omniprésence de la végétation sont discernables sur une composition classique en fausses couleurs où XS1 est attribué au bleu, XS2 au vert et XS3 au rouge.

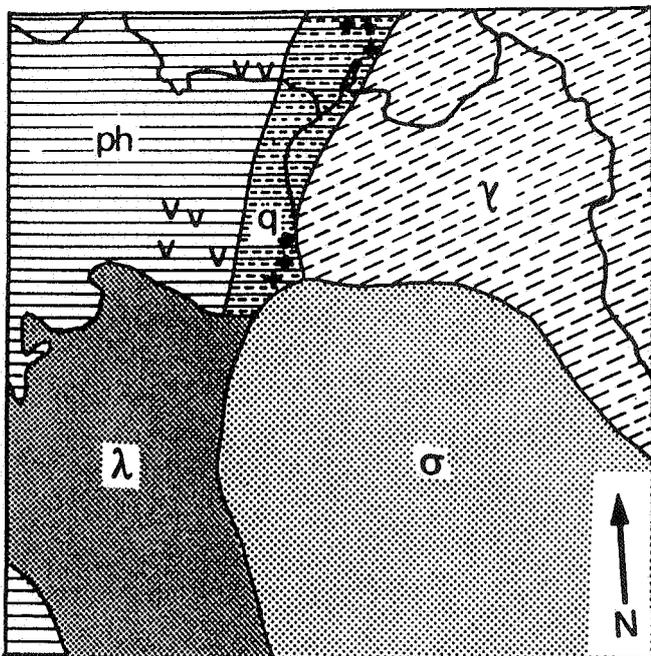


Fig. 1 - Esquisse lithologique

ph : phyllites; q : quartzites; vv : volcanites; +++ : intrusions basiques; γ : granites; λ : syénites; σ : complexe alcalin.

La fig. 2 illustre le fait que le spectre des sols limonitiques (rouges) possède une pente importante en passant du vert (XS1) au rouge (XS2) et donc un rapport XS2/XS1 élevé comparativement aux autres objets.

La végétation verte se caractérise par un ressaut bien marqué en passant du rouge (XS2) à l'infra-rouge, donc un rapport XS3/XS2 élevé. La réponse étant plus élevée dans le vert (XS1) que dans le rouge (XS2) le ratio XS2/XS1 restera toujours bien faible que dans le cas de sols.

Les sols argileux plus clairs, quant à eux, possèdent un ratio XS3/XS2 comparable à celui des sols rouges, avec un XS2/XS1 moins élevé.

Nous tenterons donc de distinguer entre eux les trois familles d'objets par une image où le rapport XS2/XS1 est affiché en nuance de rouge et le rapport XS3/XS2 en nuance de vert.

Les sols et a fortiori les lithologies ne peuvent pas être discriminés par ce procédé, car leur variations sont complètement masquées par les autres types de signatures spectrales.

#### 3.2. RATIOS

Afin de préciser la contribution relative des différents types d'objets détectés, nous pouvons avoir recours à la connaissance théorique de leurs réponses spectrales.

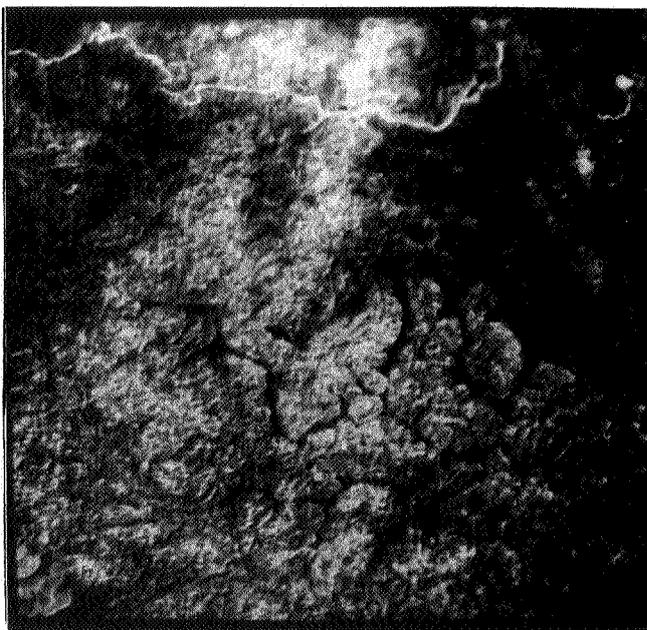


Photo - Troisième composante principale CP3.

Les deux pôles thématiques principaux, sols rouges et végétation verte, sont remarquablement mis en évidence par contribution à la signature composite de chaque pixel.

La forêt au sud-ouest, les coteaux et les vallées cultivées apparaissent en vert tranché, et les seules signatures purement minérales sont observées sur la piste à couverture latéritique dans le nord de l'image et sur une place de marché qui s'y raccorde.

La majeure partie de l'image est constituée de teintes intermédiaires; là où les signatures au sol expriment des mélanges, en propositions variables, de sols et de végétation.

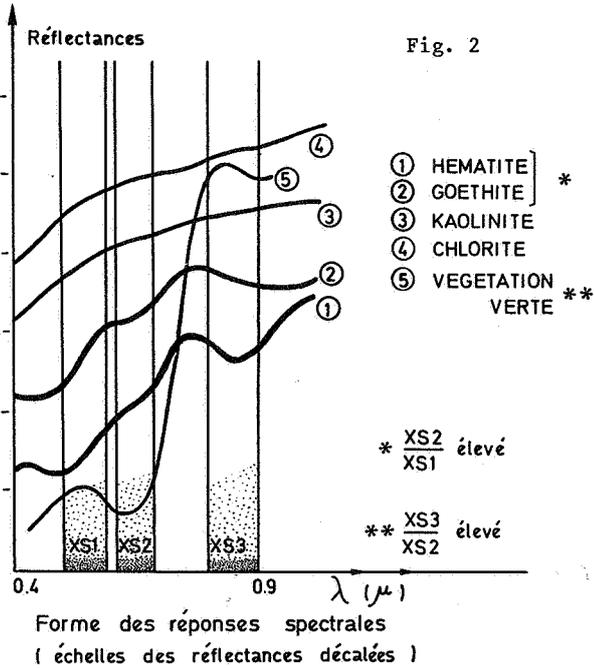
Les zones sombres caractérisent des endroits où ni sols limonitiques ni végétation ne sont majoritaires (terrains marécageux par exemple).

Si ce traitement s'avère efficace pour évaluer l'abondance relative des différentes familles d'objets en chaque point de l'image, il ne permet pas de discriminer les différents objets à l'intérieur d'un même groupe (par ex. les sols entre eux).

Les étapes suivantes de l'analyse expliqueront la raison de ces difficultés, et tenteront d'apporter une solution à ce problème.

### 3.3. TRANSFORMÉE RVB-ITS ET MASQUE

A partir du système d'axes orthogonaux Rouge-Vert-Bleu où l'on attribue XS3 au rouge, XS2 au vert et XS1 au bleu,



chaque pixel de l'image peut-être représenté dans un nouveau système de coordonnées Intensité-Teinte-Saturation (fig. 3) (KRUSE et RAINES, 1984).

L'intensité I représente la somme des trois canaux RVB, et est déterminée par l'intensité de l'éclairage (essentiellement lié à sa géométrie, donc à la topographie) et la réflectance totale (panchromatique) des objets.

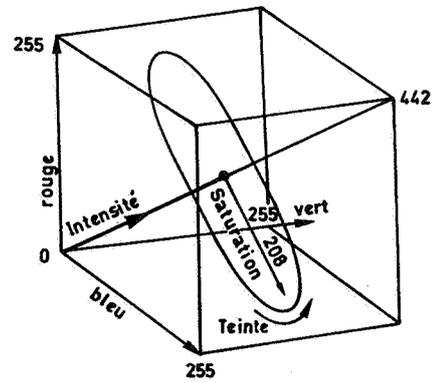
La teinte T est caractéristique de la nature de la couleur (sa longueur d'onde) et la saturation S représente la pureté de cette couleur.

Ces deux dernières valeurs T et S sont donc liées aux caractéristiques panchromatiques intrinsèques des objets, puisque libérées des effets d'éclairage.

Les histogrammes des images des composants I, T, S fournissent deux informations fondamentales (fig. 4).

1. Une gamme très réduite de l'espace chromatique disponible est présente dans l'image. Une représentation en 3 dimensions (fig. 5) illustre la position et la forme du volume enveloppé des pixels dans l'espace chroma-

Fig. 3



Transformation RVB - ITS  
D'après RAINES, (1977)

matique. Il faut donc s'attendre à ne trouver des facteurs de discrimination des objets que dans des variations très fines des spectres.

De plus, la répartition "plate" des valeurs explique, en partie, le peu de succès des classifications basées sur des distances euclidiennes, dans ce cas précis.

2. L'aspect globalement unimodal des histogrammes des teintes et saturations confirme la dominance importante d'un type de signature : celui de la végétation.

### HISTOGRAMMES

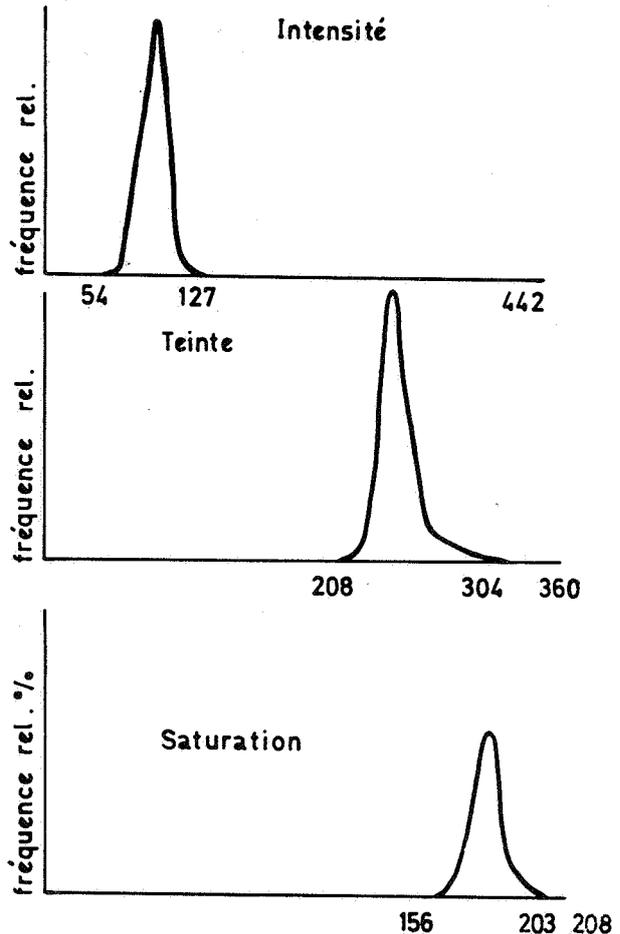


Fig. 4 - Histogramme des I, T, S pour l'image traitée.

Ce dernier fait peut être illustré par la réalisation d'un masque sur les valeurs des teintes (KNEPPER et RAINES, 1984), où on affiche en blanc les teintes de la gamme de la végétation (centrées sur le rouge, représentant ici XS3) et en noir les autres valeurs. Les points à signature non végétale sont rares et localisés sur la piste et dans les vallées marécageuses.

### 3.4. COMPOSANTES PRINCIPALES

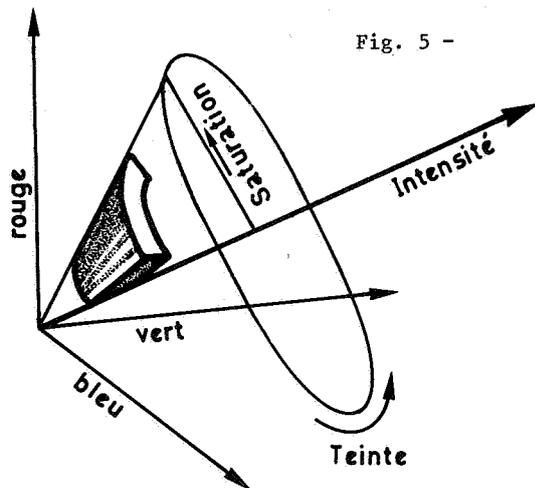
L'examen des vecteurs propres de la matrice des variances-covariances (axes des composantes principales), et de leur pourcentage de contribution à la variance totale de l'image (tabl. 1) nous renseigne sur la répartition spectrale des pixels présents dans l'image.

La première composante principale, déterminée par des coefficients positifs et équilibrés des 3 canaux, correspond à l'intensité panchromatique I décrite plus haut.

La deuxième composante, où l'infrarouge XS3 est opposé aux bandes du visible XS2 et XS1, exprime un certain type d'indice de végétation.

Les deux premières composantes expliquent à elles seules 98% de la variation des réponses spectrales.

La troisième composante n'explique que les 2% restant de la variance, elle



Volume enveloppe des couleurs contenues dans l'image

oppose le vert XS1 au rouge XS2, tout au rouge XS2, tout en minimisant l'effet de l'infrarouge XS3. Elle représente l'axe des variations de l'image qui ne sont expliquées ni par différences d'intensité totale (ici en relation avec la topographie), ni par un effet en relation avec la couverture végétale. Ces résultats sont proches de ceux obtenus lors d'analyses du même type effectués sur des images Landsat MSS et TM (ANUTA et al., 1984).

Corrélations			
	XS1	XS2	XS3
XS1	1	0.91	0.33
XS2		1	0.30
XS3			1

Composantes principales			
$CP1 = 0.45 XS1 + 0.72 XS2 + 0.53 XS3$			
Contribution : 66 %			
$CP2 = 0.25 XS1 + 0.46 XS2 - 0.85 XS3$			
Contribution : 32 %			
$CP3 = 0.86 XS1 + 0.51 XS2 + 0.03 XS3$			
Contribution : 2 %			

Tableau 1. - Matrice de corrélations et vecteurs propres de la matrice de variances-covariances.

Une représentation en trois dimensions montre les relations entre ces trois axes (fig. 6).

Dans le cas étudié, c'est selon le plus petit axe du nuage de points que vont donc s'exprimer les petites variations, liées ici aux types de sol, masquées dans l'information globale par les variations beaucoup plus importantes selon les axes des deux premières composantes.

L'examen de l'image de la 3ème composante principale (photo) et sa comparaison avec la carte géologique (fig.1) permet de reconnaître :

- la limite entre la syénite et les granites calco-alcalins, qui apparaissent dans des nuances de gris différentes,
- les quartzites,
- la zone à métavolcanites, dans les métasédiments, visible en plus clair à l'ouest de la barre de quartzite.

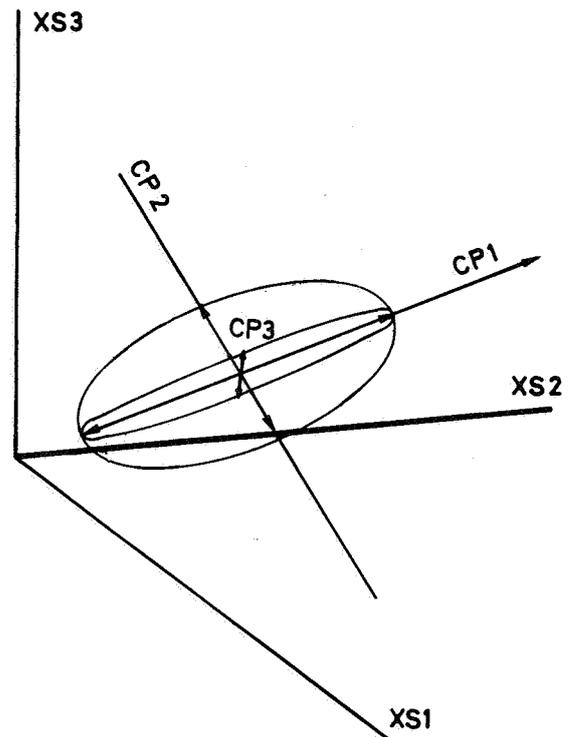


Fig. 6 - Représentation spatiale des axes des composantes principales.

## CONCLUSIONS

L'analyse du contenu spectral de cette sous-scène a mis en évidence la constitution largement prédominante des signatures spectrales de type végétal qui, associées aux effets d'éclairement liés à la topographie, constituent l'essentiel de l'information présente dans l'image SPOT.

Ce fait est particulièrement bien illustré par l'aspect unimodal des histogrammes des Teinte et Saturation, ainsi que par la structure des composantes principales (directions des axes et pourcentages de contributions).

Masquées par ces effets largement majoritaires, les informations liées aux sols ou à la lithologie deviennent très difficiles à extraire.

Cependant, même dans les pixels de mélanges où elles ne représentent qu'une partie des signatures, ces contributions apparaissent dans l'image de la troisième composante principale CP3, qui contient les 12% de la variance totale non expliquée par les effets d'intensité totale et de végétation.

Dans ce cas particulier, l'image CP3 permet, en raison de la structure même des données satellitaires, une discrimination de signatures en accord avec la carte géologique.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANUTA, P.E. (1984) - Landsat-4 MSS and Thematic Mapper data quality and information content analysis. - *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, vol. 22, 3, May 1984.
- CLAESSENS, W., DREESEN, R. (1981) - Carte géologique du Burundi. Feuille Ngozi. - *Dept. Mines et Géologie*, Bujumbura.
- KNEPPER, D.H., Jr., RAINES, G.L. (1985) - Determining stretch parameters for lithological discrimination on Landsat MSS band-ratio images. - *Photogrammetric engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, 5370.
- KRUSE, F.A., RAINES, G.R. (1984) - Munsell color analysis of Landsat color-ratio-composite. Images of limonitic areas in Southwest New Mexico. - *Symposium on Remote Sensing of Environment*, Colorado Springs.