

CORRELATIONS GEOLOGIQUES ENTRE LES IMAGES AEROSPATIALES ET LES DONNEES DE TERRAIN (APPLICATION AU BURUNDI)

par H. LADMIRANT (1) et A. WALEFFE (2)

RESUME. - En vue de tester la validité de l'analyse de documents analogiques Landsat dans les travaux de reconnaissance géologique, les auteurs comparent les informations satellitaires (MSS 7 principalement) avec les connaissances géologiques détaillées déjà acquises par de nombreux travaux sur le terrain et par des études photogéologiques classiques au Burundi.

Cette confrontation, à laquelle s'ajoute une analyse de données multispectrales et diachroniques de la plaine de la Rusizi ainsi qu'une analyse de composition colorée permettent de conclure à l'importance, l'abondance et la rapidité des informations provenant d'images de satellites, ainsi qu'à leurs apports originaux d'ordre structural (linéaments).

INTRODUCTION.

Le présent essai de corrélation entre les informations géologiques des images aérospatiales et les données de terrain a pour objet de tester la validité d'une analyse, essentiellement analogique, de documents Landsat pour la reconnaissance géologique d'une région placée dans des conditions qui sont celles du Burundi. C'est en effet le Burundi que nous avons choisi comme référence car la géologie en est actuellement assez bien connue. Elle a été étudiée depuis de nombreuses années, notamment par les géologues de la Section de Géologie générale du Musée, des missions de l'A.G.C.D., le Service géologique du Burundi et des projets ONU.

Durant la période 1956-1977, l'un d'entre nous (A. WALEFFE) a séjourné au Burundi une quinzaine d'années et a participé activement à la cartographie géologique systématique du pays.

En raison du très petit nombre de travaux géologiques réalisés jusqu'à présent en Belgique sur des images de satellites artificiels, nous avons crû bon de rappeler ci-après quelques brèves explications concernant les caractéristiques des images Landsat.

LES SATELLITES ET LES IMAGES LANDSAT.

Après divers essais généralement couronnés de succès, fusées habitées, satellites militaires et météorologiques, c'est en 1972 que la NASA (*) lança le premier satellite qui ait été conçu spécialement pour l'observation des ressources terrestres. Ce satellite dénommé Landsat-1 fut suivi, en 1975, par Landsat-2 identique au précédent; d'autres satellites semblables, comportant certaines modifications et perfectionnements ont

(*) National Aeronautics and Space Administration.

(1) Section de Cartographie et de Photo-interprétation.

(2) Section de Géologie générale, Département de Géologie et de Minéralogie, Musée royal de l'Afrique centrale, B-1980 Tervuren (Belgique).

ensuite été lancés, plus ou moins régulièrement, mais pas toujours avec un égal bonheur.

Les satellites de type Landsat, schématisés dans la figure 1, mesurent 3 m de haut, 4 m de large et pèsent près d'une tonne, instruments compris. L'énergie électrique, de l'ordre de 400 watts, est entièrement fournie par les panneaux solaires.

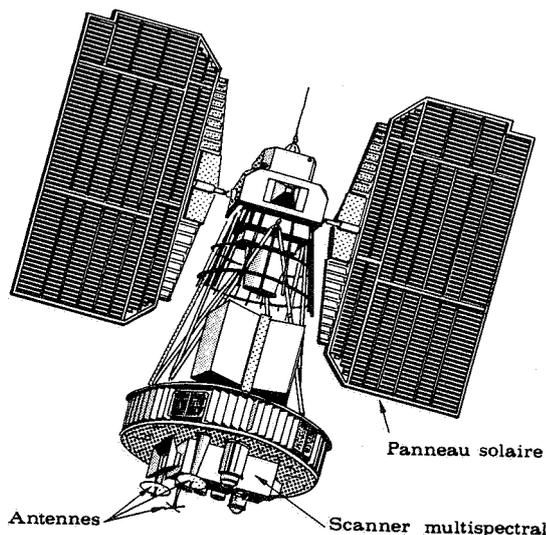


Fig. 1 - Satellite de type Landsat

L'orbite, très astucieusement choisie, est pratiquement circulaire et son plan fait avec l'axe des pôles un angle de $9^{\circ}14'$ (fig. 2). Circulant à 920 km d'altitude, le satellite boucle son orbite en 103 minutes; il fait donc 14 fois le tour de la Terre en 24 heures.

Le choix de ces paramètres est responsable de caractéristiques très importantes :

- les orbites sont héliosynchrones, ce qui signifie que le satellite passe en un point donné toujours à la même heure locale (9 h. 42' à l'équateur). Outre qu'il permet d'excellentes comparaisons diachroniques (multitemporelles), la fixité de l'orbite par rapport au soleil simplifie considérablement le problème de l'orientation des panneaux solaires.
- Les orbites étant circulaires, la résolution au sol est constante.
- Le satellite se déplace du Nord vers le Sud sur la face éclairée par le soleil, seule portion d'orbite utilisable. On appelle TRACE du satellite, la projection de sa trajectoire sur la surface de la Terre.
- Compte-tenu de la vitesse du satellite, de la rotation de la Terre, de la position du plan de l'orbite, le satellite décrit 14 orbites successives par jour, chacune étant, par rapport à la précédente, décalée de 2.500 km vers l'Ouest (à l'équateur).

- Le lendemain le satellite décrit sa 15ème orbite dont la trace se situe 160 km à l'Ouest de la trace n° 1 (décalage toujours mesuré à l'équateur). Et ainsi de suite, par ce décalage journalier le satellite finit, au bout de 18 jours, par repasser sur l'orbite n°1. Comme le satellite "image" une bande de terrain large de 185 km, après 18 jours la couverture de la Terre est complète (les latitudes d'extrême Nord et d'extrême Sud exclues naturellement). La figure 3 montre, sur un planisphère, l'allure sinusoidale et la disposition des traces pour une journée. Pour la journée suivante on aurait le même dessin des traces mais décalé de 160 km vers l'Ouest.

Grâce à quelques corrections périodiques de la trajectoire et de l'attitude du satellite, la NASA peut, durant des années, conserver la fixité des traces; chaque image Landsat est donc, quelle que soit sa date de "prise de vue", aisément identifiée par sa trace (path) et son rang (row) qui constituent en quelque sorte ses coordonnées sur la Terre.

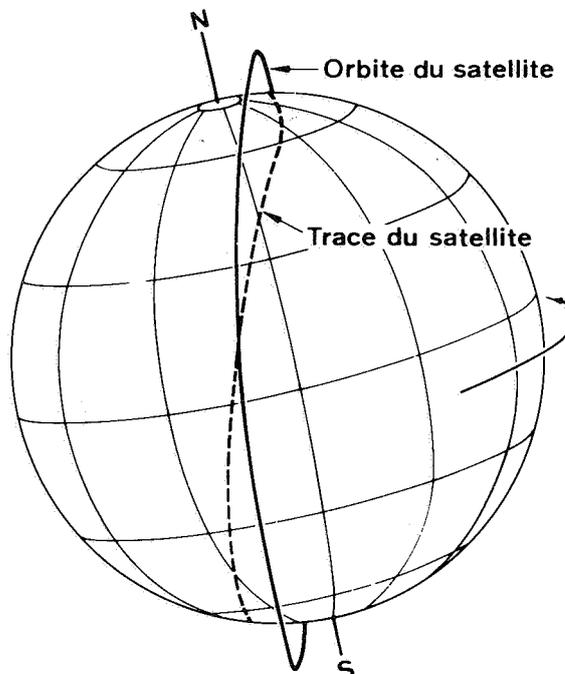


Fig. 2 - Plan de l'orbite, en trait plein fort, et position de sa trace sur le sol.

REALISATION DES IMAGES LANDSAT-1 ET -2.

Un radiomètre multispectral à balayage, ou radiomètre imageur (Multispectral Scanner : MSS) est un instrument qui utilise un miroir oscillant pour balayer des bandes parallèles successives sur le sol (fig. 4).

L'énergie solaire réfléchie par le sol est renvoyée par le miroir au travers d'un système optique (prisme et

réseau) qui décompose le rayon lumineux en 4 faisceaux (ou bandes) de longueurs d'onde différentes. Chaque faisceau est dirigé vers une batterie de 6 détecteurs qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les variations de courant sont enregistrées sur bande magnétique et "hachées" pour constituer des valeurs numériques dont l'intensité moyenne correspond à des surfaces unitaires au sol de 79 m x 79 m. Ces éléments formeront les taches élémentaires de l'image (pixel = picture element). Chaque pixel est caractérisé par une valeur de gris comprise dans une gamme de 64 valeurs allant du blanc pur au noir pur. Au fur et à mesure de sa progression, le satellite fabrique une image continue suivant une bande large de 185 km. Cette bande est ensuite "découpée" de façon à obtenir des images isométriques couvrant des surfaces de 185 km de côté que l'on appelle scène. Pour chaque scène il existe donc 4 images noir et blanc correspondant aux bandes spectrales 4, 5, 6 et 7. La bande 6, fort semblable à la bande 7, est rarement utilisée par les géologues. La zone bleue du spectre visible n'est pas enregistrable en raison de la forte diffusion atmosphérique. (voir fig. 9)

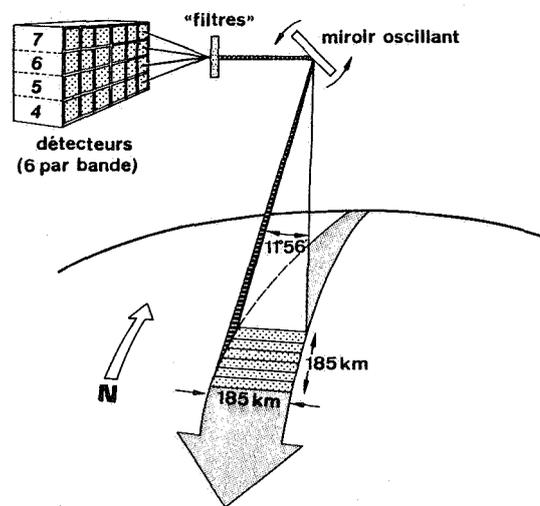


Fig. 4 - Schéma du système imageur à balayage.

c. Mosaïques aériennes contrôlées pour la moitié orientale du Burundi, réalisées par Hunting (selon projet ONU), au 1/50.000.

DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

1. PHOTOGRAPHIES AERIENNES.

- a. Couverture aérophotographique du Burundi, en différents blocs, réalisée par l'Institut géographique du Congo belge, du Rwanda et du Burundi dans les années 1954 à 1960. Echelles variables. Fréquemment émulsion noir et blanc infrarouge.
- b. Couverture aérophotographique systématique du Burundi, réalisée par l'Institut géographique National français en 1973, au 1/50.000 et en panchromatique (selon projet ONU).

2. IMAGES DES SATELLITES AMERICAINS DE TYPE LANDSAT :

- scène du 13 septembre 1972, n°1052-07404 (Landsat 1)
 - scène du 21 février 1975, n° 2030-07295 (Landsat 2)
- chacune dans les bandes spectrales 4, 5 et 7. (voir fig. 5).

Les documents de départ, obtenus auprès de la NASA sont des diapositives noir et blanc (N/B) sur film 70 mm, dont l'échelle est le 1/3.369.000. Ces diapositives ont été copiées, par contact, sur film négatif lequel a permis la

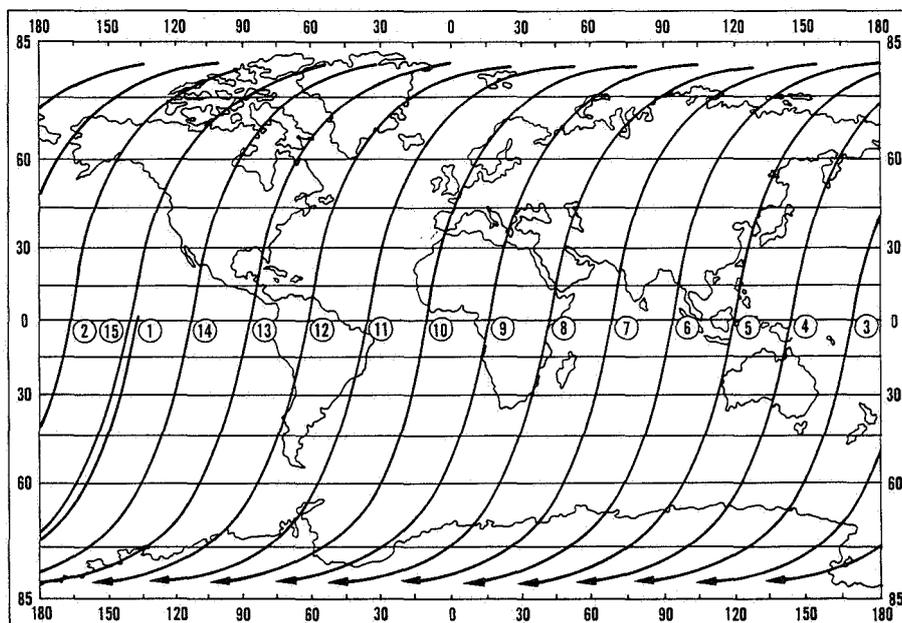


Fig. 3 - Planisphère montrant les traces des 14 orbites parcourues en 24 heures.

réalisation d'agrandissements positifs sur support plastique (support Agfa-Gevaert Brovira speed, 310 PE, n°1) à différentes échelles : 1/1.000.000, 1/500.000 et 1/250.000 cette dernière étant raisonnablement considérée comme une limite à cause de la taille prise par le pixel.

3. COMPOSITIONS COLOREES PAR PROCEDE DIAZOÏQUE.

L'oeil humain n'est habituellement pas capable de distinguer plus d'une dizaine de tons de gris lorsque les plages; à reconnaître sont dispersées dans une photo; par contre, il est parfaitement apte à reconnaître des dizaines de teintes composées d'une grande variété de couleurs dans de nombreuses nuances.

Lorsqu'on dispose, pour une même scène, de plusieurs images correspondant à différentes zones du spectre électromagnétique, et c'est le cas des images Landsat, il est possible de composer une image en couleurs en attribuant à chaque image N/B une couleur arbitraire et en les superposant.

L'impression de films diazoïques nécessite un matériel relativement simple constitué d'une source lumineuse ultraviolette, d'un châssis pneumatique et d'une enceinte à développement ammoniacal. Pour obtenir une meilleure image finale, les films négatifs de départ ont d'abord été renforcés en les agrandissant au 1/1.000.000 sur film "lith" qui augmente les contrastes. Le film diazoïque de la couleur choisie est alors recouvert par le film positif que l'on vient de préparer et est exposé à la lumière U-V. Cette opération doit être réalisée en châssis pneumatique pour obtenir un contact parfait entre les émulsions des deux films.

Le film diazoïque est ensuite développé par du gaz ammoniac. Le transfert d'image par procédé diazoïque se fait donc par contact, et sans inversion.

Les films positifs ainsi réalisés pour chaque bande sont superposés sur une table lumineuse et forment une image en "fausses couleurs". Il n'est pas possible de préparer une image dont les couleurs se rapprocheraient des couleurs naturelles car il manque l'image correspondant à la couleur bleue, celle-ci n'étant pas enregistrée par les capteurs du satellite en raison de la diffusion trop importante dans ces longueurs d'onde.

Parmi les nombreuses compositions colorées que nous avons examinées, nous n'avons retenu que la combinaison des trois couleurs complémentaires réparties comme suit :

bande MSS 4 en jaune
bande MSS 5 en magenta
bande MSS 7 en cyan (bleu)

Cette combinaison, assez traditionnelle, nous paraît celle qui, dans la zone étudiée, apporte les informations les plus nettes.

La préparation de compositions colorées par le procédé diazoïque donne de bons résultats, parfois inédits, grâce à la variété des combinaisons; c'est aussi un procédé peu coûteux.

EXAMEN DE QUELQUES TRAITES GEOLOGIQUES PARTICULIERS DE L'IMAGE LANDSAT.

1. STRUCTURE ANNULAIRE DE MUREHE (voir photo 1).

Structure anticlinale composée de quartzites du Burundien Moyen avec un coeur de micaschistes et pointements granitiques. Configuration générale proche de celle de la carte géologique; quelques failles visibles dans la partie occidentale.

2. MASSIF SYNCLINAL DU TONGA.

Massif quartzitique du Burundien Supérieur dont les limites apparaissent assez nettement; faille N-S recoupant son extrémité méridionale.

3. STRUCTURES PLISSEES DU BURUNDIEN SUPERIEUR.

Linéaments mettant en évidence des crêtes de directions sub-parallèles et petits segments courbes traduisant l'existence de structures plissées.

4. STRUCTURE PERI-ANTICLINALE DE KARUZI.

Anticlinal formé par le "quartzite de Muyinga" du Burundien Moyen mais dont le détail de la fermeture, suggéré par la convergence des couches, est mal interprétable sur l'image Landsat.

5. CRÊTE DU MULEMERA.

Crête quartzitique avec intercalations schisteuses du Burundien Inférieur, remarquable par son allure rectiligne sur plusieurs dizaines de kilomètres, interrompue localement près de la frontière tanzanienne par une virgation accentuée.

6. CRÊTES QUARTZITTIQUES DU BURUNDIEN INFERIEUR.

Crêtes quartzitiques rectilignes mises en évidence par leur relief résultant d'une combinaison d'éclairage moindre dû à l'orientation du versant avec la faible réflectance des roches quartzitiques.

7. QUARTZITE DE RUGANZA.

Crête quartzitique dominant une région déprimée au Sud et au Nord constituée essentiellement de micaschistes et de roches granitiques, et mise en évidence par sa teinte plus sombre; failles N-S recoupant cette crête et identifiables sur image Landsat.

8. FAILLES DE LA RUVUBU ET RESEAU DE LINEAMENTS.

Failles (voir photo II) prolongées vers le Nord par des linéaments; réseau de linéaments de directions N-O et E-NE non relevés par les méthodes classiques.

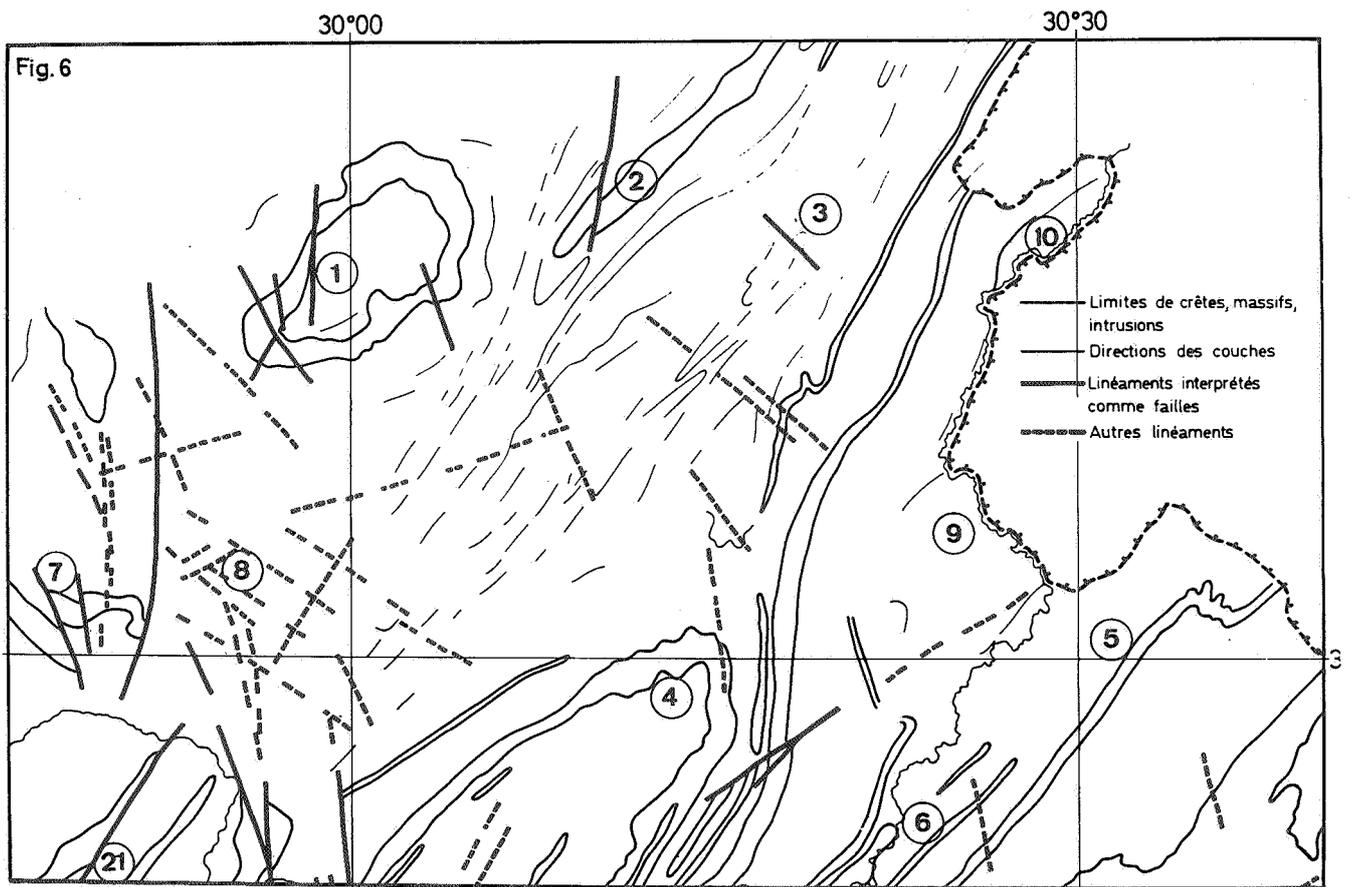


Fig. 6 - Interprétation de la photo I

9. GRANITE DE MUYINGA.

Plage de teinte légèrement plus claire mais aux limites floues et imprécises et à peine discernable sur l'image Landsat.

10. GRANITE DE MWURIRE.

Léger contraste de teinte marquant la limite occidentale de ce granite mal discernable sur l'image Landsat.

11. SYNCLINAL DE MAZITA (voir photo II).

Structure synclinale formée par le "Quartzite de Muyinga" du Burundien Moyen, reconnaissable dans sa configuration générale; quelques failles identifiables sur image Landsat.

12. MASSIF DE MUGERA ET FAILLES DE LA RUVUBU.

Failles principales identifiables sur image Landsat avec tracé un peu différent; linéament étendu recoupant le massif de Mugera avec une direction N-E et coïncidant avec une faille de faible extension recoupant ce massif; prolongement intermittent de ce linéament jusqu'à la frontière tanzanienne (voir photo I).

13. MASSIF DU TSHENE.

Massif constitué de quartzites du Burundien Moyen, de roches mylonithiques et de granite; configuration générale proche de celle de la carte géologique; présence de failles suggérée par des linéaments mais sans possibilité de tracé complet.

14. GRANITE DE LA RUVUBU ET QUARTZITES DU BURUNDIEN INFÉRIEUR.

Crêtes quartzitiques assez bien mises en évidence par leur relief; granite entouré de quartzite et massif granitique longeant la Ruvubu apparaissant avec une teinte plus claire.

15. MASSIF QUARTZITIQUE DU BILIME.

Massif de quartzites du Burundien Inférieur apparaissant avec une configuration semblable à celle de la carte géologique; possibilité de distinguer quelques failles.

16. MASSIF DU MPUNGWE.

Massif constitué de quartzites avec intercalations schisteuses importantes du Burundien Inférieur présentant une morphologie particulière permettant une délimitation assez précise.

17. MASSIF DU KAVUMWE.

Massif constitué de quartzite, phyllade, schiste, sills gabbro-doléritiques, du Malagarasien, en contact par failles avec le Burundien, dont il se distingue par une teinte plus foncée mais aux limites peu nettes; présence de quelques linéaments non reconnus par les méthodes classiques.

18. MASSIF DU NKOMA.

Massif constitué de quartzites du Malagarasien, en contact par failles

avec le Burundien Inférieur; se distingue des formations environnantes par une teinte plus claire mais seul le contact occidental suggère l'existence d'une faille.

19. CRÊTES DE NYABIRABA.

Crêtes quartzitiques du Burundien Inférieur apparaissant avec grande netteté grâce à leur relief; présence d'une faille N-S limitant leur extension vers l'Ouest.

20. MASSIF DE KIVIMBA.

Extrémité du massif synclinal de quartzites du Burundien Moyen.

21. MASSIF DU MUSAGARA.

Ensemble de crêtes quartzitiques du Burundien Moyen et failles principales apparaissant avec une configuration semblable à celle de la carte géologique.

22. MASSIF ULTRABASIQUE DE MUSONGATI.

Bonne configuration du massif presque entièrement recouvert d'une cuirasse latéritique, apparaissant en teinte sombre; à l'Ouest massif gabbro-noritique apparaissant en teinte plus claire mais aux limites imprécises.

23. MASSIF GABBROÏQUE DE BUHORO.

Teinte foncée permettant de délimiter le massif vers le Nord; vers le Sud, extension imprécise du massif.

24. MASSIF ULTRABASIQUE DE NYABIKERE.

Massif ultrabasique associé à un massif gabbroïque et à une zone à nombreux pointements de roche basique; teinte uniforme sur l'ensemble due probablement à l'absence de cuirasse latéritique notamment sur la couverture d'altération des roches ultrabasiques.

25. MASSIF ULTRABASIQUE DE WAGA.

Teinte foncée sur le massif donnant une configuration assez semblable à celle de la carte géologique.

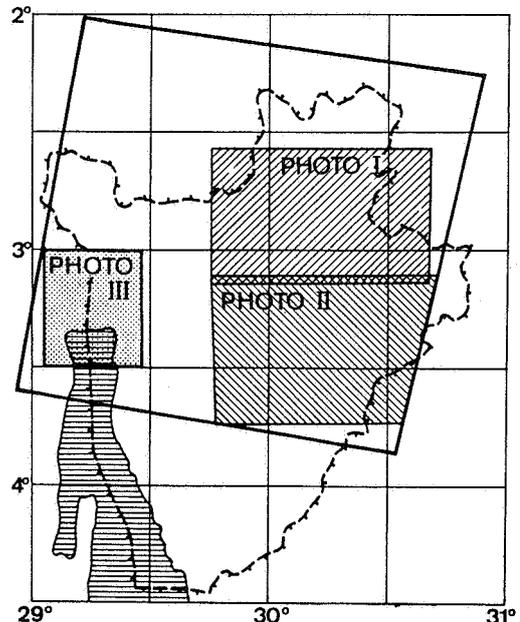


Fig. 5 - Localisation des zones étudiées.

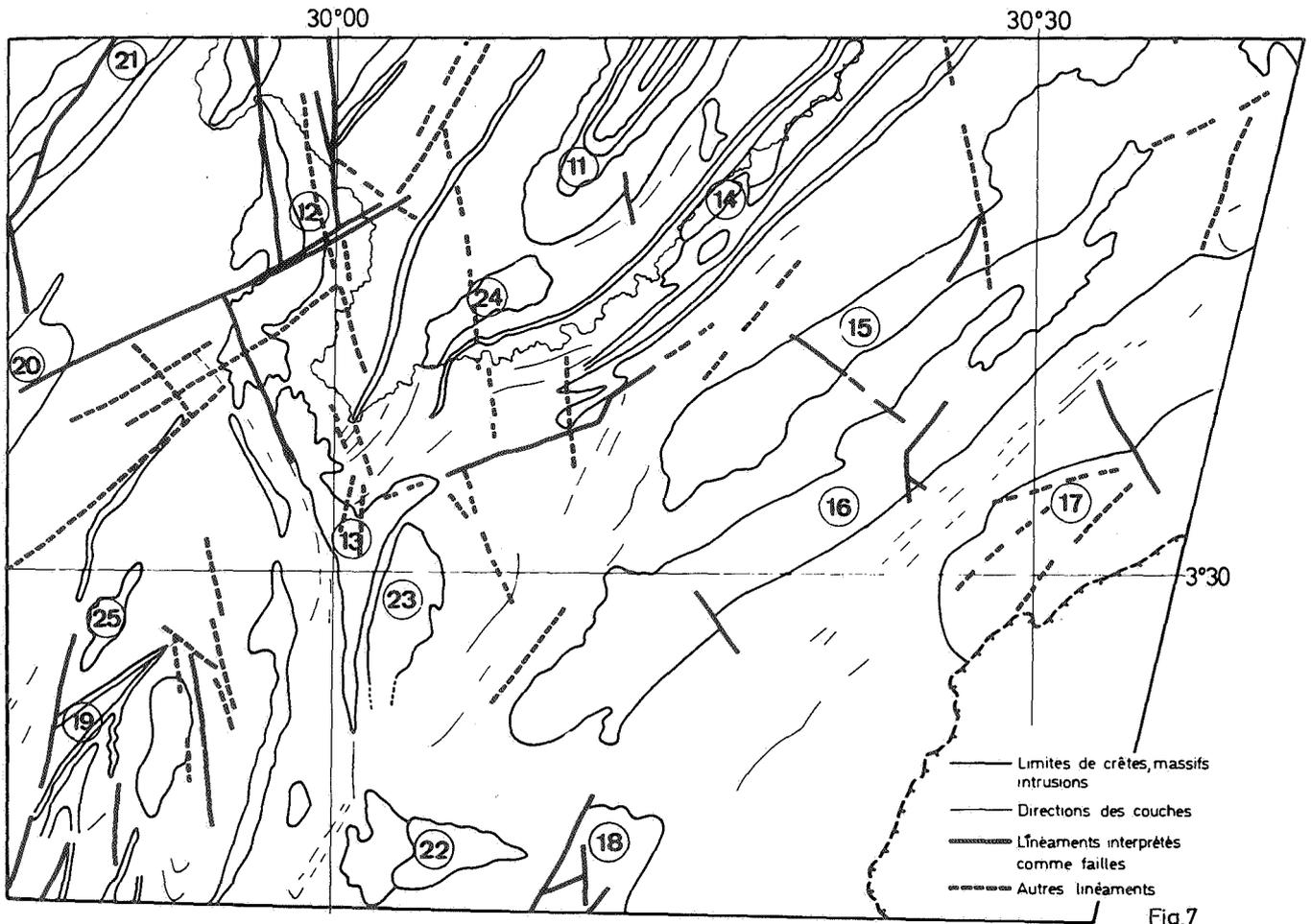


Fig. 7 - Interprétation de la photo II

Fig.7

ANALYSE DES DONNEES MULTISPECTRALES ET DIACHRONIQUES.

La région analysée ici comprend l'extrémité septentrionale du lac Tanganika et la partie méridionale de la plaine de la Rusizi. Sa localisation est indiquée en grisé sur la fig. 5. Cette région est couverte, notamment, par deux images Landsat, celle du 13 septembre 1972 (fin de la saison sèche) et celle du 21 février 1975 (saison des pluies). Pour chaque scène, la Photo III montre les images prises en bandes 4, 5 et 7 (de A à F).

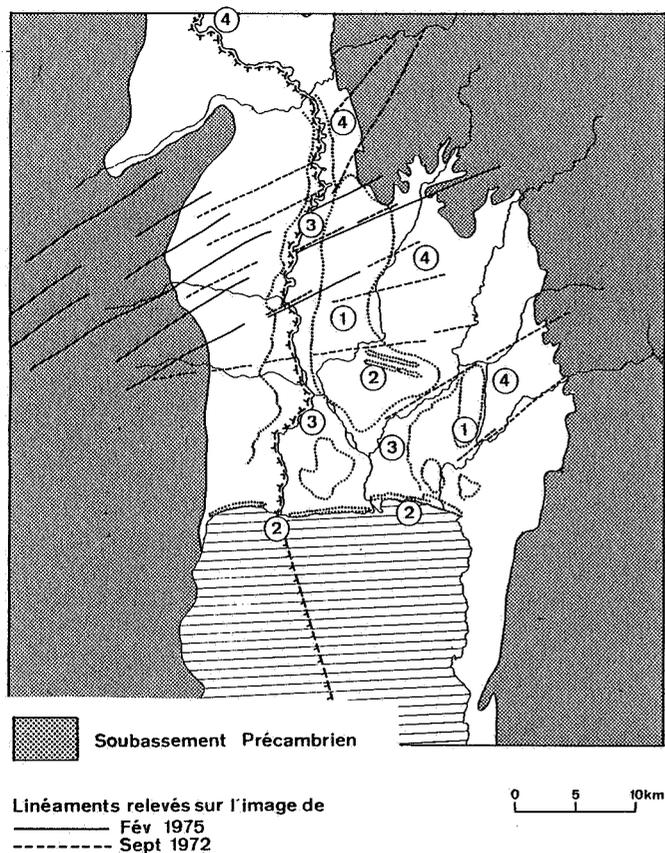


Fig. 8 - Schéma d'interprétation correspondant aux photos III.

Images du 21 février 1975 :

L'image de la bande 4 est toujours la moins contrastée. Elle est plus particulièrement intéressante pour étudier l'eau car cette dernière absorbe peu la lumière de longueur d'onde comprise entre 0,5 et 0,7 microns. La transparence de l'eau permet donc une réflexion des rayons lumineux sur les hauts-fonds du "delta" de la Rusizi ainsi que sur les eaux chargées de sédiments.

La bande 5 donne un aspect semblable mais un peu plus contrasté. Ainsi que la bande 4, elle donne au rivage septentrional du lac Tanganika un tracé erroné pour les faibles profondeurs. La bande 7, par contre, donne une image nette et correcte due à la forte absorption de l'eau pour l'infra-rouge réfléchi proche (0,8 à 1,1 micron).

La bande 5, relativement contrastée, permet souvent d'apprécier le couvert végétal et l'occupation du sol. Des plages claires sont visibles dans la plaine de la Rusizi; elles correspondent, en grande partie, à des étendues de sol

sablonneux. Les bandes claires, allongées en direction Est-Ouest, correspondent à des masses sableuses qui sont rapportées à d'anciens cordons littoraux (Ilunga, 1978).

Les formations alluviales récentes de la Rusizi, plus humides et recouvertes d'une végétation plus dense, apparaissent en gris plus foncé. Il en est de même pour les alluvions fluviales des affluents de la Rusizi.

Si l'eau libre se traduit par des plages noires d'encre sur les bandes 5 à 7, il convient d'être prudent dans l'interprétation de plages semblables. De nombreuses petites plages noires, systématiquement associées aux petits nuages blancs sont ici l'ombre de ces nuages sur le sol. Cette interprétation ne peut cependant être généralisée sous peine de conduire à de grossières erreurs. En effet, nous pouvons observer, en x dans la bande 5 de 1972, une plage noire, laquelle ne se retrouve pas sur la bande 7 de la même scène. Il ne s'agit pas de l'ombre de la masse nuageuse voisine, mais bien d'une zone de forêt. Cette dernière apparaît sur la bande 5 car la chlorophylle présente un important pic d'absorption situé dans la bande allant de 0,6 à 0,7 micron. Cette forêt n'apparaît pas dans la bande 7 pour laquelle les végétaux présentent une réflectance assez importante.

Sur les photos des bandes 4 et 5 de 1975, on peut déceler quelques linéaments parallèles orientés E-NE, apparaissant sur le flanc occidental du Graben (en territoire zaïrois) et dont trois au moins, se prolongent vers l'Est au travers des formations alluvionnaires de la plaine y compris les alluvions fluviales de la Rusizi. La disposition particulière de ces linéaments traduit vraisemblablement un jeu récent de failles qui n'avaient pas été décelées sur les photographies aériennes classiques au 1/50.000.

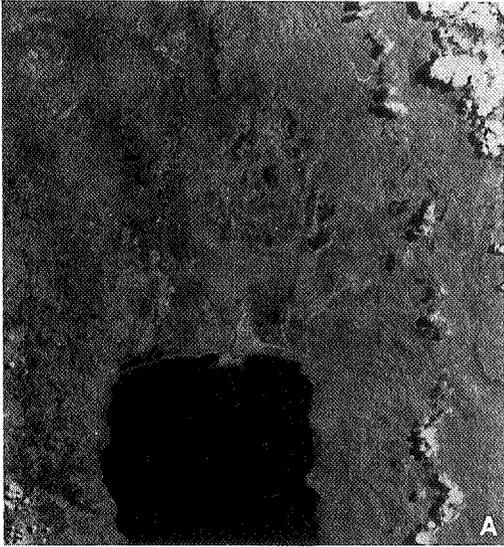
Le phénomène de jeu récent, et même actuel, de failles anciennes dans les régions du Graben d'Afrique centrale, a déjà été signalé, notamment dans la partie septentrionale de la plaine de la Rusizi (L. TACK, 1983). Dans la région du fossé tectonique, Lac Albert-Semliki-Lac Edouard, une importante crevasse a été observée dans des formations pléistocènes meubles, à la suite d'un tremblement de terre en 1966. Cette manifestation superficielle d'une faille a été étudiée par J. LEPERSONNE (1967).

L'image de la bande 7, qui fait apparaître en noir les étendues d'eau libre, montre les bords du graben avec une bonne netteté; par contre, dans la plaine de la Rusizi, les teintes pouvant caractériser les différentes formations superficielles sont moins contrastées et un plus grand nombre d'"artefacts" apparaissent avec plus de netteté que dans les bandes 4 et 5.

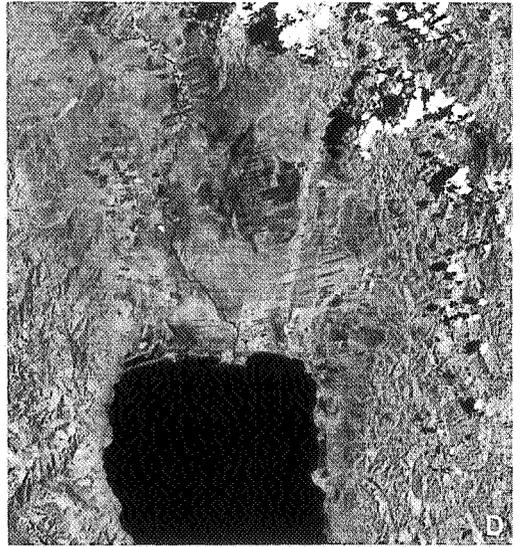
Image du 13 septembre 1972 :

D'une façon générale, les différents aspects relevés dans les bandes 4, 5 et 7 de la scène du 25 février 1975 se retrouvent ici mais avec des teintes moins contrastées et une atténuation de l'impression de relief dans les zones

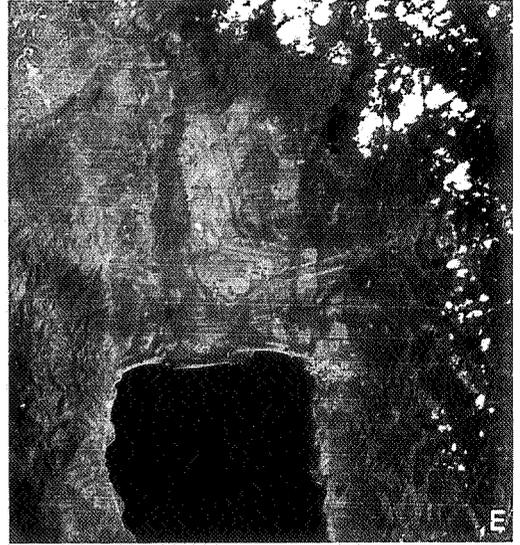
13 septembre 1972 (saison sèche)



21 février 1975 (saison des pluies)



BANDE 7



BANDE 5



BANDE 4

montagneuses. L'image de la bande 4 présente un aspect général flou dû à la présence de brume de saison sèche. L'image de la bande 5 reproduit le même aspect que celle de 1975 mais avec une moins grande variété de contrastes; on peut cependant y déceler le tracé des linéaments traversant la plaine avec une direction E-NE. Enfin, l'image de la bande 7 réduit fortement l'importance des "artefactes" par rapport à l'image correspondante de 1975; cela est dû à l'absence de cultures vivaces à cette époque de l'année.

EXAMEN DE LA COMPOSITION COLOREE.

Les couleurs observables dans cette composition sont essentiellement le bleu, l'orangé (ou ocre) et le brun, avec de nombreuses nuances; le blanc des nuages mis à part.

Les eaux libres, pour autant qu'elles présentent une surface suffisamment grande apparaissent en bleu profond, par exemple le lac Tanganika et la section aval de la rivière Rusizi. La plupart des rivières, cependant, se marquent par un filet orangé. Cette

couleur traduit une végétation relativement dense dans la plaine alluviale, le cours d'eau lui-même étant trop étroit, en regard de la résolution de l'image, pour engendrer une couleur bleue.

Les alluvions de rivières importantes (Rusizi) montrent une teinte foncée bleu-brun due à l'humidité des matériaux (absorption dans la bande 7).

Les crêtes quartzitiques sont soulignées par un bleu soutenu, couleur qui peut être expliquée par la dénudation relative des sommets, l'absence de végétation étant responsable de la non-réflexion dans l'infra-rouge, ainsi que par la composition minéralogique du sol sableux, la réflectance du quartz étant uniformément médiocre dans la gamme de 0,5 à 1,1 micron de longueur d'onde. Il en est de même pour les plages bleu moyen dans la plaine de la Rusizi qui correspondent à des formations sablonneuses couvertes d'une végétation clairsemée.

Les massifs ultrabasiqes (n°22 et 25, fig. 7) se manifestent par une teinte bleue assez foncée due très vraisemblablement au recouvrement latéritique dont les composés de fer ont une faible réflectance (de même que péridots, pyroxènes et serpentine d'ailleurs).

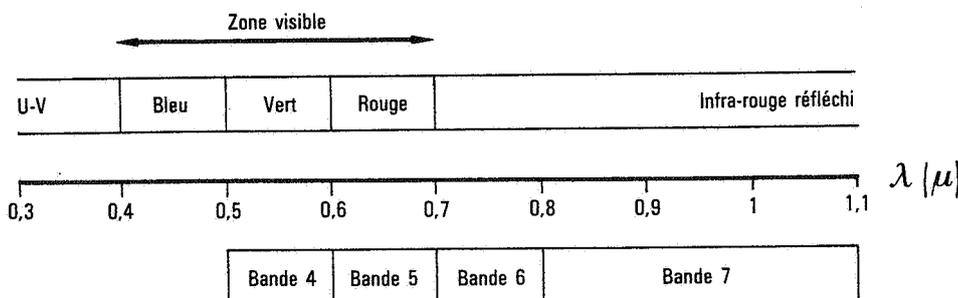


Fig. 9 - Répartition dans le spectre électromagnétique des bandes "imagées" par le capteur de Landsat MSS

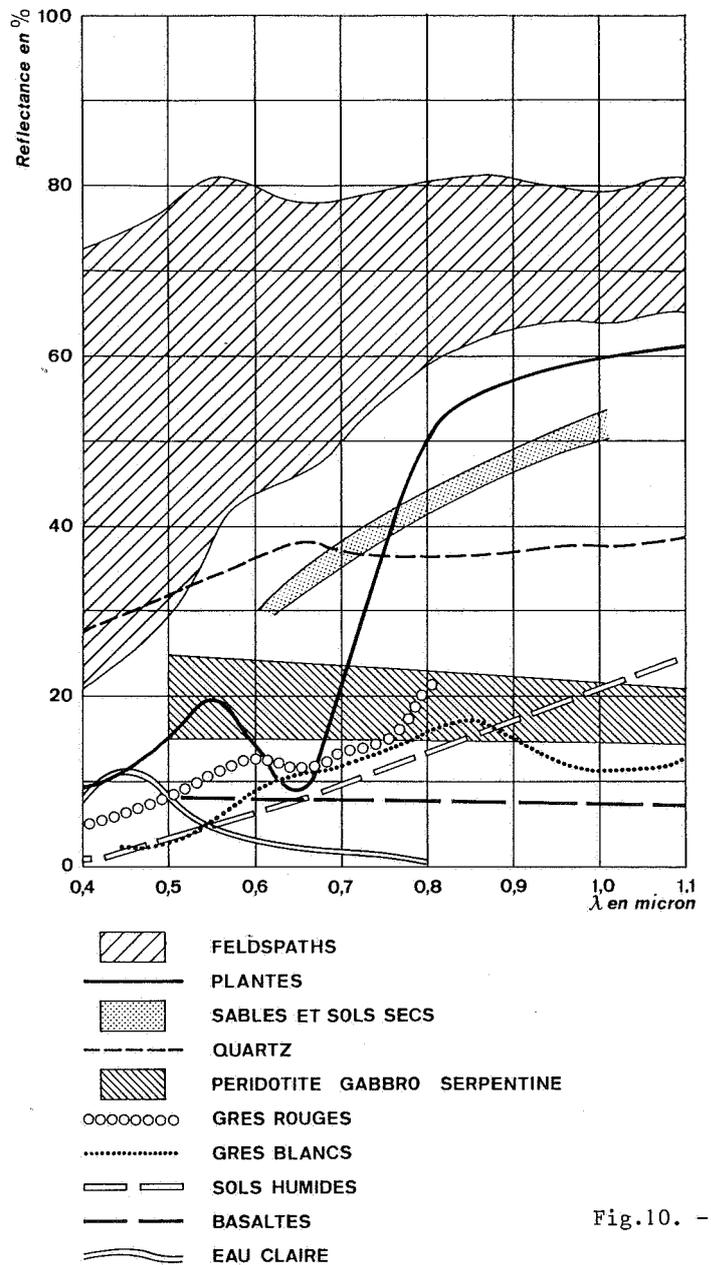


Fig.10. -

Le massif du Kavumwe (Malagarsien) [n° 17, fig. 7] est nettement mieux individualisé sur la composition colorée que sur l'image noir et blanc. En effet, la teinte gris clair représentant le Burundien inférieur (n°16, photo II) se traduit en orangé tandis que le Malagarsien passe du gris moyen à une plage à dominante bleue.

Dans l'ensemble, les couleurs apportent une plus forte sensation de relief et permettent une meilleure observation de certains linéaments.

Le graphique n°10 montrant schématiquement l'allure des réflectances pour quelques éléments naturels, a été réalisé sur la base de données provenant de ZAJCEV et MUKHINA (1956), LAWRENCE (1974), ORSTOM (1977) et REEVES (1975).

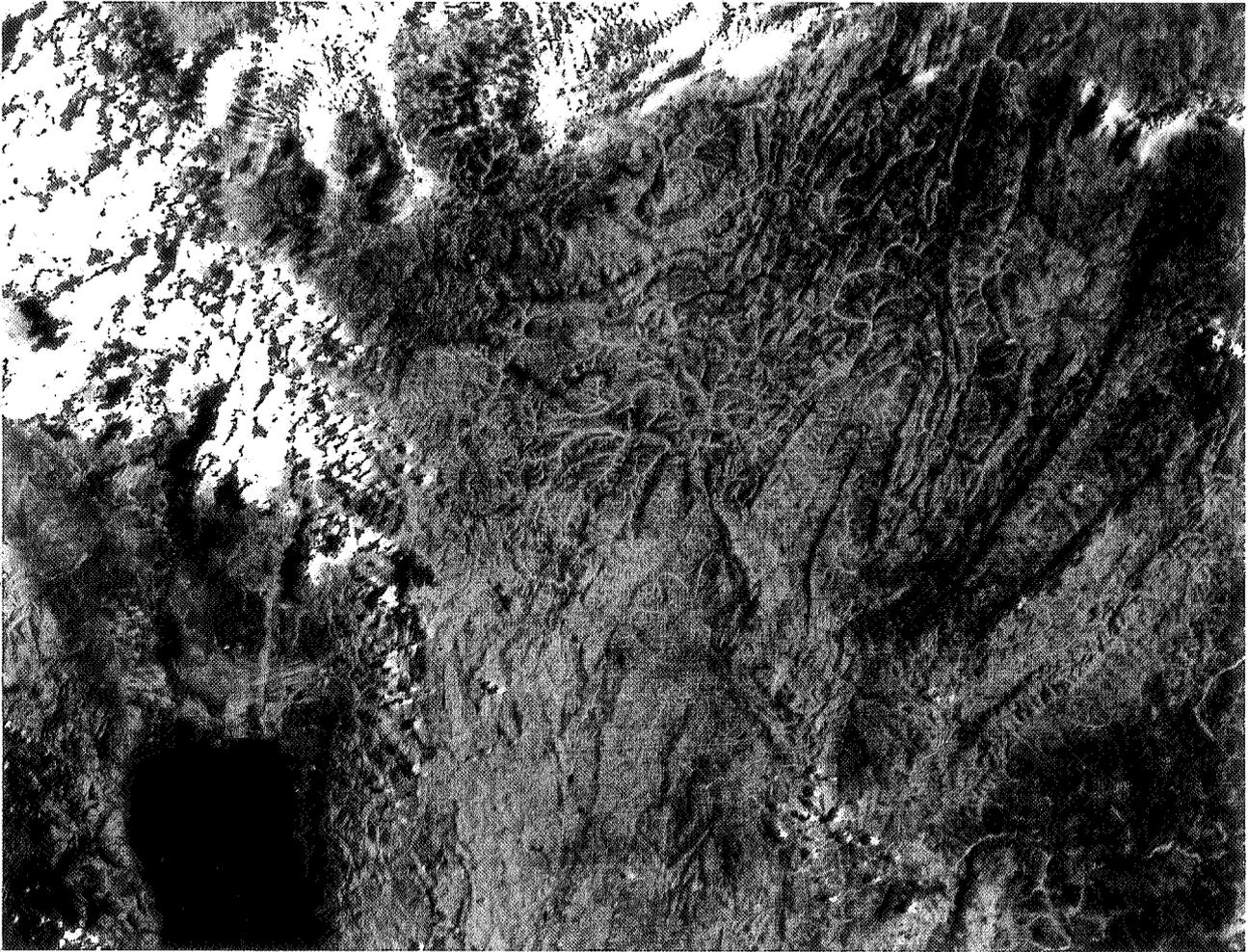


Photo IV - Composition colorée

CONCLUSIONS.

Les informations géologiques, relevées ici uniquement sur des documents analogiques d'images Landsat, s'intègrent très bien aux connaissances détaillées déjà acquises sur la géologie du Burundi par de nombreux travaux sur le terrain ainsi que par des études photogéologiques systématiques.

La comparaison des données met en évidence la validité et la nécessité, d'une étude des images satellitaires préalablement à toute investigation géologique dans une région encore mal connue. Tout comme pour la photogéologie, l'analyse, même sophistiquée par traitement numérique, des images multispectrales de satellites ne peut prétendre remplacer les méthodes conventionnelles; elle les complète heureusement et est capable, principalement au stade de la reconnaissance géologique, de fournir une vue synoptique, de conduire rapidement à la compréhension de différents phénomènes et de leurs relations mutuelles et d'orienter la stratégie.

L'importance de la surface couverte, la petite échelle des images et leur caractère multispectral sont susceptibles de faire apparaître des traits particuliers, notamment des linéaments de grande extension qui échappent souvent aux méthodes classiques de levé.

D'une façon générale, les linéaments peuvent caractériser des ensembles géologiques et constituer un excellent fil conducteur pour la recherche de failles, de zones minéralisées, d'eau, etc...

Notre étude s'oriente dans ce sens, plusieurs milliers de linéaments ayant déjà été relevés sur le territoire du Burundi et leur traitement statistique par ordinateur étant en cours.

REMERCIEMENTS.

Nous remercions vivement la NASA ainsi que le Geological Survey (Eros Data Center) des E.-U., Sioux Falls, South Dakota, pour leurs divers documents dans lesquels nous avons largement puisé.

Nos remerciements également au Patrimoine du Musée royal de l'Afrique centrale qui a bien voulu prendre en charge les frais inhérents à l'impression de la composition colorée.

Jean-Claude RINGEL a réalisé les figures; les travaux photographiques ont été effectués par Christiane VASTMANS.

BIBLIOGRAPHIE.

CLAESSENS, W. et DREESEN, R. (1983) - Carte géologique du Burundi au 1/100.000. Feuille Ngozi (S3/29 - SE). *Min. Trav. Pub. Energie et Mines (Burundi) et Mus. roy. Afr. centr. (Belgique)*.

EROS DATA CENTER, Geological Survey, Sioux Falls, South Dakota, 57198, USA. Diverses documentations.

ILUNGA LUTUMBA KABOTOBOTA (1978) - Cartographie géomorphologique de la plaine de la Rusizi (Zaire - Burundi - Rwanda). *Master Degree Quaternary Geology. UNESCO-IFAQ. Vrije Universiteit, Brussel, 74 p., 2 cartes.*

LAWRENCE, C. *et al.* (1974) - Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in South-central Nevada by the use of computer-enhanced Erts images. *Geol. Survey professional Paper 883, 35 p.*

LEPERSONNE, J. (1968) - Les failles du fossé tectonique Lac Edouard - Semliki-Lac Albert. *Rapp. ann. 1967, Dépt. Géol. Min. Mus. roy. Afr. centr., Tervuren. pp. 27-31, 1 carte.*

NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbeld, Maryland, 20771, USA - Diverses documentations.

ORSTOM (1977) - Télédétection I - Initiations. Documentations techniques n° 34, BONDY.

REEVES, R. G. *et al.* (1975) - Manual of Remote Sensing, Falls Church, Virginia, *American Society of Photogrammetry, 2 vol.*

SABINS, F. F. (1978) - Remote sensing, Principles and Interpretation, San Francisco, *W. H. Freeman and Co.*

SIGAL, B. S. et GILLESPIE, A. R. (1980) - Remote Sensing in Geology, *J. Wiley.*

TACK, L. et DE PAEPE, P. (1983) - Le volcanisme du Sud-Kivu dans le nord de la plaine de la Rusizi au Burundi et ses relations avec les formations géologiques avoisinantes. *Rapp. ann. 1981-1982, Dépt. Géol. Min. Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, pp. 137-145.*

WALEFFE, A. (1979) - Carte géologique du Burundi au 1/100.000. Feuille Mwishanga (S4/30 - SO). *Minist. Geol., Mines et Industr. (Burundi) et Mus. roy. Afr. centr. (Belgique)*.

WALEFFE, A. (1981) - Carte géologique du Burundi au 1/100.000. Feuille Cankuzo (S4/30 - NE et S4/30 - SE pars). *Min. Ener. et Mines (Burundi) et Mus. roy. Afr. centr. (Belgique)*.

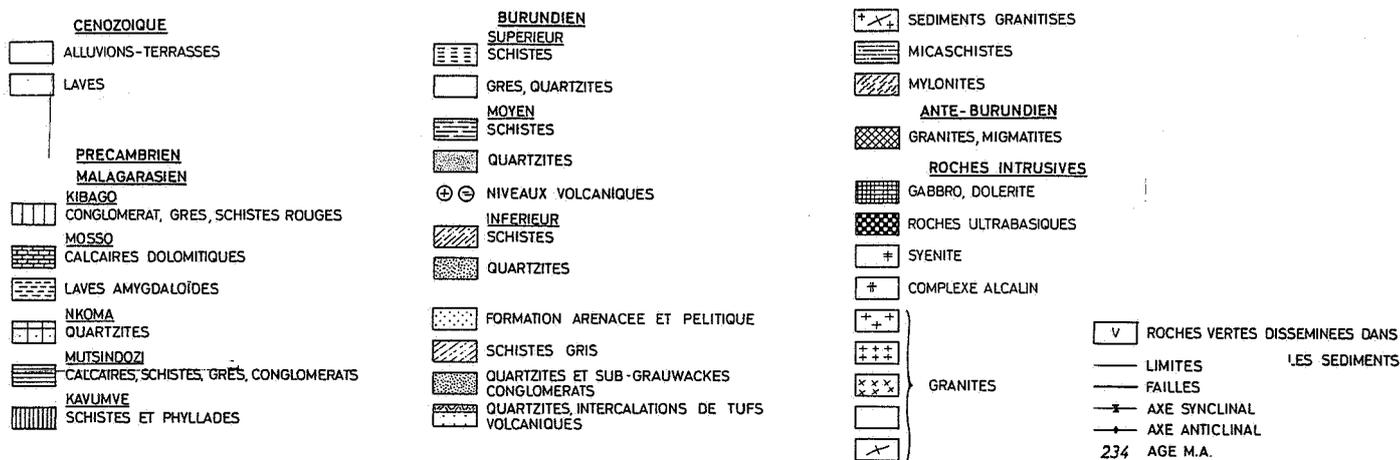
ZAJCEV, A. et MUKHINA, L. A. (1956) *in* SCANVIC, J. Y. (1983) - Utilisation de la télé-détection dans les sciences de la Terre. *Manuel n° 7, B. R. G. M.*

ESQUISSE GEOLOGIQUE DU BURUNDI au 1/250.000 (1983) - Document synthétique inédit préparé par le Département de Géologie et de Minéralogie du Musée royal de l'Afrique centrale.

CARTES GEOLOGIQUES DU BURUNDI à l'échelle 1/100.000, feuilles Muyinga, Ruyigi, Gitega, Bururi, Rumonge en préparation. *Minist. Trav. publ. Energ. et Mines (Burundi) et Mus. roy. Afr. centr. (Belgique)*.

ARCHIVES DU DEPT. GEOL. ET MIN. DU MUS. ROY. AFR. CENTR., Tervuren (Belgique) et du MIN. TRAV. PUBL. ENERG. MINES (Burundi) - Observations de terrain, études photogéologiques, notes et documents inédits de L. CAHEN, R. DREESEN, W. CLAESSENS, J. GERARDS, D. KARAYENGA, J. KLERKX, J.-C. LAMBEAU, J. LAVREAU, J. LAWERMAN, J. LEPERSONNE, J. RADULESCU, L. TACK, K. THEUNISSEN, A. WALEFFE. Que les oubliés nous pardonnent.

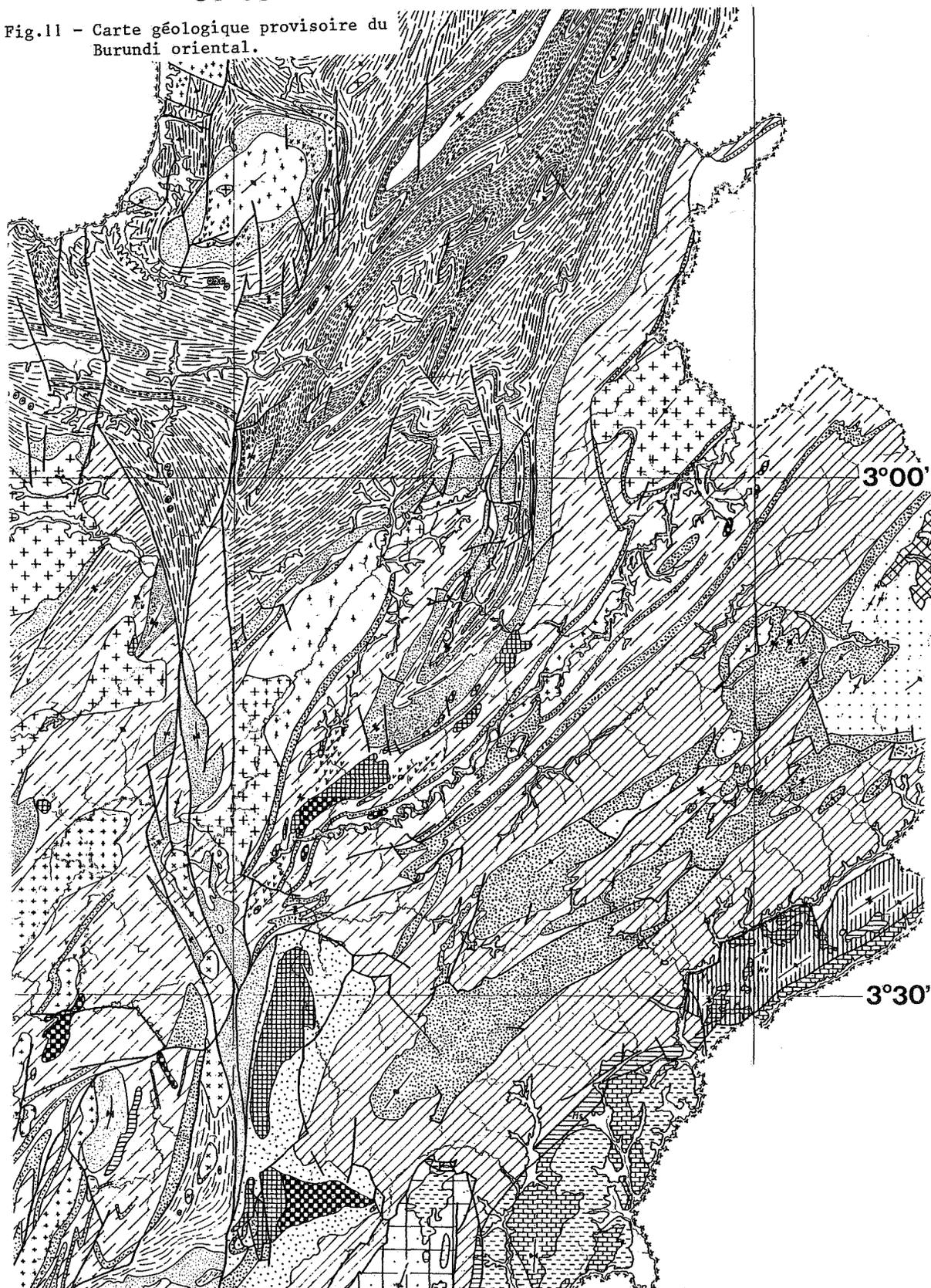
Légende de la carte géologique provisoire du Burundi oriental.



30°00'

30°30'

Fig.11 - Carte géologique provisoire du Burundi oriental.



SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

(Association sans but lucratif)

C.C.P. 000-0145219-10

Rue Jenner 13
1040 BRUXELLES

Demande d'admission

Je soussigné (1)

.....
.....

demande mon admission comme membre effectif (2) de la
Société Belge de Géologie à Bruxelles.

Je m'engage à en observer les statuts.

Date

Signature

Signatures des deux parrains :

(1) Nom, prénom, titre et adresse.

Pour les sociétés, indiquer la dénomination et le siège social et désigner
les nom, prénom et titre d'un délégué.

(2) La cotisation, pour l'année 1983....., est fixée à**850**..... F.

Formulaire à renvoyer, dûment rempli et signé, à l'adresse de la Société.

BELGISCHE VERENIGING VOOR GEOLOGIE

(Vereniging zonder Winstbeleg)

P.C.R. 000-0145219-10

Jennerstraat 13
1040 BRUSSEL

Toetredingsaanvraag

Ik, die onderteken (1)

.....
.....

verzoek hiermede als werkend lid (2) tot de Belgische Vereniging
voor Geologie, toe te treden.

Ik verbind mij tot het naleven der statuten.

Datum

Handtekening

Handtekening van twee voorstellers :

(1) Naam, voornaam, titel en adres.

Voor verenigingen, naam en maatschappelijke zetel opgeven, alsmede de
naam, voornaam en titel van een afgevaardigde opgeven.

(2) Het jaarlijks lidgeld bedraagt**850**..... F.

Behoorlijk ingevuld en getekend formulier terug te zenden aan de Vereniging.