

CONTRIBUTION DE L' IMAGE SPATIALE LANDSAT A LA COMPREHENSION DE LA MORPHOLOGIE DES MANDARA, NORD-CAMEROUN

Contribution of the Landsat imagery to the interpretation
of the geomorphology of the Mandara Mts , Northern Cameroon

R. ETONGUE MAYER*

ABSTRACT

In the Mandara highland, the morphological level of surfaces is investigated using Landsat imagery. An exploitation is proposed based on the relationship between lineament and terracing.

RESUME

La morphologie étagée des surfaces en socle est étudiée à travers les Monts Madara. Les possibilités offertes par l'image satellitaire Landsat sont exploitées.

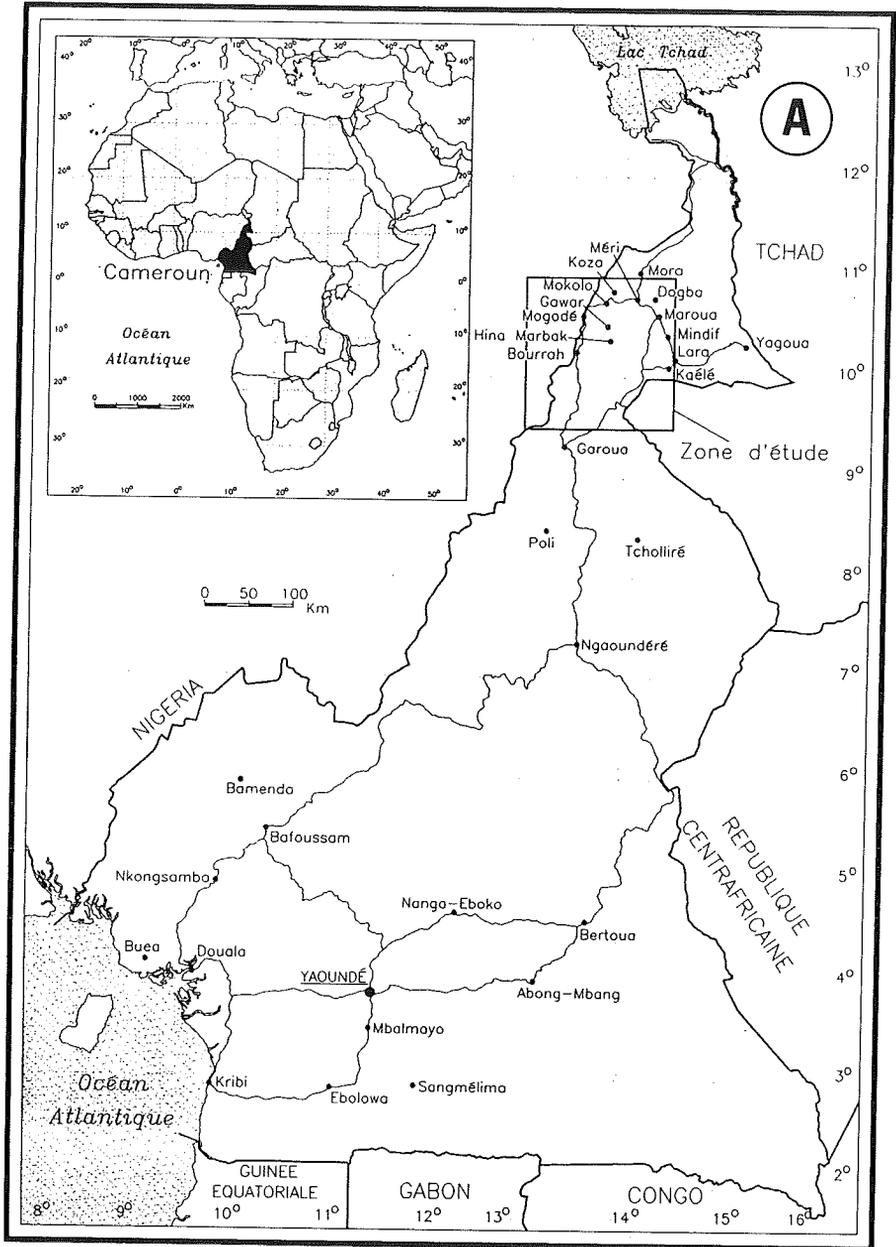
Une explication d'ensemble est proposée à partir des relations entre les linéaments et le phénomène d'étagement des surfaces.

INTRODUCTION

Les Monts Mandara constituent l'unité la plus septentrionale des hautes terres camerounaises. Elles s'articulent en une série de surfaces rocheuses étagées dont les altitudes varient entre 650 et 1000 mètres. Elles sont dominées par de grands massifs (Monts Matakam, 1442 m, Ziver 1412 m, Ldengdeng 1305 m, Movoy 1069 m). Au nord, les Monts Mandara sont limités par la dépression tchadienne. A l'est, et au sud-ouest, leur retombée rejoint les surfaces aux profils calmes de Maroua (Fig. 1).

De forme allongée, les surfaces rocheuses des Mandara couvrent approximativement une superficie de 5.200 Km² dans une direction méridienne. Les grands courants de pensée présents dans l'explication des formes plus ou moins planes en socle précambrien font de ces surfaces des produits d'une longue érosion hydrique. Dans le cas des Mandara, des interrogations sont encore permises puisque l'explication de leur

* Département de Géographie, Université Laurentienne, Chemin de la Ramsey, Sudbury, Ontario, P3E2C6, Canada



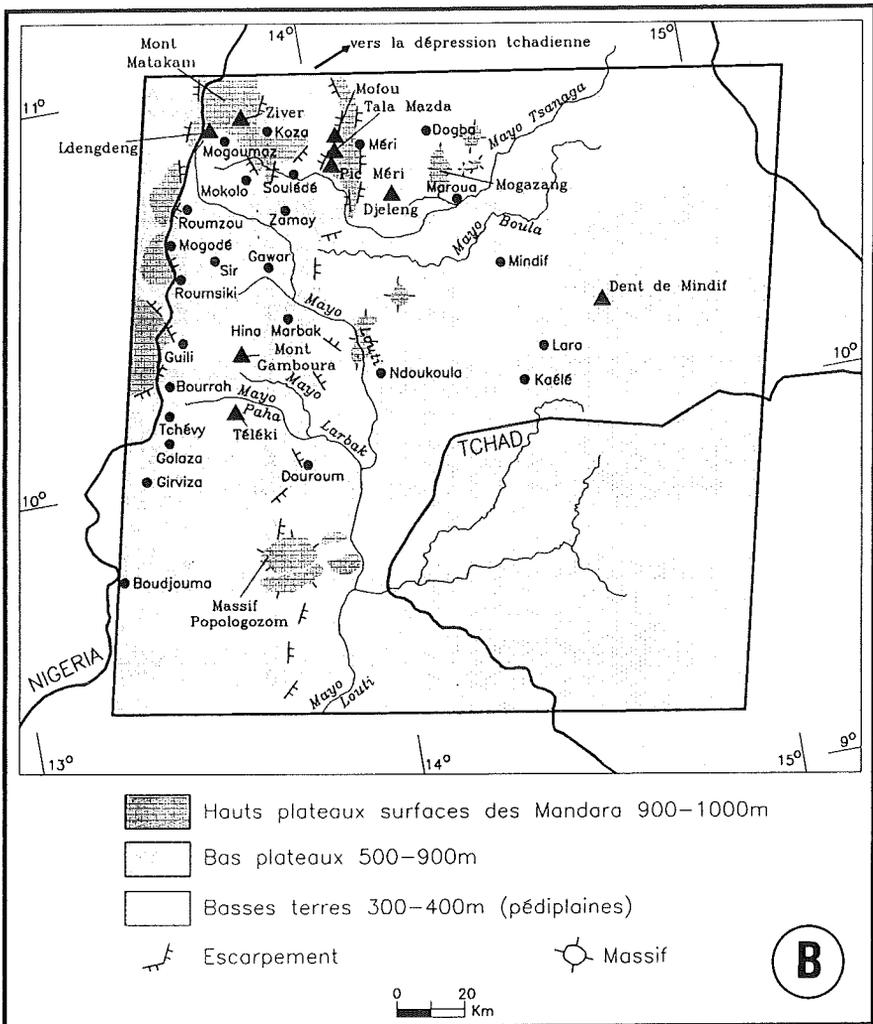


Fig.1. - a. Carte de localisation
 b. Topographie, hydronymes et toponymes

étalement n'a toujours pas fait l'unanimité parmi les scientifiques. D'aucuns pensent que la genèse de ces surfaces se trouve dans la tectonique cassante (GEZE, 1943; DUMORT & PERRONE, 1966). A l'opposé de cette perception, SEGALIN (1967) explique l'étalement des Mandara par le scénario de "cycles morphogénétiques" tel que souligné par L.C. KING en Afrique du Sud. Le caractère synoptique de l'image spatiale Landsat rend possible des observations qui permettent de mieux comprendre les mouvements tectoniques ayant affecté la partie supérieure de l'écorce terrestre. Ces mouvements se traduisent par des déformations souples, coulissantes, ou cassantes. La reconnaissance de l'importance du facteur tectonique dans la disposition des reliefs étagés sur socle précambrien au Cameroun septentrional est un argument solide dans l'explication de l'origine des Mandara. Cette importance procède de l'étude des réseaux linéamentaires observables sur les images satellitaires. Ces marqueurs de volumes rocheux lors des événements tectoniques sont de plus utilisés comme repère en morphologie structurale.

L'objet de la présente note est d'aborder la région des Mandara avec une construction théorique peu coutumière. Il s'agit pour nous de récuser l'approche verticaliste qui fait des formes de terrain le produit d'agents exogènes tel que l'eau. Nous étudierons plutôt ces formes dans une perspective horizontale c'est-à-dire dans la dynamique des rapports mouvement / forme. La lecture des images spatiales en constitue un point de départ remarquable puisqu'elle permet de relever plusieurs discontinuités souvent imperceptibles sur le terrain et même sur les documents existants (cartes topographiques, géologiques, géomorphologiques).

Nous préciserons le cadre topographique de l'espace référentiel, sa nature géologique, relèverons ensuite les informations fournies par les images satellitaires Landsat, ferons une analyse des relations géologie-morphologie-linéaments avant d'interpréter les rapports entre les différents faits.

CADRE TOPOGRAPHIQUE

L'un des traits majeurs de l'ensemble des formes présentes dans le massif des Mandara est celui d'une topographie plus ou moins plane inscrite dans des surfaces rocheuses. Ces surfaces rocheuses témoignent de profils calmes et trapus. Ils sont accidentés çà et là par d'imposants massifs dont plusieurs sont isodiamétriques. Certains de ces massifs culminent à plus de 1400 m (Oupay, 1442 m, Ziver, 1412 m), (Fig. 1b). Comment s'agencent ces surfaces ? On y suit trois séries de surfaces rocheuses dominées par quatre groupes de montagnes.

Séries de surfaces rocheuses

Le premier groupe comprend des surfaces aux profils moutonnés et dont l'altitude varie entre 650 et 750 mètres. Elles occupent le centre du massif des Mandara, le cours supérieur de la Tsanaga et le moyen Louti. Elles sont orientées selon une direction méridienne. De toutes ces surfaces, seule celle du moyen Louti est fortement entaillée. De nombreux petits cours d'eau exploitent timidement ces entailles. Ce premier groupe de surfaces est limité à l'est par un bourrelet continu dont les principaux points culminants sont: Tala Mazda (1005 m), Zoulgo (1141 m), Pic de Méri (884 m), Moufou (935 m) et Djeleng (925 m).

Le deuxième groupe correspond aux surfaces dont l'altitude moyenne est de 800 m. Les régions de Mokolo, de Tchévy, de Bourrah et de Guili appartiennent à cette série. Ces surfaces relativement planes sont souvent percées de petits massifs isodiamétriques qui créent des dénivellations dépassant à peine 200 m. Ces massifs aux pentes plus ou moins douces sont marqués par d'importantes entailles profondes, parallèles et/ou subparallèles orientées W-E. Leur disposition ainsi décrite commande une bonne partie du réseau hydrographique à tendance dendritique.

Le troisième groupe est composé de ce qu'on appelle communément le haut plateau. Il renvoie à la région des Kapsiki dont l'altitude moyenne est supérieure à 1.000 m. Vers l'est, cet ensemble est délimité par un talus festonné souvent interrompu que l'on suit de Moukoulveu à Fti.

Ensembles montagneux

Du nord au sud, nous distinguons les Monts Matakam composés de trois principaux massifs (Oupay, Ziver et Ldengdeng), les Monts Téléki-Gamboura (Movoy 1069 m, Plaon 920 m). Cet ensemble montagneux est témoin d'un remarquable réseau de dispositifs linéaires qu'empruntent les Mayo Bokwa, Paha, Téléki, Djifi et Oulo. Toutes ces rivières sont à guidage tectonique. Leur orientation est WNW-ESE.

Autour du triangle Boudjouma-Douroum-Guirviza, à l'extrême sud de Mokolo, s'articulent de manière confuse plusieurs petits massifs isodiamétriques (hosséré Ouroum 1257 m, hossieré Kobotchi 998 m). Ils sont orientés WNW-ESE. Leurs retombées sont peu affectées par l'érosion. Seules les vallées des Mayo Tiel et Dazal témoignent d'importantes actions érosives avec un relatif recul de tête de vallée. Plus au sud de l'ensemble précédent, se situe le massif de Popologozom (1165 m). Il est d'allure cônique et est entaillé par de petits dispositifs linéaires orientés WSW-ESE et ENE-WSW. Ces entailles sont empruntées par de petits cours d'eau à écoulement temporaire.

CADRE GEOLOGIQUE

L'essentiel de la géologie des Mandara est celle des formations précambriennes dominées par des migmatites et par des granites d'anatexie (fig. 2). Les migmatites (gneiss migmatitiques, embréchites à biotite, amphiboles et pyroxènes) forment les régions de Zamay, Gawar, Hina-Marbak. Leur structure est soit ocellée, soit rubanée. Par rapport aux autres formations, ces migmatites ont été fortement érodées. La vallée de la haute Tsanaga entre Mokolo et la cote 846 au nord de Gadala en constitue un exemple.

Les granites d'anatexie se répartissent dans les secteurs de Mora, Koza, Méri, Sir, Bourrah, Mousgoy et Dourbeye. S'y associent des granites syntectoniques anciens, les granodiorites, les granulites et les granites concordants. Leur structure plus ou moins orientée est moins précise. Ils forment les reliefs les plus en saillie.

Les anatexites sont très répandues. Elles présentent une forte proportion de biotite, d'amphiboles et de grenat. Elles constituent plus des 2/3 des plateaux. Dans les régions de Liri et de Hina-Marbak, des quartzites micacés sont associés de manière concordante aux autres roches métamorphiques. Sur le terrain, ces lentilles de quartzites se présentent sous forme de collines allongées N-S (région de Liri), ENE-WSW (région

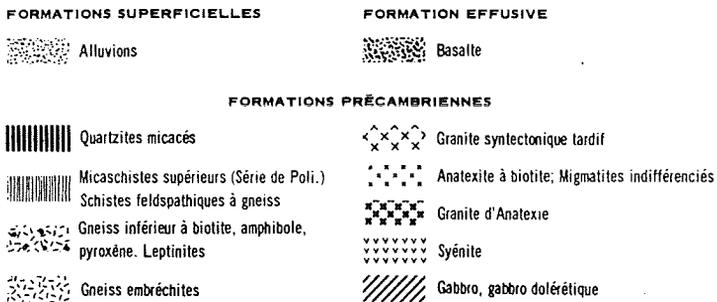
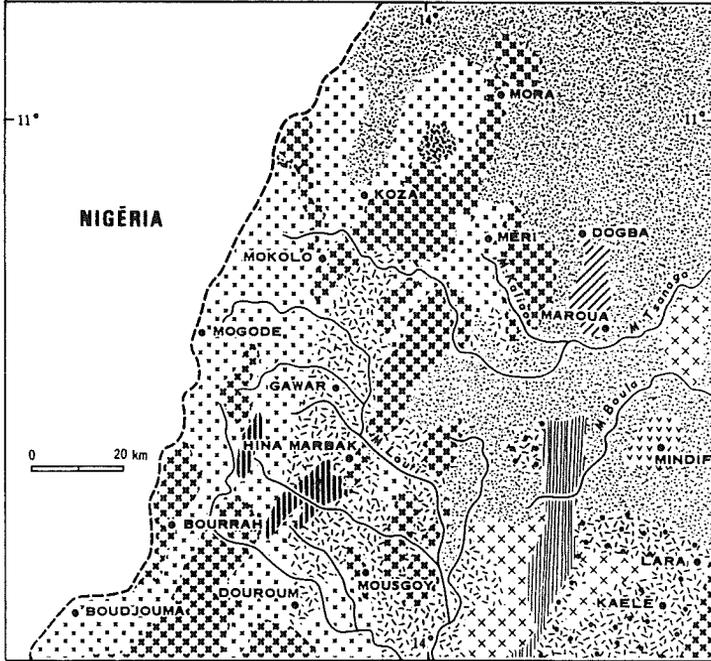


Fig.2. - Croquis géologique de la région des Mandara (d'après la carte géologique de la République Unie du Cameroun, Direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé)

de Hina Marbak). A toutes ces formation métamorphiques, il faut ajouter les roches effusives (trachytes, andésite, dolérites) de Golda, de Zoulva, des Kapsiki et les basaltes de Roumsiki. Les épanchements trachytiques du plateau des Kapsiki ont souvent l'allure

d'aiguilles élancées qui rappellent des reliefs de type péleén. Ils sont de composition sodi-potassique.

DESCRIPTION DES DISPOSITIFS LINEAIRES ET INDICATION DES PHASES TECTONIQUES

Lors de nos travaux en laboratoire et sur le terrain, deux directions tectoniques prépondérantes ont été notées. Elle appartiennent aux quadrants NW et NE. Ces directions sont complétées par des axes séquents et des dispositifs circulaires au tracé tantôt incertain.

Informations obtenues à partir des images satellitaires

Les dispositifs linéaires se répartissent suivant trois ordres de grandeur: grande extension ou mégalinéament, extension moyenne, extension réduite (fig. 3).

Dispositifs de grande extension

Les dispositifs de grande extension sont longs de 100 kilomètres au moins. Ils regroupent 1,8% de tous les dispositifs observés. Ils affectent indifféremment les formations précambriennes des Mandara et les formations superficielles de surfaces planes du secteur de Maroua, ceux de Méri (N 30° W à N 56° W), ceux de Mogoumaz (N 30° W), ceux de Bourrah (N 47° à N 69° ouest), ceux de Ndoukoula (N 41° à N 77° W) en constituent des exemples.

Dispositifs linéaires d'extension moyenne

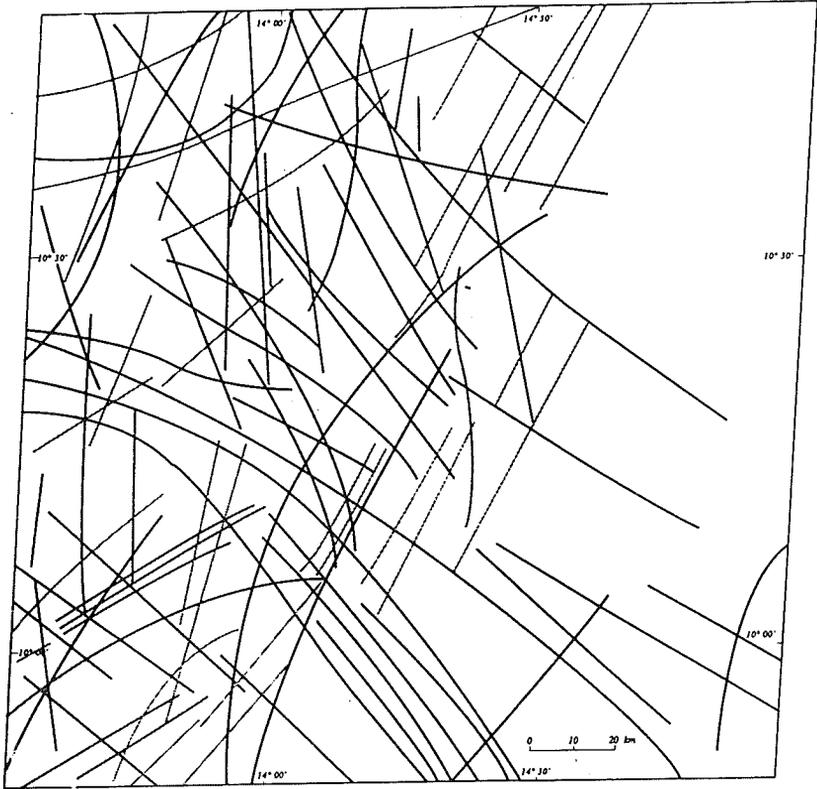
Les dispositifs d'extension moyenne sont longs d'au moins 50 kilomètres. Cette deuxième classe groupe 12,6% des éléments de tous les dispositifs linéaires détectés par l'image satellitaire Landsat. Plusieurs éléments de cette classe s'accompagnent d'une bande de mylonite à l'instar de celle de la surface tabulaire de Méri. Ils déterminent également de nombreux escarpements (Zoulva, Méri).

Dispositifs linéaires d'extension réduite

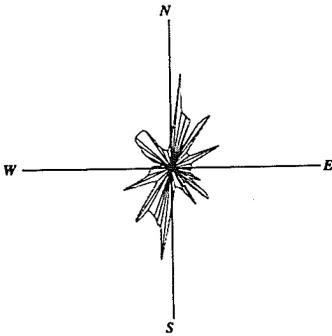
Leur répartition spatiale est très continue (85,6% des accidents). Ils se distribuent suivant deux directions majeures N 2° à N 83° W, et N 4° à N 83° E. A cette répartition spatiale des dispositifs linéaires s'ajoutent plusieurs dispositifs circulaires de taille et d'allure variables. Leur présence dans les migmatites soulève des réflexions. Que représentent-ils exactement? Sont-ils des manifestations des forces giratoires agissant dans le manteau? Ils se situent soit à proximité de mylonite, ou entre deux linéaments soit encore sur un linéament. A quoi correspondrait leur présence ainsi localisée ?

La direction majeure

Le traitement statistique des dispositifs linéaires du secteur des Mandara fait apparaître une grande direction N 2° à N 40° E (fig. 3). Cette direction regroupe 13,3%



**ROSACE DES DIRECTIONS
TECTONIQUES**



- Dispositifs de grande extension
- Dispositifs de moyenne extension
- Dispositifs de petites extension

Fig. 3. - Grandes directions tectoniques (tirées de MSS 5 et 7, du 2 novembre 1977, 198 - 53 LANDSAT 2) (avec la collaboration de F.CHARRON)

des dispositifs observés. C'est à elle qu'appartient le système NNE-SSW des SARCIA (1952). Elle affecte les Monts Matakam, la zone charnière comprise entre Koza et Mokolo suivant un parallélisme dont la fréquence d'espacement varie entre 0,5 et 0,7 kilomètre. Plus au sud, dans les régions de Bourrah et de Mousgoy, cette fréquence s'amplifie pour atteindre 10 kilomètres. A l'Est, entre Mousgoy et Mindif, puis entre Méri et Dogba, la même tendance se conserve.

Les directions secondaires

Elle regroupent 86,7% des directions relevées. Trois classes principales N 55° à N 75° E, N 10° à N 40° W et N 50° à N 60° W se démarquent de tous les autres éléments de cette classe. Ces directions secondaires se retrouvent dans toute la région étudiée sans préférence spatiale.

Que penser de toutes ces informations obtenues par l'étude des images spatiales Landsat ? Les différentes directions tectoniques détectées traduisent certes l'importance des mouvements crustaux et des accidents tectoniques. Ces accidents se manifestent sous forme de discontinuités (faille, fracture) dans ce territoire. En morphologie, le rôle de ces accidents est connu. Il est donc permis d'établir des corrélations entre les unités de relief et ces directions. Ces corrélations sont significatives dans les rapports entre la morphologie et les mouvements de la "surface primitive". Que sont donc les Mandara ? Une surface taillée dans le précambrien fracturée et portée à des altitudes différentes par les mouvements tectoniques. ?

Avant de procéder à l'interprétation des faits, dégageons les relations entre la géologie, la morphologie et les linéaments. Les volumes rocheux qui constituent l'essentiel des Mandara sont des formations précambriennes à dominance gneissique. Ils datent d'une époque très ancienne au cours de laquelle plusieurs événements tectoniques ont eu lieu. Les formations superficielles (alluvions) et les formations volcaniques sont plutôt ponctuelles.

Le trait morphologique majeur des formations précambriennes est leur disposition en marche d'escalier. Les limites des différentes marches correspondent aux accidents linéaires qui du reste affectent tout le massif des Mandara et les basses terres environnantes. Ces accidents sont assimilés aux linéaments dont l'importance dans la morphologie sera soulignée dans la section subséquente.

INTERPRETATION ET CORRELATIONS ENTRE LES FAITS

L'étude de l'image spatiale Landsat de la région étudiée montre que les Mandara sont très tectonisées. L'importance et la densité des dispositifs linéaires et leur concentration relative sur les rebords des surfaces rocheuses étagées ainsi que sur leur charnière de raccordement sont de indices quant à l'hypothèse d'un jeu de blocs. Ces dispositifs, marqueurs des formations géologiques apparaissent aussi bien dans les

formations précambriennes que dans les formations sédimentaires avec une remarquable continuité clarifiant leur chronologie. Il y aurait eu une alternance mouvement de compression - mouvement de distension avec d'importants pics au Précambrien, au Secondaire, au Tertiaire et même au Quaternaire. Ces jeux semblent être régionaux. Les mouvements radiaux quant à eux seraient plutôt locaux. Les nombreux dispositifs circulaires du plateau Jos au Nigéria appartiennent à ces mêmes jeux. Ils sont de nos jours présentés comme des manifestations de points chauds.

L'étagement des surfaces rocheuses des Mandara serait directement en rapport avec les mouvements tectoniques horizontaux et verticaux ayant affecté toute la surface camerounaise dès le Précambrien. Cette région appartenant à la zone mobile d'Afrique Centrale (BESSOLES et TROMPETTE, 1980) et devant le large consensus des théories de l'expansion des fonds océaniques et de la tectonique des plaques, et de celle des points chauds, il devient impossible d'étudier la morphologie des Mandara en dehors de son contexte structural c'est-à-dire, précisément celui de la zone mobile de l'Afrique Centrale. L'intégration de toutes ces théories clarifierait mieux que toutes les autres le phénomène de fracturation. Les rapports avec la morphologie des plateaux des Mandara soutendraient leur caractère étagé.

L'environnement morphotectonique du Cameroun septentrional est dominé du Nord au Sud par la présence des Mandara (série de surfaces rocheuses discontinues), la déchirure tectonique de la Bénoué au centre (bassin versant de la Bénoué), la surface rocheuse de l'Adamaoua avec ses importants épanchements volcaniques et ses nombreux massifs isodiamétriques à orientation précise. C'est vraisemblablement de la lecture des interrelations entre ces différents faits que jaillirait la compréhension théorique de la mise en place des Mandara.

Sous quel scénario les Mandara se seraient-ils mis en place ? La reconstitution théorique de ce scénario tiendrait compte aussi bien de la tectonique générale que de la tectonique régionale. Trois idées (présence des points chauds sur le continent, diapirisme du manteau accompagné d'un amincissement de l'écorce terrestre, détection du parallélisme des grandes familles de linéaments qui expliquent les multiples jeux de serrage et de distension) peuvent, dans l'état actuel des connaissances guider cette reconstitution. L'étude des images spatiales de cette partie du Cameroun relève plusieurs dispositifs circulaires (ETONGUE-MAYER, 1984, 1988, 1989). Plus à l'ouest de cette même région, sur le plateau Jos au Nigéria ces mêmes dispositifs ont été observés (CHUKWU & NORMAND, 1977. SCHEIDEGGER & AJAKAYE, 1985). Ces derniers les relient à la présence d'un point chaud dont ils traduiraient la trajectoire. Des corrélations entre ces observations et l'existence de la déchirure tectonique de la Bénoué et la morphologie des surfaces rocheuses étagées de part et d'autre de cette même déchirure introduisent les notions d'amincissement de l'écorce terrestre du diapirisme du manteau (NEUGEBAEUR, 1983).

CONCLUSION

L'image spatiale Landsat a permis de lire les principales directions manifestées par les mouvements ayant affecté cette partie du Cameroun dès le Précambrien. La détection

de ce maillage tectonique a facilité la relecture de la morphologie de ces surfaces inscrites dans les formations rocheuses. Cette relecture s'est faite suivant la théorie des formes en milieu consolidé (LAPLANTE & RITCHOT, 1984). Une des conclusions à tirer de ces premières remarques semble établir que les dispositifs linéaires et circulaires s'organisent suivant des séquences morphotectoniques bien particulières. Ces séquences se structurent dans la suite logique du rapport mouvement./forme. Il serait donc permis de récuser partiellement l'hypothèse des causalités externes comme facteur essentiel dans l'explication des formes précédemment décrites.

BIBLIOGRAPHIE

- BESSELES, B., TROMPETTE, R., 1980. *Géologie de l'Afrique*. La chaîne panafricaine, zone mobile d'Afrique Centrale, (partie sud) et zone mobile soudanaise. Mémoire B.R.G.M., No 92, 396 p. Paris.
- CHUCKWU, I.M., NORMAN, J.W., 1977. Mineralized crustal failures shown on satellite imagery of Nigeria. *Trans. Inst. Min. Metall.*, B, 86, B55-B57.
- DUMORT, J.C., PERRONNE, Y., 1966. Notice explicative sur la feuille Maroua. Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 1/500 000.
- ETONGUE MAYER, R., 1984. Télédétection et cartographie du potentiel géohydrologique de la région de Mokolo, nord Cameroun. Laboratoire de Télédétection, Département de Géographie, Univ. de Sherbrooke, Mém. Master Degree, 133 p.
- ETONGUE MAYER, R., 1988. Contribution préliminaire de la télédétection à l'exploitation des eaux souterraines de la région des Mandara (Cameroun septentrional). *Geo-Eco-Trop.*, 10, 11-22.
- ETONGUE MAYER, R., 1989. Apport des images spatiales Landsat à la recherche des eaux souterraines en milieu granito-gneissique: csa des Mandara (Cameroun septentrional). *Cahier Spécial*, Centre de Recherches en Aménagement et en Développement, Univ. Laval, 12, 213-226.
- ETONGUE MAYER, R., 1989. Contribution de la lecture des cartes topographiques et images spatiales Landsat 4 à l'analyse intégrante de la morphologie du Cameroun septentrional, Thèse Ph.D., Univ. Laval, 205 p.
- GEZE, B., 1943. *Géographie physique et géologie du Cameroun occidental*. Mém. Museum Nat. Hist. nat., 17.
- KING, L., 1967. *The morphology of the earth*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 2nd ed.,
- KING, L., 1983. *The Natal monocline: Explaining the origin and scenery of Natal S. Africa*. Durban, Univ. of Natal Press, 2nd edn., 1983.
- LAPLANTE, P. & RITCHOT, G., 1984. *La forme de la terre*, Préambule, Montréal, 319 p.
- NEUGEBAUER, H.J., 1983. Mechanical aspects of continental rifting. *Tectonophysics*, 94, 91-108.
- SARCIA, E. & SARCIA, J., 1952. Volcanisme et tectonique dans le Nord-Est Adamaoua. *Bulletin volcanologique*, II, 12, 129-143.
- SCANVIC, J. Y., 1983. *Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre*. Manuel et Méthode, N°7, B.R.G.M., 159 p.
- SCHEIDEGGER, A.E. & AJAKAIYE, D.E., 1985. Geodynamics of Nigeria shield areas. *Journal of African Earth Sciences* 3, 4, 461-470.

SEGALEN, P., 1967. Les sols et la géomorphologie du Cameroun. Cahiers ORSTOM, Série
pédologique, 2, 137-187.