

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI (SUD-OUEST DU TCHAD).

Jean-Claude DOUMNANG MBAIGANE*, **Joseph PENAYE****, **Armand KAGOU*****,
Sandrine MBAGUEDJE DIONDOH*, **Max VIDAL****** et **André POUCKET******

RÉSUMÉ

Le travail effectué concerne l'application de la télédétection en géologie structurale. L'analyse, les traitements des images satellitaires SPOT et Landsat ont révélé des structures linéaires ou linéaments que nous avons utilisé pour identifier les différentes formations géologiques de Léré. Ces données ont conduit à l'élaboration de la carte structurale de la région minière du Mayo Kebbi très peu étudiée.

Mots clés - Télédétection - Traitement - SPOT - Landsat - Cartographie - Géologie - Carte structurale - Léré - Mayo Kebbi - Tchad.

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING OF STRUCTURAL STUDY OF THE MAYO KEBBI REGION (SOUTH – WEST CHAD).

ABSTRACT

The analysis and processing of SPOT and Landsat images revealed some linear structures or lineaments. Some different geological formations of Léré have been identified. These data are used to draw a geological and structural map of Mayo-Kebbi. In fact, the geology of this area is not well known although this part of Chad is rich in mining.

Keys Words - Remote sensing - Processing - SPOT - Landsat - Cartography - Geology - structural map - Léré - Mayo Kebbi - Chad.

*Département de Géologie, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, B.P. 1027, N'Djaména, Tchad.

**Centre de Recherches Géologiques et Minières, Garoua, Cameroun.

***Faculté des Sciences, Université de Dschang, Cameroun.

****Institut des Sciences de la Terre, Université d'Orléans, Rue de Chartres, 45100 Orléans, France.

- *Manuscrit déposé le 29 Mars 2009, accepté après révision le 13 Janvier 2010.*

1 - INTRODUCTION

La zone d'étude (9° et 10° de latitude nord, 14° et 15°30' de longitude est) se localise dans la région du Mayo-Kebbi, au sud-ouest du Tchad, à la frontière avec le Cameroun (fig. 1).

L'objectif de ce travail est d'effectuer, à l'aide des données SPOT XS, Landsat TM et les données de terrain, une analyse et une interprétation structurale du massif du Mayo-Kebbi. Ce massif est moins étudié sur le plan géologique et pour-

tant, il est d'un intérêt économique remarquable car très riche en minerais.

2 - CADRE GÉOLOGIQUE DU MAYO-KEBBI

Les formations géologiques du Mayo-Kebbi sont le prolongement du Massif Central tchadien vers le sud-ouest du Tchad (Black et Kasser, 1995; Doumnang Mbaigane et *al.*, 2004; Doumnang Mbaigane, 2006).

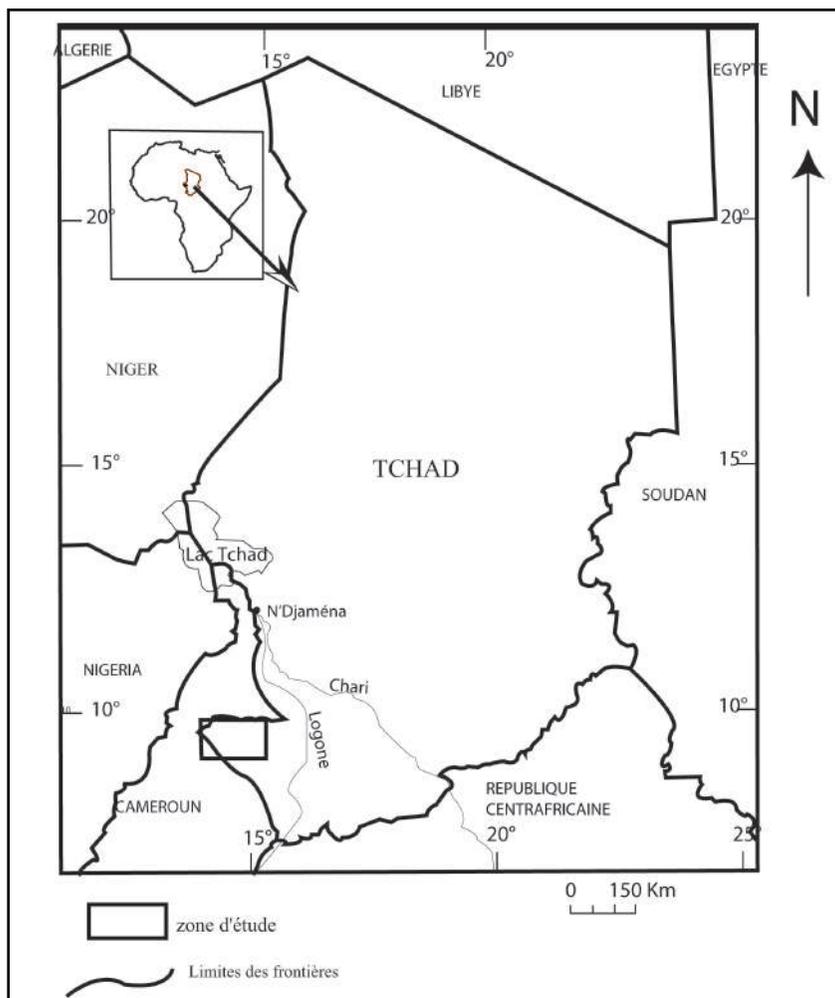


Fig. 1 - Carte de la localisation de la zone d'étude
The localization map of the study area

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI
(SUD-OUEST DU TCHAD)

Les travaux géologiques réalisés se résument à quelques observations (Van Aubel, 1942; Roch, 1949,1952) et à la carte géologique de reconnaissance au 1/500 000 (Wacrenier, 1962) (fig. 2).

La région du Mayo-Kebbi est formée des formations néoprotérozoïques (les séries de Zalbi, de Gouyegoudoum, de Gong Djalingo et amphibologneissiques) et des formations de couvertures (Wolff, 1964; Kasser, 1995; Doumnang Mbaigane *et al.*, 2004; Doumnang Mbaigane, 2006).

3 - MÉTHODOLOGIE

Les moyens utilisés permettent l'établissement d'une carte géologique de la région. Il s'agit d'un fond topographique au 1/200 000, des cartes géologiques de reconnaissance au 1/1 500 000 et des documents télé-satellitaires.

La télé-analyse a été réalisée à partir de deux scènes SPOT 4Xi du 28 novembre 1998, du 28 février 1999 (KJ 87-330 et 87-331) de niveau 2A et une scène Landsat TM du 05 fé-

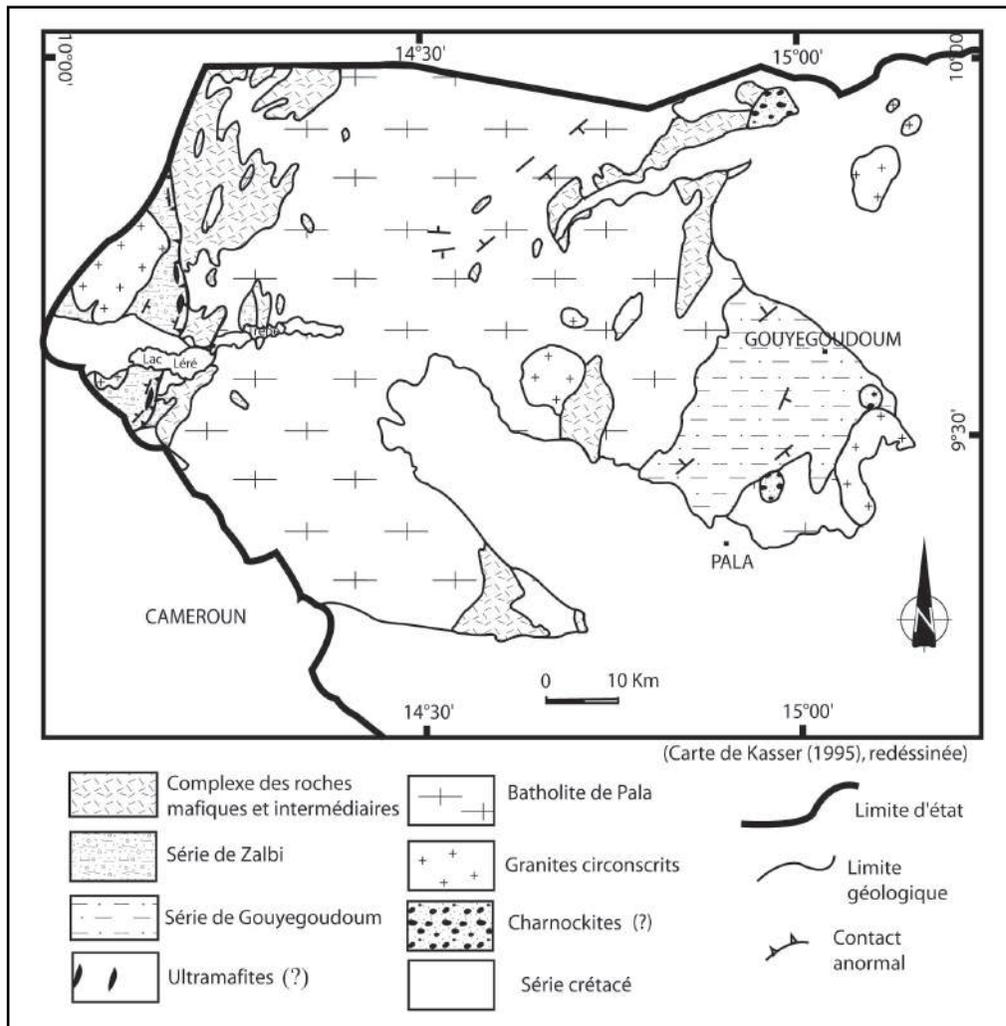


Fig. 2 - Carte géologique du Mayo-Kebbi

Geological map of Mayo-Kebbi

vrier 2002 Path 184 row 53. Les observations de terrain ont été faites les 26/03/01, 06/04/01 et 08/04/02.

La méthodologie est la suivante : exploration des bandes SPOT XS et Landsat TM, recherche des traitements appropriés (composition colorée, étalement de la dynamique, filtre), exploitation de quelques traitements pour l'amélioration de la carte géologique et pour un apport de l'analyse du substratum pédogéologique aux connaissances sur le paysage.

Deux types de traitements ont été envisagés: un premier concerne le tracé des linéaments et l'amélioration des contours géologiques, le second concerne une classification de l'occupation du sol.

Concernant les images SPOT, une composition colorée XS4, XS3, XS1 (fig. 3) correspondant à une mosaïque de la scène complète de Léré (KJ 87-330) et de la moitié de la scène Kaélé (KJ 87-331) a été effectuée. Pour des raisons de format de restitution, la présentation des résultats s'est limitée à la région des lacs de Léré et de Tréné. Pour les images Landsat TM, une composition colorée TM5, TM4, TM3 (fig. 4), avec une restitution complète de la scène a été faite sur papier.

3.1. Télédétection

Cinquante sites tests bien différenciés, pré-identifiés à priori ont été géoréférencés sous Erdas. Ils ont été choisis aussi bien en fonction

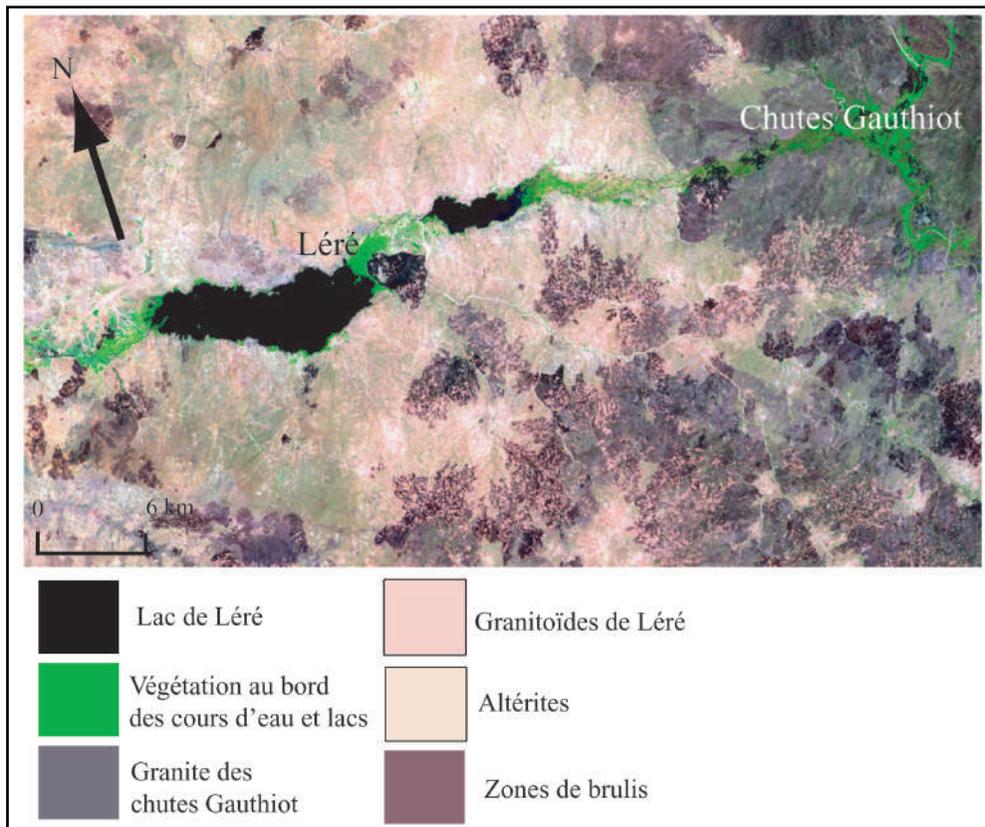


Fig. 3 - Léré composition colorée SPOT XS4, XS3, XS1
SPOT channels XS4, XS3, XS1 of Léré in coloured composition

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI
(SUD-OUEST DU TCHAD)

de leur thématique que de leur position géographique remarquable (intersection de piste et de rivière, confluence de rivière, centre de village...). Une analyse préliminaire de l'image a été réalisée et a conduit à l'établissement d'une esquisse cartographique. Ce document d'orientation sera complété ou amendé par l'étude de terrain.

Des traitements classiques basés uniquement sur les canaux vert, rouge et proche infra-rouge dont l'indice de végétation, ont donné de bons résultats pour l'évaluation des limites entre les cultures arborées, les prairies et les différentes savanes. Certains traitements qui prennent en compte les trois canaux précédents, plus le moyen infrarouge (analyse en

composante principale (ACP), saturation, décorrélation...) ont permis une bonne visualisation des structures géologiques (effet probable au moyen infra-rouge) et donc des liens entre le substratum et la surface. Ces traitements sont cependant difficilement interprétables en termes de réponse radiométrique et nous avons préféré axer nos interprétations sur les 4 bandes spectrales de base.

3.2. Les données de terrains

Les données de terrains sont collectées lors de trois missions de terrain. Ce sont les cartes d'échantillonnages, les points d'affleurements, les affleurements rocheux et les mesures struc-

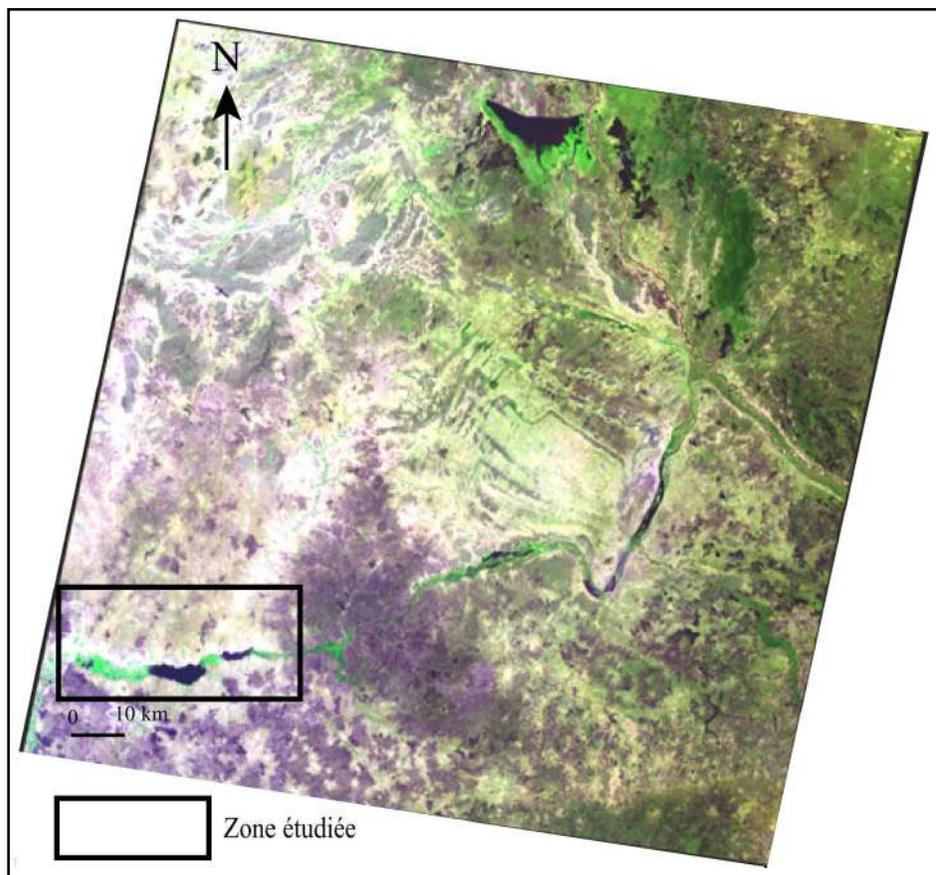


Fig. 4 - Landsat TM scène entière 184- 53 en RVB (TM5, TM4, TM3)

Landsat TM 184-53 full time in RGB (TM5, TM4, TM3)

turales qui ont été reportés sur un fond topographique.

Les sites remarquables ont permis de vérifier sur le terrain la précision du géoréférencement et d'évaluer la marge d'erreur de la validation de terrain. La nouvelle précision théorique de 10 m du Global Positioning System (GPS), vérifiée en France métropolitaine n'a pas été retrouvée au Sud du Tchad. Cette erreur, estimée à 100 m au moins est due en partie à la qualité des cartes topographiques disponibles (1/200 000, 1964) et aux différentes erreurs cumulées: référentiels différents, pointage écran, pointage terrain... Pour des sites repérables uniquement au Global Positioning System (GPS), nous n'avons conservé que ceux centrés sur des thèmes suffisamment étendus pour englober la marge d'erreur et éviter l'effet pixel, soit environ 250 m/ 250 m. Pour les sites repérables à la fois sur restitution papier de la scène, dans le paysage et sur la carte topographique, la collecte de données ne souffre d'aucune difficulté.

4 - RÉSULTATS

4.1. Les linéaments

La carte linéamentaire (fig. 5), extraite de l'image SPOT rassemble les linéaments caractéristiques des lignes des crêtes, des filons, des lignes de partage des eaux, des limites des formations géologiques et des failles.

Le tracé de la carte géologique a été essentiellement fait à partir des levés de terrain. La finalisation de la carte a été réalisée à partir des compilations des informations (assemblages linéamentaires, comptes numériques) sur les différents traitements.

En raison de la faible surface d'affleurements continus d'une même formation rocheuse et de la largeur de fiabilité du pixel, l'attribution de

réponses spectrales aux formations géologiques n'a pas été recherchée faute de mesures radiométriques de terrain.

Quelques assemblages linéamentaires typiques des régions qui nous intéressent ici, à savoir le panafricain en milieu tropical sont donnés (fig. 6), ils correspondent à des alignements de végétaux ou des limites de végétations, des linéarités ou limites des tonalités, des limites de textures ou des linéarités du réseau hydrographique ou encore des discontinuités de formations superficielles qui dépendent de la nature lithologique des roches, du style tectonique. Ils constituent alors des témoins d'indices indirects des variations du substratum géologique.

Plusieurs types d'assemblages linéamentaires sont mis en évidence :

- le réseau linéamentaire dense, pénétratif d'orientation subconstante dans la série des roches vertes et amphibolites et granitoïdes orientés. Ce réseau présente une régularité plus importante mais une distance interlinéaire variable dans les roches vertes. Dans les granitoïdes la distribution est fine, discontinue mais régulière;
- le réseau linéamentaire diffus et sans orientation particulière dans les sédiments;
- la superposition de distributions circulaires et radiales au niveau des toits de plutons des granites. Le réseau radial représente le réseau des diaclases primaires du granite. Le réseau circulaire peut représenter le réseau primaire mais vraisemblablement le système de fracturation lié à la détente et à l'altération de subsurface. A quelques kilomètres au nord de Léré, la structure circulaire a été vérifiée par télé-analyse, elle correspond bien au sommet du pluton granitique;
- les assemblages linéaires de directions N90° à N110° qui marquent les dykes, les filons, et les couloirs des failles.

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI
(SUD-OUEST DU TCHAD)

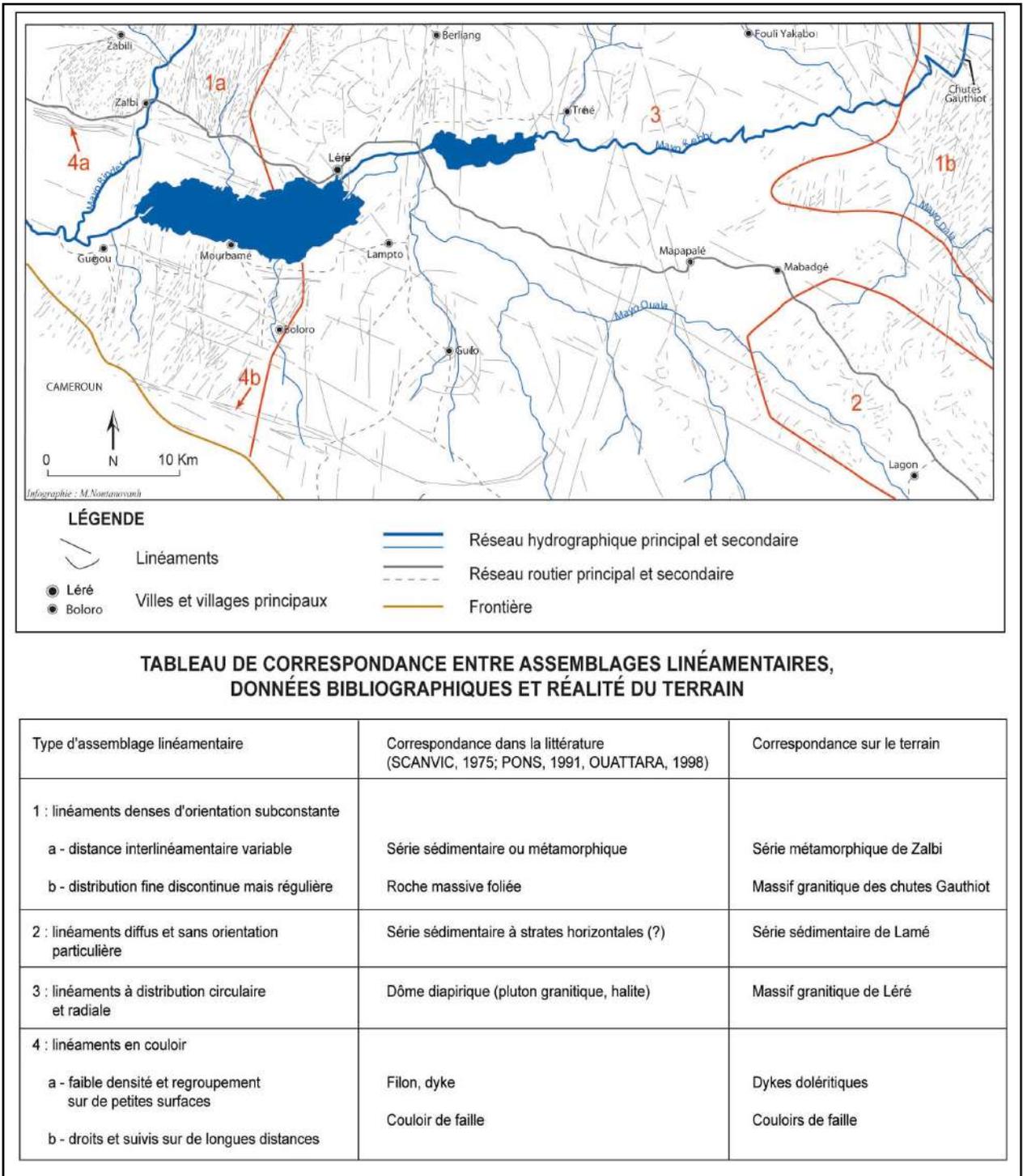


Fig. 5 - Carte linéamentaire
Lineamentary map

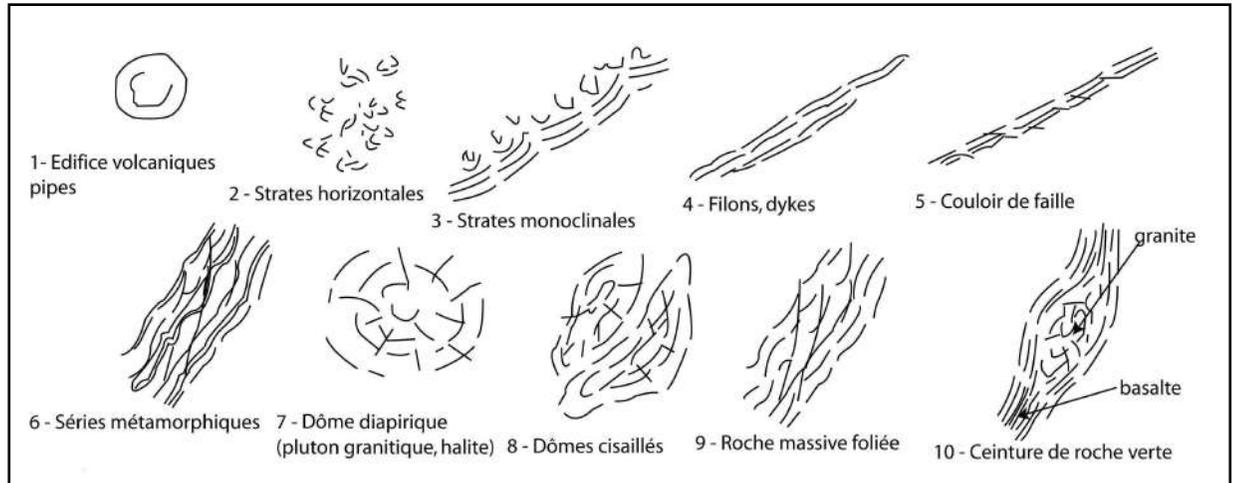


Fig. 6 - Exemple d'assemblage linéaire du Précambrien en domaine tropical
d'après Scanvic (1983), Pons (1991), Ouattara (1998)

**Example of lineamentary assembly in the tropical domain of the Precambrian
after Scanvic (1983), Pons (1991), Ouattara (1998)**

4.2. Tectonique

Sur la carte de la fracturation, plusieurs types de structures ont été représentées : les failles; les structures planaires; les structures linéaires et les plis (fig. 7).

4.2.1. Les failles $N0^{\circ}$ à $N10^{\circ}$

Elles affectent les grandes formations géologiques de la région de Léré. Elles sont observées dans les zones de contact : granite de Zabali - série métasédimentaire de Zalbi, série méta - sédimentaire - série métavolcanique de Zalbi, série métavolcanique de Zalbi - granite de Mourbamé, d'où le nom de faille de Mourbamé. Celle-ci traverse le lac Léré du nord au sud. La géométrie et la cinématique de la déformation sont conformes à celles visibles dans les roches vertes. Dans ces roches, les biotites sont orientées suivant un fort pendage 80° - 90° vers l'ouest, traduisant un mouvement relativement inverse; il s'agirait des cassures ductiles à léger décrochement senestre avec un pendage subvertical. Cet accident caractérise un chevauchement ductile.

Les failles sont également observées dans le granite des Chutes Gauthiot avec une orientation préférentielle $N90^{\circ}$ à $N110^{\circ}$.

Le plus important est celui qui traverse du nord au sud le massif de Léré. Il sépare les lacs de Léré et de Tréné, ensuite il remonte jusqu'à Ribao et Monbaroua. Il marque la limite ouest du batholite de Pala. Ce contact, de texture mylonitique, est orienté globalement $N10^{\circ}$ et décale le lac de Léré de celui de Tréné par un décrochement senestre.

4.2.2. Les structures planaires

A Léré, la foliation est la structure principale de la région elle est exprimée soit sous forme de rubanements de composition de fabrication magmatique, de zone de broyage mylonitique et enfin de l'orientation des enclaves.

L'orientation de ces structures est variable, elle est répartie dans toutes les formations géologiques de la région. Les pendages sont forts, les directions moyennes oscillent entre $N0^{\circ}$ et $N30^{\circ}$.

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI
(SUD-OUEST DU TCHAD)

Les enclaves sont abondantes (70 à 80%) dans tous les massifs granitoïdiques de la région. Il s'agit d'enclaves d'amphibolites de direction $N0^\circ$, notamment dans la tonalite de Lampto et le granite à biotite.

Dans le granite de Léré, les linéations sont fréquentes dans les couloirs mylonitiques et sont matérialisées par des muscovites orientées, des feldspaths potassiques étirés et des biotites disposées en trains.

4.2.3. Les structures linéaires

Elles sont caractérisées par l'orientation des minéraux, par l'étirement des groupes quartzofeldspathiques et par la présence des enclaves. La biotite et l'amphibole sont des marques linéaires dans les granitoïdes. Dans le granite des Chutes Gauthiot, les mégacristaux décamillimétriques à centimétriques d'amphibole marquent la structure linéaire.

4.2.4. Foliations et plis

Dans les amphibolites, granitoïdes et les gabbros, la foliation est accompagnée d'une linéation minérale, d'étirement orienté $N120^\circ$. Cette linéation, parfois accompagnée de bandes de cisaillement à fort pendage vers l'ouest, traduisant un mouvement relativement inverse et vers le $N120^\circ$. La transition avec la granodiorite de la bordure orientale se fait par la faille

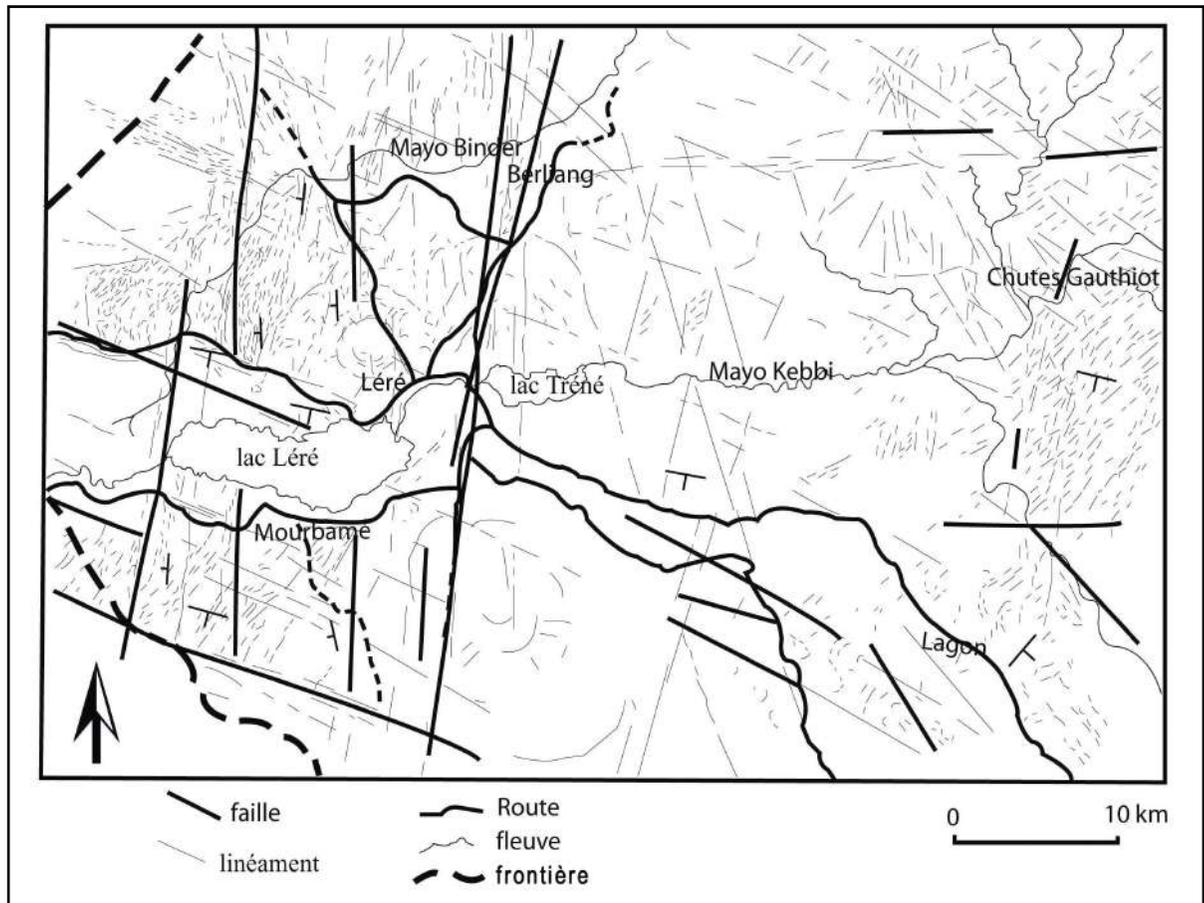


Fig. 7 - Schéma structural du Mayo-Kebbi
Structural sketch of Mayo-Kebbi

de Mourbamé, orientée N30°, où la déformation atteint le stade mylonitique. La granodiorite de Mourbamé montre une intensification de la déformation prograde d'est en ouest vers cet accident. Cette déformation est marquée par la roche qui passe d'une texture légèrement orientée (allongement des biotites et amphiboles) à une texture franchement mylonitique aux abords de la faille. La géométrie et la cinématique de la déformation sont conformes à celles observées dans les roches vertes et les greywackes.

Les plis observés sont des plis méso et mégascopiques d'axes subhorizontaux N30° qui pourraient être compatibles avec l'étape de chevauchement décrite précédemment, des plis à axe vertical et à fort pendage montrant des passées cataclastiques à mylonitiques. Ils s'accordent bien avec une cinématique en décrochement senestre le long des fractures N0° à N30° qu'ils jalonnent.

5 - DISCUSSIONS

Le travail effectué a permis de mettre en évidence, à partir des traitements des données satellitales, des textures caractéristiques des différentes formations du Mayo-Kebbi. Les enclaves d'amphibolites sont observées dans les granitoïdes de la région. La présence de ces xénolites dans le granitoïde résulte d'un abattage magmatique.

La majorité des assemblages linéamentaires est communément interprétée comme étant liée soit à la stratification, à la foliation ou à la schistosité des roches, soit à leur diaclasage, leur fracturation, leur nature de dyke ou de filon.

Les failles observées dans les zones de contact des différentes formations sont des failles panafricaines, semblables à celles observées en bordure du craton ouest africain (Njiel, 1987;

Ngako, 1999; Doumnang Mbaigane et *al.*, 2004; Doumnang Mbaigane, 2006; Pouclet et *al.*, 2006; Pénayé et *al.*, 2006).

La faille de Mourbamé est un chevauchement ductile probablement lié, en raison des conditions thermodynamiques qui ont accompagné la convergence panafricaine vers 600 Ma (Bessoles et Trompette, 1980).

Les failles N90° et N110° sont des rejeux d'anciennes failles à l'échelle lithosphérique. Ces failles N-S à N30° héritées, proviennent d'une compression E-W exercé sur le domaine pan-africain par le Craton Ouest Africain lors de la subduction et de l'extension de la zone mobile (Black, 1978; Bessoles et Trompette, 1980). Ces failles sont marquées dans la région de Léré par la présence d'importantes anomalies gravimétriques positives qui jalonnent les formations métavolcanosédimentaires. Ce sont des failles normales à rejet léger à composante dextre, individualisées à l'échelle de l'Afrique (Cornacchia et Dars, 1983; Black et Girod, 1970; Rolin, 1998).

Les failles créacées bordent les demi-grabens des bassins créacés. Ces failles E-W feraient partie des linéaments guinéonubiens (Benkhelil, 1982,1983; Guiraud, 1970; Guiraud et Alidou, 1981; Guiraud et *al.*,1985; Guiraud et Maurin, 1991; Mbaguedjé Diondoh, 2008; Lagmet, 2009) qui ont rejoué à plusieurs reprises et de façons différentes au Crétacé inférieur.

6. CONCLUSIONS

A partir des images satellites SPOT et Landsat TM, une carte structurale du massif du Mayo-Kebbi a été réalisée.

L'utilisation de divers traitements et des interprétations appropriées, permet d'identifier les différents groupes linéamentaires. De plus,

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE STRUCTURALE DE LA RÉGION DU MAYO KEBBI
(SUD-OUEST DU TCHAD)

elle permet d'améliorer les contours géologiques, et de ressortir les fracturations majeures ainsi que les failles.

Une étude de terrain dans la zone a permis de compléter toutes les données de télédétection utilisées, permettant ainsi d'établir une carte structurale indispensable pour la prospection minière future de la région.

BIBLIOGRAPHIES

- ANGOUA, S.-E. 1988.** Etude structurale et pétrologique de la région de Gamba, bordure S-E de Poli (Cameroun). *Thèse Université de Nancy I*, 210 p.
- BENKHELIL, J. 1982.** Structural map of the Upper Benu Valley. *Journal of Geology and Mining*, 18, 2, pp. 140-151.
- BENKHELIL, J. 1983.** Structure et évolution géodynamique du bassin intracontinental de la Bénoué (Nigéria). *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 12 (1), pp. 29-128.
- BESSELES, B. ET TOMPETTE, R. 1980.** Géologie de l'Afrique. La chaîne panafricaine «zone mobile d'Afrique centrale (partie sud) et zone mobile soudanaise». *Mém. B.R.G.M., Orléans*, 92, 394 p.
- BLACK, R. AND GIROD, M. 1970.** Late Palaeozoic recent igneous activity in the West Africa and its relation ship to basement structure. *In : African magmatism and Tectonics* (T.N. Clifford and I.G. Gass). *Olivier and Boyd, Edinburgh. Ed.*, pp. 185-210
- BLACK, R. 1978.** Propos sur le Panafricain. *Bull. Soc. Géol. de France*, (6), pp. 843-850.
- BLACK, R. 1992.** Mission géologique au Tchad. *Rapport de mission. D.R.G.M., N'Djaména, Tchad.*
- BLACK, R. ET KASSER, M. 1995.** Mission dans le Mayo-Kebbi. *Rapport de mission, D.R.G.M., N'Djaména.*
- BOULLIER, A.M., DAVISON, I., BERTRAND, J.M. ET COWARD, M. 1978.** L'unité granulitique des Iforas: une nappe de socle d'âge panafricain précoce. *Bulletin de la Société Géologique de France*, (7), t. XX, n° 6, pp. 877-882.
- CORNACCHIA, M. ET DARS, R. 1983.** Un trait structural majeur du continent africain. Les linéaments centrafricains du Cameroun au golfe d'Aden. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, t. XXV, n° 1, pp. 101-109.
- DOUMNANG MBAIGANE, J.-C., POUCKET, A., VIDAL, M. ET VICAT, JP. 2004.** Lithostratigraphie des terrains panafricains du Sud du Tchad (région de Léré) et significations géodynamiques des formations magmatiques. *IGCP, Second annual field conference, 5-10th january 2004. Garoua. Cameroun.* p. 8.
- DOUMNANG MBAIGANE, J.C. 2006.** Géologie des formations néoproterozoïques du Mayo-Kebbi (Sud-Ouest du Tchad), apport de la pétrologie et de la géochimie, implications sur la géodynamiques au Panafricain. *Thèse doct. Univ. d'Orléans*, 234 p.
- GUIRAUD, R. 1970.** Sur la présence de décrochements dextres dans l'Atlas saharien. Interprétation mégamétrique. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 8, pp. 316-318.
- GUIRAUD, R. ET ALIDOU, S., 1981.** La faille de Kandi (Benin), témoins du rejeu fini-crétacé d'un accident majeur à l'échelle de la plaque africaine. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 293p.
- GUIRAUD, R., ISSAWA, B. ET BELLION, Y. 1985.** Les linéaments guinéo-nubiens : un trait structural majeur à l'échelle de la plaque africaine. *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. 300, n°1, pp. 17-20.
- GUIRAUD, R. ET MAURIN, J.C. 1991.** Le rifting en Afrique au Crétacé inférieur : synthèse structurale, mise en évidence de deux phases dans la genèse des bassins, relations avec les ouvertures océaniques périafricaines. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 162 (5), pp. 811-823.
- KASSER, M. 1995.** Evolution précambrienne de la région du Mayo-Kebbi (Tchad). *Thèse, Museum National d'Histoire Naturelle*, 242 p.

- LAGMET, C. 2009.** Caractères pétrographiques, géochimiques et structuraux des dômes rhyolitiques de Dandi (Sud du lac - Tchad) : Relation avec la ligne chaude du Cameroun. *Mémoire de DEA Université de Yaoundé, Cameroun*, 45p.
- MBAGUEDJE DIONDOH, S. 2008.** Pérogenèse et Cartographie des formations géologiques de la région de Léré (Sud-Ouest du Tchad). Mémoire de DEA, *Université de Dschang, Cameroun*, 75p.
- NJIEL, U.-O. 1987.** Une série albitophyre (Poli-Cameroun). Un exemple de volcanisme pré-orogénique non ophiolitique, ensialique, mais différent du modèle hercynotype. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 304, pp. 515-520.
- NGAKO, V. 1986.** Evolution métamorphique et structurale de la bordure sud-ouest de la série de Poli. Segment camerounais de la chaîne pan-africaine. *Mémoire et documents du C.A.E.S.S., Rennes*, n° 5, 185 p.
- NGAKO, V. 1999.** Le socle précambrien du Nord Cameroun : une marge active néoprotérozoïque poinçonné au Panafricain. Géoenvironnemental Catastrophes in Africa (abstract). *Géosc. du Cameroun, Presse universitaire de Yaoundé, Géocam*, 1.
- OUATTARA, G.-C. 1998.** Structure du batholite de Ferkessedou (secteur de Zuénoula, Côte d'Ivoire). Implications sur l'interprétation géodynamique du Paléoprotérozoïque d'Afrique de l'Ouest à 2.1 Ga. *Th. de doct., Univ. d'Orléans*, 300 p.
- PONS, J. 1991.** Emplacement Kinematics of the syn-tectonic Saraya granite, Sénégal (West-Africa). *Bull. Soc. Géol., Fr.*, 162, pp. 1075-1082.
- PONS, J., OUDIN, C. AND VALERO, J. 1992.** Kinematics of large syn-orogenic intrusions: example of Lower Proterozoic Saraya batholith (Eastern Senegal). *Geol. Rundschau*, 81/2, pp. 473-486.
- POUCKET, A., VIDAL, M., DOUMNANG MBAIGANE, J.-C., VICAT, J.P. AND TCHAMENIE, R. 2006.** Neoproterozoic crustal evolution in Southern Chad: Pan-African ocean basin closing, arc accretion and late to post-orogenic granitic intrusion. *Journal of African Earth Sciences*, 44, pp. 543- 560.
- PENAYE, J., KRONER, A., TOTEU, S.-F., VAN SCHMUS, W. R. AND DOUMNANG MBAIGANE, J.-C. 2006.** Evolution of the Mayo-Kebbi region as revealed by zircon dating: An early (ca. 740 Ma) Pan-African magmatic arc in SouthWestern Chad. *Journal of African Earth Sciences*, 44, pp. 530 – 542.
- ROCH, 1949.** Note sur les schistes bitumineux du Tchad. *B.R.G.M., Paris*, 14p.
- ROCH, 1952.** Itinéraires géologiques dans le Nord Cameroun et le Sud – Ouest du territoire du Tchad. *Bull. Ser. Des Mines*, n°1 (Paris, imprimerie nationale).
- ROLIN, P. 1998.** Nouvelles données tectoniques sur le socle Précambrien de Centrafrique : implication géodynamique. *GEOCAM, Presse Universitaire de Yaoundé I*, pp. 249-254. t. XX, n° 6, pp. 843-850.
- SCANVIC, J.-Y. 1975.** Apport de l'imagerie spatiale multispectrale à la compréhension tectonique du massif central français et son environnement sédimentaire. *Chronique des mines, section n°4*.
- SCANVIC, J.-Y. 1983.** Utilisation de la télédétection dans les Sciences de la terre. Manuels et méthodes, 7, *B.R.G.M., Orléans*, 158 p.
- SCANVIC, J.-Y. 1992.** Télédétection aérospatiale et informations géologiques. Manuels et méthodes, 23, *B.R.G.M., Orléans*,
- VAN, A. 1942.** Mission géologique et minière dans le département du Mayo-Kebbi (Tchad)-Paris (FR), *B.R.G.M.*, 35p.
- WACRENIER, P. 1962.** Carte géologique de reconnaissance des états d'Afrique équatoriale, feuille NC 33 SO E-53 SE O-54 (Moundou) au 1/500.000. *I.R.G.M. Brazzaville*.
- Wolff, J.-P. 1964.** Carte géologique de la République du Tchad au 1/1 500 000. *B.R.G.M. Paris*.