

CONTRIBUTION PRELIMINAIRE DE LA TELEDETECTION A L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION DES MANDARA (CAMEROUN SEPTENTRIONAL.)

Preliminary contribution of remote sensing to underground
water exploitation in the Mandara region (Northern Cameroun).

R. ETONGUE MAYER *

ABSTRACT

In precambrian rocks, ground water is available only in relation with lineaments. Cartography of lineaments, from remote sensing data, is thus important for well drillings.

This paper discusses the whole perception of Mandara region lineaments and circular features in northern Cameroon and their potential usefulness in hydrogeology.

RESUME

En milieu consolidé (formations précambriennes), les eaux souterraines ne sont disponibles qu'en fonction des linéaments. La cartographie de ces linéaments à partir des données de télédétection spatiale, constitue un prérequis dans tout effort d'implantation des puits et forages.

Ce texte présente la perception d'ensemble des dispositifs linéaires et circulaires de la région des Mandara (Nord Cameroun) et leur potentiel d'utilisation en hydrogéologie.

INTRODUCTION

Dans la région des Mandara (fig. 1), plusieurs travaux appliqués aux eaux souterraines ont été réalisés (ARCHAMBAULT, 1952 ; SCHWOERER, 1966, 1968 ; TILLEMENT, 1970; HYDROGEO, 1975). Les méthodes géophysiques

* Université de Laval, Quebec - Canada.

(sismique ou électrique) limitées par la rigidité du socle cristallin, ont été alors utilisées.

Les méthodes de télédétection (LATTMAN & PARIZEK , 1964 ; ZALL & RUSSEL, 1979 ; SAWADOGO, 1982 ; ETONGUE MAYER, 1984) offrent une solution complémentaire aux méthodes géophysiques. Comme elles permettent de visionner avec précision les grands traits structuraux d'une région, leur exploitation à des fins hydrogéologiques constitue une étape préalable et déterminante dans l'implantation des puits et forages en milieu consolidé (socle précambrien), tel que montré par LATTMAN et PARIZEK (1964) et par WOODRUFF *et al.* (1974).

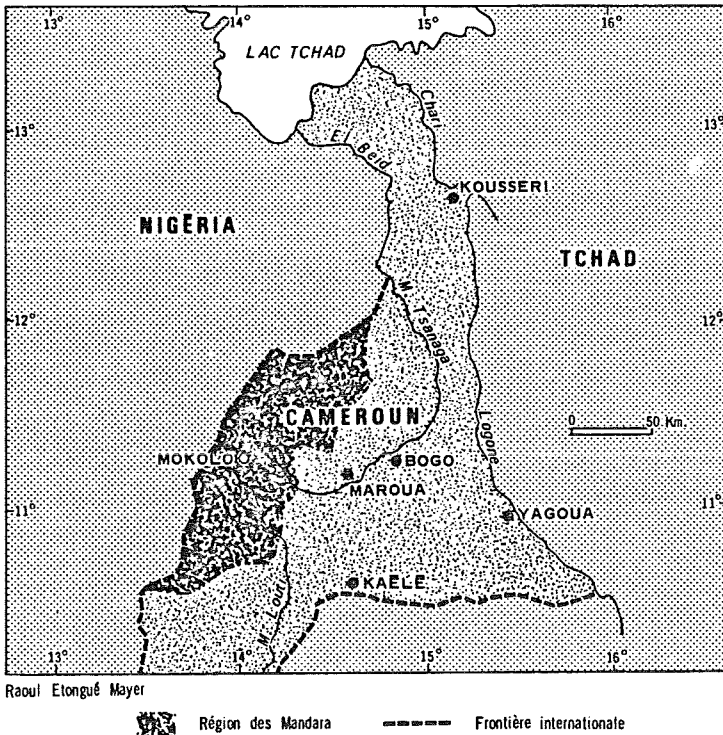
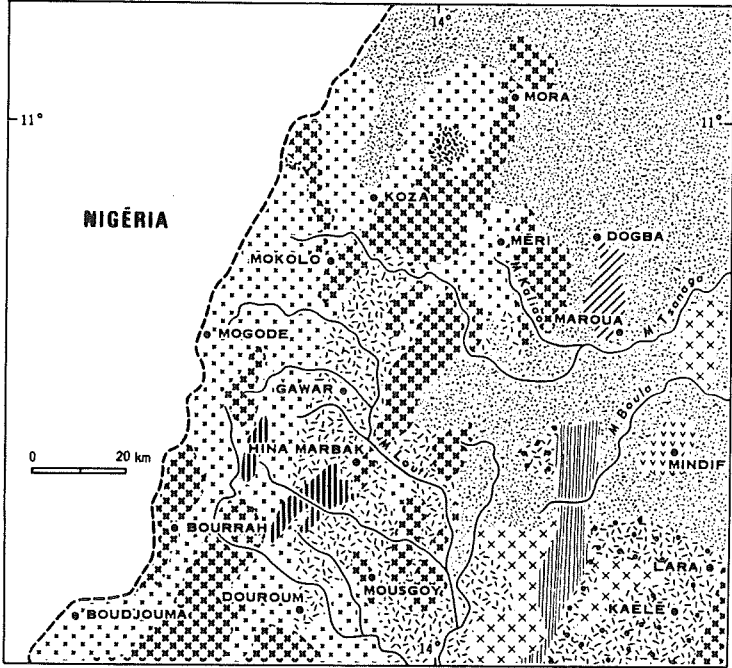


Fig. 1 : Carte de localisation de la région des Mandara.

OBSERVATIONS

Cadre géologique

L'essentiel de la géologie des Mandara est constitué de formations précambriennes dominées par des migmatites et par des granites d'anatexie (fig. 2). Les migmatites (gneiss-embréchites, gneiss migmatitiques,



FORMATIONS SUPERFICIELLES

Alluvions

FORMATION EFFUSIVE

Basalte

FORMATIONS PRÉCAMBRIENNES

Quartzites micacés

Granite syntectonique tardif

Micaschistes supérieurs (Série de Poli.)

Anatexite à biotite; Migmatites indifférenciés

Schistes feldspathiques à gneiss

Granite d'Anatexie

Gneiss inférieur à biotite, amphibole, pyroxène, Leptinites

Syénite

Gneiss embréchites

Gabbro, gabbro doloritique

Source : Carte géologique de la République Unie du Cameroun, 1979.
Direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé.

Adaptation : Raoul Etongué Mayer

Fig. 2 : Croquis géologique de la région des Mandara.

a.



b.

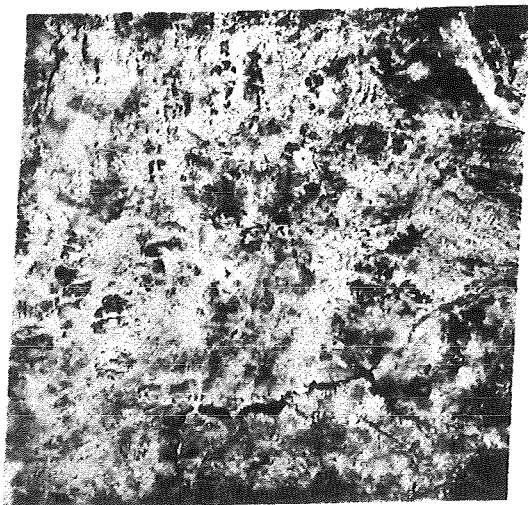
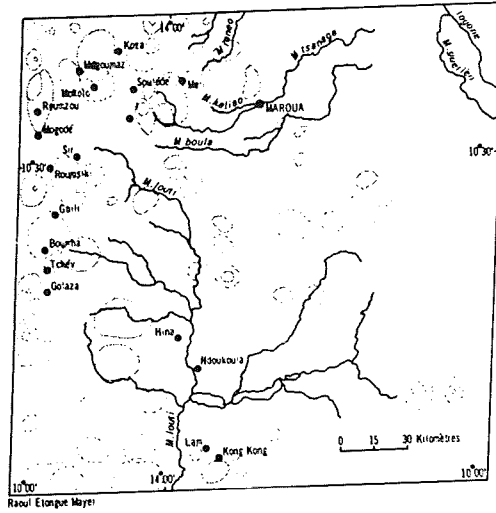


Fig. 3 : Perception structurale de la région des Mandara par Landsat.

a) Landsat, 02 novembre 1977, 198-052, MSS7

b) Landsat, 02 novembre 1977, 198-052, MSS5

c-



d-

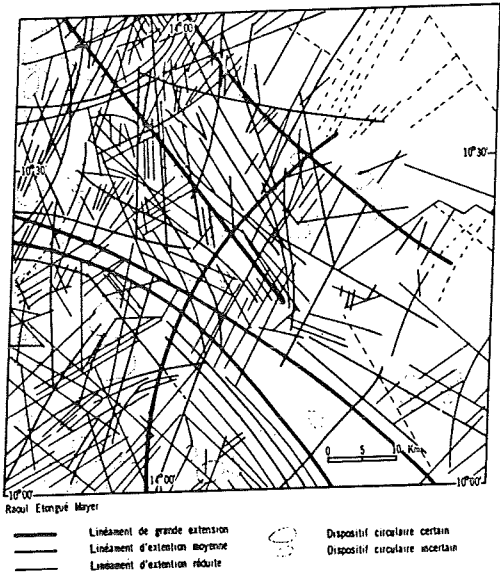


Fig. 3 : Perception structurale de la région des Mandara par Landsat
 c) localités citées dans le texte.
 d) carte des dispositifs linéaires et circulaires

embréchites à biotite, amphibole et pyroxène forment le substrat des régions de Zamay, Gawar, Hina Marbak. La structure est tantôt ocellée, tantôt rubanée. Par rapport aux autres formations précambriennes, ces migmatites ont été fortement érodées. La vallée de la haute Tsanaga entre Mokolo et la cote 846 au nord de Godala en constitue un exemple. Les granites d'anatexie se répartissent dans les secteurs de Mora, Koza, Méri, Sir, Bourrah, Mousgoy et Dourbeye. Y sont associés, les granites syntectoniques anciens, les grano-diorites, 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 contiennent une forte proportion de biotite, d'amphibole et de grenat et constituent plus des deux tiers des plateaux.

Dans les régions de Liri et de Hina Marbak, des quartzites micacés sont associés de manière concordante aux roches métamorphiques.

La région des Mandara est très tectonisée. Elle est marquée par plusieurs dispositifs linéaires et circulaires.

Dispositifs linéaires et circulaires

Au sens strict, un linéament est un alignement structural, long de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres correspondant à un accident de l'écorce terrestre dont l'influence se fait sentir pendant une très longue période de temps, au cours de phases tectoniques successives (FOUCAULT & RAOULT, 1984).

Selon SCANVIC (1983), les linéaments sont des discontinuités linéaires ou curvilignes en liaison directe avec des failles et fractures, à l'exclusion de tout autre phénomène. Ils peuvent également être associés à la morphologie du paysage et à des phénomènes tectoniques variés, expression de la structure crustale du globe. Les dispositifs circulaires dans le cas présent correspondent essentiellement à des intrusions granitiques.

Dispositifs linéaires

L'observation de la carte des dispositifs linéaires de la région des Mandara, réalisée à partir de la version noir et blanc des bandes MSS 5 et MSS 7 et le composé fausse couleur de l'image Landsat 198-53 du 02 novembre 1977, permet de dégager trois ordres de linéaments. Il s'agit des dispositifs de grande extension ou mégalinéaments, des dispositifs d'extension moyenne et des dispositifs d'extension réduite (fig. 3).

Dispositifs linéaires de grande extension

Du nord au sud, on a relevé cinq dispositifs linéaires de grande extension. Ils sont, pour la plupart, longs de 100 kilomètres et leur largeur varie entre 4 et 10 kilomètres. Ils représentent 1,8 % de tous les dispositifs observés. Dans le secteur de Méri, un dispositif de grande extension est détecté. Sa direction préférentielle varie entre N 36 degrés ouest et N 56 degrés ouest. Il affecte indifféremment les formations précambriennes des Mandara et les formations superficielles de la pédiplaine du Diamaré (secteur de Maroua). A l'ouest de ce dispositif, dans le secteur de Mogoumaz, on suit un autre mégalinéament orienté N 39 degrés Ouest. Il présente un tracé d'une netteté certaine qui semble correspondre à une fracture. Avec le mégalinéament de Méri, il définit un remarquable parallélisme dont la fréquence d'espacement moyenne est de l'ordre de 30 kilomètres. Au sud des deux dispositifs linéaires précédents, s'observent deux autres puissants linéaments qui affectent les régions de Bourrah, Ndoukoula et le sud-est de l'image spatiale. Le premier de ces dispositifs présente une direction qui varie entre N 47 degrés et N 69 degrés ouest. Il est long de 155 kilomètres environ et est d'allure légèrement curviligne. Le second élément de ce secteur est long d'environ 129 kilomètres. Son orientation varie entre N 41 degrés et N 77 degrés ouest. Il conserve l'allure curviligne initialement observée.

L'espacement entre ces deux accidents majeurs est de l'ordre de 3 kilomètres pour leur partie occidentale et 20 kilomètres pour la partie orientale, ce qui rappelle une forme en entonnoir.

Le dernier élément de cette classe s'étire du sud-ouest de l'image spatiale au nord-est, c'est-à-dire entre 10° et 10°30 de latitude Nord. D'abord de direction méridienne, il devient N 15 degrés Est, N 21 degrés Est, N 36 degrés Est, puis N 46 degrés Est. Il est long de 125 kilomètres environ. Dans son allure curviligne, ce mégalinéament recoupe tous les quatre précédents.

Dispositifs linéaires d'extension moyenne

Tous les dispositifs d'extension moyenne ont au moins 50 kilomètres de long. Ils regroupent 12,6 % de tous les dispositifs linéaires et affectent régulièrement la région étudiée suivant deux grandes directions

N 3 degrés à N 84 degrés Ouest et N 6 degrés à N 75 degrés Est. La direction N 3 degrés à N 84 degrés Ouest recoupe 85 % des accidents relevés dans la deuxième classe. Elle traverse le plateau de Méri où elle s'accompagne d'une bande de mylonite longue de 25 kilomètres environ. A Zouelva, elle affecte (faille de Zouelva) les formations métamorphiques mésozonales migmatitiques (anatexite). Plus à l'Ouest, elle détermine l'escarpement de Koza et la grande percée de formations superficielles dans les formations précambriennes au nord de Koza. Dans les environs de Hina et de Ndoukoula, cette direction se matérialise (faille de Hina) suivant sept accidents parallèles resserrés sur une largeur d'environ 23 kilomètres.

La direction N 6 degrés à N 75 degrés Est ne recoupe que 15 % des déformations linéaires observées parmi les dispositifs linéaires d'extension moyenne. C'est à elle qu'appartient le linéament de Ndoukoula qui se suit sous les alluvions de la plaine de Maroua. Cette direction apparaît également à l'Est de Maroua dans les alluvions quaternaires.

Dispositifs linéaires d'extension réduite

Par rapport aux deux classes précédentes, les linéaments d'extension réduite présentent une répartition spatiale continue (85,6 % des accidents) suivant deux directions majeures : N 2 degrés à N 83 degrés Ouest et N 4 degrés à N 83 degrés Est. Les déformations linéaires orientées N 2 degrés à N 83 degrés Ouest recoupent 26,5 % de cette dernière classe. Cette direction marque aussi bien les plateaux des Mandara que les basses terres environnantes et se dispose en faisceaux parallèles. La direction N 4 degrés à N 83 degrés Est recoupe 73,5 % des accidents relevés. Elle traverse de manière préférentielle les formations précambriennes.

Viennent ensuite, de manière très lâche, des accidents orientés Ouest-Est ou Nord-Sud. Tous ces accidents se conjuguent pour donner un maillage tectonique plus ou moins équivalent où les cours d'eau sont essentiellement à guidage tectonique.

Dispositifs circulaires

Ils s'ajoutent aux déformations linéaires de manière très nette et serrée sur le socle. Parmi les dispositifs circulaires au tracé net, certains se répartissent suivant trois pôles de concentration, soit dans le nord, le centre et le sud de la région de Mokolo.

La taille moyenne de ces dispositifs varie entre 0,3 et 20 kilomètres de diamètre. Certains présentent une rotondité remarquable dans une imbrication de deux éléments de taille différente.

Ces dispositifs se manifestent parfois par des accidents annulaires. Certains correspondent à des batholites de granites ou de syénites comme ceux de Gréa, Golda, Tala Mazda, Gandougoum ou de Zamay et Kong-Kong.

En essayant de reconstituer les directions préférentielles de ces dispositifs par rapport aux linéaments, des orientations déjà observées ont pu être dégagées. Elles sont N 5 degrés à N 75 degrés Est et N 30 degrés à N 70 degrés ouest.

La présence de ces dispositifs dans les migmatites précambriens soulève quelques réflexions. Ils se localisent près d'une zone de broyage (mylonite) entre Méri et Mora. Dans le secteur de Kong-Kong, ils se présentent sous forme de quatre lentilles parallèles comprises entre une suite de lignes tectoniques parallèles. Ces dispositifs semblent résulter de phénomènes divers liés à la consolidation des roches.

RAPPORTS ENTRE LINEAMENTS ET EAUX SOUTERRAINES

Les caractéristiques hydrogéologiques du socle précambrien sont de médiocres à nulles puisque, par nature, les roches métamorphiques sont imperméables.

Les différentes contraintes tectoniques qui affectent le socle précambrien lui impriment les déformations telles que celles que nous avons décrites dans les sections précédentes. C'est à elles que nous devons la porosité et la perméabilité secondaire du socle. La densité, la distribution des dispositifs linéaires et l'altération des zones fracturées peuvent déterminer partiellement la présence de l'eau souterraine dans le socle précambrien. En Suède, LARSSON (1966) a montré qu'avec une grande extension d'un système linéaire ouvert où les eaux de surface sont régulièrement drainées, il existe une forte probabilité d'avoir des débits acceptables. D'après le même auteur, un système linéaire dont les éléments sont de taille et d'extension réduites offrirait peu de chances à la présence d'eau souterraine.

L'eau souterraine en milieu consolidé n'existe que sous forme de petites poches liées à la présence de zones fracturées altérées qui peuvent se prolonger de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Le débit

de ces poches d'eau peut varier de 0 à 10 mètres cubes par heure avec une moyenne de l'ordre de 4 mètres cubes par heure (RUSSELL & ZALL, 1981). Les poches d'eau en milieu consolidé peuvent également se former à la faveur des intersections des déformations linéaires. L'importance de la localisation des puits et forages à ces intersections a été soulignée par LATTMAN et PARIZEK (1964).

HUNTON (1970) a développé l'idée selon laquelle, dans les formations consolidées, les eaux souterraines circulent plus facilement le long des fractures et des failles. Pour exploiter ces eaux, il ne s'agit pas de forer n'importe où. Les données de télédétection spatiale permettent de procéder à une reconnaissance qui limite les forages au hasard, inutilement coûteux. La faisabilité technique de l'hydrogéologie à partir des données spatiales s'appuie sur la cartographie des linéaments, des accidents annulaires et des zones fracturées altérées.

CONCLUSION

La réalisation équilibrée du projet d'hydraulique villageoise qui souhaite implanter un puits pour 1000 habitants dans la région des Mandara, devrait passer par l'amélioration des connaissances structurales. L'étude de la fracturation est un préalable nécessaire à la prospection de l'eau souterraine en milieu consolidé. Comme le fait remarquer SAWADOGO (1982), elle lie l'obtention de bons débits, le taux de succès dans le forage, la diminution des coûts, et la pérennité du point d'eau. Une carte des linéaments est donc un outil précieux.

Les linéaments devraient être perçus comme des systèmes dont l'ampleur est dégagée par la puissance d'incrustation, l'extension, l'orientation, la fréquence spatiale, la fréquence d'espacement et l'angle d'intersection. Toutes ces variables peuvent servir de base dans la tentative de formulation d'une hypothèse sur la présence d'eau souterraine. Ils constituent également d'assez bons marqueurs dans l'effort de reconstitution de l'évolution des formations précambriennes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Laboratoire de cartographie, Département de Géographie, Université Laval, pour la mise au propre des croquis.

BIBLIOGRAPHIE

- ARCHAMBAULT, J., 1952. Données pour un programme d'hydraulique pastorale dans le Nord Cameroun. *R.C.E.O.M.*, R. 147, 65 p.
- DUMORT, J.C. & PERONNE, Y., 1966. Notice explicative sur la feuille de Maroua. Carte géologique de reconnaissance au 1:500 000. Société Nouvelle de cartographie - Paris.
- ETONGUE MAYER, R., 1984. Télédétection et cartographie du potentiel géo-hydrologique du Nord Cameroun. Départ. de géographie, Univ. de Sherbrooke, 133 p.
- FOUCAULT, A. & RAOULT, J.-F., 1984. *Dictionnaire de géologie*, Paris, Masson, 2ème édition, 347 p.
- HUNTON, P.W., 1970. The hydro-mechanics of ground water system in the Southern portion of the Kaibab plateau, Arizona. Ph.D. Dissertation, University of Arizona (unpublished).
- HYDROGEO, 1975. Groundwater investigation and pilot development in North Cameroon. Final report, United Nations Development Program, United Nations, Roma.
- LARSSON, I., 1966. Grounwater in precambrien rocks in Southern Sweden, in K.Nilson (ed.) E.Ericksson, Y. Gustafsson, *Grounwater problems*, Pergamon press, Wenner Grencenter, Intern. Sympo. Series, 11, 23-41.
- LATTMAN, L.H. & PARIZEK, R.R., 1964. Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. *Journal of hydrology*, 2, 73-91.
- SARCIA, E. & J.A., 1952. Volcanisme et tectonique dans le Nord-Est de l'Adamaoua. *Bull. Volcanologique*, sér. II, XII, 129-143.
- SAWADOGO, S., 1982. Contribution de la télédétection à l'étude de la fracturation. Application à l'hydrogéologie du socle du milieu intertropical (Haute-Volta). Thèse Doct. 3 cycle, Univ.Orléans, 238 p.
- SCANVIC, J.Y., 1983. Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. *B.R.G.M. Manuels et Méthodes*, 7, 157 p.
- SCHWOERER, P., 1966. Hydrogéologie du Nord Cameroun, Arch. DMG et BRGM, Yaoundé et Garoua, 21 p.
- SCHWOERER, P., 1968. Mission de coordination des études hydrogéologiques dans le Nord Cameroun. (FED), BRGM, Yaoundé, 14 p.
- TILLEMENT, B., 1970. Bulletin de la direction des mines et de la géologie. VI, 294 p.
- ZALL, L. & RUSSELL, O., 1979. Groundwater exploration program in Africa. in *Satellite hydrology*, American Water Ressources Association.

RUSSEL, O. & LINDA ZALL, 1981. Landsat imagery for regional groundwater exploration. ASCE, New York, 11-15.

WOODRUFF, K., TALLEY, J. & MILLER, J., 1974. Selection of sites for high yielding wells in the Delaware Piedmont. Abstract with programs, North-Eastern Section of the geological society of America, Baltimore, Maryland.