

Étude structurale des bordures nord et sud du plateau de l'Adamaoua : influence du contexte atlantique

Jean-François DUMONT⁽¹⁾

Résumé : Une étude des déformations cassantes a été réalisée sur les bordures nord (falaise de Ngaoundere) et sud (fossé Sud-Amadaoua) du plateau de l'Adamaoua. La direction structurale NO70 de l'Adamaoua correspond au sud du plateau à des accidents mylonitiques panafricains montrant un raccourcissement W-E se manifestant par coulissements et plis. L'étude du fossé Sud-Adamaoua montre la succession de déformations cassantes suivante :

— Une phase de raccourcissement (P1) WNW-ESE faisant rejouer en coulissement dextre les accidents mylonitiques du Sud-Adamaoua.

— Une phase distensive (P2) constituée de deux épisodes de déformation faisant rejouer en normal-dextre (extension NNE-SSW) et en normal pur (extension NW-SE) les failles bordières de direction NO70 du fossé Sud-Adamaoua.

— Une phase de compression NW-SE (P3) qui affecte le remplissage sédimentaire du fossé (phase régionale fini-crétacé). La phase de raccourcissement (P1) est mise en relation avec la rupture équatoriale qui ébauche l'ouverture de l'Atlantique Sud à la fin du Crétacé inférieur. La période distensive qui suit enregistre l'ouverture franche de l'Atlantique Sud au Crétacé moyen. La structure du plateau de l'Adamaoua correspond à un horst sur la bordure sud, alors que l'escarpement nord a été mis en relief au cours de la phase de compression du Crétacé terminal.

Mots-clés : Cameroun - Adamaoua - Crétacé - Tectonique cassante - Fossé tectonique - Mylonite - Panafricain.

Abstract : Structural study of north and south edges of Adamaoua : influence of the South Atlantic opening. The general framework of Adamawa comprises an axial uplifted zone which is bounded by the Benoue trough northward and the South-Adamawa trough southward. The present table-land part of Adamawa comprises only the southern part of the entire Adamawa uplifted block. In order to estimate the structural signification of the plateau, detailed structural analyses have been carried out on its north and south edges. The southern edge of the plateau coincides with the South-Adamawa trough, while the so-called « Ngaoundere cliff » among the uplifted block constitutes its northern edge. The following succession of deformations has been recognized in the South-Adamawa trough :

— mylonitic deformations generated by a Pan African dextral wrenching on a regional scale ;

— brittle shear zones and faults are related to three tectonic events. A WNW-ESE shortening (P1) related to a dextral wrenching of the N70E fault zone.

The phase (P1) is probably related to the equatorial dextral wrenching of the South-Atlantic opening. A distensive period (P2) which normal faulting is related to the sedimentary filling of the South-Adamawa trough, with the probable succession of two tectonic events, a prior NNE-SSW follow by a NW-SE extension. The NW-SE shortening (P3) occurred much probably by the end of Cretaceous. The northern edge of the plateau is mainly affected by the NW-SE shortening, and the formation of the morphological scarp may be related to the effect of the compression on the granitic massif of Ngaoundere.

Key words : Cameroon - Adamawa - Cretaceous - Brittle tectonic - Tectonic trough - Mylonite - Pan-African.

(1) ORSTOM, Lima, apartado 18-1209.

INTRODUCTION

Le plateau de l'Adamaoua constitue l'une des grandes unités morpho-structurales du Nord-Cameroun. Sa structure géologique porte l'empreinte des grands événements qui ont structuré l'Afrique centrale : l'orogénèse panafricaine à la fin du Précambrien, puis l'ouverture de l'Atlantique au Mésozoïque. Les unités de gneiss et de granites panafricain sont traversés de bandes mylonitiques dont la plus importante, d'orientation générale ENE-WSW, jalonne la bordure sud de l'Adamaoua. Cette bande mylonitique correspond à une importante zone de faille sub-verticale ayant joué au panafricain (KOCH, 1953, CORNACCHIA et DARS, 1983). La continuité de ces accidents se retrouve au Brésil dans la zone de faille de Pernambuco (DE ALMEIDA et BLACK, 1967). Ces accidents panafricains rejoueront préférentiellement au Mésozoïque, réactivés lors de l'ouverture de l'Atlantique.

La cartographie de la partie orientale de l'Adamaoua (LASSERRE, 1961) a été suivie par plusieurs études du fossé Sud-Adamaoua (VINCENT, 1968, 1970 ; LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971 ; CHEVASSUS-AGNÈS, 1971). Pour MASCLE (1977), l'Adamaoua représente un massif axial constitué de socle Précambrien, soulevé au cours du Crétacé supérieur et du Tertiaire et au sein duquel le plateau de l'Adamaoua est assimilé à un horst. Cet « axe Adamaoua », comme on le désigne aussi, est bordé au nord par la fosse

Nord-Adamaoua (fosse de la Bénoué) et au sud par le fossé Sud-Adamaoua (fig. 1). Ce dernier se trouve localisé sur le tracé d'accidents mylonitiques de grande extension.

Pour éviter toute confusion, il faut rappeler que le terme Adamaoua prend un sens différent pour le géographe, pour qui il ne désigne que le plateau situé dans la partie méridionale du massif axial, entre la « falaise de Ngaoundere » au nord et le fossé Sud-Adamaoua au sud (fig. 2). La « falaise de Ngaoundere », terme impropre mais consacré, désigne une brusque dénivelée qui sépare la partie nord de l'Adamaoua (altitude inférieure à 800 m) du plateau de la partie sud (altitude moyenne de 1 100 m). Ce plateau est en grande partie recouvert par d'importants épanchements volcaniques basaltiques et basalto-andésitiques d'âge essentiellement tertiaire, qui débordent dans la partie médiane du fossé sud (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971). Le fossé Sud-Adamaoua contient des témoins sédimentaires importants de l'histoire mésozoïque. On n'y connaît pas par contre de sédiments tertiaires, la réactivation tectonique du fossé à cette époque s'étant accompagnée d'un soulèvement général.

Les résultats présentés ici proviennent d'une étude réalisée sur les bords nord et sud du plateau de l'Adamaoua, dans le but d'en préciser sa structure d'ensemble. Ils montrent que ces deux bordures ont des caractères structuraux assez différents, ce qui

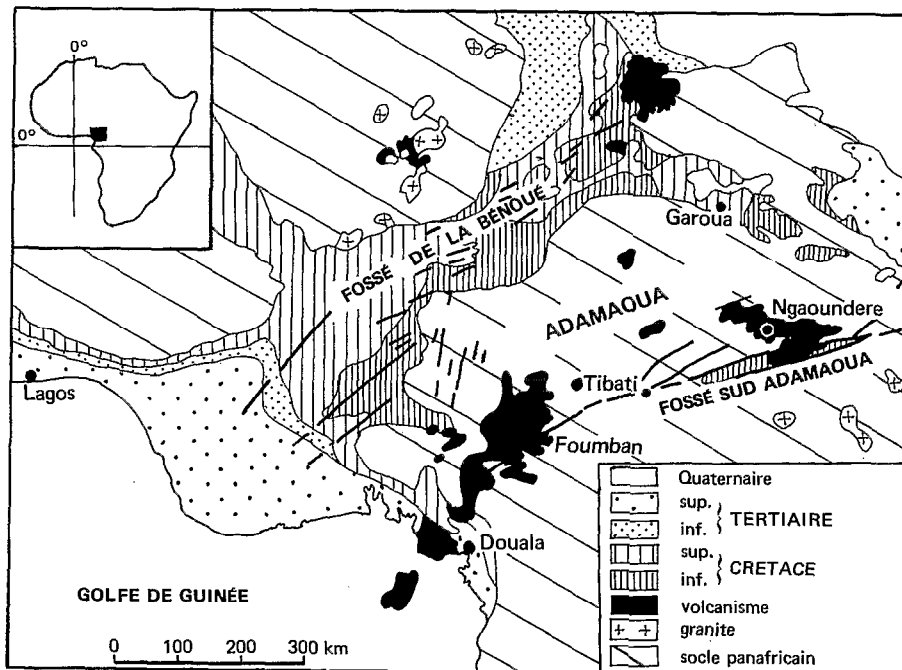


Fig. 1. — Schéma géologique de l'Adamaoua et de ses fossés bordiers.
Geological setting of Adamaoua and the bordering troughs.

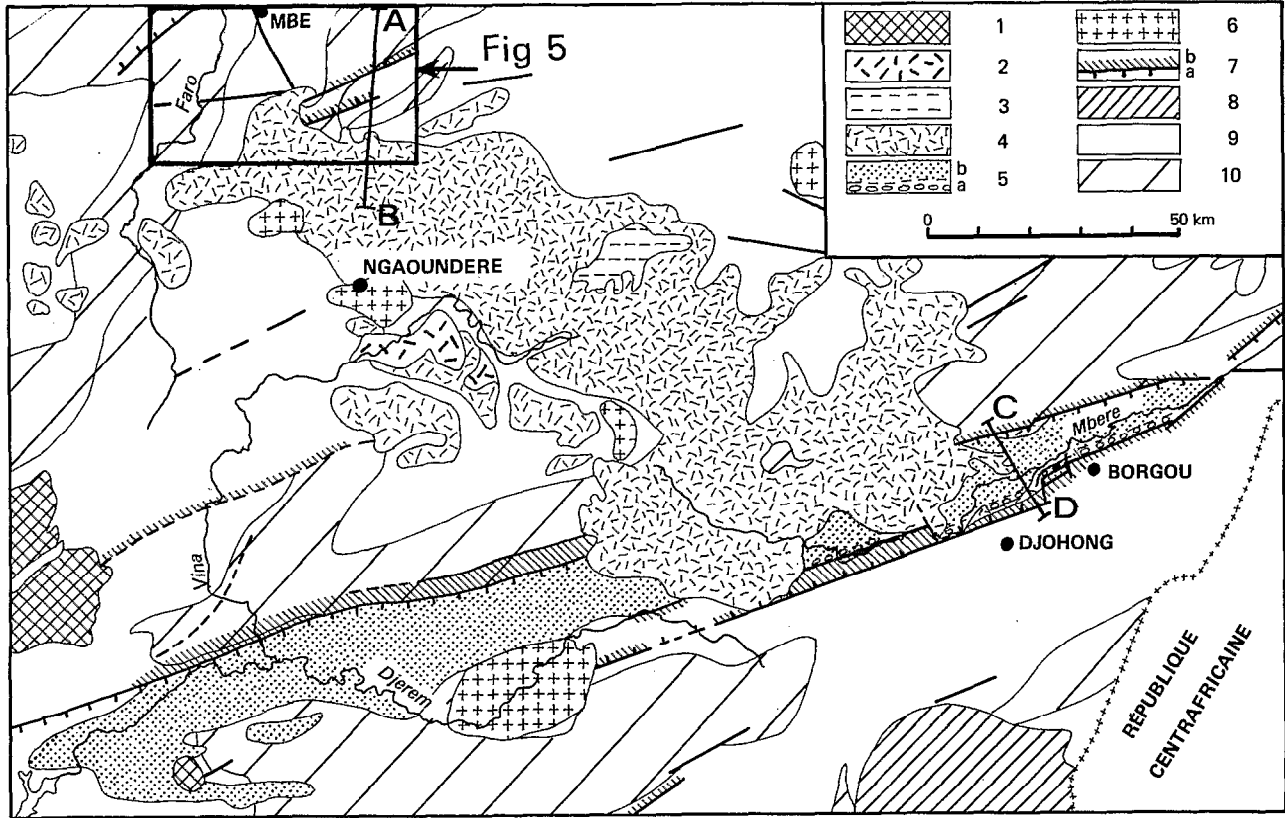


Fig. 2. — Schéma géologique du plateau de l'Adamaoua, d'après LASSERRE (1961) et LE MARECHAL et VINCENT (1971). 1. Cuirasses d'altération latéritique ; 2. Basaltes de la série supérieure ; 3. Trachytes, trachy-andésites et rhyolites de la série moyenne ; 4. Basaltes de la série inférieure ; 5. Sédimentaire du fossé Sud-Adamaoua, a : conglomérats métamorphiques, b : conglomérats et arkoses ; 6. Granites panafricains tardifs ; 7. Failles, a : avec épaulement morphologique important, b : avec mylonites ; 8. Schistes épimétamorphiques de la série du Lom ; 9. Granites syntectoniques (panafricains) anciens ; 10. Migmatites et gneiss.

Geological setting of Adamaoua Plateau, from LASSERRE (1961) and LE MARECHAL and VINCENT (1971). 1. lateritic crust ; 2. basalts of upper units ; 3. trachytes trachy-andesites and rhyolites of the middle unit ; 4. basalts of the lower units ; 5. sedimentary formations of the South Adamaoua trough, a : metamorphic conglomerats, b : conglomerats and arkoses ; 6. late panafrican granits ; 7. faults, a : with considerable morphologic epaulment, b : with mylonites ; 8. epimetamorphics schists (unit of Lom) ; 9. syntectonics (panafrican) granits ; 10. migmatites and gneiss.

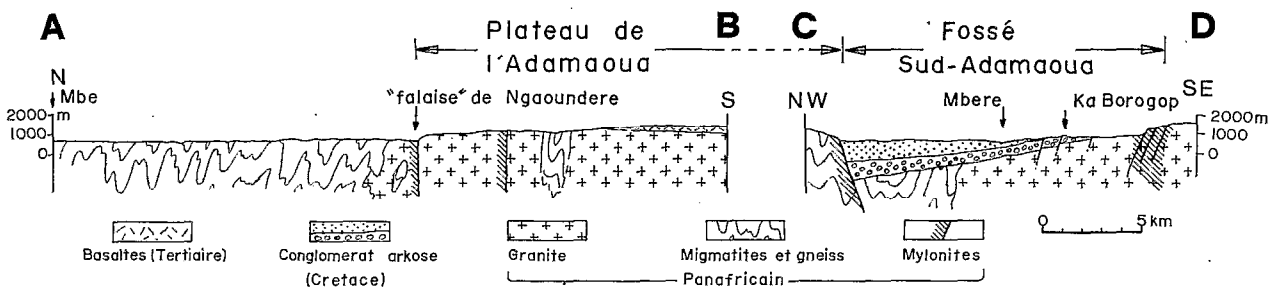


Fig. 3. — Coupes géologiques schématisques des bordures du plateau de l'Adamaoua, localisées sur la figure 2.
Schematic geological sections of the borders of Adamaoua Plateau (located on Fig. 2).

oblige à adopter un plan présentant successivement chacun des deux secteurs avant d'en faire la synthèse.

CADRE STRUCTURAL : L'HÉRITAGE PANAFRICAIN

Un des grands traits structuraux de l'Adamaoua réside dans la présence de grandes bandes mylonitiques. L'une des plus importantes, de direction WSW-ENE, s'étend sur 500 km depuis Fumban à l'ouest jusqu'en République Centrafricaine. Elle suit la limite sud du plateau de l'Adamaoua, et se superpose aux failles de la bordure nord du fossé Sud-Adamaoua. La structure de cette bande est dissymétrique : les déformations affectent progressivement les gneiss qui la bordent au nord, et augmentent jusqu'aux faciès d'ultramylonites qui marquent la bordure sud au contact de gneiss peu déformés. Un échantillonnage de la partie sud de la bande mylonitique a été réalisé à l'ouest de Tibati, secteur où se trouvent aussi les restes sédimentaires les plus occidentaux du fossé Sud-Adamaoua (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971). Dans cette région où les gneiss affleurent mal, les mylonites plus résistantes à l'altération forment de petits chaînons d'orientation NO70. On observe du NW vers le SE en 500 m environ une augmentation de l'intensité de la déformation avec successivement des protomylonites, des orthomylonites, puis des ultramylonites, suivant la classification de WYSE *et al.*, (1984). Ces dernières, plus sombres et plus dures que les autres mylonites marquent la limite méridionale morphologiquement bien marquée de la bande mylonitique. Le pendage moyen de la foliation mylonitique est de 30 degrés dans les protomylonites, mais augmente, jusqu'à devenir sub-vertical dans les ultramylonites. Le classement des directions des plans foliés montre un pic entre NO65 et NO75, ce qui correspond à la direction régionale de la bande mylonitique, mais on note aussi un groupement de directions plus obliques entre NO30 et NO50. La foliation mylonitique est déformée par des plis tardifs d'axes sub-horizontaux et des plans axiaux sub-verticaux de direction NO30.

La bordure sud du fossé Sud-Adamaoua se superpose aussi à une bande mylonitique, mais de moindre importance. Les observations faites près de Borgou, dans la zone limite où les gneiss ne sont pas encore très déformés, montrent des déformations de la foliation gneissique qui associent coulissement et plis. Les failles décrochantes encadrent des compartiments affectés de plis semblables décimétriques montrant la combinaison de déformations ductiles et cassantes cohérentes, sans que l'on puisse dire si ces déformations sont mono- ou polyphasées. Ces déformations correspondent à un raccourcissement sensiblement W-E ayant fait jouer en dextre les fractu-

res orientées au NO70. Les bandes de mylonites sont coupées par les granites du Panafricain tardif (LASSERRE, 1961). Un élément de datation plus précis existe en Centrafrique où des accidents situés dans le prolongement des failles mylonitiques du Sud de l'Adamaoua ont joué antérieurement à des granites du Cambrien (CORNACCHIA et DARS, 1983).

ÉTUDE DE LA DÉFORMATION CASSANTE

Bordure nord du plateau : présentation

La morphologie de la bordure nord du plateau apparaît dans le détail comme très irrégulière, la direction générale ENE-WSW étant compliquée par d'importants rentrants, notamment au niveau de la « falaise de Ngaoundere » (fig. 5). Le versant du plateau suit approximativement la limite des granites panafricains anciens (massif granitique de Ngaoundere) avec les gneiss migmatitiques de Mbe (LASSERRE, 1961). Les gneiss de Mbe ont une foliation de direction NE-SW à fort pendage et contiennent des bandes mylonitiques de même direction.

Une étude de télédétection des alignements sur image Landsat et sur photographies aériennes a été réalisée en préparation à l'étude de terrain.

ÉTUDE TÉLÉDÉTECTION

Le relevé des alignements importants a été réalisé sur la scène Landsat 198-55 par des observations en fausse stéréoscopie (fig. 4). Seules les reliefs accidentés en bordure du plateau montrent un réseau dense d'alignements. Les parties peu accidentées, sur le plateau et en contrebas au nord, sont presque sans alignements visibles, ce qui est principalement dû aux conditions d'affleurement (végétation, altération). Deux directions importantes ressortent nettement : la direction NO60 à NO70 qui est la direction générale du plateau, et la direction N160 à N170, dans la partie ouest traversée par les gorges du Faro (fig. 4).

Les alignements relevés sur photographie aérienne au 1/35 000 ont été reportés sur un fond topographique (fig. 5). Trois directions importantes apparaissent : les directions ENE-WSW et NNW-SSE qui sont aussi détectées sur images Landsat, plus une direction E-W qui est ici dominante. Cette dernière direction apparaît essentiellement dans le secteur de la « falaise de Ngaoundere ». Par contre, elle ne peut être détectée sur les images Landsat, car elle se superpose au balayage.

RECONNAISSANCE DES FRACTURES

Un bilan général de la fracturation a été réalisé dans trois secteurs de l'escarpement nord du plateau,

distants chacun d'environ 25 km (fig. 5). De l'ouest vers l'est, il s'agit 1) des gorges de la rivière Faro, 2) de la « falaise de Ngaoundere », 3) de l'escarpement au sud de Sasa-Mbersi.

Sur les 508 lithoclasses qui ont été relevées dans les trois secteurs, 93 seulement correspondent à des failles certaines avec des stries de glissement et/ou des rejets apparents (fig. 6). Cette faible proportion de failles caractérisées dans des secteurs où la tectonique cassante paraît pourtant prépondérante, doit être mise sur le compte du matériel qui est surtout granitique et souvent très altéré, et de ce fait impropre à l'identification des mouvements et à la conservation des plans striés. Cependant, les diagrammes de direction montrent des regroupements d'azimuts très semblables pour les failles d'une part et les fractures sans déplacements relatifs visibles d'autre part

(fig. 6 : A, B et C), ce qui suggère que tout ou beaucoup de ces lithoclasses puissent correspondre à des failles.

Le diagramme des directions de failles (fig. 6, B) montre une prédominance des directions proches de NW-SE. Les fractures montrent un groupement du même type (fig. 6, C). Dans le détail, ces directions de secteur NW-SE se répartissent en plusieurs pics orientés à N115, N130, N140 et N150. Les relevés de terrain montrent que, suivant les endroits, une ou plusieurs de ces directions peuvent être prépondérantes. Les fractures W-E, d'importance statistique moindre sont souvent injectées de roches basiques, et pour cette raison sont bien soulignées par la morphologie locale. Ceci peut expliquer l'exagération de cette direction sur les observations de photos aériennes. Les failles sub-méridiennes sont peu fré-

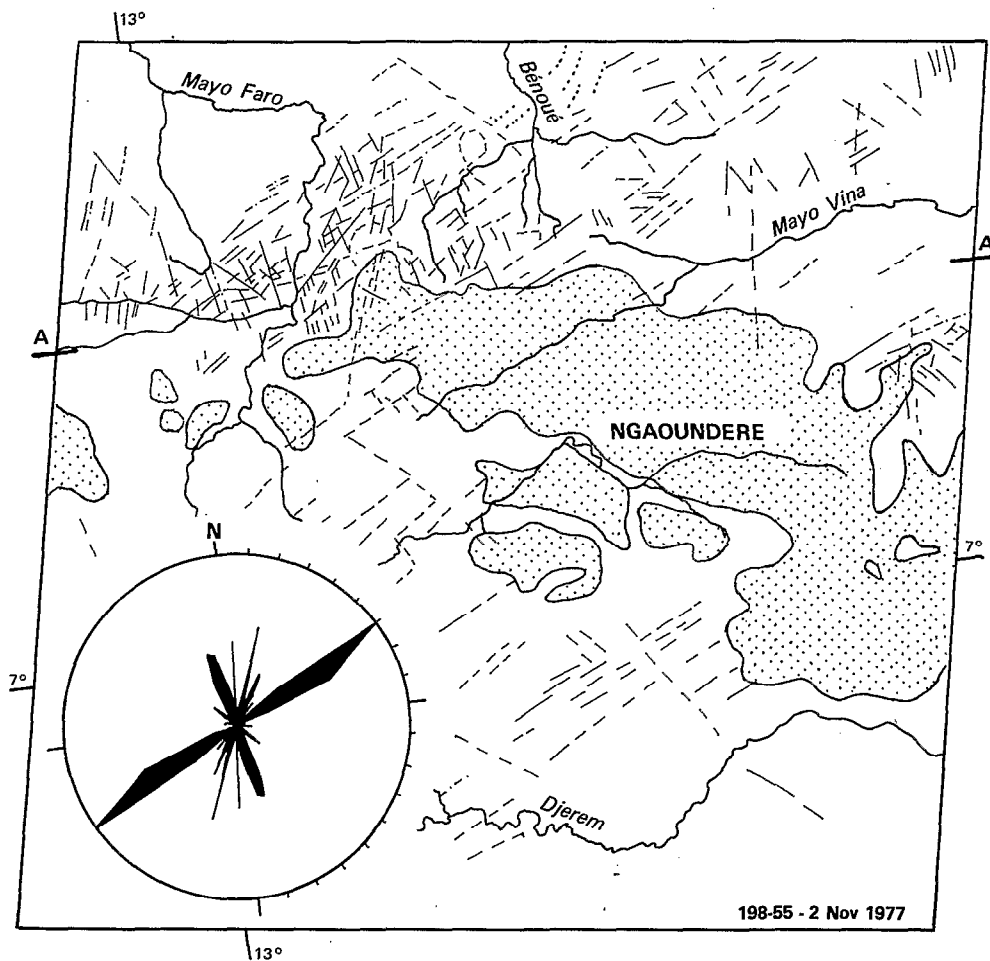


Fig. 4. — Alignements relevés sur image Landsat de la bordure nord du plateau. Le diagramme de directions cumulées concerne les 184 lignes relevées dans la zone de l'escarpement, au nord de la ligne A-A. La trame pointillée délimite approximativement le volcanisme tertiaire.

Lines surveyed by Landsat imagery of the northern edge of the plateau. The stereogram of cumulated directions concerns the 184 lines measured in the zone of escarpment, in the north of A-A line. The stippled frame delimites roughly the tertiary volcanism.

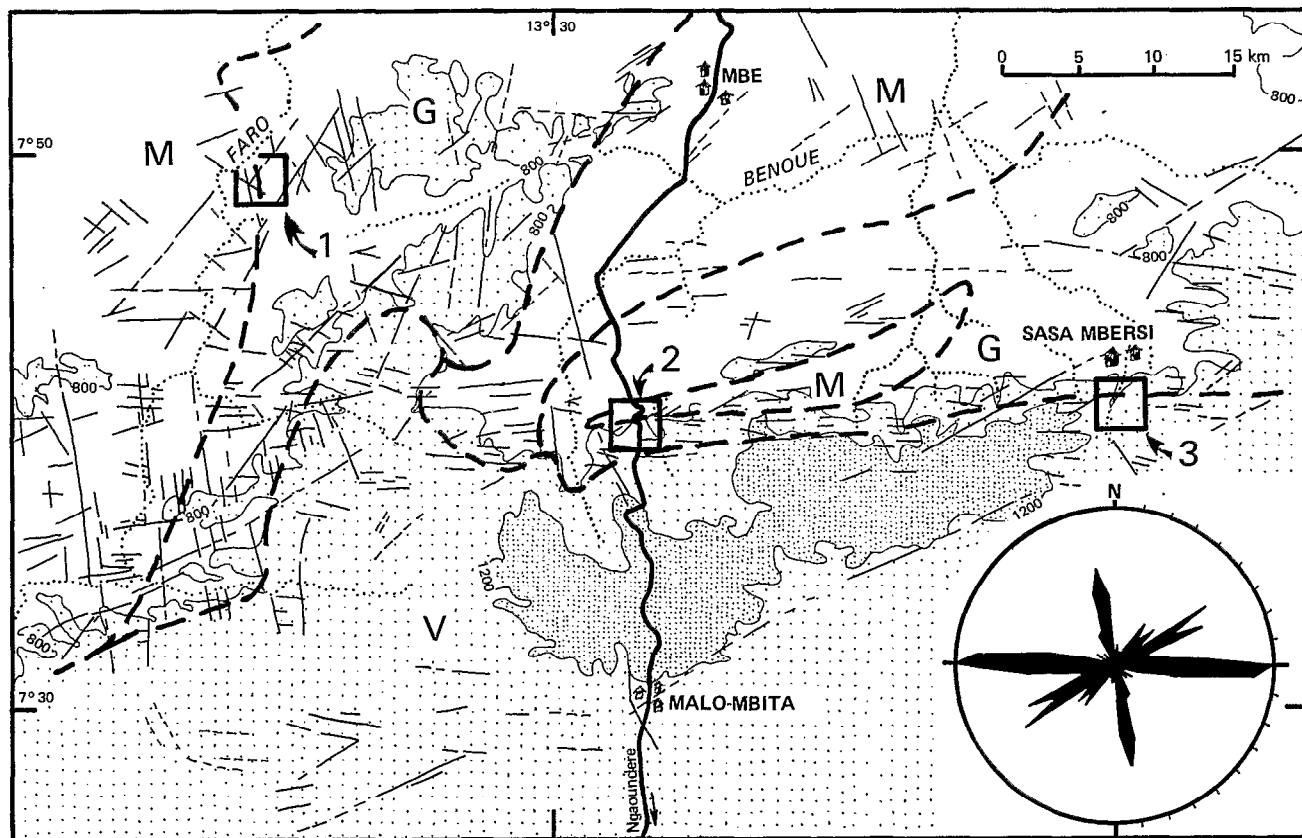


Fig. 5. — Schéma montrant les relations entre topographie, fracturation et limites géologiques sur la bordure nord du plateau de l'Adamaoua. La fracturation (traits fins discontinus) provient d'observations sur photographies aériennes reportées sur carte topographique détaillée, avec un diagramme de direction (en bas à droite) des directions cumulées. Altitudes : trame serrée, altitudes de plus de 1 200 m ; trame lâche, altitudes entre 800 m et 1 200 m ; sans trame, altitudes inférieures à 800 m. Géologie : zones limitées par le pointillé fort : M. migmatites, G. granite, V. volcanisme tertiaire. Secteurs étudiés : 1. Gorges du Faro ; 2. Falaise de Ngaoundere ; 3. Sasa-Mbersi.

Diagram showing the relationships between topography, fracturation and geological boundaries on the northern edge of Adamaoua Plateau. The fracturation (fine broken lines) results of observations on air photographs transferred on the detailed topographic map, with a stereogram of the cumulated directions (on the right). Height : close texture > 1 200 m, loose texture 1 200 to 800 m, no texture < 800 m. Geology : area delimited by strong stippled line : M. migmatites, G. granite, V. tertiary volcanism. Studied zones : 1. gorge of Faro ; 2. cliff of Ngaoundere ; 3. Sasa-Mbersi.

quentes, mais généralement très nettes. On notera enfin la discrétion de la direction NE-SW, qui est pourtant celle de l'escarpement. Presque négligeable sur le diagramme des failles (fig. 6, B), elle apparaît comme secondaire sur celui des lithoclasses (fig. 6, A).

CINÉMATIQUE DES FAILLES DU BORD NORD DU PLATEAU

La position des stries et des plans porteurs indique que la fracturation avec coulissement semble la plus fréquente : les stries à pitch de moins de 45 degrés sont les plus fréquentes (90%), de même que les plans très inclinés (10% de pentages de moins de 70 degrés, pour 56% de plus de 80 degrés). L'étude de terrain montre en effet que la déformation la mieux

caractérisée est exprimée par des failles coulissantes NNW-SSE sénestres et WNW-ESE dextres (fig. 7, A). Le traitement graphique par la méthode des dièdres droits indique une direction de raccourcissement N155 par décrochements, avec des axes de contrainte sigma 1 et sigma 3 sub-horizontaux. La fracturation relative à cette phase est généralement peu dense, mais s'observe de manière dispersée dans l'ensemble des secteurs étudiés.

A 10 kilomètres à l'est de Mbe, des observations faites dans les gneiss qui affleurent sur le bord de la Bénoué montrent un réseau de fractures sub-verticales, de directions N130 à N170 dextres et N175 à N025 sénestres. Les stries ne sont pas toujours observables

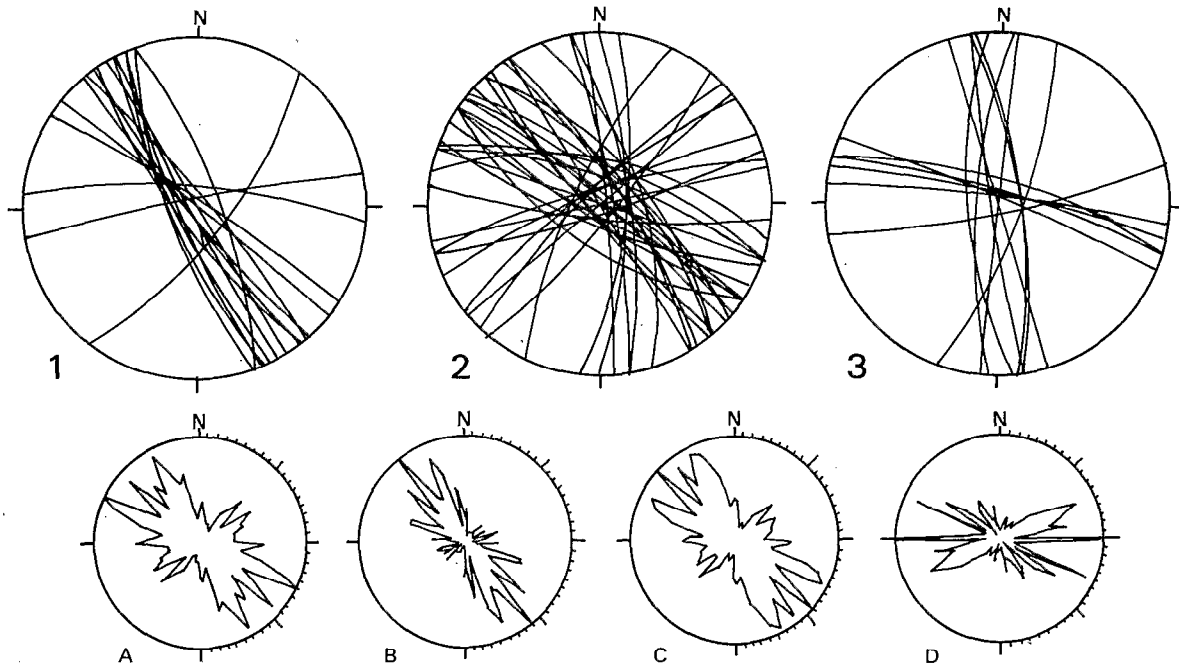


Fig. 6. — Lithoclasses de la bordure nord du plateau. Partie inférieure, roses de directions de fractures : A. Lithoclasses sans stries ni rejet visible (415 mesures). B. Failles avec rejet et/ou stries (93 mesures). C. Lithoclasses et failles rassemblées (508 mesures). D. Failles du fossé Sud-Adamaoua (pour comparaison). Partie supérieure, représentation stéréographique des failles : 1. secteur du Faro ; 2. secteur de la « Falaise de Ngaoundere » ; 3. secteur de Sasa-Mbersi.

Fractures on the northern edge of the plateau. In the lower part, rose diagram of the fractures. A. fractures without striations and visible throw (415 data) ; B. faults with visible throw and/or striations (93 data) ; C. fractures and faults together (508 data) ; D. fault of South-Adamaoua trough (for comparison). In the upper part, rode diagram of faults : 1. zone of Faro ; 2. zone of the «Ngaoundere cliff» ; 3. zone of Sasa-Mbersi.

mais les rejets horizontaux sont clairement identifiables grâce aux repères fournis par la foliation verticale des gneiss. Le traitement graphique indique un raccourcissement dans un dièdre aigu de secteur N170 à N175, et donc une phase de compression en régime décrochant (fig. 7, B).

Les observations de failles à jeu normal prédominant sont rares, et ne permettent pas de caractériser une véritable phase tectonique en distension. Ces failles sont mineures et ne peuvent être mises en relation avec la formation d'escarpements importants.

CONCLUSIONS SUR LA BORDURE NORD DU PLATEAU DE L'ADAMAOUA

Une seule phase de compression en régime décrochant se trouve bien exprimée. Les directions de l'ensemble des fractures sont comprises dans un dièdre aigu N110-N150, ce qui est cohérent avec la direction de raccourcissement obtenue par traitement graphique des plans de failles. La direction structurale de l'Adamaoua ENE-WSW à NE-SW ne paraît pas avoir de relation avec la tectonique cassante observée. Il serait possible de penser que les fractures

relevées correspondent à des jeux secondaires par rapport à une zone de faille majeure non observée, parallèle à la direction panafricaine. Ce cas paraît improbable car deux coupes continues ont été réalisées dans des conditions d'affleurement continues en suivant des ravins recoupant le versant du plateau (secteurs 2 et 3, fig. 5) et n'ont pas apporté d'indices de failles importantes suivant cette direction. La direction structurale de l'Adamaoua se superpose à des directions panafricaines qui correspondent à des structures planaires (foliation des gneiss, limites géologiques et bandes de mylonites) sub-verticales ou très inclinées qui sont presque orthogonales à la direction du raccourcissement. On ne doit donc pas s'étonner du rejeu faible ou nul de la direction panafricaine au cours du raccourcissement NW-SE.

Le parallélisme observé entre la bordure morphologique du plateau et la limite géologique du massif granitique de Ngaoundere tendrait à présenter la bordure du plateau comme un relief dégagé par l'érosion. Quelques exceptions notables à ce parallélisme (à l'ouest de Mbe et à l'est de Sasa-Mbersi) montrent que l'érosion différentielle ne suffit pas pour

expliquer l'escarpement dans son ensemble. On peut donc penser que la compression NW-SE, seule phase tectonique bien exprimée, a pu contribuer à la montée tectonique du massif granitique de Ngaoundere par rapport à son environnement gneissique, l'érosion différentielle n'intervenant que pour accentuer le contraste morphologique.

La compression NW-SE ne peut pas être datée dans ce secteur. Le contexte régional permet cependant d'établir une relation avec la phase compressive de la fin du Crétacé, qui est connue plus au sud dans le fossé Sud-Adamaoua et au nord dans le fossé de la Bénoué (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971 ; BENKHELIL, 1982 ; fig. 8, P3).

Le fossé Sud-Adamaoua

PRÉSENTATION

Le fossé Sud-Adamaoua correspond à un couloir d'environ 20 km de large et de presque 150 km de

long pour la partie actuellement visible. Il est limité par deux escarpements de failles presque rectilignes qui atteignent localement 600 m de commandement. Le fossé se ferme vers l'est, et se continue vers l'ouest en demi-fossé à épaulement nord (fig. 2). Ce demi-fossé s'est étendu vers l'ouest jusqu'à Tibati où affleurent des conglomérats métamorphisés comparables à ceux du remplissage basal de la partie orientale du fossé (VINCENT, 1968, 1970 ; LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971). L'ensemble du bassin d'effondrement Sud-Adamaoua atteint plus de 300 km de long.

La structure générale du fossé correspond à un graben dissymétrique. Dans la partie orientale où il est encadré de deux épaulements à fortes dénivelées, la faille nord est prépondérante et commande l'effondrement le plus important. Cette dissymétrie a été reconnue en géophysique (COLLIGNON, 1970). La gravimétrie montre des répartitions de densité impliquant une accumulation sédimentaire importante au pied de la faille nord, et le magnétisme indique des contrastes d'aimantation pouvant être dus à des

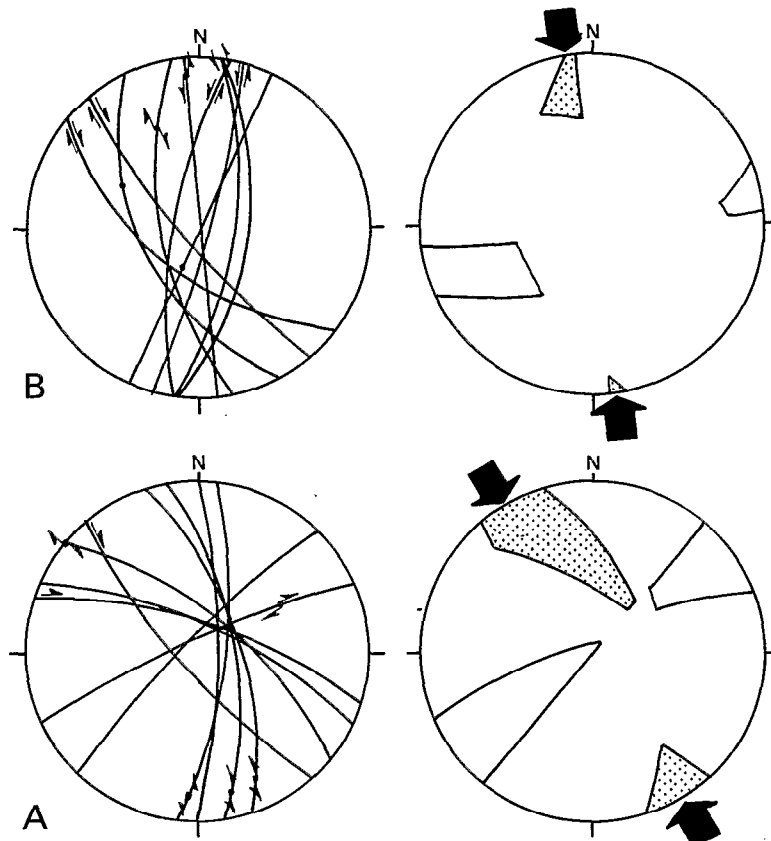


Fig. 7. — Phases de déformations de la bordure nord du plateau, avec la représentation stéréographique des plans de failles à gauche et le traitement graphique (dièdres droits) à droite. A : Raccourcissement NW-SE, site du bas de la « Falaise » ; B : Raccourcissement sub-méridien, site du pont de la Bénoué au sud de Mbe.

Stages of deformation of the northern edge of the plateau, with stereographic representation of fault scarps on the left and graphic treatment in the right side. A : shortening NW-SE, site down of the cliff ; B : sub-meridian shortening, bridge over the Benoué, south of Mbe.

alignements de roches basiques disposées dans le fossé, parallèlement à ses bordures. Du point de vue géologique, cette dissymétrie se reconnaît par le fait que l'ensemble de la série sédimentaire est basculée vers le nord (fig. 3), le sommet du remplissage sédimentaire affleurant au pied de l'escarpement nord alors que les conglomérats de base ou même le soubassement affleurent au pied de l'escarpement sud.

LE MARÉCHAL et VINCENT (1971) et CHEVASSUS-AGNÈS (1971) distinguent deux périodes dans l'évolution du fossé. La première, dominée par un régime distensif, correspond au remplissage crétacé et se termine par une surface d'aplanissement à reliefs résiduels. La seconde, au Tertiaire, serait liée au rajeunissement morphologique du fossé provoqué par la surrection générale de l'Adamaoua et le volcanisme fissural qui se développe sur le plateau et le long des failles bordières.

LE REMPLISSAGE SÉDIMENTAIRE

Les niveaux les plus bas de la série sédimentaire, en discordance sur le socle, sont des conglomérats polygéniques à éléments hétérométriques (de 5 à 40 cm) de gneiss, granite, amphibolites et quartz. La sédimentation est de type molassique. A ces conglomérats font suite en continuité des grès arkosiques. Des fragments de bois silicifiés trouvés dans ces grès ont été attribués au Crétacé moyen (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971). Une analogie avec la série de Lamé au Tchad (ROCH, 1953) donnerait une fourchette d'âge située entre l'Albien et le Turonien. L'épaisseur de la série sédimentaire est difficile à estimer, et varierait de 1 400 à 2 500 m à la hauteur de Djohong (CHEVASSUS-AGNÈS, 1971), dont 500 m pour les conglomérats de base (VINCENT, 1968). Les données géophysiques sont compatibles avec une épaisseur de 1 600 à 2 000 m (COLLIGNON, 1970).

Le fossé Sud-Adamaoua ne paraît pas avoir été atteint par les transgressions marines, à l'inverse du bassin nigérian de la Bénoué localisé sur les marges nord et ouest de l'Adamaoua (fig. 1).

ÉTUDE DES FRACTURES

La partie du fossé Sud-Adamaoua située au nord de Djohong, et que nous désignerons plus simplement comme fossé de la Mberé, a été étudiée en détail du point de vue de la fracturation. Les observations faites sont plus variées et plus complètes que sur la bordure nord du plateau. En plus des microfractures, on a pu observer des failles d'extension régionale qui sont en relation directe avec la structure du fossé.

La figure 6, D donne les directions des plans de fractures relevés. La direction la plus importante en densité se trouve entre NO60 et NO70, et correspond à l'allongement du fossé. Cependant, la direction la plus importante en pourcentage par classe azimutale est W-E, et il existe d'autres pics importants dans les

secteurs WNW-ESE à NW-SE. L'étude de terrain montre que ces pics étroits correspondent surtout à des directions de failles coulissantes dextre (WNW-ESE) ou sénestres (NW-SE). Remarquons la très faible proportion des fractures dans le secteur NNE-SSW à NE-SW, ce qui est un trait commun avec la bordure nord du plateau de l'Adamaoua.

LA FRACTURATION DANS LE SOCLE

Les fractures rencontrées dans le socle gneissique sont pour une grande part des plans lisses souvent polis et striés de longues et fines rainures. Dans la partie haute de l'escarpement, on observe des zones de fractures à pendages moyens ou faibles dont les plans sont une succession de petits échelons de fractures pénétratives de type riedel. Les fentes de tension observées sont le plus souvent isolées.

Trois phases successives de déformation ont été distinguées. La chronologie relative a été établie par recoupement de stries ou de plans faillés, ce dernier critère n'étant utilisé que dans le cas de jeux notoirement incompatibles (coulissement pur et jeu normal pur sur deux plans sécants par exemple).

La phase de tectonique cassante la plus ancienne s'exprime par des failles coulissantes définissant une direction de raccourcissement WNW-ESE (P1, fig. 8). Cette phase fait jouer en dextre les failles de direction parallèle au fossé.

La phase suivante est distensive (P2). Les failles normales sont fréquentes dans toute la partie haute de l'épaulement méridional du fossé où elles sont en relation avec des gradins morphologiques. La représentation graphique permet de distinguer deux groupements de directions de stries. L'un correspond à une extension de direction NNE-SSW, l'autre à une direction NNW-SSE à NW-SE (fig. 8, P2, a et b), la chronologie relative de ces deux épisodes étant mal établie.

La chronologie relative et le style des phases (P1) et (P2) ont été observés sur un site d'une qualité exceptionnelle localisé sur la faille majeure bordant le fossé au NW de Borgou. L'escarpement de faille de plus de 100 m de commandement se suit sur plusieurs kilomètres, le plan de faille ayant une direction NO70 et un pendage de 60 degrés au NW (fig. 8, diagramme central). Le plan principal montre un jeu normal pur, l'azimut des stries étant de direction NW-SE. Ce jeu est précédé par un coulissement dextre presque pur observable sur des plans cannelés et striés, de même direction que la bordure du fossé, mais dont l'inclinaison variable fait qu'ils sont recoupés par le plan porteur du jeu normal.

L'importance régionale des plans porteurs de stries normales d'azimut NW-SE (grandes failles limitant le fossé) montre que cette direction de distension est prépondérante. Cependant, les difficultés parfois rencontrées pour distinguer sur le terrain les deux épisodes distensifs NW-SE et NNE-SSW incite à les considérer comme liés à une même phase (P2).

La dernière phase observée ici est un raccourcissement NW-SE exprimé dans le socle par un nombre réduit de failles en décrochement (P3).

DÉFORMATIONS ET FRACTURATION DANS LES CONGLOMÉRATS

Les conglomérats de la partie inférieure du remplissage du fossé montrent un pendage stratigraphique

de 30 degrés au N215, et affleurent relativement bien suivant la longue colline de Ka Borogop (fig. 4). Les plans faillés sont rarement striés, mais les galets cisailés suivant ces plans donnent de bonnes indications des rejets. Les mesures sont cohérentes avec un raccourcissement de direction NW-SE (P3, fig. 8). Un pli métrique d'axe NO60 est signalé par NGANGOM (1983), qui le considère comme cohérent et syn-

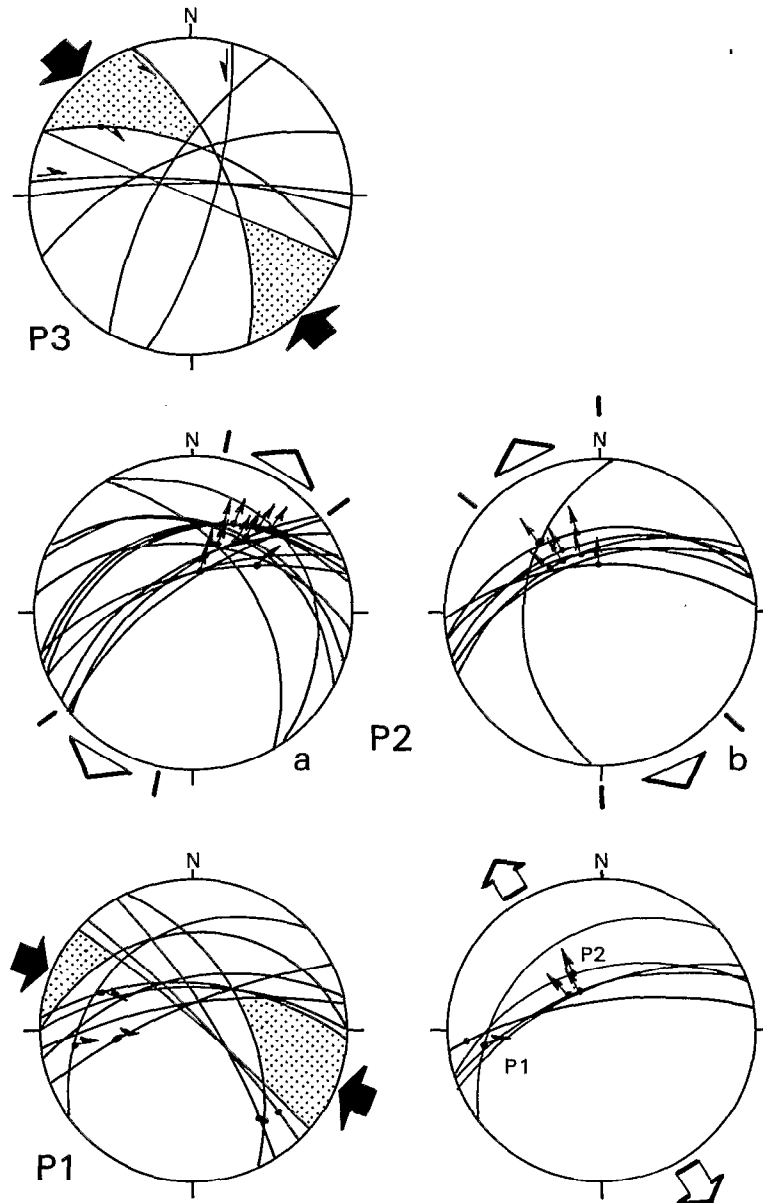


Fig. 8. — Phases de déformations dans le fossé Sud-Adamaoua. Représentation stéréographique des plans de failles. En bas à droite, site de la faille majeure bordière du fossé, avec succession de P1 et P2. Pour la phase P2, succession supposée des jeux (a) puis de (b). En P3, failles relevées dans les conglomérats déposés dans le fossé.

Stades of deformation in the South-Adamaoua trough. Stereographic representation of fault scarps. Down in the right side, emplacement of the major border fault of the trough, with succession of P1 and P2. For the P2 phase the possible succession of displacement (a) then (b) is proposed. In P3 faults measured in conglomerats deposited in the trough.

chrone du raccourcissement NW-SE et des fracturés qui lui sont rapportées.

ÉTAT DE CONTRAINTE DU FOSSÉ SUD-ADAMAOUA

Un jeu antérieur à l'ouverture du fossé correspond à un raccourcissement de direction WNW-ESE (P1). Il affecte en coulissement dextre la faille majeure bordière du fossé, antérieurement à l'ouverture par failles normales (P2).

La phase distensive (P2) apparaît comme composite. L'épisode distensif NNE-SSW paraît responsable du basculement des couches sédimentaires vers le SW, correspondant à une ouverture oblique du fossé suivant un régime de type normal-coulissant dextre, alors que l'épisode NW-SE correspond à un rejet normal pur suivant la faille bordière majeure du fossé.

Le raccourcissement suivant de direction NW-SE (P3) affecte le soubassement et le remplissage sédimentaire du fossé. Ce raccourcissement peut être attribué à la phase de serrage fini-crétacée (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971).

ESSAI DE SYNTHÈSE

Déformations successives et structure de l'Adamaoua

Les phases de déformations cassantes mises en évidence sont les suivantes, de la plus ancienne à la plus récente :

— Un raccourcissement de direction WNW-ESE (P1) en régime décrochant, faisant rejouer en coulissement dextre les failles mylonitiques panafricaines de direction NO70.

— Une phase distensive composite (P2) mise en relation avec l'ouverture et le remplissage sédimentaire du fossé Sud-Adamaoua. La chronologie des deux épisodes de cette phase reste incertaine, la succession suivante qui apparaît comme la plus cohérente étant donnée comme hypothèse. En premier, un épisode distensif NNE-SSW qui serait responsable du basculement des couches sédimentaires basales du fossé vers le SSW et ensuite un épisode distensif NW-SE correspondant au jeu normal pur des grandes failles bordières.

— Une compression de direction NW-SE (P3) qui déforme les sédiments du fossé et provoque un soulèvement général de l'ensemble de l'Adamaoua. Cette phase correspond à la compression fini-crétacée déjà signalée dans l'Adamaoua (LE MARÉCHAL et VINCENT, 1971, NGANGOM, 1983) et le fossé de la Bénoué (BENKHELIL, 1982, MAURIN *et al.*, 1986) avec une direction de serrage NW-SE relativement constante.

— Cette étude n'a pas permis de caractériser les déformations de la tectonique tertiaire. Dans l'ouest du Cameroun, REYRE (1984) a montré l'existence d'un

raccourcissement méridien exprimé par des coulissements sénestres sur des failles de direction NE-SW. Cette phase tectonique qui serait liée à la poussée vers le nord du bloc Bantou aurait donc une extension régionale importante. Par analogie et à titre d'hypothèse il est proposé ici de rapporter à cette phase les réseaux de fractures sub-méridiennes observés près de Mbe, sur la bordure nord du plateau. Ces fractures en coulissement sont conjuguées suivant un dièdre de raccourcissement aigu de direction sub-méridienne (fig. 7, B).

La structure du plateau de l'Adamaoua est plus complexe que ce que les grands traits morphologiques laissent supposer. La bordure sud montre clairement les caractères tectoniques d'un horst, ce qui n'est pas le cas de la bordure nord. Un bilan de la fracturation de la bordure nord montre que 90 % des plans ont un pendage de plus de 70 degrés et que 90 % des stries ont un pitch de moins de 45 degrés, ce qui tend à privilégier l'effet d'une tectonique par coulissement. L'étude similaire menée dans le fossé Sud-Adamaoua donne des résultats à peu près inverses, avec 62 % de failles à pendage de moins de 70 degrés et seulement 19 % de failles à plus de 80 degrés. Ceci montre au moins que si la fracturation dans le fossé sud relève d'une tectonique distensive évidente, il n'en est pas de même sur le bord nord. Deux phases de compression ont été identifiées sur le bord nord du plateau. De ces deux phases, seule la phase de compression NW-SE paraît suffisamment importante pour jouer un rôle dans la formation de l'escarpement du plateau en faisant ressortir le noyau massif du granite de Ngaoundere par rapport aux gneiss.

Implications géodynamiques dans le cadre du fossé de la Bénoué et de l'ouverture de l'Atlantique

Les premiers dépôts sédimentaires dans le fossé de la Bénoué datent de l'Aptien (ALLIX *et al.*, 1984), la sédimentation continentale puis marine se poursuivant jusqu'au Crétacé terminal/Paléocène (ALLIX et POPOFF, 1983). Deux modèles d'évolution structurale du fossé de la Bénoué sont actuellement proposés.

— Le premier à avoir été formulé met en relation la dynamique sédimentaire avec un régime distensif créant des horsts bordés de failles normales de direction W-E (ALLIX et POPOFF, 1983). Ce régime distensif albo-aptien est contemporain de l'ouverture de l'Atlantique Sud. L'histoire du fossé se termine avec la compression fini-maestrichtienne (BENKHELIL, 1982) qui exagère les flexures amorcées au Santonien et provoque des lacunes stratigraphiques et de faibles discordances angulaires (ALLIX *et al.*, 1984).

— Le second modèle assimile le bassin de la Bénoué à un système de type pull-apart (BENKHELIL et ROBINEAU, 1983 ; MAURIN *et al.*, 1986). Une compression méridienne fait rejouer en sénestre les failles mylonitiques de direction NE-SW héritées de la tectonique

panafricaine. L'enchaînement entre cette phase d'ouverture de fossés en pull-apart et la tectonique compressive fini-crétacé serait expliqué par une déviation du champ de contrainte de N-S à NW-SE, induite par la présence des accidents mylonitiques anciens.

Disons tout de suite que ce dernier modèle est difficilement intégrable dans le cadre tectonique de l'Adamaoua, tel qu'on le connaît actuellement. La compression méridienne invoquée pour créer le fossé de la Bénoué en pull-apart est incompatible avec les extensions NNE-SSW et NW-SE qui ouvrent le fossé Sud-Adamaoua à la même époque. Rappelons que cette distension est exprimée dans le fossé Sud-Adamaoua par des plans de failles d'extension

régionale et de rejet importants (au moins hectométriques), et qu'il est difficile d'en faire abstraction. De plus, les rapports dimensionnels (longueur/largeur) du fossé Sud-Adamaoua excluent que l'on puisse envisager pour ce dernier une formation par pull-apart (AYDIN et NUR, 1982). En fait, la présence dans le fossé de la Bénoué de failles synsédimentaires méridiennes à jeu normal (BENKHELIL, 1982) et la structuration en sous-bassins d'orientation W-E et encadrés de horsts durant l'Aptien supérieur et l'Albien inférieur (ALLIX et POPOFF, 1983) sont des données plutôt favorables à une ouverture de ce fossé par un régime distensif assez comparable à celui du fossé Sud-Adamaoua.

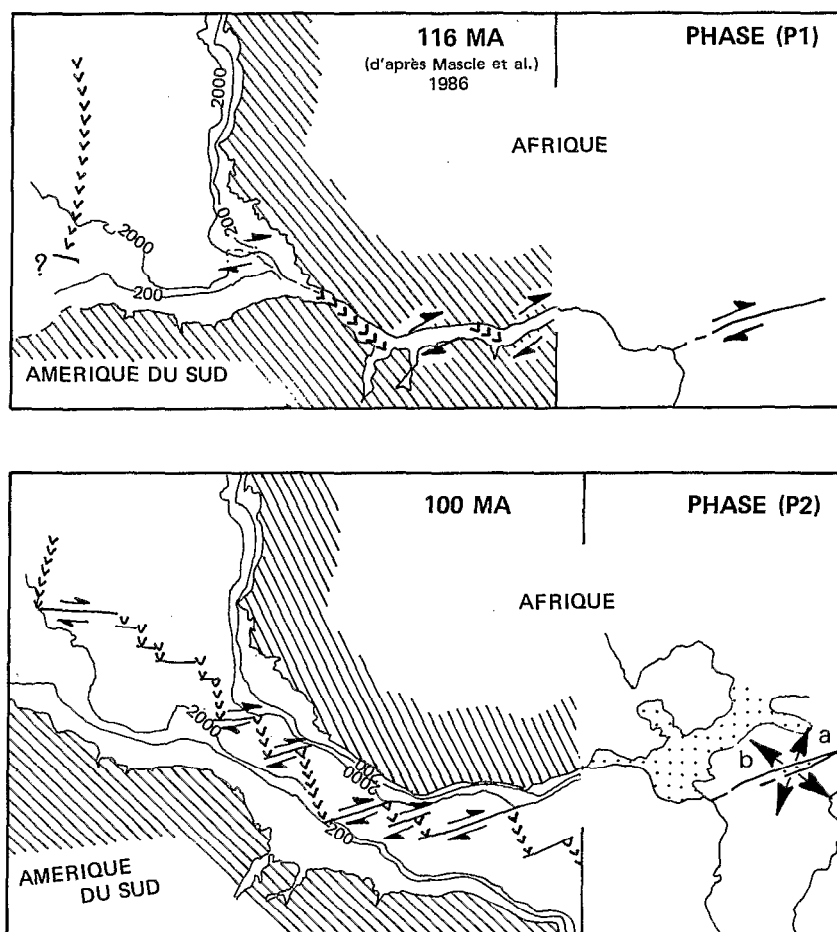


Fig. 9. — Essai de corrélation avec l'ouverture de l'Atlantique. A gauche, état de l'Atlantique équatorial suivant : MASCLE *et al.* (1986), figures prolongées vers l'est jusqu'à l'Adamaoua. En haut, on voit la bonne corrélation possible entre la phase P1 de l'Adamaoua et les cisaillements dextres qui amorcent l'ouverture de l'Atlantique Sud. En bas, ouverture de l'Atlantique Sud et distensions de la phase P2 (a, puis b) relevées dans l'Adamaoua.

*Attempt of correlation with the Atlantic opening. In the left, state of the equatorial Atlantic from MASCLE *et al.* (1986), figures extended to the East as far Adamaoua. On the top, we see the good possible correlation between the P1 stade of Adamaoua and the dextral shearings that start the opening of the South Atlantic. Down, opening of the South Atlantic and overstretchings of the P2 stade (a, then b) measured in Adamaoua.*

Les structures continentales dans le prolongement du golfe de Guinée et plus spécialement le fossé de la Bénoué sont classiquement interprétées dans le cadre de l'ouverture de l'Atlantique, suivant des modalités assez variées : graben lié à l'ouverture de l'Atlantique équatorial (STONELEY, 1966), jonction triple de rifts océaniques (GRANT, 1971), rift océanique avorté en aulacogène (BURKE *et al.*, 1970), pour ne citer que les principaux modèles. MASCLE (1977) est, semble-t-il, le premier à avoir considéré les particularités structurales de l'Adamaoua, en retenant une évolution en deux temps : une distension légère consécutive à l'ouverture de l'Atlantique Sud se produit au niveau du fossé de la Bénoué, suivie au Crétacé supérieur par une compression méridienne due à une relaxation des contraintes suite à l'ouverture définitive de l'Atlantique Sud. NGANGOM (1983) situe ce fossé sur une zone de coulissement dextre pouvant représenter le prolongement d'une structure océanique en relation avec l'ouverture de l'Atlantique Sud.

Les données récentes sur les modalités de la jonction entre Atlantique central et Atlantique Sud (PINDELL et DEWEY, 1982 ; MASCLE *et al.*, 1986) permettent de préciser le contexte et la chronologie possibles de l'ouverture du fossé Sud-Adamaoua. Une étape importante est franchie à partir du Barrémien (MASCLE *et*

al., 1986) avec l'ouverture en cisaillement de l'Atlantique Sud qui affecte progressivement la portion nord du golfe de Guinée (fig. 9). Des cisaillements dextres de direction ENE-WSW (actuelle) apparaissent dans la zone de rupture. Suivant REYRE (1984), la zone continentale affectée par ces cisaillements s'étend de la Côte d'Ivoire au Tchad. C'est dans ce contexte que se trouvent réactivés les accidents mylonitiques de l'Adamaoua suivant un jeu dextre correspondant à la phase (P1) de cette étude. L'étape suivante est celle de l'ouverture du fossé Sud-Adamaoua. Cette période d'ouverture comme la compression suivante à la fin du Crétacé sont probablement à mettre en relation avec les variations de contraintes induites dans la partie continentale de l'angle que forme le golfe de Guinée par l'ouverture de l'Atlantique Sud, suivant des modalités déjà évoquées par MASCLE (1977).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'opération « Étude Géophysique de l'Axe Adamaoua », en coopération entre l'ORSTOM et l'IRGM. Je tiens à remercier M. Soba DJALO, Directeur de l'IRGM (Yaoundé) et M. Jean-Blaise NYOBE, Chef du Centre de Garoua pour l'appui qu'ils ont apporté à ce travail.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 15 mai 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLIX (P.), LEGOUX (O.) et ROBERT (P.), 1984. — Essai d'interprétation géodynamique de l'évolution mésozoïque de sous-bassins du fossé de la Bénoué. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XXVI : 1061-1068.
- ALLIX (P.) et POPOFF (M.), 1983. — Le Crétacé inférieur de la partie nord-orientale du fossé de la Bénoué (Nigeria) ; un exemple de relation étroite entre tectonique et sédimentation. In : *Rifts et Fossés Anciens*, M. Popoff et J.J. Tiercelin, éd., *Bull. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 7, 1 : 349-359.
- AYDIN (A.) et NUR (A.), 1982. — Evolution of pull-apart basin and their scale independence. *Tectonics*, Vol. 1 : 91-105.
- BENKHELIL (J.), 1982. — Benoue trough and Benoue chain. *Geological Magazine*, 119 : 155-168.
- BENKHELIL (J.) et ROBINEAU (B.), 1983. — Le fossé de la Bénoué est-il un rift ? In : *Rifts et Fossés Anciens*, M. Popoff et J.J. Tiercelin, éd., *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 7, 1 : 315-321.
- BURKE (K.C.), DESSAUVAGIE (T.F.J.) et WHITEMAN (A.J.), 1972. — Geological history of the Benoue valley and adjacent areas. In : *Dessaувagie, T.F.J. & Whiteman A.S. (ed.), African Geology*. Ibadan University Press, Ibadan : 187-205.
- CHEVASSUS-AGNÈS (A.M.), 1971. — Aspects géomorphologiques et magnétiques de la rivière Mbere et de sa bordure méridionale, région de Djohong. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n° 4 : 145-160.
- COLLIGNON (F.), 1970. — Rapport sur quelques profils gravimétriques et magnétiques dans la vallée de la Mbere. *Rapport multigr.*, 25 p., Centre ORSTOM de Bangui.
- 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. France*, (7), t. XXV, n° 1 : 101-109.
- DE ALMEIDA (F.) et BLACK (R.), 1967. — Comparaison structurale entre le NE du Brésil et l'Ouest Africain. *Symp. on Cont. Drift*, Montevideo.
- GRANT (N.K.), 1971. — South Atlantic and Gulf of Guinea triple junction. *Bulletin of Geological Survey of America*, 82 : 2295-2298.
- KOCH (P.), 1953. — Carte géologique du Cameroun au 1/500 000, coupure Banyo, avec notice explicative. Imprimerie Nationale.
- LASSERRE (M.), 1961. — Étude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun Central) et les principales sources minéralisées de l'Adamaoua. *Bull. Dir. mines et Géologie du Cameroun*, n° 4.
- LE MARÉCHAL (A.) et VINCENT (P.M.), 1971. — Le fossé crétacé du Sud-Adamaoua (Cameroun). *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, III, 1 : 67-83.
- MASCLE (J.), 1977. — Le Golfe de Guinée (Atlantique Sud) : un exemple d'évolution de marges atlantiques en cisaillement. *Mém. Soc. Géol. France*, 128 : 1-104.
- MASCLE (J.), MARINHO (M.) et WANNESON (J.), 1986. — The structure of the Guinean continental margin : implications for the connection between the central and the South Atlantic Oceans. *Geologische Rundschau*, 75/1 : 57-70.
- MAURIN (J.C.), BENKHELIL (J.) et ROBINEAU (B.), 1986. — Fault rocks of the Kaltungo lineament, NE Nigeria, and their relationship with Benue Trough tectonics. *Journal of the Geological Society, London*, vol. 143 : 587-599.
- NGANGOM (E.), 1983. — Étude tectonique du Fossé de la Mbere et du Djerem, Sud-Adamaoua, Cameroun. *Bull. Centres Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, 7 : 339-347.
- PINDELL (J.) et DEWEY (J.F.), 1982. — Permo-Triassic reconstruction of Western Pangea and the evolution of the gulf of Mexico/Caribbean region. *Tectonics*, vol. 1, n° 2 : 179-211.

- POPOFF (M.), BENKHELIL (J.), SIMON (B.) et MOTTE (J.J.), 1983. — Approche Géodynamique du fossé de la Bénoué (NE Nigeria), à partir des données de terrain et de la télédétection. In : Rifts et fossés Anciens, M. Popoff et J.J. Tiercelin éd., *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 7, 1 : 323-337.
- REYRE (D.), 1984. — Remarques sur l'origine et l'évolution des bassins sédimentaires africains de la côte atlantique. *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXVI, n° 6 : 1041-1059.
- ROCH (E.), 1953. — Itinéraire géologique dans le Nord du Cameroun et le Sud-Ouest du territoire du Tchad. *Bull. Mines et Géol. du Cameroun*, n° 1.
- STONELEY (R.), 1966. — The Niger Delta region in the light of the theory of continental drift. *Geological Magazine*, 103 : 385-397.
- VINCENT (P.M.), 1968. — Attribution au Crétacé de conglomérats métamorphiques de l'Adamaoua (Cameroun). *Ann. Fac. Sc. Cameroun*, 1 : 69-76.
- VINCENT (P.M.), 1970. — Conséquences tectoniques de la présence d'un métamorphisme crétacé au Cameroun. *Ann. Fac. Sc. Cameroun*, 4 : 31-34.
- WISE (D.U.), DUNN (D.E.), ENGELDER (J.T.), GEISER (P.A.), HATCHER (R.D.), KICH (S.A.), ODOM (A.L.) et SCHAMEL (S.), 1984. — Fault-related rocks : suggestion for terminology. *Geology*, vol. 12 : 391-394.