

L'unité granulitique des Iforas : une nappe de socle d'âge pan-africain précoce

par ANNE-MARIE BOULLIER *, IAN DAVISON **, JEAN-MICHEL BERTRAND *, MICHAEL COWARD **

Mots clés. — Nappe, Quartzite, Gneiss, Rhyolite, Serpentine, Roche clastique, Antécambrien, Faciès granulite, Orogénie antécambrienne, Isoclinal, Foliation.
Mali (Adrar des Iforas).

Résumé. — Les unités granulitiques des Iforas et d'In Ouzzal (Adrar des Iforas, Mali), à métamorphisme éburnéen (2 170 Ma) étaient jusqu'à présent considérées comme enracinées et séparant la chaîne « pharusienne » d'âge pan-africain en deux rameaux. Une hypothèse différente est proposée ici, celle d'une ou de plusieurs grandes nappes de socle, mises en place vers le NNW au cours d'un épisode pan-africain précoce, antérieur au dépôt d'une série d'âge protérozoïque terminal. Nous exposons ici les arguments de terrain qui sont en faveur d'une telle interprétation.

Abstract. — The granulite units which exist in Adrar des Iforas (Mali), the metamorphism of which has been dated at 2 170 m.y., have been previously considered as deep root zones of old lower crust which separated the « Pharusian belt » of Pan-African age into two separate Eastern and Western branches. A new interpretation of the granulites is presented considering these granulites as high level nappes of basement material. The emplacement of these nappes took place before the deposition of late Proterozoic sediments with a SSE to NNW movement direction. We present here the main field evidence which support such an interpretation.

I. — INTRODUCTION.

De grandes structures tangentielles ont été décrites dans les rameaux algérien et malien de la chaîne pan-africaine. Selon les cas, il s'agit de nappes de style pennique [Tassendjanet, R. Caby, 1970; Aleksod, J. M. L. Bertrand, 1974] ou de nappes pelliculaires à semelle mylonitique correspondant à un chevauchement de la zone mobile sur son avant-pays [Timétrine, Gourma, R. Caby *et al.*, 1978; R. Caby, ce volume]. Mais le « môle » granulitique des Iforas, au Mali [R. Karpoff, 1960] de même que son équivalent algérien [« môle » In Ouzzal, M. Lelubre, 1952] sont traditionnellement interprétés comme des structures enracinées, sorte de microcontinent partageant en deux rameaux la « chaîne pharusienne » constituée pour l'essentiel de matériel d'âge protérozoïque moyen à supérieur [M. Gravelle, 1969; R. Caby, 1970; J. M. L. Bertrand et R. Caby, 1978]. Les relations cartographiques entre les deux « môles » ont servi d'argument à R. Caby [1968] pour proposer des déplacements de plusieurs centaines de kilomètres le long de certains grands décrochements nord-sud qui caractérisent l'ensemble du bouclier touareg.

Les premiers résultats de l'analyse structurale de la zone de jonction entre ces deux unités granulitiques et de la bordure orientale du « môle » des Iforas, ainsi que l'étude des mylonites très développées en bordure et au sein des domaines granulitiques, nous conduisent ici à proposer une autre hypothèse : celle d'une grande nappe de socle. Aussi abandonnerons-nous désormais le terme de « môle » qui implique une notion d'enracinement, pour choisir celui d'*unité granulitique des Iforas* ou d'*In Ouzzal* qui n'a pas d'implication géométrique.

II. — CADRE GÉOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE.

Quatre ensembles lithologiques peuvent être définis (fig. 1).

* Centre géologique et géophysique, Univ. des sciences et techniques du Languedoc, 34060 Montpellier Cedex, France.

** Dept. of Earth Sciences, The University, Leeds 2, United Kingdom.

Note présentée à la séance du 22 mai 1978, déposée le 29 mai 1978, manuscrit définitif reçu le 26 septembre 1978.

1 — Les unités granulitiques qui comprennent des métasédiments (quartzites, kinzigites, gneiss calc-silicatés) d'âge Archéen [G. Ferrara, M. Gravelle, 1966], des leptynites à tendance alcaline, des charnockites et des métanorites. Cet ensemble a subi à l'Eburnéen [2 170 Ma, J. R. Lancelot *et al.*, 1973] un métamorphisme granulitique de haute pression puis de haute température [A. Leyreloup, 1974]. Localement et surtout sur leur bordure, les granulites sont envahies par un cortège de roches ultrabasiqes sécantes, qui recoupent aussi les unités (2) et (3) et qui, le plus souvent, sont transformées en serpentines et en talc-schistes.

2 — Une épaisse formation de quartzites aluminieux associés à des rhyolites à tendance alcaline, qui se développe largement dans la région de Tin Essako et qui correspondrait aux Quartzites de l'Ahnet d'âge protérozoïque moyen [J. M. L. Bertrand, R. Caby, 1978]. Sur ces quartzites se trouve

une série sédimentaire qui serait corrélable à la Série à stromatolithes d'âge protérozoïque supérieur et dont le contact stratigraphique discordant sur les granulites est localement préservé; cette série est constituée de quartzites conglomératiques et de marbres souvent dolomitiques. Un ensemble de greywackes à dominante détritique (arkoses, conglomérats, grésopélites) la surmonte.

3 — Nous définissons, bien qu'il n'ait aucune signification stratigraphique, un « assemblage kidalien » résultant de l'évolution tectonométamorphique commune, de haut degré (faciès amphibolite et migmatisation) au cours de la phase de déformation majeure, de granulites (1) déformées et rétro-morphosées, de métasédiments (2) et de termes intrusifs, en majorité dioritiques et tonalitiques, pré-tectoniques et syntectoniques, qui forment plus de 60 % de l'« assemblage ».

4 — Le « Pharusien » de Tin Zaouatène prolonge vers le Sud le fossé pharusien central [M. Lelubre, 1952; M. Gravelle, 1969]; il est constitué d'un ensemble de conglomérats, arkoses, grésopélites et greywackes, discordant sur les unités (1) et (2), déjà plissées et métamorphiques [R. Karpoff, 1960].

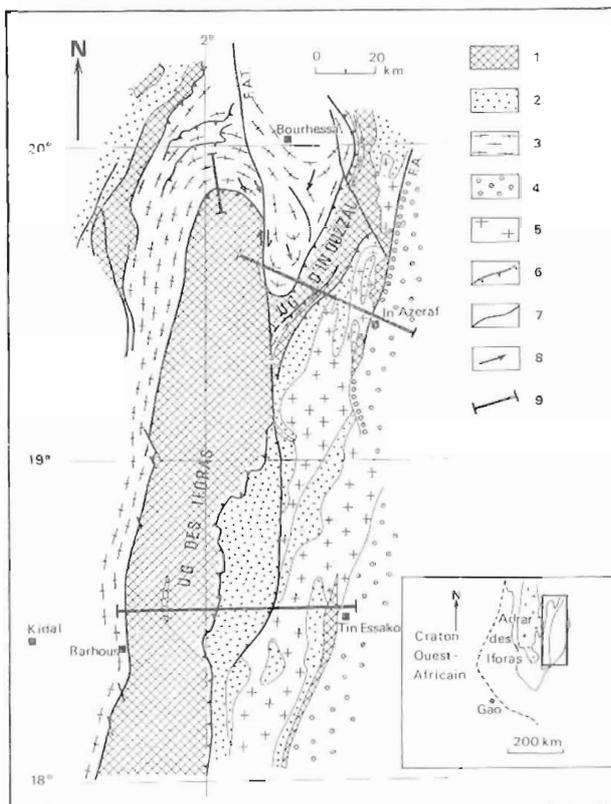


FIG. 1. — Carte géologique schématique de la partie orientale de l'Adrar des Iforas (Mali).

1 : unités granulitiques (U.G.) éburnéennes; 2 : métasédiments du Protérozoïque moyen à supérieur; 3 : assemblage kidalien; 4 : Pharusien de Tin Zaouatène (Protérozoïque terminal); 5 : granites tardi-tectoniques F_2 ; 6 : plan de charriage; 7 : faille. F.A.T. ; faille d'Andjour-Tamaradant; F.A. : faille de l'Adrar; 8 : linéation d'étirement l_1 ; 9 : position des figures 2, 3 et 4.

III. — ANALYSE DES STRUCTURES. ÉVOLUTION TECTONIQUE.

À l'Ouest de la faille de l'Adrar (fig. 1), les deux unités granulitiques des Iforas et d'In Ouazzal sont en continuité structurale si on excepte le jeu tardif de la faille d'Andjour-Tamaradant. Sur plusieurs coupes (fig. 2, 3) il a été établi : — l'identité d'une foliation mylonitique post-granulitique et de la foliation métamorphique principale (S_1) des unités non granulitiques; — que cette foliation S_1 , initialement subhorizontale est déformée avec une intensité variable : plis couchés dans le secteur de Tin Essako, plis ouverts et mullions dans le secteur de Bourhessa où les granulites occupent de grands synformes de phase F_2 .

Partant de ces observations on peut délimiter, de proche en proche, des unités situées géométriquement *sous les granulites*, qui correspondent à l'assemblage kidalien, et d'autres situées *sur les granulites*, c'est le cas des métasédiments (2) du secteur d'In Azeraf. Les granulites, mylonitisées au cours de la phase F_1 et où subsistent d'énormes noyaux non affectés par cette déformation [R. Caby, A. M. Boullier, 1977] sont donc en position anormale au-dessus de termes non granulitiques. Nous proposons, pour expliquer ce fait, l'hypothèse d'un charriage de grande ampleur, en fondant notre argumentation sur les caractéristiques de la déformation F_1 .

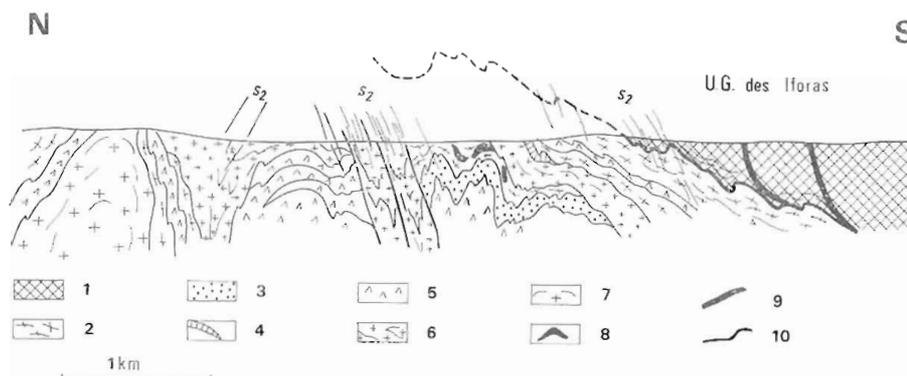


FIG. 2. — Coupe au Nord de l'unité granulitique des Iforas (voir fig. 1).

1 : granulites et semelle mylonitique S_1 ; 2 : assemblage kidalien ; 3 : quartzites du Protérozoïque supérieur ; 4 : marbres du Protérozoïque supérieur ; 5 : diorites pré-tectoniques F_1 ; 6 : granitoïdes syntectoniques F_1 ; 7 : granitoïdes tardi-tectoniques F_2 ; 8 : éclogitoïdes en boudins ; 9 : filons noritiques post-granulitiques ; 10 : plan de charriage.

Caractéristiques de la foliation S_1 .

1) *Dans les mylonites de granulites*¹. Toutes les bordures des unités granulitiques sont mylonitiques, mais seules les bordures nord et est de l'unité granulitique des Iforas et celles de l'unité granulitique d'In Ouzzal correspondent à la première mylonitisation (foliation S_1 fortement redressée par F_2). Des filons noritiques sécants sur les assemblages granulitiques et déformés par la phase F_1 , servent de traceurs de la déformation : l'épaisseur des mylonites, parfois difficile à estimer du fait des plis P_2 , varie de 50 m (Nord de l'unité granulitique des Iforas) à 1 km ou plus (Est de cette même unité). Nous n'avons observé aucun pli associé à cette foliation mylonitique qui porte en outre une forte linéation d'étirement (lanières de quartz ou d'agrégats de ferromagnésiens). Cette linéation est orientée en moyenne Nord-Sud à NNW-SSE (fig. 1). Les conditions de déformation de cette phase F_1 se situent largement dans le faciès amphibolite (biotite, reliques mélastables de sill-

manite, amphibolitisation de filons basiques). Le quartz se présente en rubans polycristallins à Plattenquartz [type 3 de A. M. Boullier et J. L. Bouché, sous presse] : les grains de quartz dans les rubans sont rectangulaires, très allongés, à extinction franche et traduisent une déformation à haute température. L'étude préliminaire de l'orientation préférentielle des axes C du quartz dans quelques échantillons, montre que la foliation mylonitique correspond à une déformation compatible avec le déplacement d'une nappe vers le Nord ou NNW.

2) *Dans l'assemblage kidalien*. Dans les zones peu perturbées par F_2 , la foliation S_1 est subhorizontale, les linéations observées sont toujours des linéations d'étirement orientées au Nord ou NNW. Cartographiquement il est impossible de suivre de grandes structures plissées car des plis isoclinaux F_1 d'échelle kilométrique, très aplatis, dilacèrent les niveaux repères : les marbres et les quartzites apparaissent toujours en lentilles. Cette disposition est encore

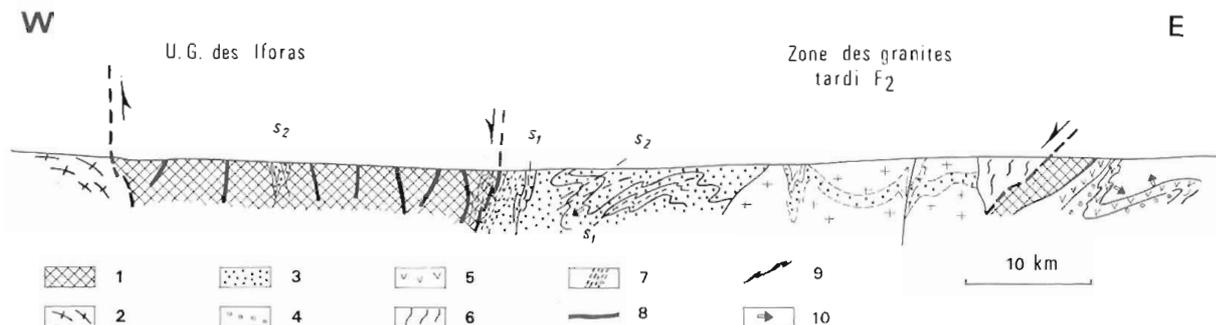


FIG. 3. — Coupe dans le secteur de Tin Essako.

1 : granulites ; 2 : assemblage kidalien ; 3 : métasédiments du Protérozoïque moyen à supérieur ; 4 : métasédiments du Protérozoïque terminal (Série de Tin Zaouatène) ; 5 : complexe basique contenu dans la série de Tin Zaouatène ; 6 : migmatites ; 7 : mylonites ; 8 : dyke noritique postgranulitique ; 9 : plan de charriage ; 10 : polarité des sédiments.

accentuée par la phase F_2 (plis ouverts ou déversés au Nord-Ouest). Le degré de métamorphisme accompagnant F_1 est partout très intense (sillimanite) en particulier à l'Ouest de l'unité granulitique des Iforas (région de Kidal). Le matériel polycyclique, très abondant, a subi une migmatisation syn- à tardi-tectonique F_1 , qui se manifeste soit par des pegmatoïdes à gros grain, soit par des diatexites, et qui affecte aussi localement les granulites; les mobilisats, les aplites et les pegmatites pré-tectoniques ont subi une déformation très semblable à celle des mylonites précoces de granulites (structure en Plattenquartz généralisée). Une bande d'éclogitoïdes suit toute la bordure ouest et nord de l'unité granulitique des Iforas: ce sont des boudins cicatrisés par des mobilisats F_1 .

3) Dans les mélasédiments de l'Est. Nous distinguons deux secteurs:

a) secteur d'In Azeraf: la phase F_1 correspond à des plis isoclinaux plurikilométriques d'axe nord-sud. La foliation S_1 subhorizontale bien visible dans les quartzites et dans les marbres où elle est en général parallèle à S_0 , est presque toujours masquée, quoique présente, par S_2 subverticale dans les arkoses et les grésopélites;

b) secteur de Tin Essako: dans ce secteur, la phase F_2 (plis isoclinaux couchés, métamorphisme

intense) oblitère fortement les structures de phase 1. Cependant les arguments essentiels nous faisant opter pour une déformation tangentielle F_1 plutôt que pour un serrage, sont les suivants:

- hétérogénéité de la déformation F_1 : la foliation S_1 est limitée à des ceintures dont la plus remarquable suit le contact oriental de l'unité granulitique des Iforas (fig. 3);

- caractère constrictif de la déformation F_1 : des conglomérats déformés par F_1 ont donné une valeur moyenne de 10 : 1 : 0,5 pour les axes X : Y : Z de l'ellipsoïde des déformations. La linéation d'étirement portée par S_1 est actuellement orientée Nord-Sud;

- existence de plis isoclinaux plurikilométriques ayant un déversement vers le Nord dans leur position actuelle et admettant S_1 comme plan axial;

- identité de la foliation S_1 dans les mylonites granulitiques et dans la série des quartzites (fig. 3).

Reconstitution de la nappe. La reconstitution précise de l'édifice de nappes est gênée par l'importance de la déformation F_2 . Aucun argument n'est pour l'instant décisif pour choisir entre deux hypothèses (fig. 4): (I) une seule grande nappe de granulites replissée par F_2 ; (II) plusieurs nappes granulitiques se chevauchant vers le NNW, la partie basale de la nappe supérieure étant soulignée par une semelle

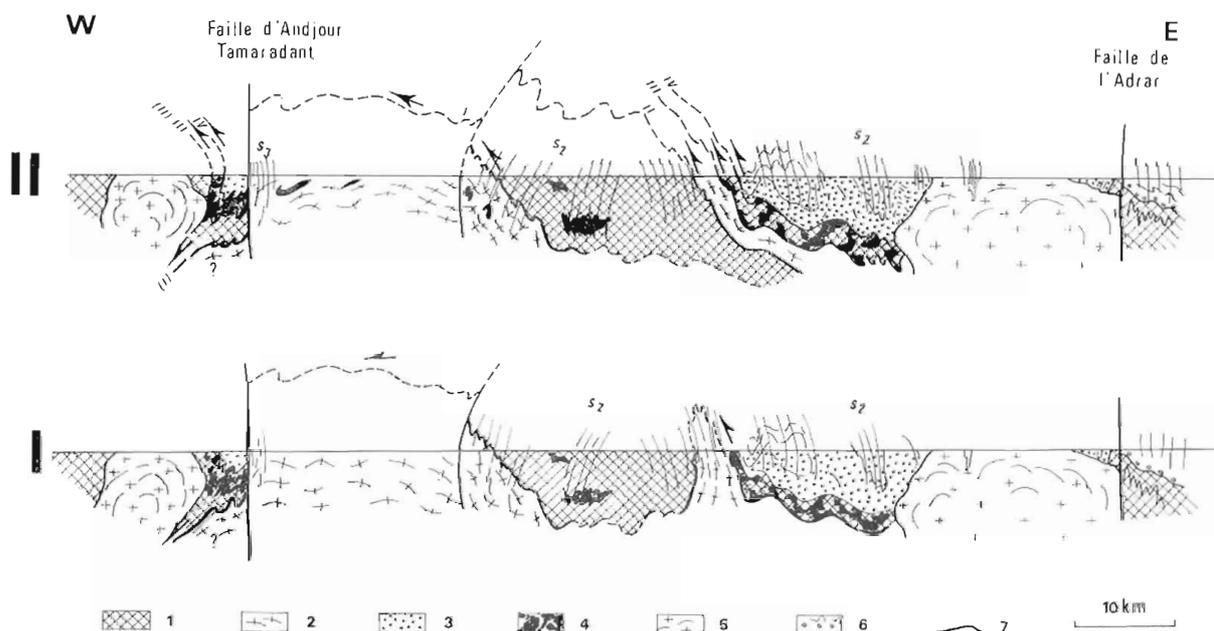


FIG. 4. — Coupe entre l'unité granulitique des Iforas et le Pharusien de Tin Zaouatène au niveau d'In Azeraf. I: Première hypothèse: une seule nappe de socle déformée par F_2 , l'assemblage kidalien apparaît en fenêtres; II: deuxième hypothèse: édifice de plusieurs nappes déformées par F_2 .

1: unités granulitiques; 2: assemblage kidalien; 3: mélasédiments du Protérozoïque supérieur; 4: roches ultrabasiques serpentinisées; 5: granites tardi-tectoniques F_2 ; 6: Pharusien de Tin Zaouatène (Protérozoïque terminal); 7: plan de charriage.

de roches ultrabasiqnes préteetoniques serpentini-sées. Cette seconde hypothèse nous semble plus compatible avec les données disponibles actuellement.

IV. — DONNÉES RELATIVES AU MÉTAMORPHISME ET AU PLUTONISME. ÉVOLUTION THERMIQUE.

1) *Métamorphisme*. Si on considère l'assemblage métamorphique lié à la phase F_1 , une zonalité calquée sur les structures précoces peut être mise en évidence. La zone la plus métamorphique correspond à l'assemblage kidalien (amphibolite faciès du type Barrow avec présence de disthène dans les quartzites au Nord de l'Adrar Bezzeg). Dans les granulites, mylonitisées ou non, la rétomorphose est généralisée. Par contre, toute la zone orientale, d'In Azeraf à Tin Essako, correspond à un métamorphisme faible, situé dans le faciès schistes verts-faciès épidote amphibolite. Cette disposition, ajoutée au fait que les granulites plus anciennes sont situées entre ces deux zones, est compatible avec un édifice de nappes contemporaines ou subcontemporaines du métamorphisme, l'unité la plus métamorphique étant située le plus bas dans l'édifice. De plus, les éclogitoïdes associés au faciès amphibolite barrowien mais précoces par rapport à celui-ci, soulignent très précisément le contact entre les granulites et l'assemblage kidalien.

La zonalité du métamorphisme de phase F_2 est parfaitement oblique sur les structures F_1 . Schématiquement, on observe deux ceintures nord-sud caractérisées par un métamorphisme de haute température, éventuellement accompagné de rares mobilisats et/ou de la mise en place de plutons (diorites et granodiorites) syn- à tardi-tectoniques. L'une de ces ceintures (Rharous) suit le bord occidental de l'unité granulitique des Iforas, l'autre suit la faille de l'Adrar, le maximum du degré de métamorphisme se situant dans la région de Tin Essako au Sud.

2) *Plutonisme*. Le plutonisme précédant la phase F_1 est représenté par des roches basiques et ultrabasiqnes omniprésentes dans l'assemblage kidalien et dans la nappe supérieure (hypothèse II, fig. 4) et par des diorites et diorites quartziques dans l'assemblage kidalien. De même, le plutonisme syn-tectonique de la phase F_1 trouve son maximum de développement dans l'assemblage kidalien et dans la nappe supérieure, où il souligne parfois les grandes surfaces de discontinuité; il est représenté par des diorites et des diorites quartziques possédant une très forte fabrique magmatique primaire et fréquemment associées à des migmatites (structures en Schlieren). La répartition du plutonisme syn- à tardi-tectonique de la phase F_2 ne tient pas compte de l'édifice des nappes mais plutôt de l'intensité du serrage: ce sont surtout des granodiorites disposées suivant deux ceintures (cf. paragraphe précédent).

Pour expliquer l'évolution thermique et le plutonisme subséquents à la déformation tangentielle F_1 , il n'est pas nécessaire de faire intervenir un apport de chaleur extérieur: un épaississement crustal dû à l'empilement des nappes pourrait suffire à lui seul pour expliquer une fusion de la croûte; il pourrait également être à l'origine des plis isoclinaux de phase F_2 par écoulement de gravité. Cependant cette hypothèse d'épaississement crustal nécessite des recherches supplémentaires sur la nature du plutonisme subséquent, l'épaisseur des nappes et la vitesse de diffusion de chaleur dans la croûte.

V. — AGE DE MISE EN PLACE DE LA NAPPE DE SOCLE.

Le Pharusien de Tin Zaouatène est discordant sur les granulites (1) et les métasédiments (2) déformés et métamorphisés au cours des phases F_1 et F_2 , et présente une déformation croissante vers l'Est. Par comparaison avec le « fossé pharusien central », on peut considérer que l'évolution tectonique de cette série date de 640-650 Ma [M. Gravelle, 1969; E. Picciotto *et al.*, 1965], âge de la mise en place des granites de type Imezzarène, dont on a l'équivalent probable au Sud-Ouest de Tin Zaouatène. De même, on connaît au Nord-Ouest du Hoggar l'âge du dépôt de la série à stromatolithes, par comparaison avec les formations équivalentes du Hank [J. Bertrand-Sarfati, 1969] et l'âge de l'« océanisation » [R. Caby, 1970] correspondant à une basification par injection de matériel basique et ultrabasique dans la série de plate-forme. Cet épisode a été daté à 785 Ma par N. Clauer [1976]. L'âge de la tectonique tangentielle qui affecte les granulites est donc compris entre ces deux dates. Une détermination par la méthode au plomb sur zircons a fourni, pour une adamellite syntectonique F_1 au Sud de Kidal, un âge de 693 Ma [J. Ducrot *et al.*, ce volume]. Ceci est une première confirmation de l'âge pan-africain précoce de ces grands charriages. Notons que cette corrélation n'est pas sans poser de problème, si nous comparons ces âges à ceux des phases majeures du Hoggar occidental [C. J. Allègre, R. Caby, 1972; N. Clauer, 1976].

VI. — CONCLUSIONS.

Nous avons mis en évidence que les unités granulitiques maliennes des Iforas et d'In Ouzzal constituent une ou probablement plusieurs nappes de socle. Nos arguments sont les suivants:

- contacts mylonitiques des unités granulitiques;
- parallélisme et similitude de S_1 mylonitique dans les granulites et de la foliation majeure syn-métamorphe dans les unités non granulitiques;

— Attitude subhorizontale de S_1 sur de très larges domaines ;

— hétérogénéité de la déformation qui est compatible avec une tectonique tangentielle ;

— disposition fréquente des granulites ébur-néennes en synformes de phase F_2 ;

— flèche plurikilométrique des plis P_1 dans le secteur de Tin Essako ;

— zonalité du métamorphisme F_1 qui est en accord avec l'édifice des nappes.

Cette tectonique tangentielle vers le NNW ou Nord, ainsi que le serrage NW-SE à Est-Ouest qui la suit, constituent un événement précoce dans l'histoire de la chaîne pan-africaine. Une première datation [J. Ducrot *et al.*, ce volume] indique un âge de 693 Ma pour cet événement.

Les implications de cette nouvelle interprétation sont de plusieurs ordres.

1) Si l'unité granulitique algérienne d'In Ouzzal entre en totalité dans ce schéma, la nappe de socle a une extension de 1 000 km environ.

2) Il reste un laps de temps très court entre 693 Ma et 640 Ma pour l'érosion de l'édifice de nappes, le dépôt du Pharusien de Tin Zaouatène et la phase tectonique pan-africaine majeure de cette série.

3) Le sens de mouvement donné par les linéations d'étirement et globalement confirmé par la zonalité du métamorphisme et par des structures équivalentes à l'Ouest [L. I. Wright, à paraître] va du Sud vers le Nord ou NNW. Il est difficile dans ce cas d'interpréter cette tectonique en terme de collision entre le continent ouest-africain et un continent oriental tel qu'il est envisagé pour la phase pan-africaine majeure [R. Black *et al.*, sous presse].

1. Nous utilisons le terme de mylonite pour désigner une roche foliée ayant subi une déformation pénétrative importante et accompagnée d'une réduction de la taille des grains [M. W. Higgins, 1971 ; R. H. Sibson, 1977].

Références

- ALLÈGRE C. J. et CABY R. (1972). — Chronologie absolue du Précambrien de l'Ahaggar occidental. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 275, p. 1095-2098.
- BERTRAND J. M. L. (1974). — Évolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien). Aspects structuraux, pétrologiques, géochimiques et géochronologiques. Thèse État, Montpellier. Éd. C.N.R.S.-C.R.Z.A., sér. Géol., 19, 370 p.
- BERTRAND J. M. L. et CABY R. (1978). — Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt : a new interpretation on the Hoggar shield (Algerian Sahara). *Geol. Rundschau*, 67, 2, p. 357-388.
- BERTRAND-SARFATI J. (1969). — Étude comparative des édifices stromatolithiques de plusieurs horizons calcaires du Précambrien supérieur de l'Ahaggar occidental (Tamezrouft et Ahnet). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord*, 60, p. 21-37.
- BLACK R., BA H., BALL E., BERTRAND J. M. L., BOULLIER A. M., CABY R., DAVISON I., FABRE J., LEBLANC M. et WRIGHT L. I. — Outline of the pan-african geology of Adrar des Iforas (Republic of Mali). *Geol. Rundschau*, à paraître.
- BOULLIER A. M. et BOUCHEZ J. L. — Le quartz en rubans dans les mylonites. *Bull. Soc. géol. France*, à paraître.
- CABY R. (1968). — Une zone de décrochements à l'échelle de l'Afrique dans le Précambrien de l'Ahaggar occidental. *Bull. Soc. géol. France*, X, 7, p. 577-587.
- CABY R. (1970). — La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) ; sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. Thèse, Montpellier.
- CABY R. et BOULLIER A. M. (1977). — Le môle granulitique des Iforas (Mali). Nature et comportement au cours de l'orogénèse pan-africaine. 5^e Réunion. ann. sc. Terre, Rennes, p. 124.
- CABY R., MOUSSINE-POUCHKINE A. et DAVISON I. (1978). — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1978, n° 6
- Les nappes précambriennes du Gourma oriental (Mali, Niger). 6^e Réunion. ann. sc. Terre, Orsay, p. 83.
- CLAUER N. (1976). — Géochimie isotopique du strontium des milieux sédimentaires. Application à la géochronologie de la couverture du craton ouest-africain. Thèse État, Strasbourg.
- FERRARA G. et GRAVELLE M. (1966). — Radiometric ages from western Ahaggar (Sahara) suggesting an eastern limit for the West African craton. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 1, p. 319-324.
- GRAVELLE M. (1969). — Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibchaouine. Thèse, Paris, 298 p. (inédit).
- HIGGINS M. W. (1971). — Cataclastic rocks. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 687, 97 p.
- KARPOFF R. (1960). — La géologie de l'Adrar des Iforas. Thèse, Paris, 1958. *Publ. B.R.G.M.*, Dakar, n° 30, 1960.
- LANCELOT J. R., VITRAC A. et ALLÈGRE C. J. (1973). — Datation U-Th-Pb des zircons, grain par grain, par dilution isotopique. Conséquences géologiques. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, D, t. 277, p. 2177-2120.
- LELUBRE M. (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 2^e sér. 22, I : 354 p., II : 385 p.
- LEYRELOUP A. (1974). — Évolution plurifaciale du métamorphisme granulitique dans les paragneiss archéens du môle In Ouzzal (Hoggar, Sahara algérien). 2^e Réunion. ann. sc. Terre, Nancy, p. 261.
- PICCIOTTO E., LEDENT D. et LAY C. (1965). — Étude géochronologique de quelques roches du socle cristallophyllien du Hoggar. Actes du 151^e coll. internat. C.N.R.S. Géochronologie absolue, Nancy, p. 277-239.
- SIBSON R. H. (1977). — Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, 133, part. 3, p. 191-214.