

CISAILLEMENTS DUCTILES ET MISE EN PLACE DE PLUTONS GRANITIQUES DANS LE NORD DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU SAHARA CENTRAL : LE SECTEUR DE TINNIRT (MOUYDIR, HOGGAR DU NW, ALGÉRIE).

Avertissement : Cette note a fait l'objet d'une communication lors du 4ème Programme International de la Corrélation Géologique I.G.C.P. 485 - Alger - Tamanrasset du 2 au 9 Décembre 2006.

Jean BOISSONNAS*

RÉSUMÉ

Les deux plutons granitiques de Tinnirt (Adrar Tinnirt et Tinnirt Nord) affleurent en bordure du batholithe concordant de Tin Touafa ou du Mouydir, situé dans la chaîne panafricaine au NW du Hoggar. Parfaitement moulés par la série schisteuse encaissante, ils pointent sur une importante ligne de faiblesse subméridienne. On démontre que cet accident correspond à un cisaillement ductile dextre, le long duquel les paragenèses du faciès schistes verts sont remplacées par des associations du faciès amphibolite, avec andalousite dominante. La mise en place des plutons est synchrone du jeu de l'accident : l'auréole du Tinnirt Nord a enregistré des plissements liés aux deux phénomènes, et le métamorphisme de la zone linéaire à andalousite y atteint son maximum d'intensité. Cinquante km plus à l'est, aux abords du microcontinent de LATEA, on observe un dispositif assez comparable, qui associe des batholithes concordants, un accident en cisaillement et les premiers granites «des Taourirts», mais dans un contexte qui évolue vers les stades terminaux de l'orogénèse panafricaine.

Mots clés - Hoggar - Terranes - Panafricain - Cisaillement ductile - Faciès amphibolite - Plutons granitiques - Mise en place - Hydrothermalisme - Auréole dynamique de contact.

DUCTILE SHEAR AND EMPLACEMENT OF GRANITE PLUTONS IN THE NORTH OF THE PAN-AFRICAN BELT, CENTRAL SAHARA: THE AREA AROUND TINNIRT (MOUYDIR, NW HOGGAR, ALGERIA).

ABSTRACT

The two Tinnirt granite plutons (Adrar Tinnirt and North Tinnirt) are satellites of the concordant Tin Touafa or Mouydir batholith, in the Pan-African belt of NW Hoggar. They are strikingly moulded by the layers of country rock and sited on an important N-S line of weakness, in fact a dextral ductile shear zone. Along a narrow tract following the shear zone, greenschist facies metamorphism is replaced by amphibolite facies associations, where andalusite predominates. Emplacement of the plutons and movement along the shear zone were largely simultaneous : both processes are well recorded in the North Tinnirt aureole, while metamorphism in the linear tract reaches there its peak intensity. Fifty km to the east, near the contact with the LATEA metacraton, the association of concordant batholiths, a shear zone and several cross-cutting Taourirt plutons is similar, but the context is that of the terminal stages of the Pan-African orogeny.

Key words - Hoggar - Terranes - Pan-African - Ductile shear - Amphibolite facies - Granite plutons - Emplacement - Hydrothermalism - Dynamic contact aureole.

*49 avenue de l'Esclime, BE - 1150 - Bruxelles. Adresse e-mail : jmboissonnas@scarlet.be

- Manuscrit déposé le 27 Mai 2007, accepté après révision le 16 Septembre 2007.

LE CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

La substance de cet article est tirée d'un mémoire de thèse présenté il y a plus de 30 ans (Boissonnas, 1973). Bien que la région n'ait pas été réétudiée depuis, les résultats obtenus à l'époque ont conservé une certaine actualité à la lumière des idées récentes sur le rôle des grands décrochements

subméridiens qui découpent le socle saharien en «terrane» (Black *et al.*, 1994; Caby, 2003; Latouche et Fabre, 2005; et fig.1). Nous nous proposons en effet d'attirer l'attention sur un exemple, d'autant plus frappant qu'il ressort admirablement dans le paysage, d'association entre le jeu d'un cisaillement ductile et la mise en place de plutons granitiques.

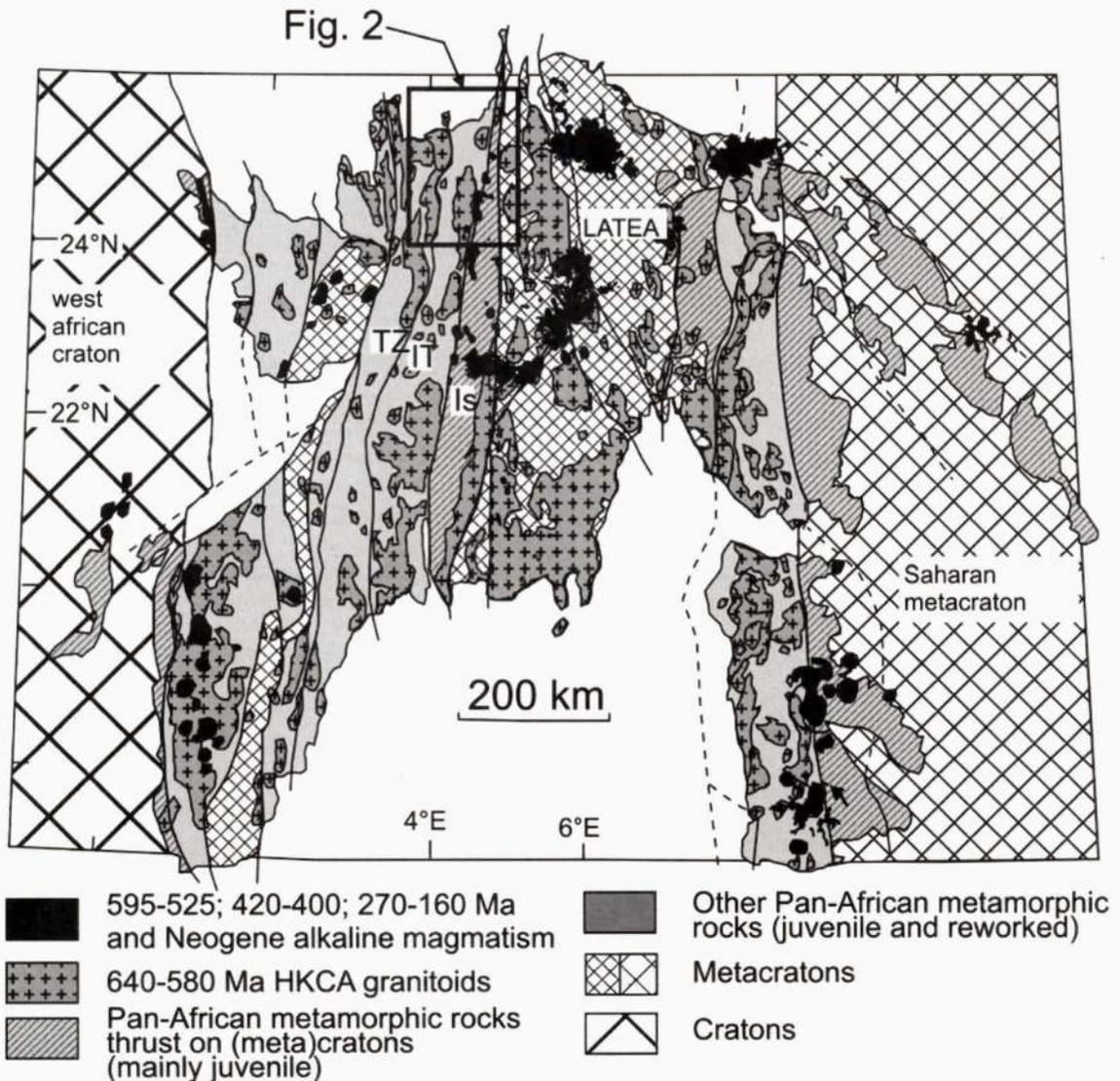


Fig. 1 - Structure en «terrane» du socle saharien (d'après Black *et al.*, 1994) et situation de la région étudiée.

*The terranes of the saharian basement (after Black *et al.*, 1994) and location of the area described in this paper.*

Is: Iskel, IT: In Tedeini, TZ: Tin Zaouatene.

Les plutons - l'Adrar Tinnirt et le Tinnirt Nord - affleurent à la bordure orientale du grand batholithe de Tin Touafa, qui s'allonge sur 150 km le long du 4^{ème} méridien, dans la région du Mouydir (Hoggar du NW). La ligne de faiblesse qui semble en avoir contrôlé la mise en place suit à peu près les cours NS de l'oued Tirahart et de son affluent en rive droite l'oued Amadjar (fig.2, 3A et 4). Il s'agit de la section septentrionale du contact entre les terranes d'In Tedeini et de Tin Zaouatene, telle que schématisée sur la fig.1. C'est donc un trait structural important. Notons ici, pour ne plus y revenir, qu'il existe un doute sur le tracé méridional de cette ligne : Black et *al.* (1994, fig.3) la font obliquer au SW, tandis que Paquette et *al.* (1998, fig.1) paraissent considérer qu'elle rejoint Tin Rerhoh droit vers le sud.

Les granites

La batholithe de Tin Touafa (ou du Mouydir) tend à se morceler dans sa moitié sud en unités bien circonscrites, les unes sécantes et sans doute légèrement postérieures au corps du batholithe, d'autres - surtout à l'est - moulées par des cloisons sinueuses de formations encaissantes : ce dernier dispositif est bien en évidence à Tinnirt ($x = 4^{\circ}05'$, $y = 24^{\circ}30'$ à $24^{\circ}40'$). Il est pour l'essentiel formé de granite calco-alcalin, localement très grossier, à biotite, plus rarement à biotite et hornblende. Un faciès orienté et laminé de ce granite, parfois même à aspect de gneiss ocellé, s'observe dans une bande subméridienne de 1 à 2 km de large, qui prend en écharpe le massif au niveau de l'Adrar Tin Touafa ; l'étude des lames minces indique une cristallisation syncinématique.

L'Adrar Tinnirt affleure à peu près dans le prolongement de ce ruban de granite orienté. C'est une masse lenticulaire, longue de 15 km, constituée de leucogranite rose ou jaunâtre, à grain moyen (3-5 mm). On y remarque parfois

une orientation fruste des biotites à N 160° E, couplée avec des signes d'écrasement : cette direction est celle d'une faille qui sépare le massif d'une extension au sud (fig.4). Le Tinnirt Nord ($x = 4^{\circ}05'$, $Y = 24^{\circ}39'$) pointe discrètement juste au nord-est, dans la zone de cisaillement ductile (voir ci-après). Il s'agit d'un petit corps (4 x 2 km) de granite à deux micas, avec biotite dominante. Le grain est fin, on devine une vague orientation planaire horizontale des micas. Les lames minces de ces deux plutons montrent des indices de protoclaste (comme par exemple des feldspaths brisés et cimentés par des traînées de petits quartz et feldspaths), témoignant de la persistance de contraintes tectoniques pendant les phases finales de la cristallisation.

La série encaissante

La série encaissante fait partie du «domaine des schistes cristallins de l'oued Tirahart», nommé et décrit pour la première fois par Lelubre (1952). Étudiée avec un certain détail par JML Bertrand au sud, vers le puits d'Im Meseknane (Bertrand et Boissonnas, 1970; et fig.2), elle comprend des terrains volcano-sédimentaires variés (tufs acides, chloritoschistes, niveaux carbonatés, greywackes...), encadrant une formation de conglomérats à galets souvent étirés de tufs, roches détritiques et diorites quartziques à grain fin. Subdivisées par JML Bertrand en 4 termes dont nous ne reprendrons pas la nomenclature ici, ces formations appartiennent au Pharusien II ou Pharusien supérieur de Bertrand et *al.* (1966) et Gravelle (1969), que les auteurs d'aujourd'hui rattachent aux «terrane» d'In Tedeini et de Tin Zaouatène (Black et *al.*, 1994).

Plus de 50 km au Sud du secteur de Tinnirt, dans l'Adrar Tedezit (fig.2), apparaissent des diorites quartzites et des granodiorites, souvent transformées en orthogneiss : on est tenté de les attribuer au terrane d'Iskel, ex-Pharusien I ou inférieur. Il semble bien que les galets des

CISAILLEMENTS DUCTILES ET MISE EN PLACE DE PLUTONS GRANITIQUES DANS LE NORD DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU SAHARA CENTRAL : LE SECTEUR DE TINNIRT (MOUYDIR, HOGGAR DU NW, ALGÉRIE)

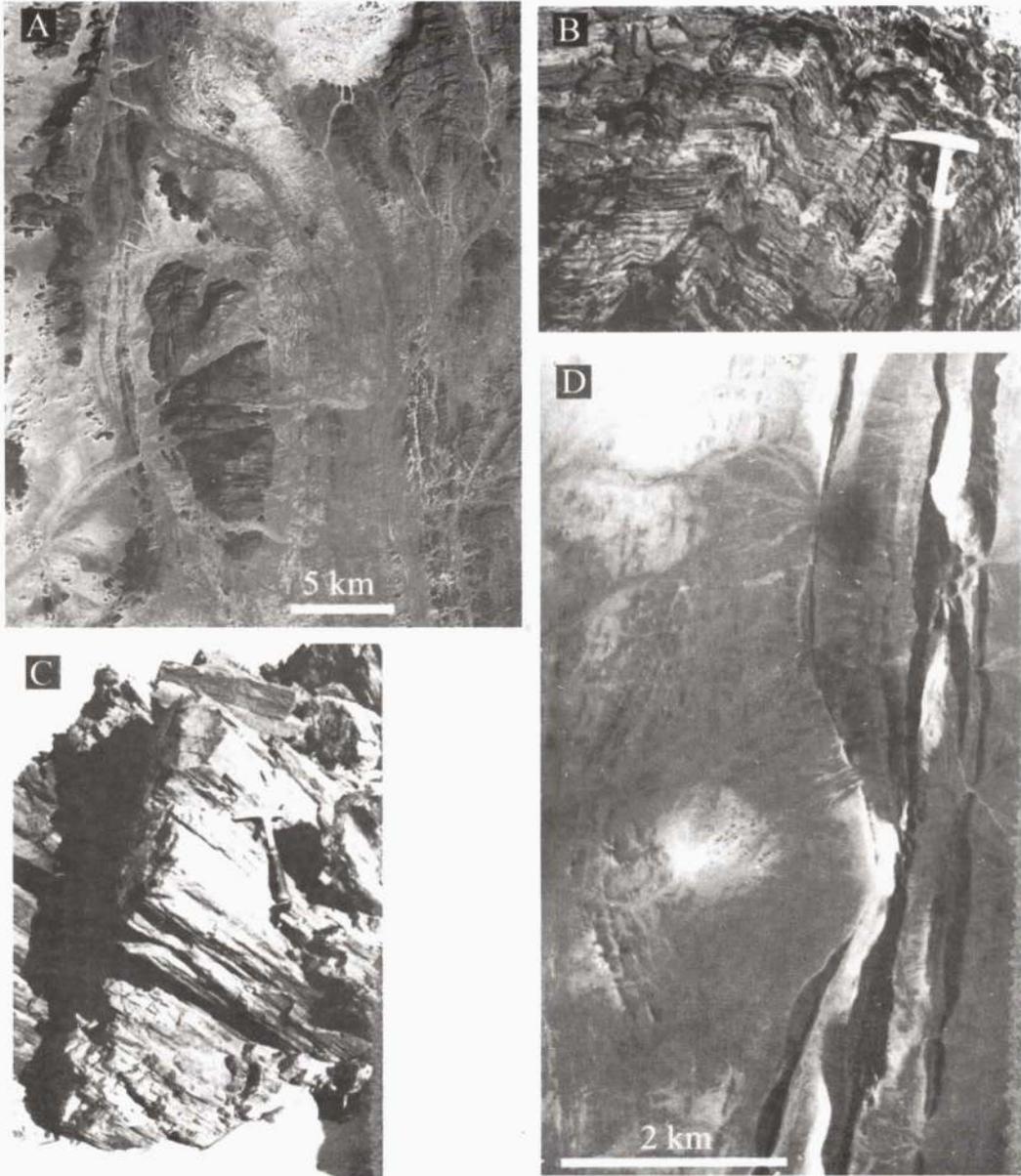


Fig. 3 - Planche de photos (photographs)

3A : Vue aérienne du secteur de Tinnirt (pour le repérage, comparer avec la fig.4)
Aerial view of the Tinnirt area (to identify the main features compare with fig. 4)

3B : Plis P3 en chevrons au Nord de l'Adrar Tinnirt
Chevron folds north of Adrar Tinnirt

3C : Etirement et basculement des métavolcanites acides au pied nord de l'Adrar Tinnirt (le granite est à gauche).
Stretching and tilting of acid metavolcanics at the northern tip of Adrar Tinnirt

3D : Vue aérienne du pluton d'Ouest Idireksi. A droite, les barres calcaires métamorphiques de l'Adrar Idireksi; à gauche, des formations schisteuses.
Aerial view of the West Idireksi pluton. To the right, ridges of metamorphic limestones (Adrar Idireksi). To the left, slates and stailes

conglomérats signalés ci-dessus en proviennent. Le contact avec les formations volcano-sédimentaires est partout laminé.

LE MÉTAMORPHISME

Dans la plus grande partie de la région, les paragenèses observées (albite, épidote, chlorite et séricite) sont celles du faciès schistes verts. Toutefois, ce qui fait en grande partie l'intérêt du secteur Tinnirt - Im Meseknane est l'existence d'un métamorphisme du faciès amphibolite, du type intermédiaire de basse pression avec andalousite dominante, staurotide et cordiérite, qui se manifeste de manière très caractéristique le long de l'oued Tirahart dans une bande de terrain mesurant plusieurs dizaines de kilomètres de long sur quelques centaines de mètres de large.

Les principales associations minérales rencontrées sont : cordiérite + staurotide (+ biotite brune + muscovite primaire) et, plus près du Tinnirt Nord : andalousite + cordiérite (+ biotite brune + muscovite primaire). L'andalousite, intégralement convertie en séricite mais identifiée par son allure prismatique, est de beaucoup le plus abondant de ces silicates de métamorphisme. De patine bleu clair, les cristaux dépassent 1 cm de long, atteignant même plusieurs cm autour du Tinnirt Nord, avec une section d'1 cm². La cordiérite, ou supposée telle, forme des plages diffuses, très poecilites, transformées en agrégats de séricite et chlorite magnésienne; près du Tinnirt Nord, on peut lui rapporter des masses centimétriques de contour hexagonal, également pseudomorphosées. Quelques résidus identifiables de staurotide ont été observés vers le sud. Enfin, dans l'auréole de contact du Tinnirt Nord, décrite ci-après, on a rencontré de rares occurrences de grenat et de fibrolite : il semble donc que la température de l'inversion andalousite-sillimanite ait tout juste été atteinte au contact du granite (pour une discussion plus détaillée des conditions du métamorphisme, voir Boissonnas, 1973).

Etant donné que le métamorphisme du faciès amphibolite reste cantonné dans une étroite bande de terrain, on doit penser à un contrôle par un accident. De fait, nous verrons plus loin que l'accident en question a fonctionné en cisaillement ductile, et que le Tinnirt Nord s'est mis en place dans cette zone au même moment. Le métamorphisme lié à l'accident atteint son pic d'intensité dans l'auréole du pluton.

LES DÉFORMATIONS RÉGIONALES. LE CISAILLEMENT DUCTILE DE TINNIRT.

1) Soit S la stratification. Citons pour mémoire l'existence de petits plis synschisteux appelés P1, dont les plans axiaux matérialisés par une schistosité S1 restent généralement parallèles à S (sauf dans les charnières). Ces plis ne dépassent guère l'échelle du décimètre, et aucune grande structure P1 n'a été repérée jusqu'à présent. Les linéations L1 (intersections S/S1, objets étirés tels que galets de microconglomérats et phénocristaux de tufs) s'orientent aux environs d'est-ouest.

2) Nous rapporterons à une phase 2 les plis les plus visibles, à plans axiaux subverticaux et axes NS proches de l'horizontale. Les linéations L2 sont définies par les intersections S1/S2 et par des axes de microplis reprenant S1. L'intensité du serrage paraît culminer le long de l'oued Tirahart dans un couloir de schistosité S2. Très bons enregistreurs des déformations (*cf.* Ball et Caby, 1984), les galets des conglomérats sont aplatis dans les plans S2, voire étirés en fuseaux (sur ce point, *cf.* la discussion ci-dessous).

3) Une phase 3 reprend les structures 1 et 2 et se traduit par des plis obliques sur la direction nord-sud régionale. On distingue les plus grands de ces plis P3 sur les photos aériennes, par exemple 10 km au Nord de l'Adrar Tinnirt. Toutefois, l'échelle courante est celle du centimètre au décimètre. Ce sont, pour la plupart, des plis en chevrons (*fig.3B*). Ils ont des valeurs

CISAILLEMENTS DUCTILES ET MISE EN PLACE DE PLUTONS GRANITIQUES DANS LE NORD DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU SAHARA CENTRAL : LE SECTEUR DE TINNIRT (MOUYDIR, HOGGAR DU NW, ALGÉRIE)

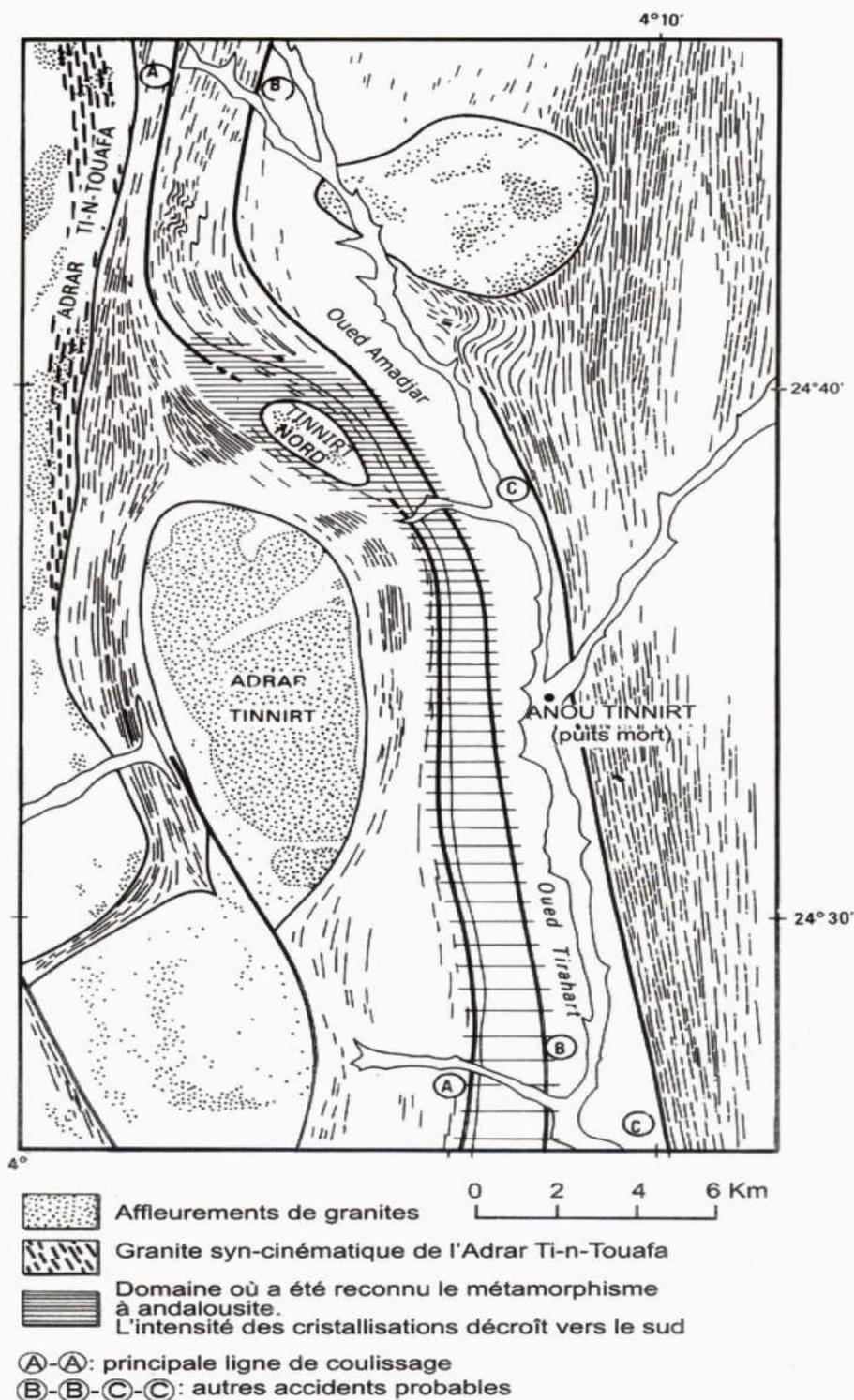


Fig. 4 - Croquis des environs de Tinnirt (d'après Boissonnas, 1973)

Sketch of the area around Tinnirt (after Boissonnas, 1973)

variables de plongement axial, puisqu'ils remplissent des surfaces diversement inclinées, qui peuvent être verticales (cas de S2). On observe donc, en particulier, des plis à axes verticaux. Les plans axiaux conservent une direction sensiblement constante (N.110 - 130° E), même aux abords des plutons de Tinnirt, et pendent de 75 à 90 degrés vers le nord. Parfois apparaît une schistosité de fracture S3. Ces structures 3 se multiplient dans l'environnement des granites de Tinnirt.

Les plis P3 sont typiques de structures provoquées par des décrochements. Leur direction axiale suggère un coulissage dextre. A la lumière de la bibliographie, nous avons toutes raisons de penser aujourd'hui que l'étirement parfois extrêmement prononcé des galets des conglomérats traduit, non pas la compression P2, mais plutôt un cisaillement ductile dans un régime transpressif. Le cisaillement aurait accompagné la compression et duré au-delà. Quoi qu'il en soit, l'étude structurale du secteur mériterait certainement d'être reprise et approfondie.

Si le cisaillement ductile de Tinnirt s'exprime en surface sur une certaine largeur de terrain, son expression la plus visible longe la bordure ouest de la formation conglomératique, à 2 ou 3 km du Tirahart sur sa rive droite (ligne A-A sur la fig.4): c'est du moins ce que donne à penser l'abondance des lentilles de quartz injectées dans ce secteur. La figure 4 suggère aussi le tracé d'autres accidents probables. Sachant que vers Im Meseknane, les conglomérats arrivent à proximité d'une formation attribuée au terrane d'Iskel (carte *in* Bertrand et Boissonnas, 1970), on peut penser que le cisaillement ductile s'est installé sur la limite ouest de ce terrane et que cette limite se poursuit en profondeur vers le nord au moins jusqu'au niveau de Tinnirt.

L'AURÉOLE DU TINNIRT NORD : DÉFORMATIONS ET HYDROTHERMALISME

Ce petit massif pointe entre les conglomérats et des volcanites acides, là où paraît s'exprimer

le plus nettement le coulissage. Il est cerné par une importante auréole de micaschistes largement cristallisés à patine gris bleutée, dérivant des conglomérats et autres formations encaissantes. Large de plusieurs centaines de mètres à l'affleurement, cette auréole se prolonge vers le sud par le ruban des formations métamorphosées dans le faciès amphibolite (fig.4).

Au premier abord, on a l'impression que les micaschistes sont disposés plus ou moins à plat autour du granite, et que celui-ci s'est niché dans une structure anticlinale. En réalité, les surfaces en question correspondent aux plans axiaux de plis couchés (= Pã) postérieurs aux surfaces S1 et S2. Ainsi, dans le banc de conglomérats qui enveloppe le massif par le nord-est, on observe de ces plis couchés, d'une dizaine de cm d'amplitude, tordant les galets qui avaient été aplatis au préalable dans S2 (fig. 5A). En l'absence de tels plis, on peut noter un découpage à plat Sã, post S2 (fig. 5B à E). Les surfaces Sã, là où elles sont le plus développées, passent à une véritable foliation soulignée par d'abondantes néogénèses de micas. Des plissements attribués à P3 reprennent les micaschistes et les surfaces Sã. On les observe surtout au SW et au SE du granite. Ils ont souvent une allure violente et désordonnée. Quant aux structures Pã-Sã, nous les attribuons à la poussée ascendante du granite.

Si l'on cherche à élucider sur le terrain et sous le microscope les relations temporelles entre silicates de métamorphisme et déformations dans l'auréole de contact, on est amené à conclure que l'andalousite et la cordiérite sont synchrones des déformations 3 et antérieures à l'achèvement de celles-ci. De même, la biotite et la muscovite primaire cristallisent dans Sã, voire dans S3, mais sont en même temps tordues par P3.

Soulignons l'importance des phénomènes hydrothermaux dans le massif et son auréole. Ils se traduisent par l'abondance de muscovite secondaire, dont la séricitisation des silicates d'alumine

CISAILLEMENTS DUCTILES ET MISE EN PLACE DE PLUTONS GRANITIQUES DANS LE NORD DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU SAHARA CENTRAL : LE SECTEUR DE TINNIRT (MOUYDIR, HOGGAR DU NW, ALGÉRIE)

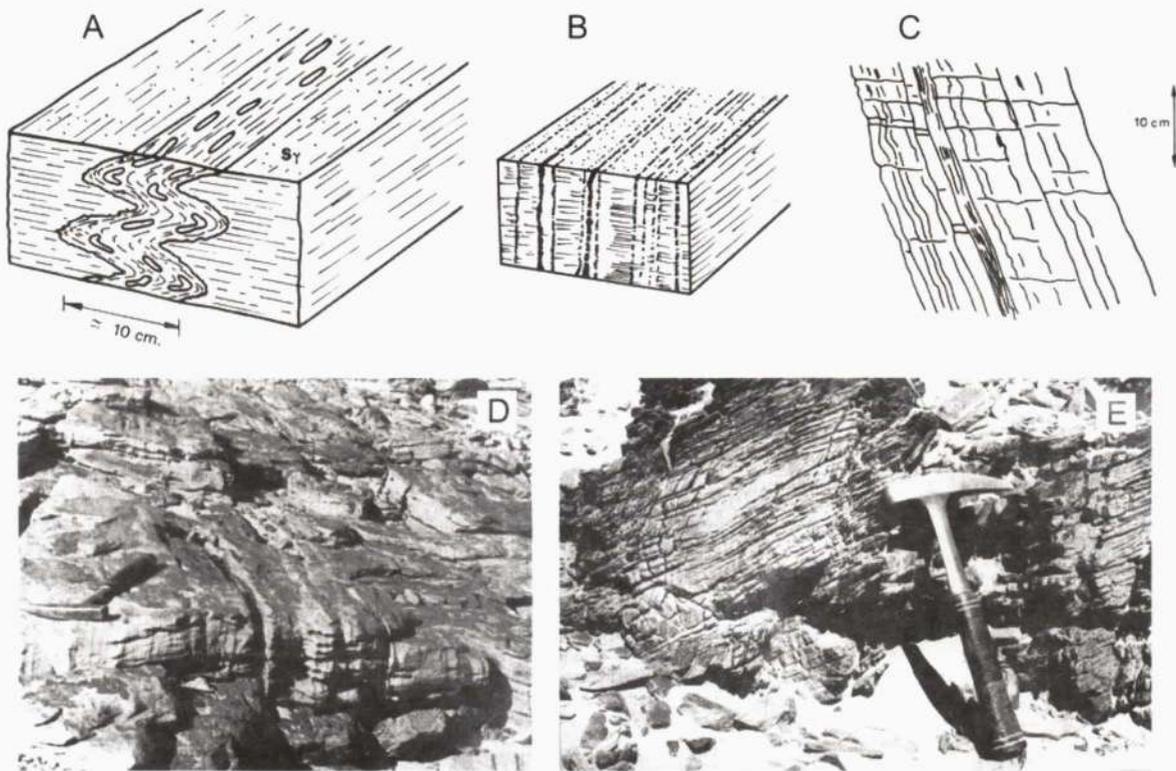


Fig. 5 - Modes de développement des surfaces $S\tilde{a}$ dans l'auréole NE du pluton de Tinnirt Nord (d'après Boissonnas, 1973)

Modes of development of $S\tilde{a}$ surfaces in the NE aureole of the North Tinnirt pluton (after Boissonnas, 1973)

A - Plissement $P\tilde{a}$ d'une intercalation conglomératique, permettant d'identifier à $S\tilde{a}$ les surfaces horizontales. Les galets ont été aplatis par une déformation antérieure (*$P\tilde{a}$ folding of a conglomerate layer, and development of horizontal $S\tilde{a}$ surfaces*).

B et D - Foliation $S\tilde{a}$ serrée, recoupant des liserés biotitiques verticaux qui sont les fantômes d'une surface antérieure ($S2$?) (*Tight $S\tilde{a}$ foliation, intersecting ghosts of an earlier, vertical surface (probably $S2$)*).

C et E - Plissotements embryonnaires $P\tilde{a}$ et clivage fruste $S\tilde{a}$ (en coupe verticale) (*Incipient folding and development of a coarse $S\tilde{a}$ cleavage (in vertical section)*).

n'est qu'un aspect. Près du granite, cette muscovite secondaire cristallise tantôt dans des plans $S3$, tantôt sans orientation ; elle renferme de la fibrolite et l'on voit la séricite des andalousites et des cordiérites s'organiser tardivement en grandes lamelles de muscovite. Par ailleurs, d'énormes «cheminées» de quartz traversent le massif. On doit les rapprocher du quartz qui abonde en lentilles caparaçonnées de muscovite dans l'ouest de la formation conglomératique.

Un important réseau de pegmatites à albite/oligoclase acide, muscovite et grenat soude le Tinnirt Nord à son auréole. Les filons sont en général transversaux par rapport à l'allongement du massif, plissés selon $P3$ et parfois boudinés. Le plissement est synchrone de la cristallisation. Les muscovites, à peine déformées, se disposent parallèlement aux plans axiaux des plis ; on les voit parfois traverser des plagioclases brisés. Cependant, l'extinction roulante des quartz et la légère torsion de certains micas démontrent que

les contraintes n'ont cessé qu'après la fin de la cristallisation.

Dans toute cette auréole dite «dynamique» du Tinnirt Nord, le caractère accusé, parfois même anarchique, du plissement des micaschistes et des filons est la conséquence d'une grande aptitude à la déformation, elle-même favorisée par la percolation des fluides dont témoigne l'importance des phénomènes deutériques.

Nous ne chercherons pas à discuter ici du mode de mise en place du Tinnirt Nord: montée diapirique ou gonflement in situ d'une «bulle». La conclusion qui s'impose cependant est que le granite s'est mis en place pendant la phase de plissement P3. Les deux phénomènes ont agi en sens contraire : le granite avait tendance à refouler son encaissant (d'où les structures Pã-Sã), tandis que les mouvements liés à P3 plaquaient l'encaissant sur lui.

LA DÉFORMATION AUTOUR DE L'ADRAR TINNIRT

Le contexte structural de la mise en place de ce pluton est moins clair que pour le Tinnirt Nord. Quelques faits s'imposent cependant. Le prolongement virtuel de la bande de granite syncinématique de Tin Touafa passe à proximité (fig.4). Une linéation caractéristique affecte l'encaissant (rhyolites et tufs acides) à l'est du massif. Prenant l'aspect de fines cannelures à faible plongement nord, elle paraît correspondre à un étirement. En contournant le massif par le NE, on la voit basculer jusqu'à plonger de 50°, mais sans guère changer de direction. Elle plonge encore de 30 à 40° dans la colline de volcanites acides qui émerge droit au nord du massif (fig.3C), puis revient peu à peu à l'horizontale. Elle est particulièrement marquée là où elle plonge fort, donnant à la roche un débit en gros pieux à section ovale (meneaux), burinés par des cannelures. La biotite brune recristallise sur la linéation : il peut s'agir d'un effet de contact.

Quelques plissements de type P3, généralement amples et atténués, se suivent tout au long de la bordure est du massif. Leur obliquité par rapport à la bordure du pluton prouve qu'ils ne résultent pas d'une poussée de ce dernier. Formé à partir d'un magma plus «sec» que le Tinnirt Nord, le pluton de Tinnirt apparaît moins solidaire de son enveloppe : pour autant que la rareté des affleurements au contact permette d'en juger, il n'émet pas de pegmatites et ne développe que peu de métamorphisme.

On peut concevoir la courbure de l'encaissant au NE comme un fragment de grande structure P3, ployée sur le massif. De fait, le granite montre des indices d'écrasement et de protoclaste. Nous pensons cependant qu'il ne s'est pas comporté seulement comme un butoir : il a dû refouler la série encaissante puisque aucun terme de celle-ci ne paraît manquer. Les contraintes de la phase 3 ont agi en même temps que la mise en place : elles ont eu tendance à ouvrir la structure puis à la mouler sur le granite. Notons que le synchronisme entre la mise en place du Tinnirt et une tectonique tardive avait été soupçonné dès les premières reconnaissances géologiques du secteur (Ranoux, 1959).

EXISTENCE D'UN DISPOSITIF COMPARABLE EN BORDURE DU MICROCONTINENT DE LATEA

Nous avons insisté sur le dispositif observé à Tinnirt : il se ramène pour l'essentiel à l'existence, d'ouest en est, d'un batholithe concordant, de plutons annexes moulés par l'encaissant, et d'une zone de cisaillement ductile. Cinquante km à l'est, cet agencement paraît se répéter dans ses grandes lignes (fig.2) : il comprend deux batholithes alignés et concordants (Tidjelamine et In Debirene), un chapelet de plutons bien circonscrits sur lesquels nous revenons ci-dessous, et la limite certainement faillée du microcontinent de LATEA (Liégeois et *al.*, 2003).

1) Deux petits massifs de monzogranite, très bien moulés par les formations encaissantes, attirent l'attention au nord de la route trans-saharienne. Le pluton que nous nommons Ameder ($x = 4^{\circ}41'30''$, $y = 25^{\circ}17'$) mesure 5 x 4 km et affleure près de la bordure orientale du batholithe d'In Debirene. Une petite «bulle» de granite de 1,5 x 1 km, appelée ici Ouest Idireksi ($x = 40^{\circ}41'30''$, $y = 25^{\circ}02'30''$), pointe au contact entre des formations schisteuses à l'ouest et les barres bien rectilignes de calcaires métamorphiques de l'Idireksi, et semble avoir écarté ces terrains de façon symétrique : vu en photo aérienne, le dispositif est étonnant (fig.3D). Il est possible que, comme Ameder, l'Ouest Idireksi représente un satellite du batholithe d'In Debirene, qui se prolongerait jusque dans ce secteur sous le niveau d'affleurement.

2) Dans cette région, le terrane d'In Tedeini est traversé par les représentants septentrionaux de l'importante famille des granites «des Taourirts» (Boissonnas, 1973; Azzouni-Sekkal, 1989; Azzouni-Sekkal *et al.*, 1993; Azzouni-Sekkal *et al.*, 2003), et en particulier par le grand complexe de Tesnou. Au nord du Tesnou 1, unité la plus ancienne du complexe, les schistes encaissants apparaissent déviés de part et d'autre de l'axe du pluton, déformés en microplis à axes verticaux, avec apparition d'une schistosité de fracture moulant le contact du granite. Près du contact nord, ils sont transformés en cornéennes massives à andalousite et cordiérite. Au total, le dispositif évoque celui de Tinnirt, à ceci près que le Tesnou 1, s'il est partiellement moulé par son encaissant, le recoupe dans le détail. L'intervention d'une tectonique en coulissage lors de la mise en place du complexe a été notée par Boissonnas (1973), puis confirmée par Djouadi *et al.* (1997) qui mentionnent des preuves de cisaillement ductile à proximité de l'unité 1. Précisons que le caractère sécant s'accroît dans les unités plus récentes du complexe, et que ceux des Taourirts qui traversent le terrane d'Iskel plus à l'est et au sud, recoupent cet encaissant à l'emporte pièce.

DISCUSSION ET REMARQUES FINALES

Le Tinnirt Nord représente un exemple particulièrement net d'interférence entre la mise en place d'un corps granitique et le fonctionnement d'un cisaillement ductile. On n'en connaît pas de cas aussi démonstratif ailleurs dans le Hoggar. Bien que le contexte de la mise en place de l'Adrar Tinnirt semble moins clair, l'existence d'un lien avec cette tectonique en coulissage est très probable. L'abondance des références récentes dans la littérature internationale démontre que ce type de lien est bien plus fréquent qu'on ne l'imaginait il y a quelques décennies (voir par exemple : D'Lemos *et al.*, 1992; Hutton, 1997; Roman-Berdiel *et al.*, 1997; Gleizes *et al.*, 1998; Petford *et al.*, 2000; Ferré *et al.*, 2002; Asrat *et al.*, 2003; Auréjac *et al.*, 2004) y compris au Hoggar (par exemple Acef *et al.*, 2003). Le secteur de Tinnirt présente l'avantage de bonnes conditions d'affleurement et d'un dispositif très parlant dans le paysage.

Un dispositif assez similaire, associant cisaillement méridien ductile et plutonisme granitique, s'observe environ 50 km à l'est, aux abords du microcontinent de LATEA. Ici cependant, le plutonisme des «Taourirts» s'est affranchi progressivement de la tectonique souple, comme on peut l'argumenter au niveau du complexe de Tesnou. Les dernières intrusions de cette famille ont recoupé des terrains devenus rigides, pendant que fonctionnaient encore les ultimes décrochements tardi-panafricains (Boissonnas, 1973; Paquette *et al.*, 1998; Azzouni-Sekkal *et al.*, 2003).

Dans l'histoire terminale de la chaîne panafricaine du Hoggar, les granites de Tinnirt s'intercalent entre la formation des grands batholithes calco-alcalins et la mise en place des Taourirts. Ce «créneau» correspond à la période comprise entre environ 585 Ma, âge publié pour le batholithe d'Imezzarene (Bertrand *et al.*, 1986), et environ 525 Ma, âge du Tioueiine (Paquette

et *al.*, 1998). Cette fourchette d'âges nous semble en réalité trop large, et cela pour deux raisons : **i)** le caractère ductile du coulissage de Tinnirt, et son synchronisme probable avec l'activité terminale du batholithe de Tin Touafa, nous orientent plutôt vers le début de la fourchette; **ii)** l'histoire des Taourirts est étalée dans le temps, comme le prouvent les relations de terrain entre unités successives (complexes de Tesnou, d'Iseddiène-Imehellatène et de Taharhait-n-Abror), le Tioueiine semblant être le plus jeune de tous ces massifs. Avec J.P. Liégeois (comm. orale, 2006), en attendant un âge radiométrique, nous proposons donc pour les granites de Tinnirt un âge aux alentours de 560-570 Ma.

Si l'on adopte le concept de «terrane» tel que proposé par Black et *al.* (1994), il est probable que cet agencement des structures dans le nord de la chaîne panafricaine, et sa répétition apparente le long de deux méridiens parallèles, traduisent la structuration progressive de la chaîne par collages successifs de blocs. Nous ne pouvons en discuter ici, mais nous espérons au moins que cet article pourra contribuer à relancer l'étude de cette région si intéressante.

Remerciements : Je remercie vivement Madame Azzouni et ses collègues du comité d'organisation du colloque PICG 485, qui m'ont donné l'occasion de revenir à la géologie du socle saharien. De son côté, Jean-Paul Liégeois, alerté sur le contexte structural des granites de Tinnirt au cours de plusieurs conversations, m'a encouragé à extraire de ma thèse la substance de cet article, l'a relu et commenté en détail. Il m'a apporté une aide précieuse dans la préparation du manuscrit. Je remercie également les rapporteurs, Madame Yamina Mahdjoub et Renaud Caby, de leurs remarques et commentaires. J'adresse enfin mes amitiés à JML Bertrand, en souvenir de son raid d'autrefois du côté d'Im Meseknane.

BIBLIOGRAPHIE

- ACEF K., LIÉGEAIS J.P., OUABADI A. AND LATOUCHE L. 2003.** The Anfeq post-collisional Pan-African high-K calc-alkaline batholith (Central Hoggar, Algeria), result of the Latea microcontinent metacratonisation. *Journal of African Earth Sciences*, 37, 295-311
- ASRAT, A., GLEIZES, G., BARBEY, P. AND AYALEW, D. 2003.** Magma emplacement and mafic-felsic magma hybridisation : structural evidence from the Pan African Negash pluton, northern Ethiopia. *Journal of Structural Geology*, 25, 1451-1469.
- AURÉJAC, J.B., GLEIZES, G., DIOT H. ET BOUCHEZ, J.L. 2004.** Le complexe granitique de Quérigut (Pyrénées, France) ré-examiné par la technique de l'ASM : un pluton syncinématique de la transpression dextre hercynienne. *Bulletin de la Société géologique de France*, 175, 157-174.
- AZZOUNI-SEKKAL, A. 1989.** Pétrologie et géochimie des granites de type «Taourirt» : un exemple de province magmatique de transition entre les régimes orogéniques et anorogéniques, au pan-africain (Hoggar, Algérie). *Thèse, publ.1995. Mémoires du Service géologique de l'Algérie*, n°7, 288 p.
- AZZOUNI-SEKKAL, A. ET BOISSONNAS, J. 1993.** Une province magmatique de transition du calco-alkalin à l'alkalin : les granitoïdes à structure annulaire de la chaîne pharusienne du Hoggar (Algérie). *Bulletin de la Société géologique de France*, 164, 597-608.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., LIÉGEAIS, J.P., BECHIRI-BENMERZOUG, F., BELAIDI-ZINET, S. AND BONIN, B. 2003.** The «Taourirt» magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield : review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences*, 37, 331-350.
- BALL, E. AND CABY, R. 1984.** Open folding and wrench movements, their relationships with horizontal tectonics in the Pan African belt of northern Mali. In : Klerkx J. and Michot J. (Editors), *Géologie Africaine - African Geology. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren*, 75-89.
- BERTRAND, J.M.L. ET BOISSONNAS, J. 1970.** Schéma stratigraphique et structural du Pharusien aux environs d'I-m-Meseknane et de Tinnirt (Sahara central, Algérie). *Compte rendu sommaire de la Société géologique de France*, 13-14.

CISAILLEMENTS DUCTILES ET MISE EN PLACE DE PLUTONS GRANITIQUES DANS LE NORD DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU SAHARA CENTRAL : LE SECTEUR DE TINNIRT (MOUYDIR, HOGGAR DU NW, ALGÉRIE)

- BERTRAND, J.M.L., BOISSONNAS, J., CABY, R., GRAVELLE, M. ET LELUBRE, M. 1966.** Existence d'une discordance dans l'Antécambrien du «fossé pharusien» de l'Ahaggar occidental (Sahara central). *C. R. de l'Académie des Sciences, Paris*, 262, 2197-2200.
- BERTRAND, J.M.L., MERIEM, D., LAPIQUE, F., MICHARD, A., DAUTEL, D. ET GRAVELLE, M. 1986.** Nouvelles données sur l'âge de la tectonique pan-africaine dans le rameau oriental de la chaîne pharusienne (région de Tingaouine, Hoggar, Algérie). *C. R. de l'Académie des Sciences, Paris*, 302, 437-440.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEOIS, J.P., CABY, R. AND BERTRAND, J.M. 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*, 22, 641-644.
- BOISSONNAS, J. 1973.** Les granites à structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne pan-africaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). *Thèse, coed. BRGM-CNRS 1974, Mémoire n°16 du Centre de Recherches sur les Zones Arides*, 2 vol., 662 p. + annexes.
- CABY, R. 2003.** Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar : a synthesis. *Journal of African Earth Sciences*, 37, 133-159.
- DJOUADI, M.T., GLEIZES, G., FERRÉ, E., BOUCHEZ, J.L., CABY, R. AND LESQUER A. 1997.** Oblique magmatic structures of two epizonal granite plutons, Hoggar, Algeria : late-orogenic emplacement in a transcurrent orogen. *Tectonophysics*, 279, 351-374.
- D'LEMOIS, R.S., BROWN, M. AND STRACHAN, R. 1992.** Granite magma generation, ascent and emplacement within a transpressional orogen. *J. of the Geol. Society of London*, 149, 487-490.
- FERRÉ, E., GLEIZES, G. AND CABY, R. 2002.** Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-saharan belt of eastern Nigeria : a synthesis. *Precambrian Research*, 114, 199-219.
- GLEIZES, G., LEBLANC, D. AND BOUCHEZ, J.L. 1998.** The main phase of the Hercynian orogeny in the Pyrenees is a dextral transpression. In : Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.F. (Editors), Continental Transpressional and Transtensional Tectonics, *Geological Society of London, Special Publication* 135, 267-273.
- GRAVELLE, M. 1969.** Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. *Thèse, Paris*, 298 p. + annexes.
- HUTTON, D.H.W. 1997.** Syntectonic granites and the principle of effective stress : a general solution to the space problem ? In : Bouchez J.L., Hutton D.H.W., Stephens W.E. (Editors), Granite : from segregation of melt to emplacement fabrics. *Kluwer, Dordrecht*, 189-197.
- LATOUCHE, L. ET FABRE, J. 2005.** Le Précambrien du craton ouest-africain. In : Géologie du Sahara central et occidental, Fabre J. (Editor), *Musée Royal de l'Afrique Centrale, Belgique*, 15-72.
- LELUBRE, M. 1952.** Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental. *Bulletin du Service de la Carte géologique d'Algérie*, 2^{ème} série, n°22, 2 vol.
- LIÉGEOIS, J.P., LATOUCHE, L., BOUGHRARA, M., NAVEZ, J. AND GUIRAUD, M. 2003.** The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of African Earth Sciences*, 37, 161-190
- PAQUETTE, J.L., CABY, R., DJOUADI, M.T. AND BOUCHEZ, J.L. 1998.** U-Pb dating of the end of the Pan-African orogeny in the Tuareg shield : the post-collisional syn-shear Tiouéine pluton (Western Hoggar, Algeria). *Lithos*, 45, 245-253.
- PETFORD, N., CRUDEN, A.R., MC CAFFREY, K.J.W. AND VIGNERESSE, J.J. 2000.** Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust. *Nature*, 408, 669-673.
- RANOUX, J. 1959.** Etude du Pharusien du Hoggar entre Silet et le Tesnou. *Bulletin scientifique et économique du BRMA, Algérie*, 6, 89-102.
- ROMAN-BERDIEL, T., GAPAIS, D. AND BRUN, J.P. 1997.** Granite intrusion along strike-slip zones in experiment and nature. *American Journal of Science*, 297, 651-678.