

# DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET (HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE).

Dalila ZEKIRI-NEMMOUR\* et Yamina MAHDJOUR\*

## RÉSUMÉ

La région de Djanet est située à l'extrémité nord-est du Hoggar Oriental. Elle couvre le terrane de Djanet et une partie du terrane de l'Edembo (Black et *al.*, 1994). Le terrane de Djanet est séparé, à l'ouest de celui de l'Edembo par la zone de cisaillement de Ti n Amali (ZCTA) orientée NW-SE (Caby et Andréopoulos-Renaud, 1987; Black et *al.*, 1994). Il est surmonté au nord et à l'est par les grès paléozoïques cambro-ordoviciens du Tassili n'Ajjer (Beuf et *al.*, 1971).

Cette région est formée d'un socle néoprotérozoïque, lui-même constitué de deux ensembles: (1) un ensemble granito-gneissique affleurant dans le terrane de l'Edembo et, (2) un ensemble méta-sédimentaire épizonal d'âge néoprotérozoïque (inférieur à 590Ma) (série de Djanet), recoupé, à son tour, par des granitoïdes post-orogéniques d'âges variant entre 571+16 Ma et 558+6 Ma (Fezaa, 2010) et formant le terrane de Djanet.

La région de Djanet présente un dispositif structural, simple en apparence, matérialisé par des structures lenticulaires allongées suivant une direction globale NNW-SSE à NW-SE. Elle se caractérise néanmoins, par plusieurs phases de déformations complexes, ductiles et fragiles d'âges panafricain et post-panafricain, que l'on se propose d'analyser, dans ce travail, à partir de méthodes classiques de terrain et de traitements numériques des images satellitaires et des images numériques de terrain (MNT).

L'analyse du réseau des fractures montre que les directions majeures sont : NW-SE, N-S, NE-SW et E-W. La direction NW-SE correspond à la zone de cisaillement de Ti n Amali, séparant le terrane de Djanet de celui de l'Edembo. Cette zone représente un segment de l'accident du Tibesti (Guiraud et *al.*, 2000) passant par la région de Djanet. Ces accidents sénestres affectent les terrains néoprotérozoïques et paléozoïques en décalant les structures N-S vers l'ouest.

La cinématique de ces accidents N-S, analysés le long de la faille de Djanet indique un décrochement dextre à composante inverse vers l'est, amenant la couverture paléozoïque sur le socle néoprotérozoïque. La forme en goutte du granite calco-alcalin de Tissalatine indiquerait que cette faille est héritée d'une histoire anté-paléozoïque. La direction NE-SW correspond à des décrochements sénestres. Enfin, la direction E-W correspond à des failles qui recoupent en plusieurs endroits toutes les structures qu'elles traversent. Ces failles E-W à ENE-WSW contrôlent la mise en place du volcanisme cénozoïque (Liégeois et *al.*, 2005) et leur caractère récent, probablement lié à une tectonique extensive. Les résultats obtenus sont conformes aux accidents cartographiés et observés sur le terrain.

**Mots-clés** - Région de Djanet - Hoggar Oriental - Télédétection - Déformation panafricaine.

\* Laboratoire de Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, USTHB, BP. 32, El-Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.  
E-mail : nemourd@yahoo.fr; ymahdjoub@yahoo.fr.

- Manuscrit déposé le 15 Mai 2011, accepté après révision le 17 Novembre 2011.

## PAN-AFRICAN AND POST-PANAFRICAN DEFORMATIONS IN THE DJANET REGION (EASTERN HOGGAR, ALGERIA).

### ABSTRACT

The Djanet area is located in the North-East end of the Eastern Hoggar. It covers the Djanet Terrane and a part of the Edembo Terrane (Black and *al.*, 1994). The Djanet Terrane is separated in the West of Edembo by the shear zone of Ti n Amali (SZTA) oriented NW-SE (Caby and Andréopoulos-Renaud, 1987; Black and *al.*, 1994). It is topped North and East by the Late Cambrian to Early Ordovician Palaeozoic sandstones of the Tassili n'Ajjer (Beuf and *al.*, 1971).

This area consists of a Neoproterozoic bedrock made of two units: (1) a granite-gneiss unit outcropping in Edembo terrane and, (2) a meta-sedimentary epizonal Neoproterozoic ensemble (upper to 595 Ma) (Djanet series) intersected by post-orogenic granitoids of ages varying between 571+6Ma and 558 + 16 Ma (Fezaa, 2010), forming the Djanet terrane.

The Djanet area has a structural device, simple in appearance, with elongated lenticular structures with NNW-SSE to NW-SE global direction; however, it is characterized by several phases of complex, ductile and brittle deformations of Pan-African and post-Pan-African age, that we propose to analyze in this work, with conventional field methods and digital processing of satellite and numerical images (MNT).

The fractures network analysis indicates that the main directions are NW-SE, NS, NE-SW and EW. The NW-SE direction corresponds to the shear zone of Ti n Amali bounding the Djanet and the Edembo terrane. This zone represents a segment of the Tibesti accident going through Djanet region (Guiraud and *al.*, 2000). These sinistral faults affect the Neoproterozoic and the Palaeozoic fields by shifting NS structures toward the West. The kinematic of these NS faults, analyzed along the Djanet fault, indicates a dextral faulting of reverse component to the West, bringing the Palaeozoic cover on the Neoproterozoic bedrock. The drop shape of calc-alkaline Tissalatine granite would indicate that this fault comes from a pre-Palaeozoic history. The NE-SW direction corresponds to sinistral offsets. Finally, EW direction corresponds to faults cutting in many places all crossed structures. These EW faults control the settlement of Cenozoic volcanism and their recent character, probably linked to an extensive tectonic. The results of our study are consistent with the accidents mapped and observed on site.

**Keywords** - Djanet region - Eastern Hoggar - Remote sensing - Pan-African deformation.

### INTRODUCTION

La région de Djanet, située à l'extrémité nord-est du Hoggar oriental (fig.1), fait partie du domaine Tafassasset-Djanet (fig.1B). Ce domaine correspond aux trois terranes: Djanet, Edembo et Aouzegueur (Black et *al.*, 1994), séparés par de grands cisaillements verticaux NW-SE. Les terranes du Hoggar oriental sont limités à l'est par le cisaillement du 8°30' qui est le prolongement vers le nord de la zone de cisaille-

ment de Raghane. Ces terranes ont été rattachés au métacraton saharien (Liégeois et *al.*, 1994; Abdessalem et *al.*, 2002). La région étudiée recouvre à l'est le terrane de Djanet ainsi qu'une partie du terrane de l'Edembo.

Cette région peu connue n'a fait l'objet que d'un nombre restreint d'investigations récentes, comme les datations géochronologiques et les études géochimiques réalisées dans les terranes de Djanet et de l'Edembo (Fezaa, 2010).

DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)

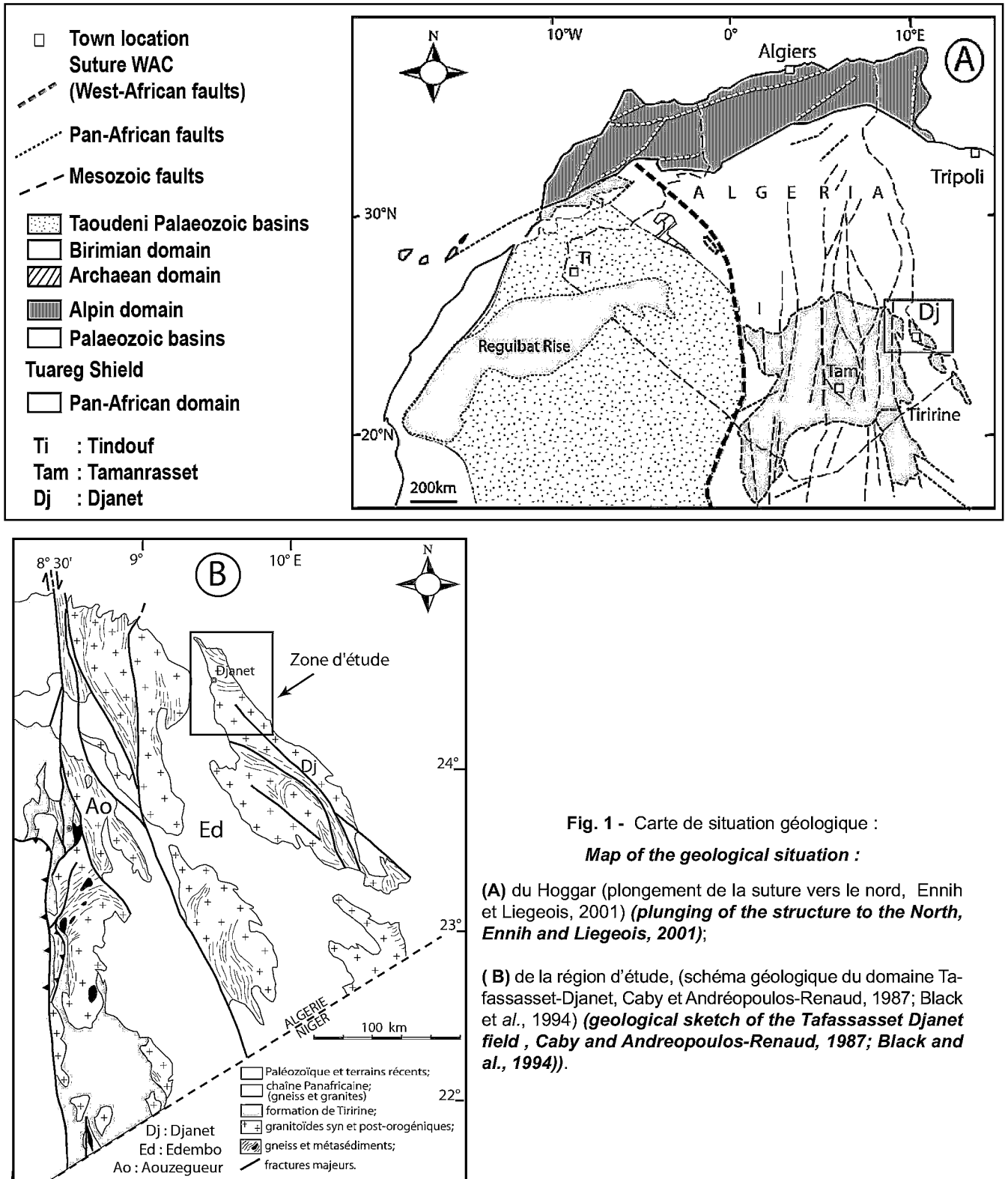


Fig. 1 - Carte de situation géologique :

**Map of the geological situation :**

(A) du Hoggar (plongement de la suture vers le nord, Ennih et Liegeois, 2001) (*plunging of the structure to the North, Ennih and Liegeois, 2001*);

(B) de la région d'étude, (schéma géologique du domaine Tafassasset-Djanet, Caby et Andréopoulos-Renaud, 1987; Black et al., 1994) (*geological sketch of the Tafassasset Djanet field, Caby and Andreopoulos-Renaud, 1987; Black et al., 1994*)).

En effet, ces deux terranes présentent d'une part, une évolution métamorphique contrastée du faciès amphibolite (terrane de l'Edembo) au faciès schiste vert (terrane de Djanet) et d'autre part, une mise en place de plusieurs générations de magmatisme calco-alkalin entre 571+16 Ma et 558+6 Ma (Fezaa *et al.*, 2010). Ces résultats démontrent que le Hoggar Oriental qui était considéré comme un socle cratonisé avant l'événement panafricain (700Ma), (Caby et Andreopoulos-Renaud (1987) a, en fait, connu des événements tectoniques et thermiques plus jeunes (Fezaa, 2010). Cette région est traversée par des accidents sub-méridiens caractéristiques de la tectonique panafricaine et des accidents NW-SE qui recoupent les séries néoproterozoïques et leur couverture paléozoïque (fig.1B). On se propose, dans cette note, d'analyser les déformations panafricaines de la région de Djanet et leur réactivation postérieure.

Notre méthode de travail combine l'analyse structurale de terrain couplée avec l'apport de la télédétection, technique très performante dans les domaines sahariens. Ainsi, cette approche méthodologique a permis d'établir :

1- une cartographie géologique par les méthodes classiques de terrain montrant les relations entre les granito-gneiss du terrane de l'Edembo, la série méta-sédimentaire épizonale de Djanet, les granitoïdes et les filons qui les recoupent;

2- une analyse structurale basée sur les traitements numériques et l'interprétation de l'image satellite ETM+ de Landsat 7. Ces techniques ont eu pour résultat la cartographie linéaire précisant les directions majeures des cisaillements et leur cinématique au cours de l'évolution néoproterozoïque et postérieure de la région;

3- une analyse structurale de terrain précisant la nature, les caractères et la cinématique des successions de déformations ductiles et fragiles.

## I- CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le socle néoproterozoïque de la région de Djanet est constitué de deux ensembles : (1) un ensemble granito-gneissique affleurant à l'ouest (la zone de cisaillement de Ti n Amali) et, (2) un ensemble méta-sédimentaire épizonal (série de Djanet), lui-même recoupé par des roches magmatiques constituées essentiellement de granitoïdes (fig. 2).

### 1- L'ensemble granito-gneissique

L'ensemble granito-gneissique apparaît de manière assez discontinue au sud et au sud-ouest de la région étudiée puis disparaît au nord sous les grès du Tassili.

Le faciès le plus ancien est représenté par des gneiss localement migmatitiques, parfois recoupés par d'autres générations de granites porphyroïdes. Le plus commun est un granite fin, porphyroïde à biotite. Ce dernier recoupe un granite à gros grains, riche en quartz et en feldspaths. Le contact entre les deux granites est généralement horizontal et franc. Par ailleurs, ces gneiss sont recoupés par des granites ne présentant aucune déformation interne visible à l'œil nu et au microscope optique.

La migmatisation de la région d'Ouhot au sud de Ti n Amali, proche de la zone de cisaillement (ZCTA), a été datée à 568+ 4 Ma, U-Pb/ zircon (Fezza *et al.*, 2010).

Le granite le plus représentatif, appelé «granite d'Eferi», est du type porphyroïde. Il affleure sur une vaste zone qui s'étend d'Eferi jusqu'à l'Edembo en passant par Ti n Amali au sud de Djanet. Les affleurements de ce granite porphyroïde observés à l'ouest de la région étudiée sont recouverts à l'est par les grès du Tassili. Ce granite a été daté au sud de Djanet, à 571+16 Ma, U-Pb /zircon (Fezza, 2010; Fezza *et al.*, 2010). Les caractères géochimiques de ces granites

DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)

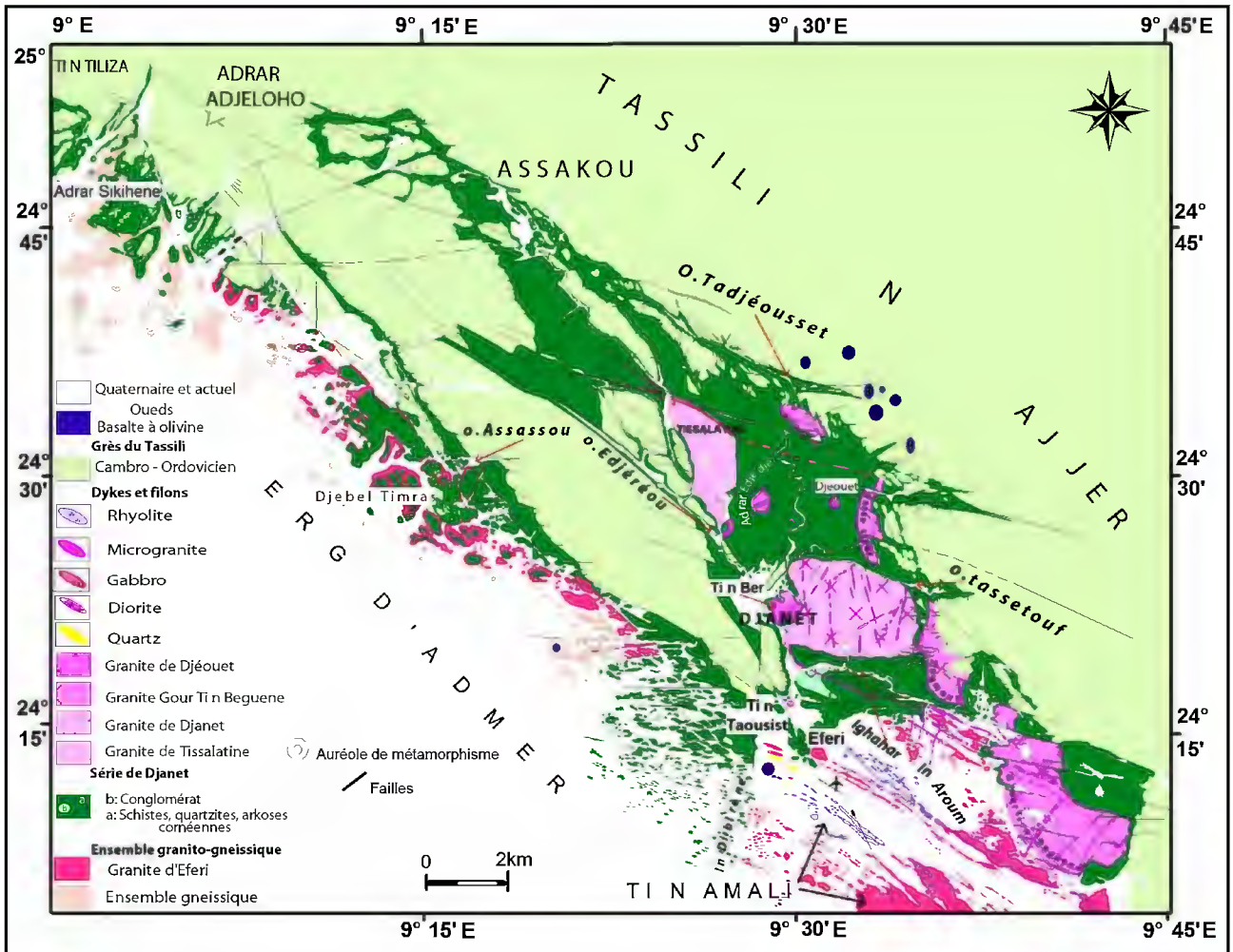


Fig. 2 - Carte géologique de la région de Djanet.

*Geological map of the Djanet area.*

montrent un chimisme calco-alcalin hautement potassique.

Le granite porphyroïde d'Eferi renferme des enclaves sombres ou micacées de forme ovoïde. De plus, le granite d'Eferi est recoupé par des filons (1 à 10 m environ) de pegmatites, d'aplités et de quartz, ainsi que de nombreux dykes, d'épaisseur plurimétrique, formant ainsi le complexe filonien de Tin Amali (fig. 3). Ce réseau filonien est représenté par des microgranites, des microdiorites et des rhyolites. Ces dernières sont datées à 558+6 Ma, U-Pb /zircon (Fezza *et al.*, 2010).

## 2- L'ensemble sédimentaire

Les formations méta-sédimentaires appelées «série de Djanet» couvrent une grande partie des affleurements de la région de Djanet. La série de Djanet est caractérisée par la prédominance de schistes et de pélites quartzitiques, et est matérialisée par une alternance rythmique (d'origine sédimentaire), de lits micacés et de lits quartzeux. Par endroit, les faciès deviennent conglomératiques et même microconglomératiques, caractérisés par des galets de quartz roulés et étirés, dans un ciment détritique micacé. Néan-



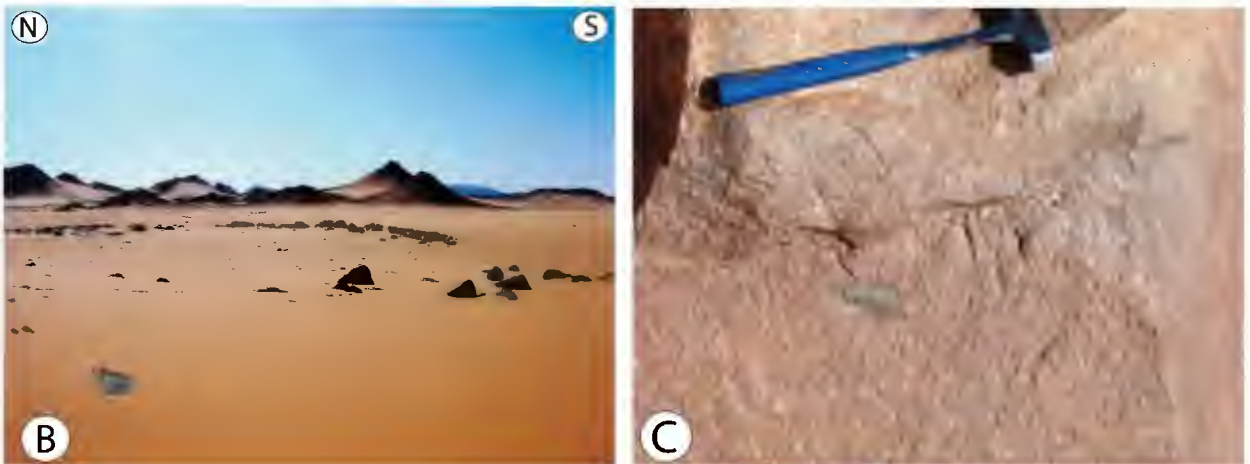
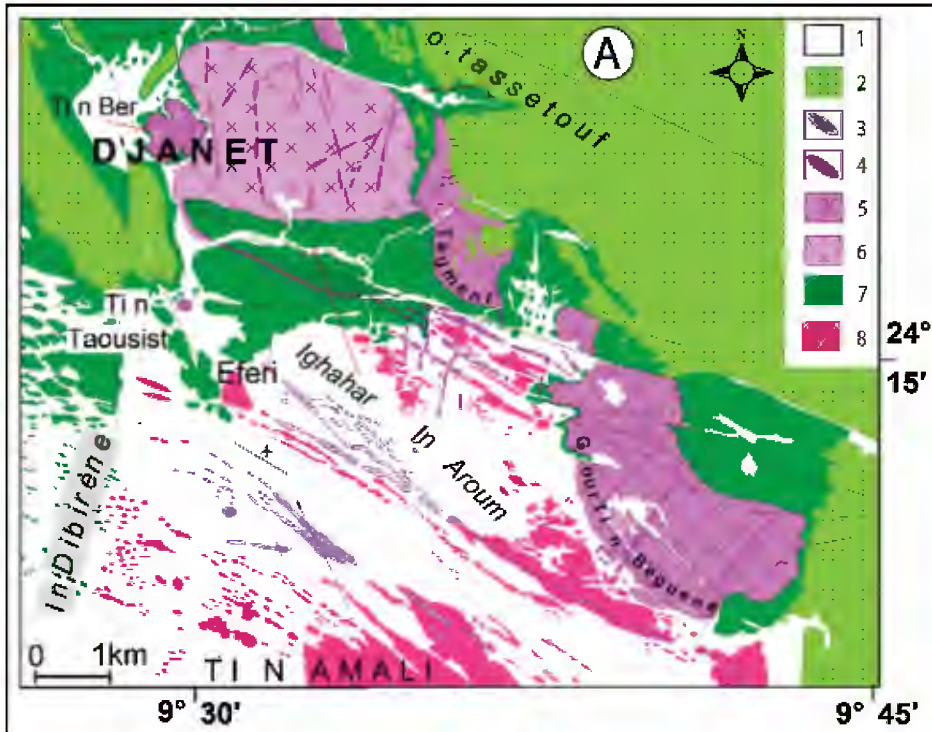


Fig. 3. Complexe filonien de Ti n Amali.

***Vein complex of Ti n Amali***

(A) Schéma géologique du complexe filonien de Ti n Amali (***Geological sketch of the Ti n Amali vein complex***). (1) Quaternaire, Actuel et oueds (***Quaternary, Recent, wadis***); (2) grès cambro-ordoviciens du Tassili (***Tassili Cambro-Ordovician sandstones***); (3) rhyolites (***Rhyolites***); (4) microgranites (***Microgranites***); (5) granites Gour Ti n Beguene (***Gour Ti n Beguene granites***); (6) granite de Djanet (***Djanet granite***); (7) série néoproterozoïque de Djanet (***Djanet Neoproterozoic series***); (8) granite d'Iferi (***Iferi Granite***).

(B) Vue panoramique des affleurements des dykes de rhyolite dans la région de Ti n Amali (***Panoramic view of the rhyolite dykes outcrop in the Ti n Amali region***).

(C) Rhyolite rosâtre à texture microlitique (***Pinkish rhyolite with microlite texture***).

moins, au niveau de l'oued Ighahar In Aroum, apparaît un autre type de conglomérats intra-formationnels se présentant sous forme d'une bande, d'environ 300 mètres d'épaisseur, caractérisée par de gros galets parfois jointifs, ronds, ovales ou souvent lenticulaires et emballés dans une matrice fine d'argile et de silts. Les galets de quartz et de quartzite sont relativement rares ou même absents.

Les formations méta-sédimentaires sont métamorphisées dans le faciès schistes verts. Par ailleurs, au contact des intrusions magmatiques, les formations schisteuses présentent un métamorphisme de contact, développant des auréoles de faible épaisseur, de cornéennes ou de schistes tachetés à andalousite.

Le caractère flyschöïde de cette série est attesté, d'une part par la présence de slumps, de granoclassement, de répétition rythmique, de stratification oblique et renfermant des galets «lentilles» argileux et, d'autre part par la dominance de dépôts très fins (Zekiri-Nemmour et al., 2006).

Des datations récentes effectuées sur des populations de zircons des conglomérats de la série de Djanet (méthode 207Pb/206Pb) ont donné des âges paléoproterozoïques (1914, 1892 Ma) et néoproterozoïques de l'ordre de 710, 650, 595 Ma (Fezaa, 2010). Ces résultats impliquent un âge plus récent que 590+10 Ma de la sédimentation de la série de Djanet.

### 3- Le magmatisme

La série de Djanet est recoupée par plusieurs générations magmatiques tardives, formant des massifs granitiques, de forme et de taille très variées. En raison d'une datation géochronologique seulement partielle de ces massifs, nous procéderons à un classement en fonction de leur forme et de leur taille.

#### 3.1- Le granite de Tissalatine

Le granite de Tissalatine s'étend sur une dizaine de kilomètres au Nord de Djanet. Il est recouvert à l'ouest par les grès du Tassili et présente un contact tectonique avec les formations schisteuses de la série de Djanet. Ce granite présente une forme en goutte, suggérant une mise en place le long de la faille de Djanet, dans un contexte décrochant sénestre.

Le granite de Tissalatine est caractérisé par la présence de nombreuses enclaves microgrenues sombres. Au nord du massif, ce granite à phénocristaux de plagioclase est recoupé par des pegmatites, d'aprites ainsi que par des petits massifs basiques de diorites. Les caractéristiques géochimiques de ce granite montrent un chimisme calco-alcalin. Dans la partie septentrionale, ce granite et son encaissant schisteux de la série de Djanet sont recoupés par des filons de gabbros suivant une direction globale NW-SE à WNW-ESE. Les limites de ces filons, boudinés dans la série, sont concordantes à la schistosité; ceci indique que leur mise en place est antérieure ou synchrone à la déformation de la série de Djanet. Actuellement, aucune datation n'a encore été réalisée sur ce granite.

#### 3.2- Le granite de Djanet

Le granite de Djanet affleure au centre de la ville de Djanet, sous forme d'un grand massif. Il est limité par le Tassili qui le couvre à l'ouest, par le granite de Tagment à l'est et au nord par l'oued Tassetouf. Au sud, ce granite montre des contacts intrusifs avec la série épizonale de Djanet où il développe une auréole de métamorphisme de contact très réduite, matérialisée par des cornéennes et des schistes tachetés à andalousite. Par endroits, il renferme des enclaves microgrenues sombres d'ordre centimétrique (EMS). L'ensemble de ces granites est sillonné d'aprite et de pegmatite d'ordre métrique. Enfin, des

dykes de microgranite le traversent. À l'heure actuelle, ce massif n'a fait l'objet d'aucune datation.

### **3.3- Les granites de Gour Ti n Beguene, de Tagment, de Tassetouf et de Tadjouisset**

Les granites de Gour Ti n Beguene (granite de Tin Bedjene, Fezza, 2010), de Tagment, de Tassetouf et de Tadjouisset sont caractérisés par une forme subcirculaire masquée à l'est par les formations du Tassili. En l'absence de datation, la forme de ces plutons et ses relations structurales avec leur encaissant, la série de Djanet, suggèrent le même âge que le pluton de Gour Ti n Beguene. Ce dernier qui recoupe les granites d'Eferi a été daté à 568+5 Ma par la méthode U-Pb sur zircon (Fezza, 2010; Fezza *et al.*, 2010). De nombreux filons de microgranites de directions variables traversent le massif. Les caractéristiques géochimiques de ces granites montrent un chimisme calco-alcalin hautement potassique (Fezza, 2010). La mise en place des granites de Gour Ti n Beguene (âge 568+5Ma) serait contemporaine de la migmatisation dans le terrane de l'Edembo (âge 568+ 4 Ma).

### **3.4- Les granites de Djéouet, d'Edjédjé, d'Edjériou et de Tin Ber**

Les granites de Djéouet, d'Edjédjé, d'Edjériou et de Tin Ber se présentent sous forme de petits massifs circulaires de dimensions inférieures à deux kilomètres.

À l'Est de Tissalatine, se trouve le petit massif d'Edjédjé et au sud-est, le granite d'Edjériou, tandis que la coupole de Djéouet est située au nord de Djanet et le pluton de Tin Ber en son centre. Ce dernier recoupe le granite de Djanet.

Seul le granite de Djéouet, connu également sous le nom de Djilouet, a fait l'objet de travaux préliminaires (Oulebsir, 2009). Les formations

de la série de Djanet qui l'entourent, développent une étroite auréole de métamorphisme de contact formée de schistes tachetés et de cornéennes. Ces granites circulaires et leurs encaissants sont affectés par des cisaillements postérieurs à leur mise en place. Ces cisaillements sont parfois accompagnés de pseudotachylites indiquant le caractère fragile de cette déformation d'âge post-panafricain.

La coupole de Djéouet est constituée de granites leucocrates variés, passant d'un faciès porphyroïde au centre à un granite fin à grenat à la périphérie. L'ensemble du massif est recoupé par des filons d'aprites et de pegmatites ainsi que par quelques filonnets de microgranite. Ces granites sont associés à une minéralisation spécifique (wolfram et cassitérite). Les caractéristiques géochimiques de ces granites montrent un chimisme alumineux à affinité calco-alcaline fortement potassique. Par conséquent, les granites de Djéouet correspondent aux massifs les plus tardifs de la région. Ils peuvent être assimilés aux granites "Taourirt", du centre et de l'ouest du Hoggar, qui se mettent en place à la fin de l'orogénèse panafricaine, lors des réactivations des grandes failles lithosphériques (Boissonnas, 1973; Azzouni-Sekkal *et al.*, 2003).

### **3.5- Le complexe filonien de Tin Amali**

Un réseau très dense de dykes et de filons de roches porphyriques (microgranites, diorites et rhyolites) recoupe l'ensemble des granites de Djanet, d'Eferi et de Gour Ti n Beguene (fig.3). Il s'étend de l'oued In Débirène à Tin Amali et se prolonge jusqu'à l'Edembo. Les rhyolites sont des roches compactes ou à structure fluidale (fig. 3C). Par endroit, elles renferment des enclaves d'ordre millimétrique. De plus, nous avons constaté une énorme variation de faciès entre les microgranites et les microdiorites d'un filon à l'autre ou parfois même le long d'un même filon. La géochimie de ces roches montre leur appartenance aux séries calco-alcalines for-



tement potassiques. Seuls les filons rhyolitiques de la région de Tin Amali, orientés approximativement NW-SE (fig. 3B), ont été datés. Les âges obtenus (558±6 Ma, U-Pb zircon) semblent correspondre aux derniers événements magmatiques de la région (Fezaa, 2010; Fezaa, et *al.*, 2010).

## II- ANALYSE DE LA DÉFORMATION PAR LA TÉLÉDÉTECTION.

L'étude porte sur la région de Djanet où la fracturation est bien développée. L'apport des données de télédétection pour la cartographie des linéaments et l'identification des structures géologiques régionales, avec en plus, la vue homogène et synoptique que permettent les images satellitaires à haute résolution spatiale, rendent l'analyse de la fracturation tardive relativement plus facile à réaliser par rapport aux méthodes classiques (Scanvic, 1983; 1992).

Les images qui nous ont servi de base pour cette étude sont des scènes Landsat 7 ETM+ acquises le 29 Novembre 2000 et géoréférencées en UTM-32-N, WGS 84 (Scènes 190-043 et 189-043). Ces images satellitaires Landsat 7 ETM+, à haute résolution, ont été choisies pour leurs caractéristiques spectrales et spatiales permettant une bonne cartographie structurale à petite échelle et une meilleure analyse structurale à grande échelle. Il s'agit des bandes ETM+1 (bleu), ETM+2 (vert), ETM+3 (rouge), ETM+4 (proche infrarouge), ETM+5 (infrarouge moyen), ETM+7 (infrarouge lointain), toutes avec des pixels carrés de 30 m et la bande ETM+6 (infrarouge thermique) avec des pixels de 60m.

### 1- Traitements spécifiques

Les images numériques sont riches en informations de diverse nature mais ne peuvent être exploitées directement. Néanmoins, dans le cas des applications en géologie, des traitements

spécifiques (composition colorée, analyse en composantes principales (ACP), filtres directionnels) à la cartographie structurale ont été utilisés, afin de faciliter les opérations d'interprétation. Ces filtres directionnels servent à détecter les fractures ayant de grandes fréquences spatiales et des longueurs d'onde de l'ordre de 10 à 100m au sol (Bonn et Rochon, 1992; Bonn, 1996). L'application de ces filtres, selon les orientations allant de N000 jusqu'à N180E, à l'image d'origine et/ou aux images obtenues après des traitements spécifiques, donne une vue globale sur les principales orientations des linéaments. Le rehaussement des linéaments a été effectué à partir de filtres directionnels dans les quatre directions: N000°, N045°, N090°, N135°. Ces filtres ont été appliqués à la bande 7 avec une matrice carrée d'ordre 3 permettant ainsi, de mieux voir les détails structuraux (fig. 4).

La carte de fracturation obtenue après les divers traitements compte environ 3147 fractures de taille et de direction variables (fig. 5A). L'étude de cette carte est basée sur l'analyse statistique de tous les linéaments détectables à partir des filtres directionnels, regroupés selon leur orientation, en classes d'orientation, par croissance angulaire de 5 degrés (5° en 5°), (Crousilles et *al.*, 1978). La fréquence et la densité des fractures par classe d'orientation ont été calculées, les rosaces directionnelles de la fracturation exprimées en nombre (n=3147) (fig. 5B). Les résultats obtenus montrent que l'ensemble des terrains de la région étudiée est affecté par une intense déformation cassante à différentes échelles.

### 2- Interprétation.

L'application des deux filtres directionnels (000° et 090°) a permis de déterminer deux directions principales: NNW-SSE et NE-SW (figs. 4A, 4C), tandis que les filtres directionnels 45° et 135° permettent de caractériser les directions

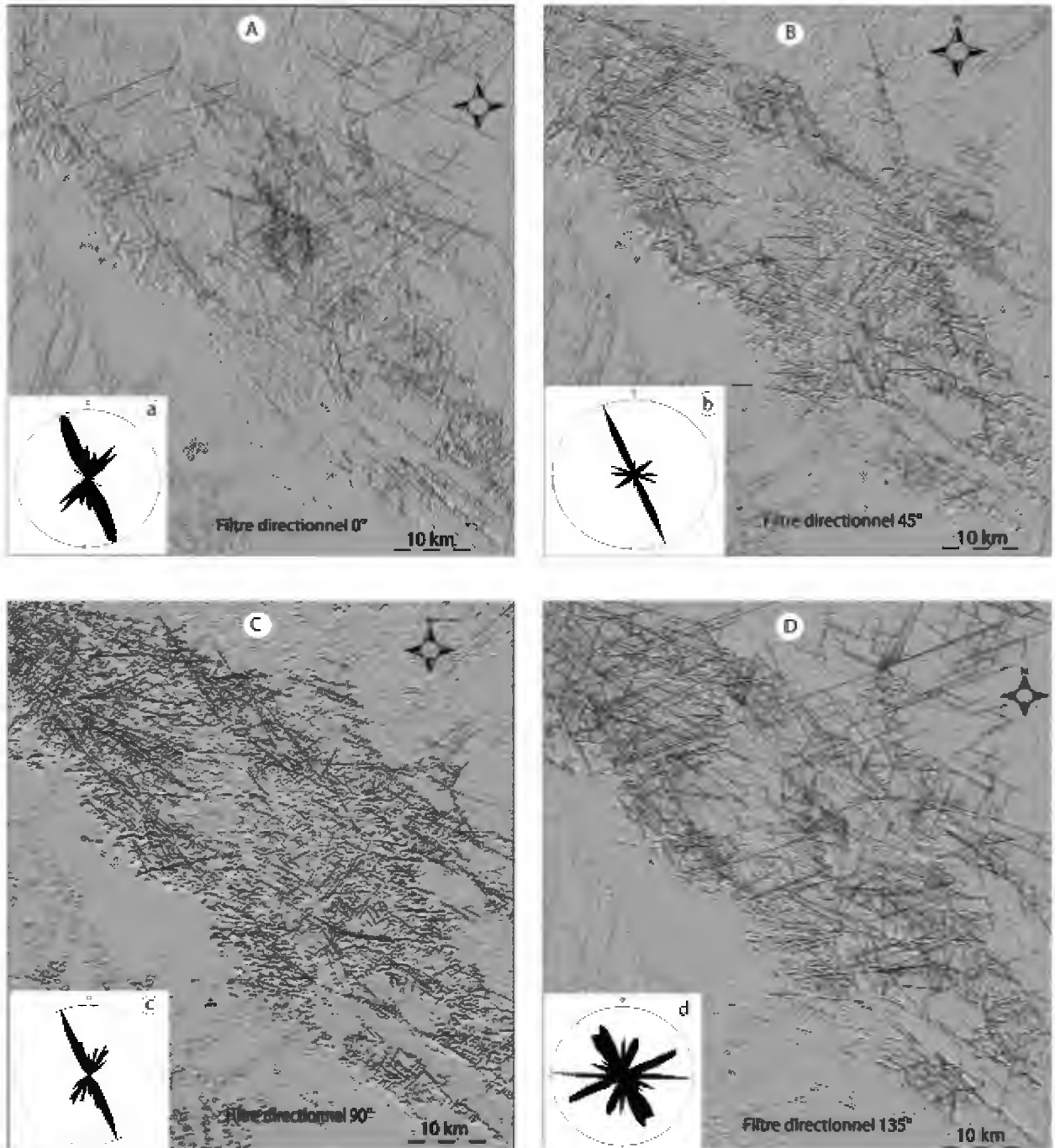
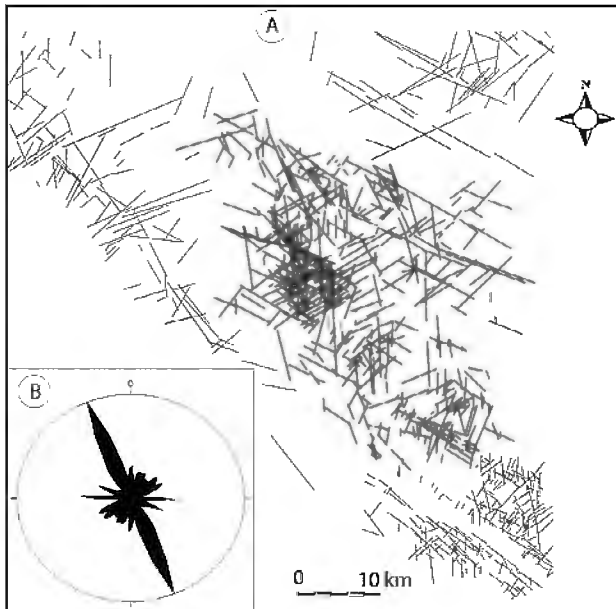


Fig. 4. (A, B, C, D) Linéaments rehaussés à partir des filtres directionnels appliqués à l'image ETM+7.

*Fractures enhanced by filtered images with ETM+7 band.*

(a, b, c, d) Diagrammes de répartition de l'orientation des fractures de la zone d'étude (*Distribution diagrams of fractures directions in the study area*).

DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)



**Fig. 5. (A)** Carte détaillée des linéaments obtenus à partir des filtres directionnels  
(*Detailed Map of the fractures obtained from the filtered images*);  
**(B)** Caractérisation statistique des populations de fractures (n=3147)  
(*Statistical characterization of the fractures populations (n=3147)*).

NW-SE et E-W (figs. 4B, 4D). Les deux premières familles NNW-SSE et NE-SW indiquent des déplacements respectivement dextres et sénestres (figs. 6, 6c). Par ailleurs, les accidents sénestres NW décalent les décrochements N-S vers l'ouest (fig. 6b). Les directions EW, postérieures à l'ensemble, décalent ces structures vers l'ouest (fig. 7).

### III- ANALYSE DES MARQUEURS DE LA DÉFORMATION.

La carte linéamentaire élaborée à partir de l'image satellitaire montre que la fracturation s'organise suivant quatre familles de directions privilégiées (N-S, NW-SE, NE-SW et E-W) (fig. 5). Ces familles correspondent à de grands accidents ou bien à des contacts entre les différentes séries.

La direction la plus importante NNW-SSE à N-S traverse la région de Djanet du nord vers le sud (fig.6). Elle correspond à des cisaillements pluri-kilométriques pouvant affecter aussi bien les terrains néoprotozoïques que leur couverture paléozoïque formant les grès du Tassili (fig. 6a). Dans la région d'étude, la direction NNW-SSE à N-S correspond à la faille qui sépare le socle du Paléozoïque (faille de Djanet) (fig. 7). Cette direction également bien représentée dans le terrane de Djanet est à l'origine de structures cisailantes induisant un découpage lenticulaire compatible avec des déplacements dextres.

Dans le Hoggar Oriental, elles correspondent à l'orientation des grands décrochements subméridiens ( $8^{\circ}30'$  E et  $9^{\circ}$ E) (fig. 1B) hérités de l'orogénèse panafricaine et qui structurent le Hoggar en terranes. L'accident N-S ( $8^{\circ}30'$ ) (Bertrand et Caby, 1978), est appelé également «shear zone intracontinentale de Tiririne». Son prolongement connu, dans le massif de l'Aïr, porte le nom de «shear zone de Raghane» (Liégeois et al., 1994; Nouar et al., 2011). Cette dernière sépare les principaux domaines du Hoggar qui sont à l'est, le Hoggar oriental (zone étudiée) et à l'ouest, le Hoggar central polycyclique.

L'accident subméridien  $9^{\circ}$  sépare le môle d'Is-salane à l'ouest et le domaine Tafassasset-Djanet à l'est (Black et al., 1994). Enfin, toutes ces failles représentent les cisaillements les plus anciens de la région.

La direction NW-SE est représentée par les accidents délimitant les terranes de Djanet, de l'Edembo et de l'Aouzegueur, (Caby et Andréopoulos-Renaud, 1987). Par ailleurs, ces accidents ont la même direction que le linéament d'ampleur lithosphérique décrit par Guiraud et al., 2000. Ce dernier, dénommé linéament du Tibesti s'étend sur une distance de 6000 km, de l'Atlas marocain au nord-ouest jusqu'au Kenya au sud-est (fig. 9). Il correspond à des relais de zones de cisaillement probablement réactivées à plusieurs périodes de leur histoire.

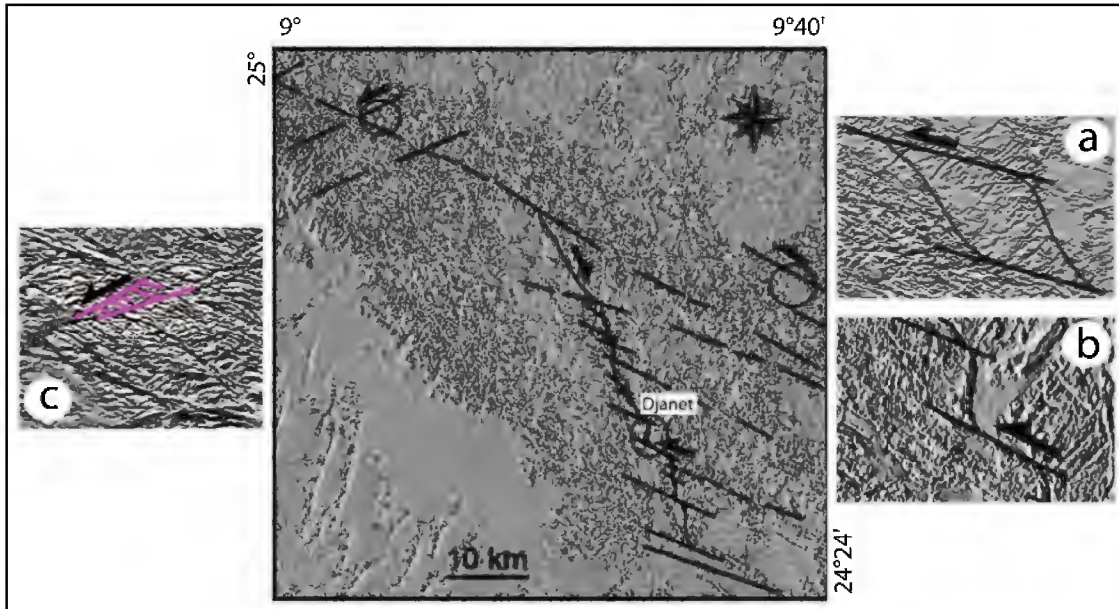


Fig.6. Représentation de l'accident NNW-SSE à partir du filtre directionnel.

**Representation of the accident NNW-SSE from the directional filter.**

- (a) la direction NW indique un cisaillement sénestre (*NW direction indicates a senestral shear*).
- (b) les accidents NW-SE recoupent le premier et le décalent vers l'ouest (*NW-SE faults overlap the first and shift westward*).
- (c) l'accident NE indique un cisaillement sénestre (*NE faults indicates senestral shear*).

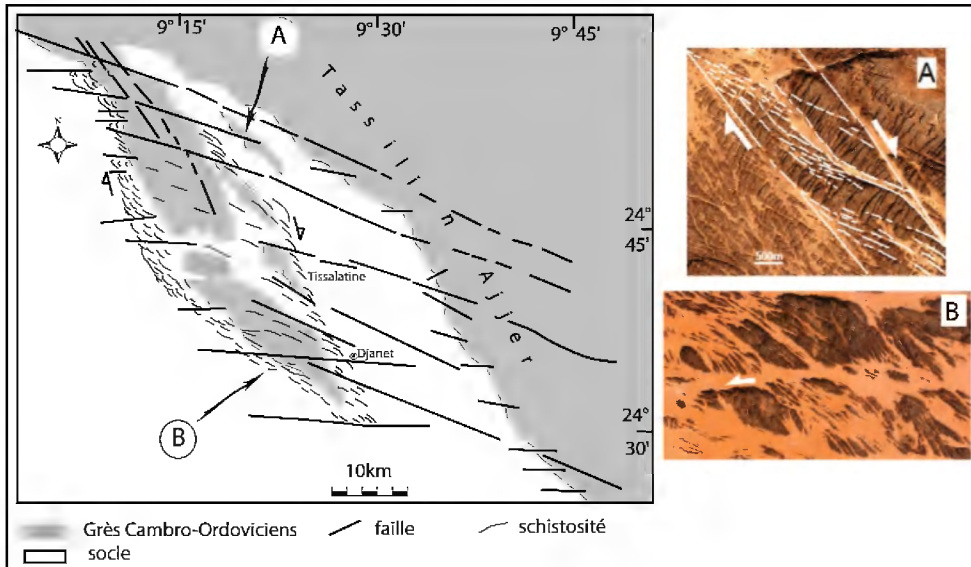


Fig. 7. Carte schématique des cisaillements à partir d'une carte numérique de terrain.

**Schematic map of the shears from a digital ground map**

- (A) formes sigmoïdes dans les grès du Tassili indiquant des cisaillements dextres vers le SE (*sigmoid shapes in the Tassili sandstones of the dextral shear to the SE*); (B) formes lenticulaires dans la série de Djanet à l'échelle régionale (*lenticular shape in the Djanet series at regional scale*)).

DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)

Dans notre région d'étude, la direction NW-SE représente la limite entre le terrane de Djanet à l'est et celui de l'Edembo à l'ouest (zone de cisaillement de Tin Amali (fig. 8). Cette zone représente un segment de l'accident du Tibesti passant au Nord de Djanet. Par ailleurs, des accidents de même direction affectent les terrains néoprotérozoïques et paléozoïques en décalant les structures N-S en cisaillement sénestre.

Ces directions N-S et NW-SE, identifiées aussi bien sur les images satellitaires que sur le terrain, sont confirmées par l'interprétation des données aéromagnétiques (Bournas, 2001; Bournas *et al.*, 2003).

La direction NE-SW correspond à des failles métriques à kilométriques qui affectent essentiellement les terrains paléozoïques. Dans le socle, elles sont beaucoup moins exprimées, à l'exception de la partie ouest de la région de Djanet. Cet-

te direction correspond encore à des décrochements sénestres (fig. 6c).

La direction E-W correspond à des failles kilométriques qui traversent l'ensemble de cette région (fig. 7). Ces failles recoupent en plusieurs endroits les structures qu'elles traversent, attestant ainsi de leur caractère récent. À In Débirene, au sud de Djanet, ces failles contrôlent la mise en place du volcanisme cénozoïque.

#### IV- ANALYSE DE LA DÉFORMATION RÉGIONALE

L'ensemble des formations néoprotérozoïques et leur couverture paléozoïque de la région de Djanet se caractérisent par une déformation hétérogène à différentes échelles. On présentera successivement les déformations localisées: (1) la déformation à l'intérieur du terrane, (2) la faille

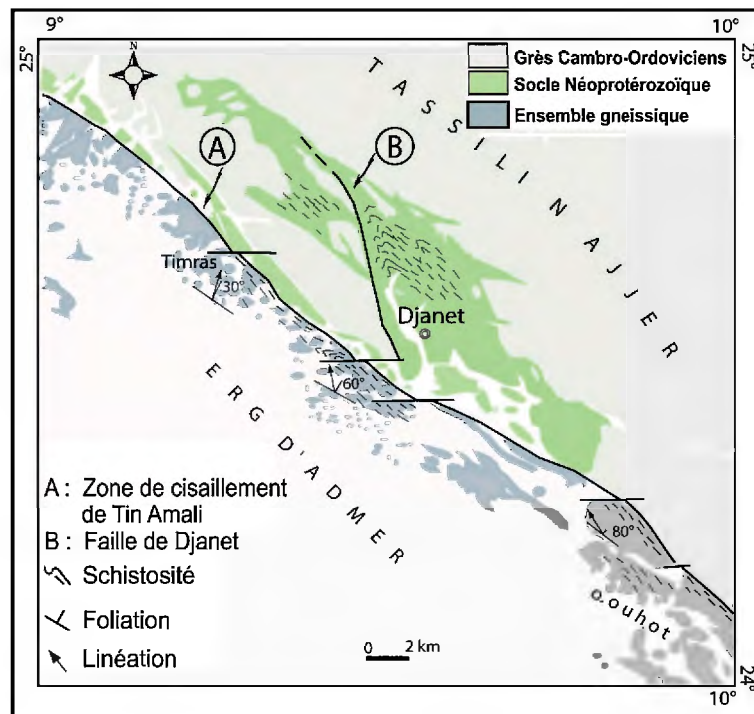


Fig.8 . Carte schématique des deux accidents majeurs de la région de Djanet.

*Schematic map of the major faults in the Djanet region.*



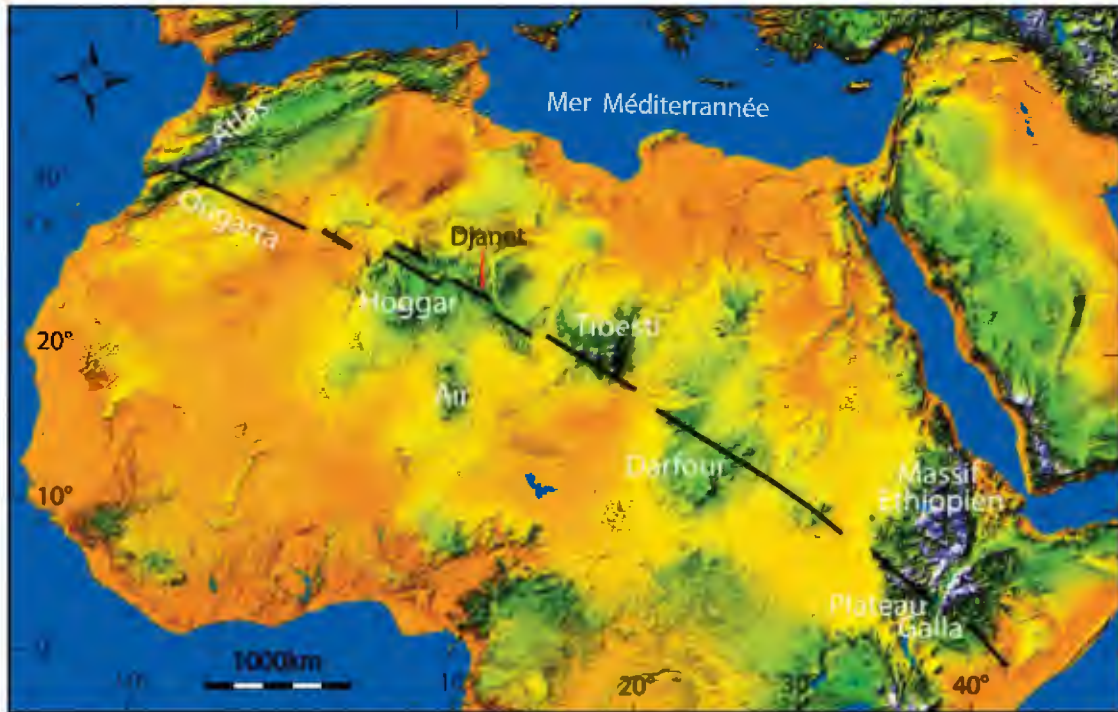


Fig. 9. Carte schématique de la localisation du linéament du Tibesti (d'après Guiraud et al., 2000).

*Schematic map of the Tibesti lineament localization (after Guiraud and al., 2000).*

de Djanet séparant le socle néoprotérozoïque de sa couverture paléozoïque et, (3) la zone de cisaillement de Tin Amali, le long de l'accident majeur NW-SE, limitant le terrane de Djanet à l'est et le terrane de l'Edembo à l'ouest.

### 1- La déformation ductile à l'intérieur du terrane de Djanet.

Dans le terrane de Djanet, la déformation ductile sub-méridienne se traduit par la présence d'une schistosité de pression-solution caractérisant une déformation de basse température des formations schisteuses de la série de Djanet. Cette schistosité présente une orientation globale NW-SE à pendage d'environ  $45^\circ W$ . Au nord de la région, la schistosité est souvent accompagnée de failles inverses associées à des plis d'axes NE-SW ou NW-SE. Ces formations schisteuses plissées renferment parfois des lentilles ou des filons de quartz d'exsudation; ces

derniers peuvent être parallèles ou sécants à la schistosité.

Cette série est affectée de failles inverses à vergence sud-ouest accommodant un intense plissement de direction N110 à N140 (plis isoclinaux à flancs longs et à flancs courts) (fig. 10). Elle est souvent recoupée par des couloirs mylonitiques ductiles NNE-SSW d'échelle centimétrique à décimétrique, accompagnés d'une schistosité qui se surimpose à la stratification.

On y observe également, à l'échelle de l'affleurement, des linéations d'étirement matérialisées parfois par l'orientation de galets, de grains extrêmement étirés et boudinés et de lentilles tronçonnées. Ces structures suggèrent une déformation à basse température et indiquent des cisaillements dextres (fig. 11A, B, C).

Par endroit, la direction N-S est matérialisée par des structures lenticulaires, délimitées par les





Fig. 10. Plis isoclinaux dans les schistes.

*Isoclinal folds in the shists.*

deux surfaces de cisaillement conjuguées (NW-SE et NE-SW), indiquant un axe de raccourcissement maximum ( $\lambda_3$ ) (fig. 11D). Ces structures lenticulaires ont été observées à différentes échelles, de l'échelle régionale dans les grès du Tassili à l'échelle de l'affleurement dans la série de Djanet.

## 2- La faille de Djanet

Bien que généralement les formations gréseuses du Tassili reposent en discordance sur l'ensemble des formations d'âge néoprotérozoïque, le contact entre les deux ensembles peut être faillé. C'est le cas de la faille de Djanet, de direction NNW-SSE à N-S. Ce contact est matérialisé par une importante dénivellation d'environ 600 m au niveau de la ville de Djanet. On peut noter également que l'ensemble des formations de la série de Djanet et ses granites intrusifs, présente une terminaison en pointe vers le NNW dans la direction d'Assakou, montrant une avancée du socle et un caractère décrochant (fig. 12).

Au Nord de la ville de Djanet (Edjédjé), le

socle est surmonté par les grès paléozoïques sur plusieurs centaines de mètres. Ces grès forment un plateau allongé suivant la direction NNW-SSE, faiblement incliné vers l'est.

Au nord, au niveau de Tissalatine, la faille est sub-verticale. Elle présente des stries et des cannelures sub-verticales à plongement variable vers l'ouest, indiquant une tectonique en faille inverse amenant les grès du Tassili sur la série de Djanet (fig. 12). Le caractère décrochant est faiblement exprimé.

Par ailleurs, à la sortie sud de la ville de Djanet, une zone de brèche associée à des gouges, dont seule une partie d'environ 5 mètres de puissance est visible, confirme le caractère fragile de cette faille.

Sa direction sub-méridienne, est conforme à l'orientation globale des accidents ductiles panafricains ( $8^{\circ} 30'$  et  $9^{\circ}$ ). La faille de Djanet semble également contrôler la mise en place du granite en forme de goutte de Tissalatine. En accord avec Bournas (2001), ces données suggèrent un âge

panafricain de cette faille et sa réactivation postérieure au Paléozoïque.

### 3- La zone de cisaillement de Ti n Amali (ZCTA)

La zone de cisaillement de Ti n Amali (ZCTA) est matérialisée par une importante bande mylonitique, d'orientation globale NW-SE (fig. 8). Cette bande est constituée d'un ensemble granito-

gneissique localement migmatitique folié passant à des ultramylonites. Ces anciens granites déformés montrent des foliations de direction N300. Au Sud de Djebel Timras, les foliations N300 à N330 à pendage moyen de 45°NE portent des linéations d'étirement variant de 20° à 40° vers N020 à N045. À l'Est de l'Erg d'Admer, on remarque des ultramylonites de schistes quartziteux qui se présentent sous forme de baguette schisto-sée portant une linéation d'étirement. Cette linéa-

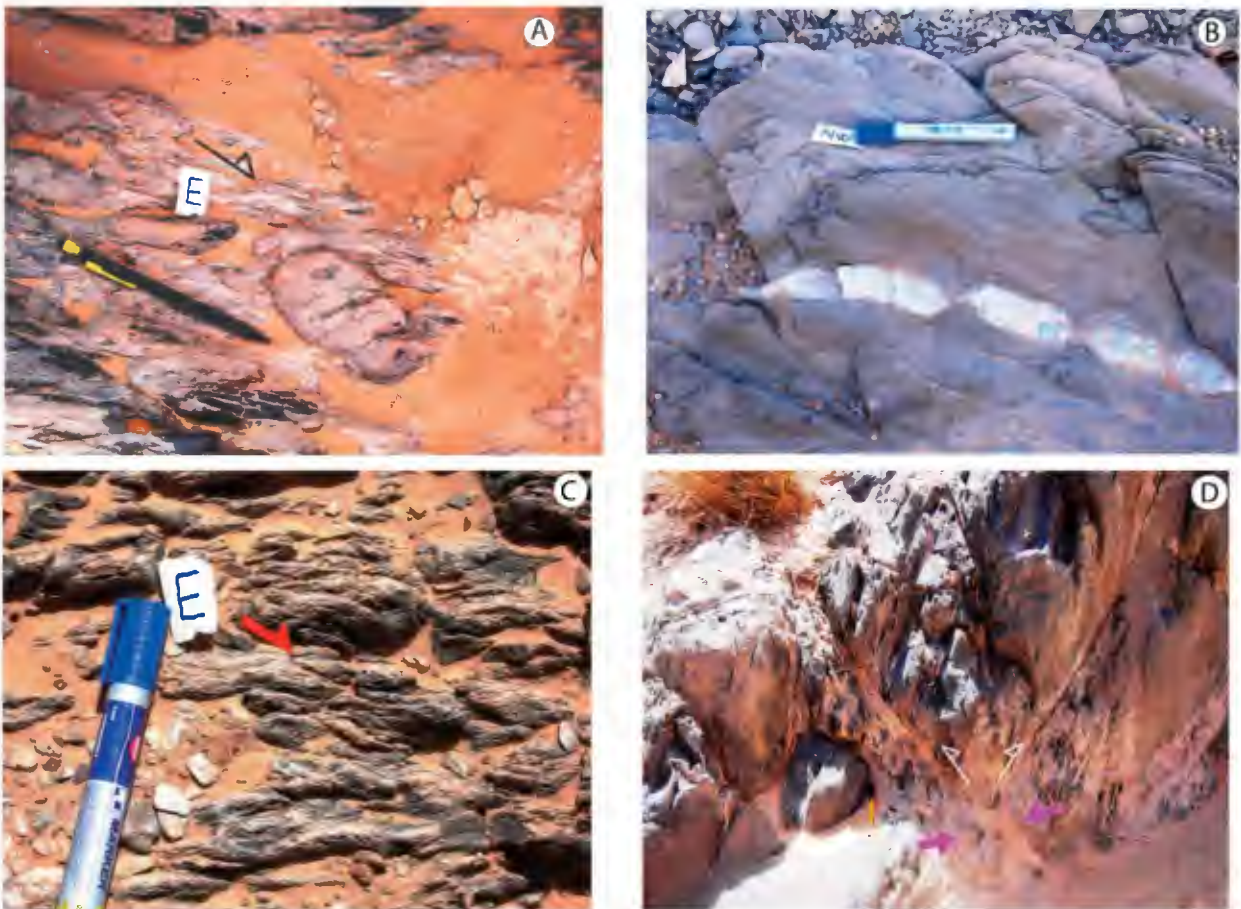


Fig. 11. Déformation affectant la série de Djanet.

#### *Deformation affecting the series of Djanet.*

(A) Lentilles tronçonnées dans les schistes quartzitiques indiquant un cisaillement dextre (*Lenses cut up in the quartzitic schists indicating a dextral shear*); (B) Boudinage du quartz dans les schistes. L'asymétrie des boudins indique un cisaillement (*Boudinage of quartz in the schists. The asymmetry of the tubes indicates a shear*); (C) Plans C/S dans les formations schisteuses (*Plans C/S in schistose formations*). (D) Forme lenticulaire (NS) limitée par les surfaces de cisaillement conjuguées dans la série de Djanet indiquant l'axe de raccourcissement maximum ( $\lambda_3$ ) (*Lenticular form (NS) limited by the conjugate shear surfaces in the Djanet series showing the axis of maximum shortening ( $\lambda_3$ )*).



DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)



Fig. 12. Faille de Djanet au niveau de Tissalatine.

*The Djanet fault at Tissalatine*

(A) Vue d'ensemble de la faille inverse (*Overview of the reverse fault*); (B) Stries et cannelures sur le plan de faille (*Grooves and striations on the fault plan*).

tion est portée par une schistosité assez forte de  $45^\circ$  à  $60^\circ$  approximativement. Ces résultats indiquent une déformation décro-chevauchante vers le sud-ouest.

Dans la région d'Ouhot, au sud de Djanet, les foliations observées dans les migmatites, présentent les mêmes directions (N310 à N320) mais des pendages plus élevés ( $70^\circ$ -  $80^\circ$ ). Les linéations d'étirement portées par ces plans sont sub-horizontales, et donc compatibles avec une tectonique décrochante.

Cette direction (NW-SE) correspond aussi à l'orientation des filons de microgranite, des dykes de rhyolite ainsi que des filons de quartz. Elle indique que les cisaillements NW-SE d'âge antérieur à l'âge du granite d'Iferi (571 Ma), ont été réactivés dans un contexte extensif de direction globale NE-SW, vers 558 Ma (âge de la mise en place des rhyolites).

## V- CONCLUSION.

L'étude structurale de la région de Djanet montre une déformation polyphasée d'âge panafricain et post-panafricain.

Les déformations ductiles sont partiellement ou complètement oblitérées par les déformations fragiles post-panafricaines. Leur caractère ancien est suggéré d'une part, par leurs orientations cohérentes avec les directions de cisaillements majeurs panafricains ( $8^\circ30'$ ,  $9^\circ$ ) et d'autre part, par le rôle que joue la faille de Djanet sur le contrôle du granite, en forme de « goutte », de Tissalatine.

Les structures rencontrées dans le terrane de Djanet, suggèrent une déformation ductile de basse température. L'association (1) cisaillements sub-méridiens, (2) plis déversés d'axes NW et (3) directions d'étirement NW, est compatible avec une transpression panafricaine sénestre.

La direction NW-SE représente une limite structurale majeure, matérialisée par la zone de cisaillement de Tin Amali, séparant le terrane de Djanet de celui de l'Edembo. Cette zone est caractérisée par un gradient de déformation marqué par l'évolution des structures linéaires. Les marqueurs cinématiques le long de cette zone de cisaillement (orientation des structures C/S et linéations) montrent que la déformation évolue, du sud-est vers le nord-ouest, d'un décrochement à un décro-chevauchement. La déformation décro-

chante définie dans la région d'Ouhot au sud de Ti n Amli est caractérisée par des linéations sub-horizontales, portées par des foliations à fort pendage (70°-80°), d'orientation moyenne au N310. Le domaine nord-occidental à l'est de l'Erg d'Admer montre en revanche, une variation du plongement des linéations d'étirement, de sub-horizontale à l'extérieur de la zone à sub-vertical vers le centre de la zone mylonitique. Ces linéations, portées par une foliation mylonitique de direction moyenne N300-50 NE, indiquent une tectonique décro-chevauchante.

L'histoire panafricaine se termine par la mise en place, dans un contexte extensif, du complexe filonien de Ti n Amali (558±6 Ma). Cette mise en place est contrôlée par la réactivation de structures NW-SE précoces.

La réactivation de ces structures panafricaines se poursuit du Paléozoïque au Cénozoïque (1) par des cisaillements sub-méridiens conjugués, délimitant un découpage lenticulaire sénestre affectant aussi bien le socle que le Paléozoïque; (2) par ces zones de cisaillement fragile NW-SE provoquant le déplacement sénestre des anciennes structures sub-méridiennes; (3) par des failles extensives ENE-WSW contrôlant la mise en place du volcanisme cénozoïque.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABDESSALAM, M., LIÉGEOIS, J.P. AND STERN, R.-J. 2002.** The Saharan metacraton. *Journal of African Earth Sciences*, 34, pp. 119-136.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., LIÉGEOIS, J.-P., BECHIRI-BEN-MERZOUG, F., BELAIDI-ZINET, S. AND BONIN, B. 2003.** The "Taourirt" magmatic province, a marker of the very end of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of the available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 331-350.
- BERTRAND, J.M.L. AND CABY, R. 1978.** Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield (Algerian Sahara). *Geol. Rundsch.*, 67, pp. 357-388.
- BERTRAND, J.M.L., CABY, R., DU CROT, J., LANCELOT, J., MOUSSINE-POUCHKINE, A. AND SAADALAH, A. 1978.** The late Pan-African linear fold belt of Eastern Hoggar Algeria. Geology, structural development, U-Pb geochronology, tectonic implications for the Hoggar Shield. *Precamb. Res.*, 7/4, pp. 349-376.
- BEUF, S., BIJU-DUVAL, B., CHARPAL, O., ROGNON, P., GARIEL, O. ET BENNACEF, A. 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités. Évolution structurale d'un craton. *Publications de l'Institut Français du Pétrole, Sci. et Tech. du Pétrole*, 18, Edit. Technip, 464p.
- BLACK, R., LATOCHE, L., LIÉGEOIS, J.-P., CABY, R. AND BERTRAND, J.-M. 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg Shield (Central Sahara). *Geology*, 22, pp. 641-644.
- BOISSONNAS, J. 1973.** Les granites à structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne panafricaine (Sahara central, Algérie). *Thèse de Doctorat Es. Sci. Nat. Paris VI; Centre de Recherches sur les zones arides, Série Géologie*, 16, 662 p.
- BONN, F. ET ROCHON, G. 1992.** Précis de télédétection. Vol. 1 : Principes et Méthodes. *Presses de l'Univ. du Québec/AUPELF, Sainte-Foy*, 485 p.
- BONN, F., 1996.** Précis de télédétection. Vol. 2 : Applications thématiques. *Presses de l'Univ. du Québec/AUPELF, Sainte-Foy*, 633 p.
- BOURNAS, N. 2001.** Interprétation des données aérogéophysiques acquises au-dessus du Hoggar oriental. *Th. Doct. d'État, USTHB, Alger*, 250 p.
- BOURNAS, N., GALDEANO, A., HAMOUDI, M. AND BAKER, H. 2003.** Interpretation of the aeromagnetic map of Eastern Hoggar (Algeria) using the Euler deconvolution, analytic signal and local wavenumber methods. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp.191-205.
- CABY, R. ET ANDREPOULOS-RENAUD, U. 1987.** Le Hoggar oriental, bloc cratonisé à 730 Ma dans la chaîne panafricaine du nord du continent africain. *Precambrian Research*, 36, pp. 335-344.

DÉFORMATIONS PANAFRICAINES ET POST-PANAFRICAINES DANS LA RÉGION DE DJANET  
(HOGGAR ORIENTAL, ALGÉRIE)

- CROUSSILLES, M., DELOCHE, C., DIXSAUT, C. ET TAMAIN, A.L.G. 1978.** Télédétection spatiale et fracturologie de la chaîne cantabrique (Espagne): exemple d'une approche méthodologique. *Bull. B.R.G.M.* (2<sup>ème</sup> série), section IV, n°1, pp. 5-38.
- ENNIH, H. AND LIÉGEOIS, J.-P. 2001.** the Moroccan Anti-Atlas: the West African Craton passive margin with limited Pan-African activity. Implications for the Northern limit of the craton. *Precambrian Research*, vol. 112, pp. 289-302.
- FEZAA, N. 2010.** Géochronologie et géochimie du magmatisme panafricain de Djanet et de son encaissant méta-sédimentaire (Hoggar Oriental, Algérie). Conséquences géodynamiques. *Th. Doct., USTHB, Algérie*, 193p.
- FEZAA, N., LIÉGEOIS, J.-P., ABDELLAH, N., CHERFOUH, E., DE WAELEE, B., BRUGUIERE, O. AND OUABADI, A. 2010.** Late Ediacaran geological evolution (575–555 Ma) of the Djanet Terrane, Eastern Hoggar, Algeria, evidence for a Murzukian intracontinental episode. *Precambrian Research*, vol. 180, pp. 299–327.
- GUIRAUD, R., DOUMNANG MBAIGANE, J.-C. AND DOMINGUEZ, S. 2000.** Evidence for a 6000 km length NW-SE striking lineament in Northern Africa : the Tibesti Lineament. *Jour. of Geological Society, London*, vol.157, pp. 897-900.
- LIÉGEOIS, J. -P., BLACK, R., NAVEZ, J., AND LATOUCHE, L., 1994.** Early and Late Pan-African orogenies in the Air assembly of terranes (Tuareg shield, Niger), *Precambrian Research*, 67, pp. 59-88.
- LIÉGEOIS, J. P., BENHALLOU, A., AZZOUNI-SEKKAL, A., YAHIAOUI, R. AND BONIN, B. 2005.** The Hoggar swell and volcanism: reactivation of the Precambrian Tuareg Shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism. *Geol. Society of America*, special paper, 388, pp.379-400.
- NOUAR, O., HENRY, B., LIÉGEOIS, J.-P., DERDER, M.E. M., BAYOU, B., BRUGUIER, O., OUABADI, A., AMENNA, M., HENNI, A. AND AYACHE, M. 2011.** Eburnean and Pan-African granitoids and the Raghane megashear zone evolution: Image analysis, U-Pb zircon age and AMS study in the Arokam Ténéré (Tuareg Shield, Algeria). *Jour. of African Earth Sci.*, (article in press).
- OULEBSIR, F. 2009.** Pétrographie, géochimie et minéralisations à Sn-W associées du massif de Djilouet (Djanet, Hoggar Oriental). *Mém. Magister, USTHB, Alger*.110p.
- SCANVIC, J. Y. 1983.** Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. *Manuels et Méthodes, Éditions du BRGM, Orléans, France*, 159 p.
- SCANVIC, J. Y. 1992.** Télédétection aérospatiale et informations géologiques. *Manuels et Méthodes. Éditions du BRGM., Orléans*, n°24, 284 p.
- ZEKIRI-NEMMOUR, D., OULEBSIR, F., MAHDJOUR, Y. ET KESRAOUI, M. 2006.** Eléments de géologie de la région de Djanet (Hoggar oriental, Algérie). *The 3<sup>rd</sup> Conf. Ass. Afr. Women. Geoscience. Maroc, Univ.*, pp. 166-167.