

LA MÉTALLOGÉNIE DE L'OR LIÉE À L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE PANAFRICAINE DU MASSIF DU HOGGAR (SUD DE L'ALGÉRIE) : INFLUENCE DES SOCLES ANTÉ – PANAFRICAINS DANS LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

Abdelkader SEMIANI*, Mohamed BELLAL* et Ahmed BENNOUH**

Les premiers auteurs dédient cette note à leur collègues feu BENNOUH Ahmed (rappelé à Dieu, en Janvier 2001) et avec lequel ils ont initié le travail.

RÉSUMÉ

La plupart des gisements et indices d'or du Hoggar s'inscrivent dans de grands couloirs mylonitiques qui traversent toute la chaîne panafricaine sur des centaines de kilomètres. Ce sont des couloirs qui soulignent les zones de «coulissage» des terranes qui privilégient les manifestations aurifères avec des mécanismes de mise en place diversifiés d'un couloir à un autre.

L'or porté par des filons de quartz et leurs halos d'altération peut se former selon trois (03) possibilités:

- A partir d'une imprégnation d'anciens filons de quartz après avoir subi une succession de déformations ductiles puis fragiles. L'or apparaît, dans ce cas, lors de la transition ductile – fragile de la déformation. Ce type de minéralisation est localisé dans les milieux les plus déformés des zones de cisaillement.
- Lors d'un remplissage des fentes de tension positionnées préférentiellement en bordure des couloirs mylonitiques. Ce type de minéralisation intervient lors de l'apparition des failles de second ordre qui décrochent les couloirs mylonitiques. Dans ce cas, les filons de quartz sont sécants par rapport à la foliation mylonitique.
- Le long des bordures des intrusions magmatiques qui coïncident avec des zones de cisaillement. Le cas le plus frappant est celui de zones de contact entre deux batholites de granitoïdes où l'un, le plus ancien, pré-tectonique, constitue le "réceptacle" de l'or et l'autre, le plus récent, syntectonique, sert de source de chaleur.

Les données géochimiques et structurales, les isotopes stables et radiogéniques permettent de suggérer que toutes ces minéralisations se sont mises en place vers la fin de l'évolution de la chaîne panafricaine, durant la transition entre un régime compressif, responsable de la structuration du Hoggar et un régime distensif, à l'origine de la mise en place des molasses et des intrusions

* Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) BP 102 Boumerdès, ALGERIE

** Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM), Direction Régionale Sud, BP 75 Tamanrasset.

- *Manuscrit déposé le 21 Septembre 2002, accepté après révision le 26 Janvier 2004.*

granitiques tardi à post tectoniques.

L'absence d'or d'origine détritique et hydrothermale dans les séries molassiques supérieures (équivalentes de l'Assise Supérieure de la série Tiririne), témoigne qu'à l'étape «fini panafricaine» les filons de quartz porteurs de minéralisations aurifères n'affleuraient pas. Cette période qui correspond à la mise en place d'intrusions post collisionnelles, atteste également que si l'or n'est pas directement associé à ce plutonisme, il a servi surtout de source de chaleur à sa remobilisation.

Cette généralisation du processus de mise en place de l'or dans le Hoggar reflète le rôle des événements tardifs et successifs de l'orogénèse panafricaine, en impliquant les effets thermiques des intrusions magmatiques tardives et post collisionnelles qui sont responsables du déclenchement du circuit hydrothermal vers 580 – 530 Ma.

Mots clés : Or - Panafricain - Isotopes stables - Isotopes du Pb - Cisaillement majeur - Granite post tectonique - Fentes de tension - Molasse - Bérésite - Terrane - Hoggar.

THE METALLOGENY OF THE GOLD ASSOCIATED WITH THE EVOLUTION OF THE PAN-AFRICAIN HOGGAR SHIELD (SOUTHERN OF ALGERIA): THE ANTE AFRICAN BASEMENT INFLUENCES IN THE PROCESS OF GOLD MINERALIZATION SETTING.

ABSTRACT

In the Hoggar, most gold deposits and showings are associated with lithospheric shear zones of Pan-African age. Gold is hosted in quartz veins, with two preferential setting:

- Within mylonites of the shear zones (In Ouzal type); there, early quartz lodes are mineralised when (i) they are reworked during the ductile to brittle transition; and (ii) they are in the vicinity of syn-kinematic mafic intrusions.

- Within granite batholiths intrusive along terrane sutures (Tin-Tekadiouit type); there, syn-kinematic granites are the heat sources for the gold depositing hydrothermal systems.

- A third style of deposits (Tiririne type) is related to the evolution of foreland basins and late granite intrusive

Structural and stratigraphic data are in the favour of a late Pan-African episode of gold mineralization everywhere in the Hoggar. It is likely that late post-orogenic magmatism was the heat engine responsible for the initiation of large-scale hydrothermal circulation at around 580-530 Ma.

There is an overall control of gold deposition by the pre-Pan-African terranes. Scarce isotopic and geochemical data suggest that reworked Archean basement (Eburnean granulitisation) could be the ultimate source of gold, thus explaining this relationship.

Key words - Gold - Pan-Africain - Stable isotopes - Major shear - Late kinematic granite - Molasse - Berisite - Terrane - Hoggar.

I - INTRODUCTION

Le Hoggar est réputé par une forte densité de minéralisations aurifères contrôlées par les grands accidents tectoniques (fig. 1). Elles sont représentées essentiellement par des filons de quartz, parfois aux épontes bérésitisées et organisées en quatre principales provinces métallogéniques. Il s'agit des provinces du Hoggar oriental, de Laouni - In Abeggui, Timgaouine - Tesnou et du Môle In Ouzal.

Les études consacrées à la métallogénie de l'or dans le Hoggar (Attoum, 1983; Kouadri, 1983; Semiani, 1995; Ferkous, 1996; Aïssa *et al.*, 2002; Syntchouk *et al.*, 1984; Itskov *et al.*, 1987; Marignac *et al.*, 1996; Ferkous et Leblanc, 1995; Ferkous et Monié, 2002) associent les principales minéralisations d'or connues aux fonctionnements tardifs des cisaillements majeurs. La permanence d'intrusions magmatiques syn-cinématiques mises en place à la faveur de ces cisaillements semble jouer un rôle important dans la localisation des structures géologiques porteuses d'or. Les filons de quartz avec leurs halos d'altération constituent les principaux supports de l'or, et ils s'organisent en champs positionnés souvent à l'intersection de ces principales zones de cisaillement avec des accidents de second ordre d'orientation NE.

Les phases minérales accompagnant l'or sont assez distinctives pour chaque environnement géostructural auxquelles elles appartiennent. La pyrite, la galène et la chalcopryrite, en proportions variées, forment l'association commune à tous les prospect. Cependant, dans chaque prospect isolé on note l'apparition ou la disparition de certains minéraux, notamment la tourmaline, l'arsénopyrite et la bismuthine.

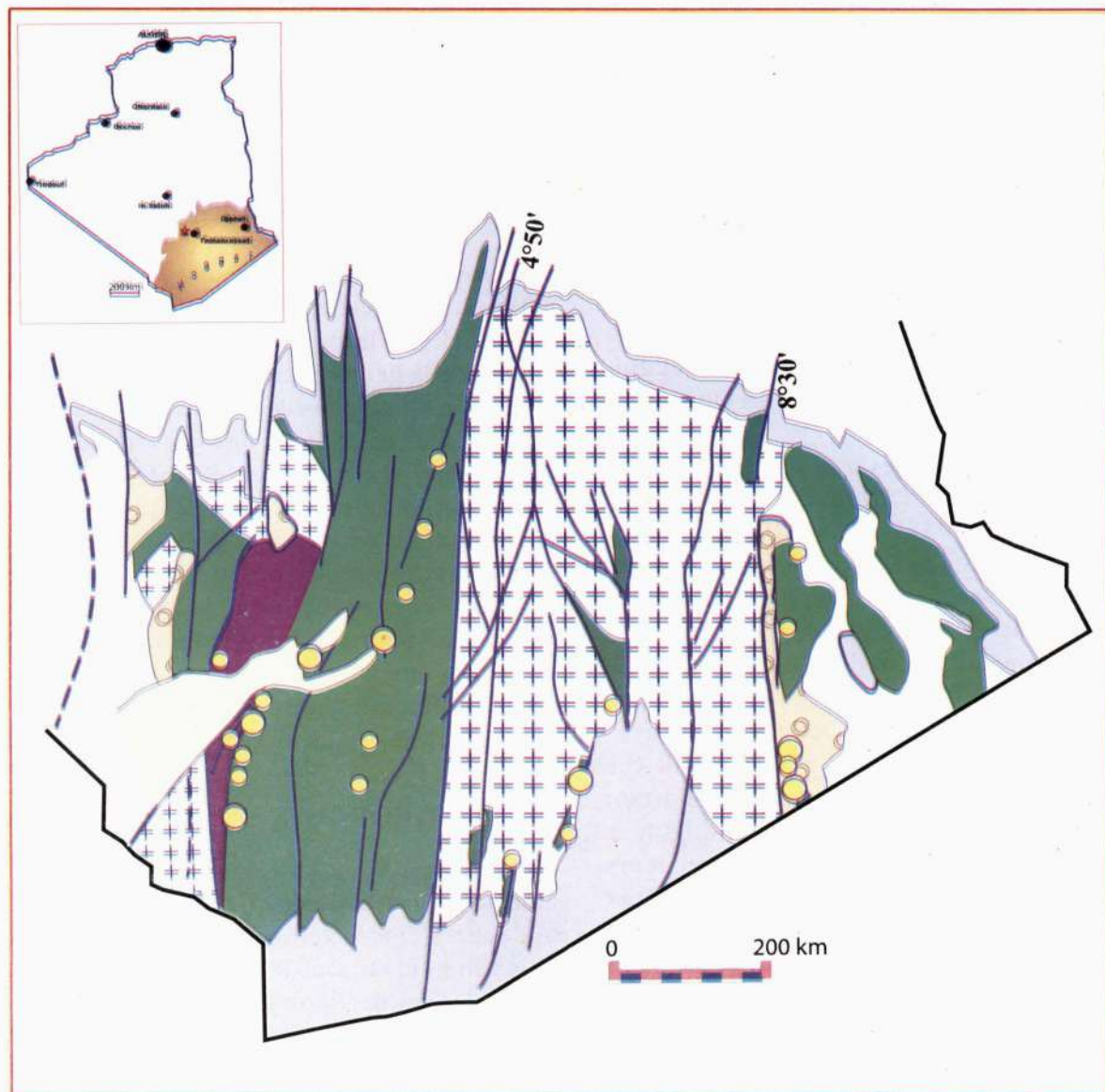
Le potentiel connu de l'or réparti sur l'ensemble de la chaîne panafricaine en territoires algérien est globalement estimé à plus de 300 tonnes. La moitié de ces ressources a été identifiée dans les 5 principaux gisements évalués: Amesmessa

(60 tonnes), Tirek (17 tonnes), Tiririne (20 tonnes), In Abeggui (10 tonnes) et Tan Chaffao (10 tonnes). L'exploration en cours d'Amesmessa-Tirek et les données existantes plaident en faveur d'un potentiel nettement plus important.

Le présent article propose une synthèse et une analyse sur le modèle d'évolution de ces minéralisations à l'échelle du Hoggar, calé sur le nouveau concept de la géodynamique de la chaîne panafricaine en mosaïques de terranes (Black *et al.*, 1994). Il met en relief d'une part, la nature et l'origine des fluides ayant drainé les minéralisations et, d'autre part, il explique l'absence de l'or durant la période anté-Néoprotérozoïque. Une discussion sur les liens qui peuvent exister entre les étapes d'évolution de la chaîne panafricaine d'une part, les intrusions magmatiques, les cisaillements et les processus de mise en place des minéralisations d'un autre, permettent de suggérer des guides de prospection.

II - GÉOLOGIE DU HOGGAR

Le Hoggar est composé de trois domaines géologiques (oriental, central et occidental) séparés par des accidents tectoniques majeurs et dans lesquels s'individualisent des terranes (fig. 2) spécifiques en terme de lithologie, de métamorphisme, de magmatisme et de tectonique (Black *et al.*, 1994; Liégeois *et al.*, 1994). Outre ces trois domaines, on individualise également une série mollassique eocambrienne sous forme de bassin isolé présent dans tout le Hoggar. L'ossature globale du Hoggar s'intègre dans un modèle géodynamique caractérisé par une orogénèse panafricaine à deux stades successifs (Caby *et al.*, 1981; Black *et al.*, 1994). Le premier stade, précoce (750 - 660 Ma), reflète une collision qui succède à une subduction à plongement vers l'Ouest du Craton Est-Saharien. Cette collision a généré un métamorphisme de haute pression, une anatexie de la croûte inférieure, des chevauchements à l'échelle régionale et un magmatisme calco-alcalin faiblement à moyennement potassique. Le second stade (650 - 580 Ma) a eu comme



Quaternaire (Quaternary)

Sédiments récents
(Recent sediments)

Paléozoïque (Paleozoic)

Couverture sédimentaire
(Sedimentary cover)

Néoprotérozoïque (Neoproterozoic)

Formation détritique (flysch et Molasse)
(flysch and molassic formations)Formation volcano-sédimentaire et granitoides calco-alcalins
(Volcano-sedimentary formation and calc-alkaline granitoids)

Paléo et Mésoprotérozoïque (Paleo and Mesoproterozoic)

Formation gneissique et granitoides calco-alcalins
(Gneiss and calc-alkaline granitoids)

Archéen et Paléoprotérozoïque (Archean and paleoproterozoic)

Granulites et charnockites avec BIF et métapelites
(granulites and charnockites with metapelites and BIF)

Faille (fault)

Limite occidentale du bouclier Targui
(Western boundary of Targui shield)Fig. 1 - Carte géologique schématique du Hoggar
avec localisation des gîtes et indices d'or*sGeological schematic map of Hoggar
with gold deposit localisayon*

effet des déplacements horizontaux cisailants à grande échelle selon une direction NS, et la production de batholites calco-alcalins fortement potassiques, suite à une sub-duction à plongement vers l'Est du Craton Ouest Africain.

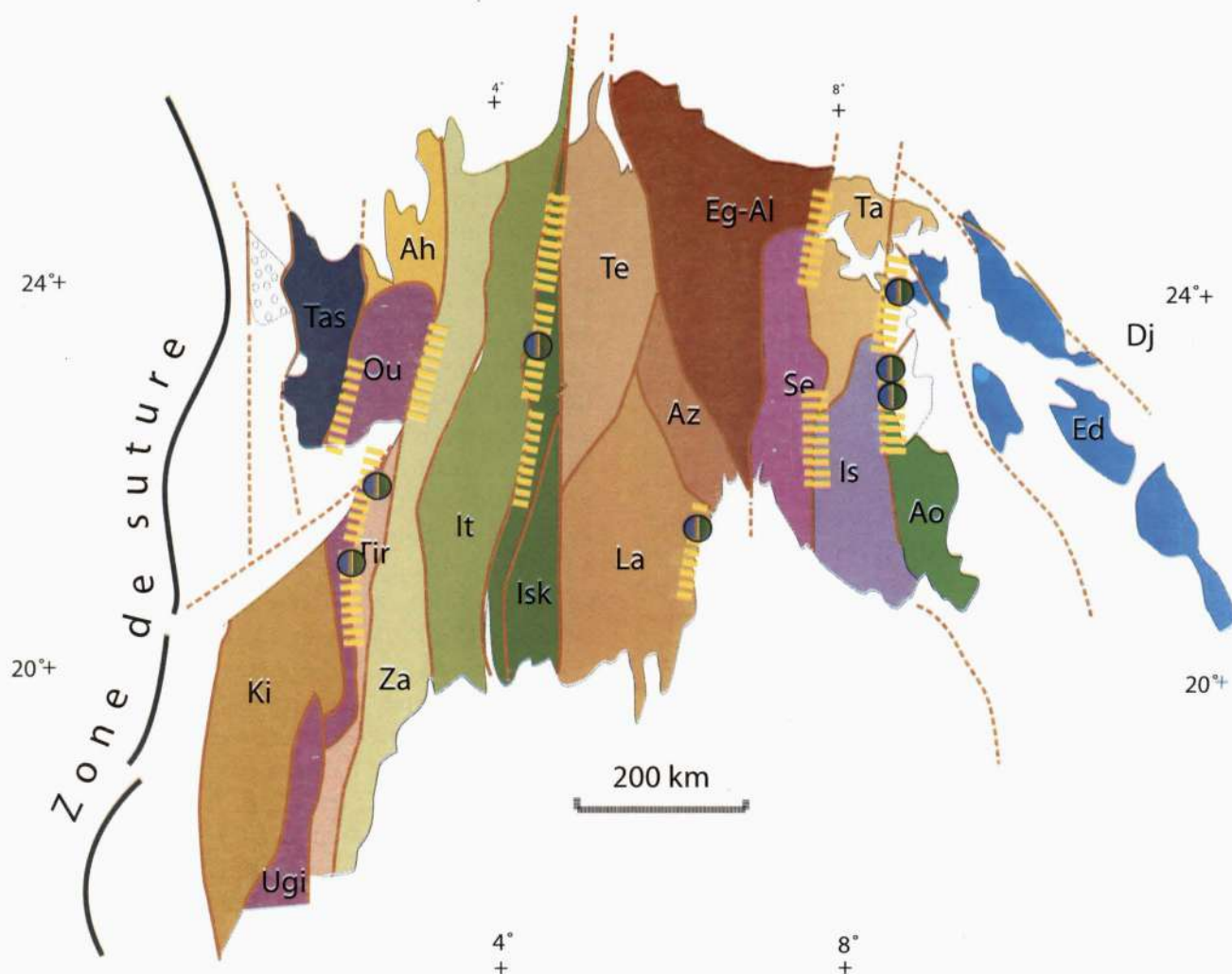
a - Le Hoggar oriental

Il est constitué de trois terranes partageant comme front commun la zone de cisaillement 8°30'. Ils sont accolés les uns aux autres par l'intermédiaire de failles orientées NNW-SSE. Il s'agit des terranes de (1) **Djanet (Dj)**, caractérisé par des roches volcanoclastiques et sédimentaires, métamorphisées dans le faciès schistes verts supérieur; (2) **Edembo (Ed)** comprenant un socle granito-gneissique mésozonal, des sédiments épizonaux et des rhyolites; (3) **Aouzeggueur (Ao)** comprenant des sédiments détritiques, des amphibolites, des ophiolites et un large développement de granodiorites d'âge 725 Ma (Caby *et al.*, 1982) qui supporte en discordance la série détritique de Tiririne, épaisse de plus de 8000 m (Bertrand *et al.*, 1978). Cette dernière qui encaisse la plupart des minéralisations d'or de ce domaine structural du Hoggar a été scindée en trois unités lithologiques distinctes (Bertrand *et al.*, 1978). L'unité inférieure comprend des argiles, des dolomites, des grès fins et des jaspes; l'unité intermédiaire entièrement détritique comprend des conglomérats polygéniques à la base, surmonté par une alternance d'arkoses et de grauweekes, et l'unité supérieure caractérise un environnement fluviatile, dénommée localement série Arokam.

b - Le Hoggar central

Il est limité à l'Est et à l'Ouest par les cisaillements 8°30' et 4°50'. Les formations d'âge paléoprotérozoïque et mésoprotérozoïque prédominent dans ce domaine. Les premières sont formées de migmatites et gneiss rubanés de composition granodioritique à tonalitique

associés à des gneiss œillés, alors que les formations mésoprotérozoïques sont caractérisées par la présence d'une alternance de marbres, d'amphibolites, de quartzites et localement de micaschistes. Le matériel volcano-sédimentaire d'âge néoprotérozoïque se situe le long des zones de cisaillement en formant des ceintures étroites d'allongement subméridien. Toutes ces formations s'organisent à l'échelle du Hoggar central en six terranes séparés par des couloirs tectoniques; il s'agit du (1) **Môle Issalane (Is)**, d'allongement N-S, mis en contact avec le cisaillement 8°30' et incluant un vieux socle (Archéen ? et Paléoprotérozoïque) granulitique rétro-morphosé en faciès schistes verts, des séquences supracrustales amphibolitiques, des granites d'anatexie (670Ma) et des granitoïdes calco-alcalins fortement potassiques (645-580 Ma); du (2) **Sérouénout (Se)**, d'allongement NS, comprenant des amphibolites, des micaschistes alumineux graphitisés, des granodiorites foliées, d'âge mésoprotérozoïque et des granites calco-alcalins fortement potassiques d'âge 580 Ma; de (3) **Egéré-Aleksod (Eg-Al)** comportant des gneiss granulitiques archéens et paléoprotérozoïques qui ont subi la double influence de l'Eburnéen (2000 Ma) et du Panafricain, des formations supracrustales méso-protérozoïques avec des quartzites à magnétite, des quartzites à fuschite, des marbres, des amphibolites et des éclogites; de (4) **Azrou-n-Fad (Az)** au même contenu que le terrane Egéré-Aleksod; du (5) **Tefedest (Te)** qui comprend un socle amphibolitique incluant des séquences supracrustales et des granitoïdes calco-alcalins; de (6) **Laouni (La)** qui se distingue surtout par l'abondance d'intrusions de granites post-tectoniques riches en minéralisations de tungstène, d'étain et de béryllium, et de granitoïdes calco-alcalins porphyroïdes dans un socle gneissique et amphibolitique. Les formations volcano-sédimentaires associées à des intrusions de gabbros, affleurent sous forme de bandes linéaires N-S en se surimposant à des failles profondes.

**Légende (Caption):**

Les terranes du Hoggar (the Hoggar terranes)

Dj (Djanet), Ed (Edembo), Ao (Aouzegueur), As-Is (Assodé-Issalane), Se (Serouenout)
 Eg-Al (Egéré-Aleksod), Az (Azou-nFad), Te (Tefedest), La (Laouni), Isk (Iskel), Te (In Tedeini)
 Za (Tin zaouatine), Tir (Tirek), Ah (Ahnet), Ou (In Ouazzal), Ugi (Iforas), Tas (tassendjanet),

● **Gisement d'or** (Gold deposit) **Prospect aurifère** (Gold prospect) **Zone de cisaillement majeure** (Major Shear zone)

Fig. 2 - Relation entre les terranes Pan-Africains et les minéralisations d'or dans le bouclier Targui (Hoggar)

Relationship between Pan-Africain terranes and gold mineralization in the Targui shield (Hoggar)

c - Le Hoggar occidental

Il est limité à l'ouest par le Craton ouest africain et à l'Est, par l'accident 4°50'. Il est subdivisé en deux rameaux (*oriental et occidental*) séparés par le môle In-Ouzzal (terrane d'In Ouzzal) qui est formé de matériaux d'âge archéen structurés et métamorphisés à l'Eburnéen (Haddoum *et al.*, 1994). Il constitue un vaste domaine où affleurent essentiellement des formations volcano-sédimentaires et volcaniques d'âge néoprotérozoïque oblitérées par d'immenses batholites de granitoïdes calco-alcalins. On note également l'abondance de roches ultrabasiques serpentinisées, parfois schistosées et qui se présentent en bandes linéaires subméridiennes parmi les formations volcano-sédimentaires.

c1 - Le rameau oriental

Il comprend quatre principales séries d'âge néoprotérozoïque se distinguant par leur lithologie et leur chronologie relative. Ce sont de bas en haut : la série de plate forme à stromatolites (décrite par Caby, 1970), la série volcano-sédimentaire, la série détritique et la série volcanogène. Ces séries sont envahies par des intrusions magmatiques de nature variée constituant l'essentiel des affleurements dans cette région. Plusieurs lambeaux de roches ultrabasiques serpentinisées, généralement riches en chromite, sont associés aux niveaux inférieurs des formations volcano-sédimentaires. Les formations méso-protérozoïques forment une ceinture d'allongement nord sud, localisées en bordure du môle In Ouzzal.

Dans ce rameau, il a été distingué quatre terranes : (1) **Iskel (Isk)** comprenant surtout des sédiments de plate forme à faciès schistes verts avec des marbres à stromatolites et des sills de roches basiques et ultrabasiques serpentinisés, des granitoïdes calco-alcalins (870 - 840 Ma), des séries volcano-sédimentaires; (2) **In Tedeini (Te)**, comprenant surtout des sédiments détritiques à caractère flyschoidal, des molasses

et des granitoïdes leucocrates fortement potassiques (650 - 550 Ma); (3) **Tin Zaouatine (Za)** comprenant des gneiss à faciès amphibolite de HT-BP, des migmatites et des granites d'anatexie, des granitoïdes calco-alcalins fortement potassiques et des molasses à faciès schistes verts; (4) **Tirek (Tir)** comprenant des gneiss et des quartzites attribués au méso-protérozoïque et des intrusions de granites et de gabbros panafricains.

c2 - Le rameau occidental

Il comprend :

- Des fragments d'un socle gneissique d'âge Paléoprotérozoïque injectés par des granites datés à 2090 Ma (Allègre et Caby, 1972).

- La série à stromatolites telle que définie par R. Caby (1970) dans le NW du Hoggar, d'âge Méso-protérozoïque, métamorphisée dans le faciès amphibolite comparable à celle du rameau oriental.

- La série volcano-sédimentaire, d'âge Néoprotérozoïque, discordante sur cette dernière. Dans ce rameau, trois terranes d'allongement N-S ont été individualisés :

- 1) **Kidal (Ki)** caractérisé par un socle de gneiss du Paléoprotérozoïque à noyaux granulitiques supposés d'âge archéen (similitude avec le môle In Ouzzal), qui supporte en discordance, d'une part, des séquences supracrustales de plate forme du Néoprotérozoïque intrudées par des granitoïdes déformés d'âge 695 Ma et, d'autre part, des formations molassiques sous forme de bassins isolés, recoupées par des batholites de granitoïdes calco-alcalins fortement potassiques vers 570-630 Ma.

- 2) **Tassendjanet (Tas)** comprenant des gneiss éburnéens recouverts en discordance par la série à stromatolites (Néoprotérozoïque) à laquelle s'associent des lentilles de roches ultrabasiques serpentinisées, elles-mêmes recouvertes par une série volcano-sédimentaire épizonale.

3) **Ahnet (Ah)** caractérisé surtout par le développement de quartzites à séricite, deltaïques (post Eburnéen) et de rhyolites datées à 1800 Ma et qui sont surmontées par la série à stromatholite.

d - La série molassique (Eocambrien)

Elle est répartie à travers tout le Hoggar sous forme de bassins isolés développés surtout au NW. Ils contiennent un matériel sédimentaire qui reflète le démantèlement des formations avoisinantes et dans lequel s'intercalent plusieurs niveaux de matériel volcanique essentiellement rhyolitique, daté au NW du Hoggar à 520 Ma (Caby, 1972). Cette série correspond à l'ultime étape de l'orogénèse panafricaine. D'un point de vue structural, Caby et Moussu (1967) admettent d'importants mouvements de surrection et d'affaissement impliquant les rejeux d'anciens accidents, au cours de la sédimentation de cette série.

III - DISTRIBUTION DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES AU HOGGAR

Les gîtes aurifères ont une distribution géographique provinciale à l'échelle du bouclier Targui. Cette relation spatiale combine des lithologies spécifiques et des structures tectoniques d'extension régionale correspondant aux lignes séparatrices des terranes. Quatre grandes familles de gîtes peuvent être individualisées.

1 - Des filons de quartz peu puissants (< 2 m) mais riches en or (teneurs supérieures à 10g/t Au), sont encaissés dans les shears zones ductiles d'échelle lithosphérique délimitant les différents terranes. Les corps minéralisés peuvent être parallèles à la schistosité mylonitique et formés par fracturation hydraulique, ou sécants sur la schistosité mylonitique en remplissant des fentes de tension.

2 - Des filons de quartz centrés sur des intrusions pré-tectoniques, de composition dioritique à granodioritique, en relation avec d'intenses altérations potassiques qui se développent préférentiellement à proximité de shears zones ductiles-fragiles. Les filons de quartz minéralisés peuvent être parallèles ou sécants aux plans de schistosité.

3 - Des zones filoniennes encaissées dans un environnement volcano-sédimentaire d'âge néoproterozoïque où des intrusions de roches basiques à intermédiaires d'affinité alcaline ont généré un important métamorphisme de contact.

4 - Des zones d'altération hydrothermale à quartz-séricite-chlorite, affectant un volcanisme acide attribué au sommet de la série volcano-sédimentaire d'âge Néoproterozoïque. L'or est associé à des sulfures, surtout la pyrite (généralement >20%).

Ces quatre familles de gîtes sont réparties en quatre grandes provinces métallogéniques qui se positionnent systématiquement en bordures de certains terranes, lesquels englobent des formations géologiques archéennes.

a - La province du Hoggar oriental (fig.3) comprend des filons (fig. 4) de quartz pauvres en sulfures (1 à 2%) situés à l'Est de la shear zone majeure dénommée 8°30' (fig2). La minéralisation, qui n'est pas directement liée à cette shear zone, apparaît d'une part, le long des fractures secondaires (remplissage des fentes de tension) d'orientation ENE, WNW et EW, et d'autre part, le long des shear-zones secondaires qui viennent parfois se greffer à la shear zone principale. L'altération hydrothermale est à quartz-chlorite-pyrite. Toutes ces minéralisations sont encaissées dans des formations épizonales du terrane d'Aouzegeur. A l'opposé, le terrane d'Issalane situé de l'autre côte (ouest) de la shear zone et qui se caractérise par des formations gneissiques ne contient que des minéralisations indicatrices.

LA MÉTALLOGÉNIE DE L'OR LIÉE À L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU MASSIF DU HOGGAR (SUD DE L'ALGÉRIE) :
INFLUENCE DES SOCLES ANTE - PANAFRICAINS DANS LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

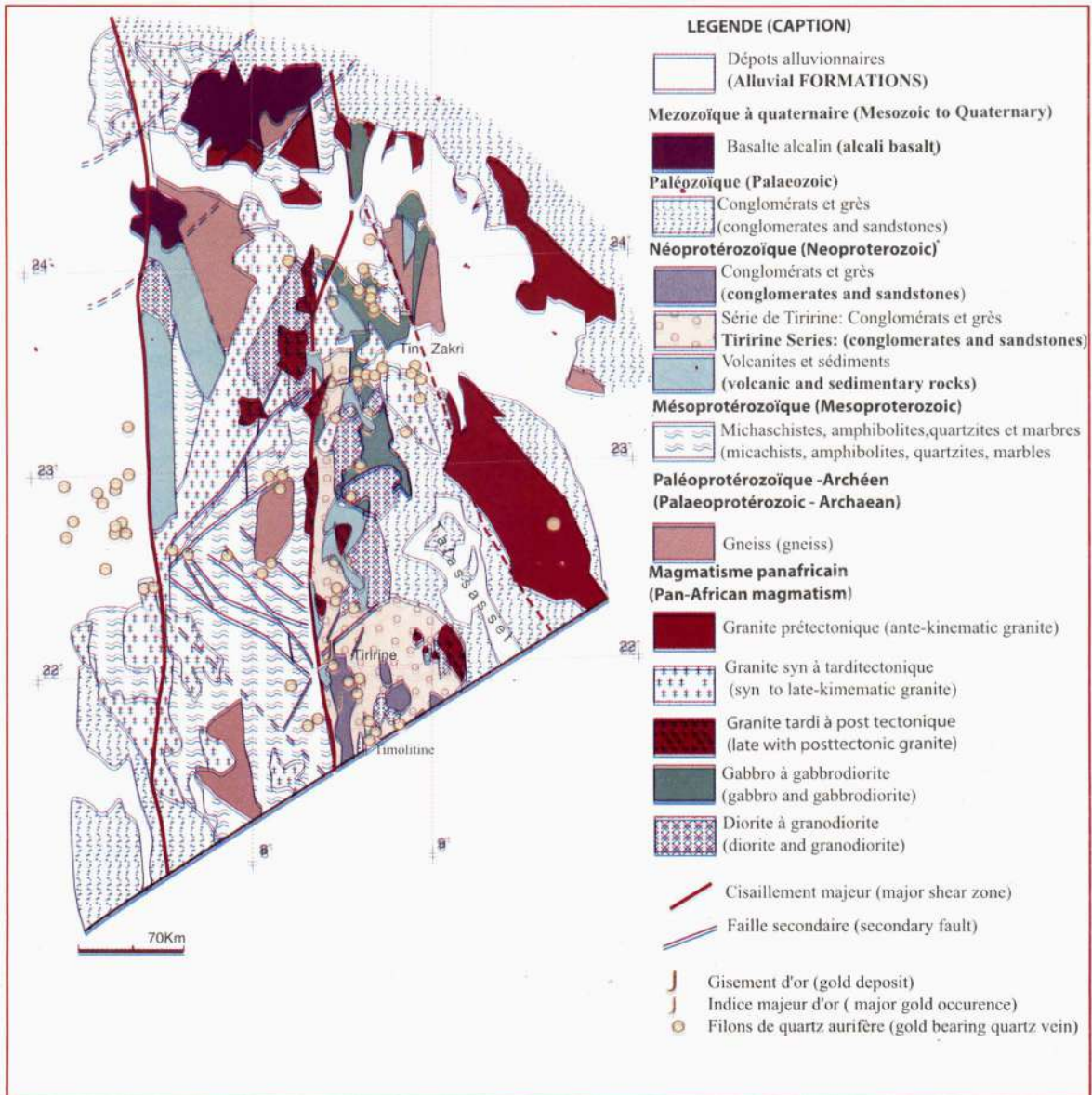


Fig. 3 - Carte géologique du Hoggar oriental.
Position des occurrences aurifères

*Geological map of eastern Hoggar.
Location of gold occurrences*

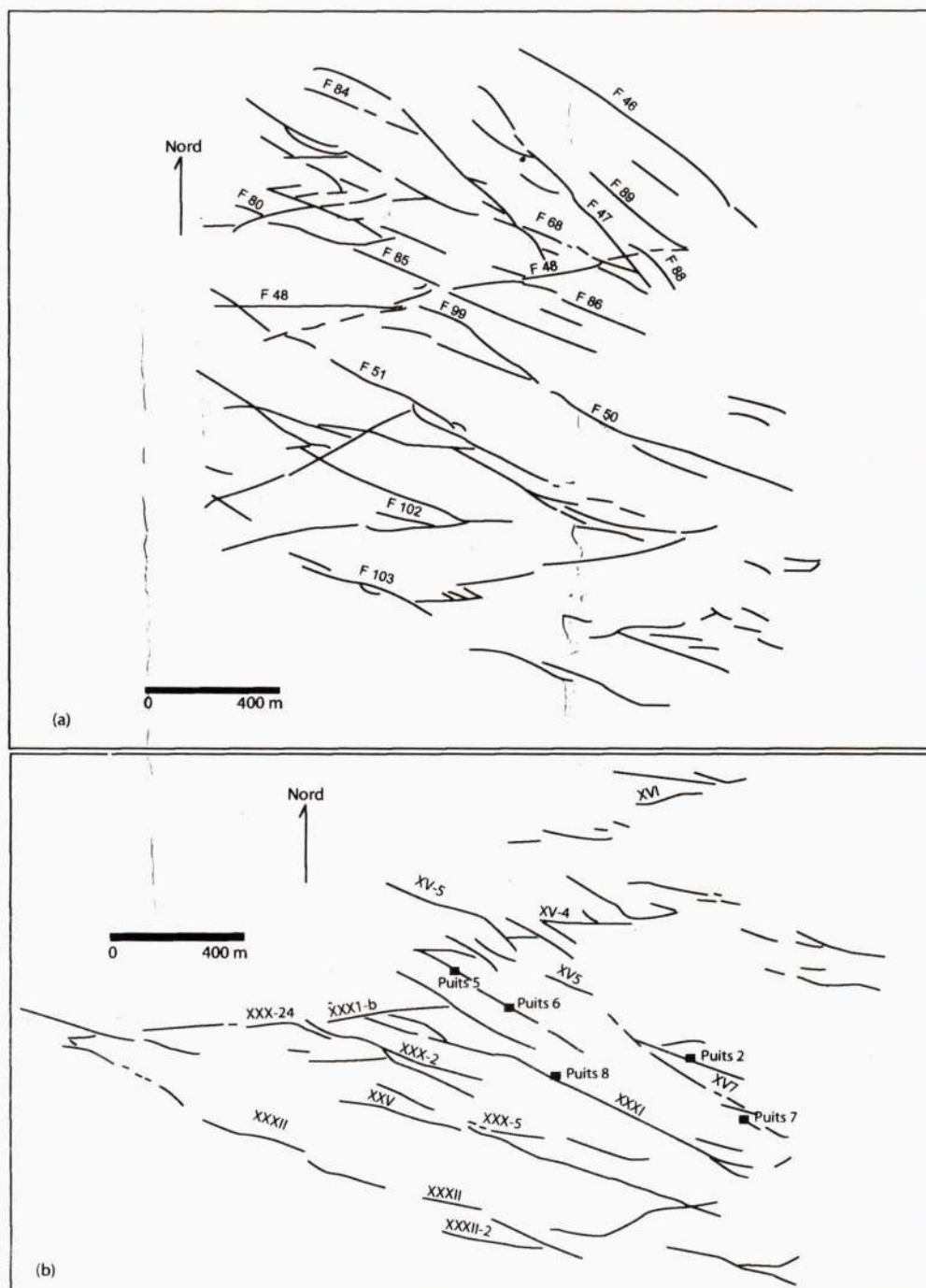


Fig. 4 - Distribution des filons de quartz dans le bassin de Tiririne

Distribution of the vein quartz in the Tiririne basin

(a) : Champ filonien nord du gisement de Tiririne (North veins field of the Tiririne deposit).

(b) : Champ filonien central du gisement de Tiririne (Middle veins field of the Tiririne deposit).

b - La province du Hoggar central (fig.3) : Les minéralisations aurifères se présentent le plus souvent sous forme de filons, filonnets et veinules de quartz et rarement sous forme de zone d'altération hydrothermale à séricite-carbonate - pyrite - graphite - tourmaline localisée dans des couloirs de déformation. Les bassins volcano-sédimentaires néoprotérozoïques sont les terrains hôtes préférentiels de ce type d'occurrences aurifères. Les minéralisations sont sous forme de stockwerks et filons dans des intrusions de roches basiques fortement cataclasées. Les stockwerks et filons sont également encaissés dans des schistes graphiteux, autour des intrusions gabbroïques.

c - La province de Timgaouine-Tin Felki-Tesnou (fig.5) comprend des filons de quartz aléatoirement placés dans un batholithe de granitoïde peu différencié dont l'âge est compris entre 867 et 838 Ma (Caby *et al.*, 1982). Les filons de quartz porteurs de l'or apparaissent surtout à la bordure ouest de ce batholithe, à proximité d'une large zone de cisaillement qui le sépare d'un autre batholithe de granitoïde plus jeune et très peu aurifère.

d - La province du môle In Ouzzal (fig.6) : Les minéralisations d'or associées à cette province sont intimement liées au môle In-Ouzzal d'âge Archéen et Paléoprotérozoïque. Elles appartiennent à deux types de structures. Il s'agit d'une part, des bordures, orientale et occidentale du môle In Ouzzal, matérialisées par des zones de cisaillement régionales; et d'autre part, des zones de cisaillement éburnéennes réactivées au Panafricain dans le faciès schistes verts, alors qu'elles ont fonctionné initialement dans le faciès granulite.

IV - LES LITHOLOGIES HÔTES DES MINÉRALISATIONS

Il existe généralement une relation étroite entre minéralisation en or et une lithologie spéci-

fique à l'échelle de plusieurs zones aurifères. D'une manière générale, les formations épizonales et les roches magmatiques qui leur sont associées constituent les terrains hôtes préférentiels et sont souvent considérés comme le métallotecte principal par les prospecteurs. Ces lithologies hôtes sont contenues dans de larges zones de cisaillement majeures.

Dans la province du Hoggar oriental, même si toutes les formations géologiques peuvent encaisser des filons de quartz aurifères à l'exception du sommet de l'unité supérieure (origine fluviale) de la série de Tiririne, il existe une certaine corrélation entre les filons de quartz les plus riches et certaines lithologies particulières.

Il s'agit notamment de sills et dykes de microgranite et microgranodiorite porphyrique qui recoupent les termes inférieurs (les unités I et II) de la série de Tiririne dont les bordures localisent les filons les plus riches.

Dans ce domaine, on parvient à distinguer deux groupes de filons aurifères en fonction de leur encaissant :

1 - Les filons de quartz anté "série de Tiririne" ou l'on parvient à individualiser deux sous-groupes de filons de quartz aurifères sur la base de leur association minéralogique respective. Il s'agit de filons à or - molybdénite et de filons à or - schéelite.

Le premier sous-groupe (filons à or-molybdénite) est identifié dans les niveaux inférieurs de la série volcano-sédimentaire du Néoprotérozoïque (Katchevsky *et al.*, 1980). Ils développent une large auréole d'altération hydrothermale matérialisée par des roches silicifiées contenant une dissémination de pyrite, de séricite et de carbonates. L'association minérale comprend la pyrite, l'arsénopyrite et la molybdénite. Les conglomérats de base de l'unité III (origine

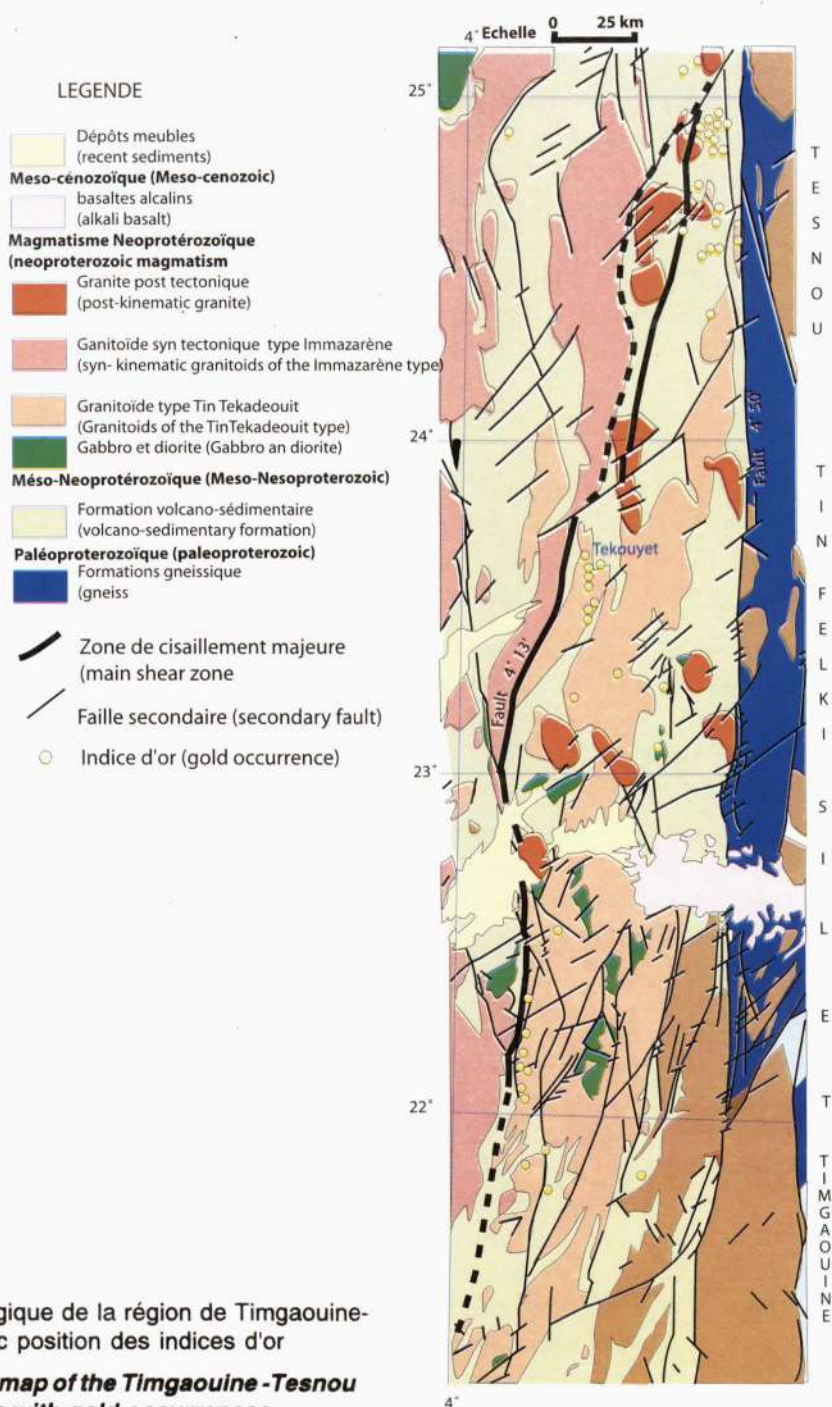


Fig. 5 - Carte géologique de la région de Timgaouine-Tesnou avec position des indices d'or

Geological map of the Timgaouine-Tesnou area with gold occurrences

LA MÉTALLOGÉNIE DE L'OR LIÉE À L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU MASSIF DU HOGGAR (SUD DE L'ALGÉRIE) :
INFLUENCE DES SOCLES ANTÉ - PANAFRICAINS DANS LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

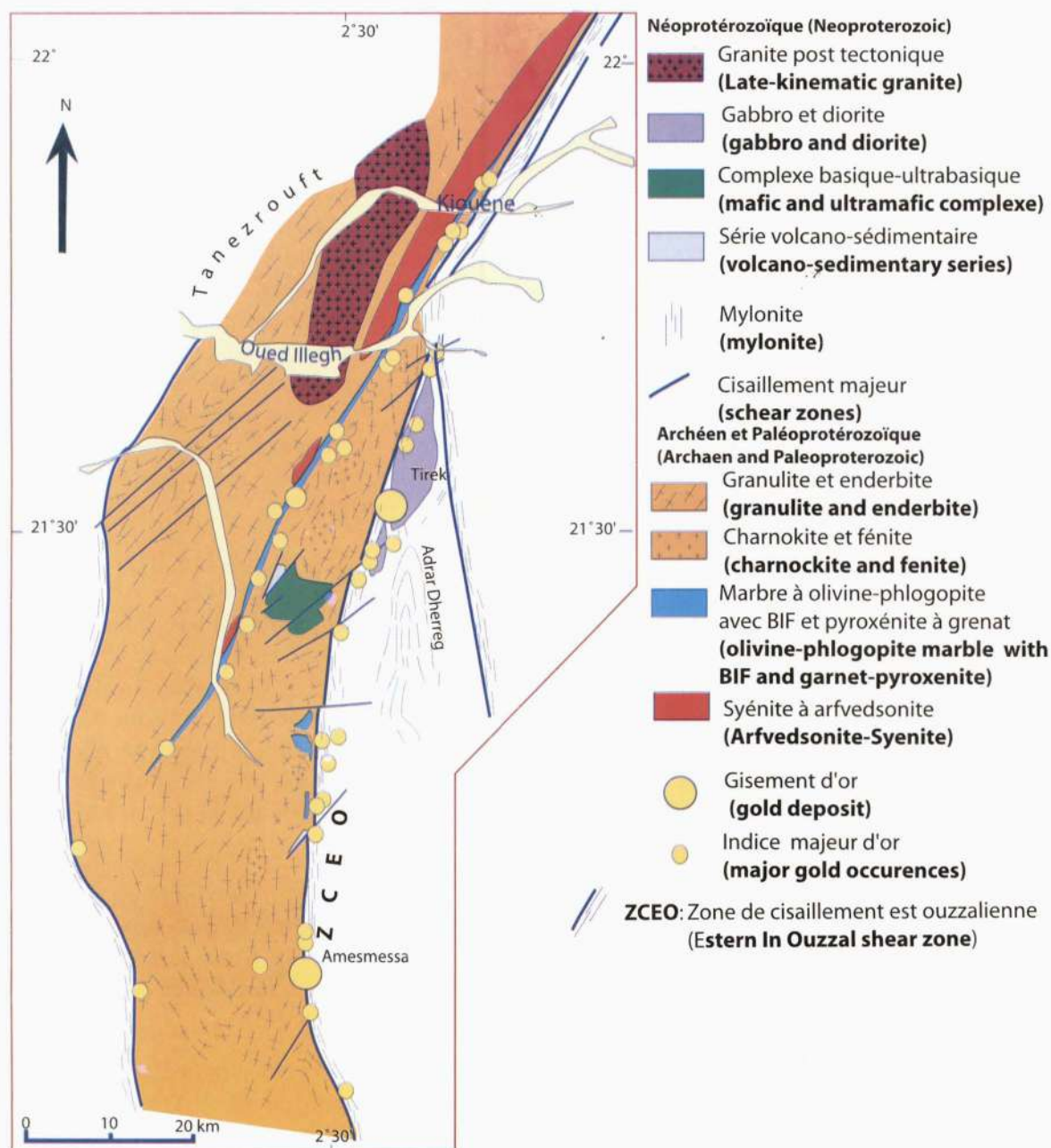


Fig. 6 - Carte géologique du môle In Ouzal sud avec position des indices et gisement d'or
Geological map of the southern In Ouzal uplift with location of gold deposits and showings

fluviatile) de la série de Tiririne, remanient ce quartz aurifère.

Le deuxième sous-groupe (filons à or - schéelite) affleure de part et d'autre du cisaillement $8^{\circ}30'$. Le support lithologique englobe toutes les formations antérieures à la mise en place de la série de Tiririne et des granitoïdes tardi tectoniques. Ils se distinguent des filons précédents, par leur couleur grise et par l'association minéralogique à scheelite, chalcopryrite, cuivre gris et pyrite.

2 - Les filons de quartz syn Tiririne sont les plus répandus et forment l'essentiel du potentiel aurifère du Hoggar oriental. Ils se sont mis en place avant la sédimentation de l'unité supérieure (série d'Arokam) de la série de Tiririne. Ils sont répartis surtout dans les granitoïdes tardi tectoniques et dans le bassin grésopélitique de Tiririne. Ces granitoïdes et ce bassin intracontinental se sont formés entre 604 et 585 Ma (Bertrand *et al.*, 1978). La majorité des filons forment des fentes de tension dont les directions privilégiées sont E-W, correspondant à un raccourcissement E-W. D'autres directions de filons, ENE-WSW et WNW-ESE ont été également relevées. L'association minérale pour l'ensemble des filons est représentée par pyrite, galène, chalcopryrite et or.

En constituant une ceinture intracontinentale formée vers la fin de l'évolution de l'orogénèse panafricaine, entre 585 et 604 Ma (Bertrand *et al.*, 1978) la série de Tiririne, peu métamorphique (schistes verts peu profonds) et les granites qui l'intrudent supportent la majorité des filons d'or. Cela traduit que la période fini panafricaine coïncide vraisemblablement avec un événement hydrothermal porteur d'or important dans cette région du Hoggar.

Dans le domaine du Hoggar central où s'accollent plusieurs terranes à histoire tectono-métamorphique polyphasée et complexe, les minéralisations d'or sont, elles aussi, très diver-

sifiées et encore mal cernées. Celles qui sont encaissées dans des lambeaux volcano-sédimentaires néoprotérozoïques sont les mieux connues :

- A In Abeggui (fig. 7a, 7b et 7c), l'or est porté par des veines de quartz et des zones d'altération à quartz-séricite-pyrite-tourmaline qui soulignent des zones de fractures. La roche encaissante est une intrusion de gabbro mise en place au sein d'un bassin volcano-sédimentaire épizonal d'âge néoprotérozoïque. Cette intrusion se présente sous forme d'un corps allongé N-S dont la partie centrale est matérialisée par des pyroxénites à olivine alors que les bordures sont matérialisées par des gabbros riches en titane qui passe parfois à des gabbro-diorites, voir même des diorites.

- Dans la région de Tin Ezzerarine, située à 100 km au sud ouest de In Abeggui, la minéralisation, apparaît sous forme de veines et veinules de quartz anastomosées, autour d'intrusions de roches basiques similaires dans les schistes graphiteux et les andésites de la série volcano-sédimentaire néoprotérozoïque. Elle est accompagnée par une altération hydrothermale marquée notamment par la tourmalinisation et la séricitisation.

- Ce type de gabbro affleure en plusieurs petits corps isométriques dans le terrane de Laouni. Il a cristallisé vers la fin du métamorphisme régional et présente un caractère post collisionnel (Cottin *et al.*, 1998).

- Dans les autres bassins volcano-sédimentaires néoprotérozoïques de l'Arefsa et de Issalane Takelkéba coïncés eux aussi entre des zones de cisaillements, les rares minéralisations d'or signalées sont liées à des filons de quartz localisés à leurs bordures.

Dans la province de Timgaouine-Tin Felki-Tesnoui, les terrains hôtes sont représentés par un batholite de granitoïde allongé NS sur plus de 600 km, depuis la frontière du Mali

LA MÉTALLOGÉNIE DE L'OR LIÉE À L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU MASSIF DU HOGGAR (SUD DE L'ALGÉRIE) :
INFLUENCE DES SOCLES ANTÉ - PANAFRICAINS DANS LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

au Sud jusqu'aux Tassilis au Nord sous lesquels il plonge dans la région d'Iftissène. La largeur de cette intrusion est de l'ordre de 40 km.

Ce massif de granitoïde, appelé communément Tin-Tekadiouit (Gravelle, 1969), a été étudié en sa partie sud (régions de Timgaouine et Tin-Rhéroh) par Mériem (1987) et au Nord (régions de Tin Felki et Silet) par Bellal *et al.*, (1991) et Ibrahim Ouali *et al.*, (1987). C'est une intrusion précoce peu différenciée, d'affinité calco-alcaline, comprenant des roches basiques à acides avec des passages graduels. La limite occidentale est marquée par un couloir de déformation qui le sépare d'un autre massif granitique plus différencié, nettement syntectonique, et relativement plus jeune, d'âge 670 Ma (Gravelle *et al.*, 1969). Les filons de quartz aurifères appa-

raissent préférentiellement à la bordure occidentale de cette intrusion, marquée ici par l'abondance des termes basiques et intermédiaires dont les minéraux ferromagnésiens sont largement chloritisés.

Dans la province ouzzalienne, 3 grands ensembles lithologiques contrôlent parfaitement la distribution des minéralisations (Attoum, 1983; Kouadri, 1983; Ferkous, 1995; Semiani, 1995; Marignac *et al.*, 1996).

1 - La zone des mylonites, large de 1500 m en moyenne, qui met en contact des terrains granulitiques archéens avec des terrains gneissiques mésoprotérozoïques, contrôle les minéralisations de type shear zone. Ces mylonites qui correspondent à la zone de cisaillement est ouzzalienne

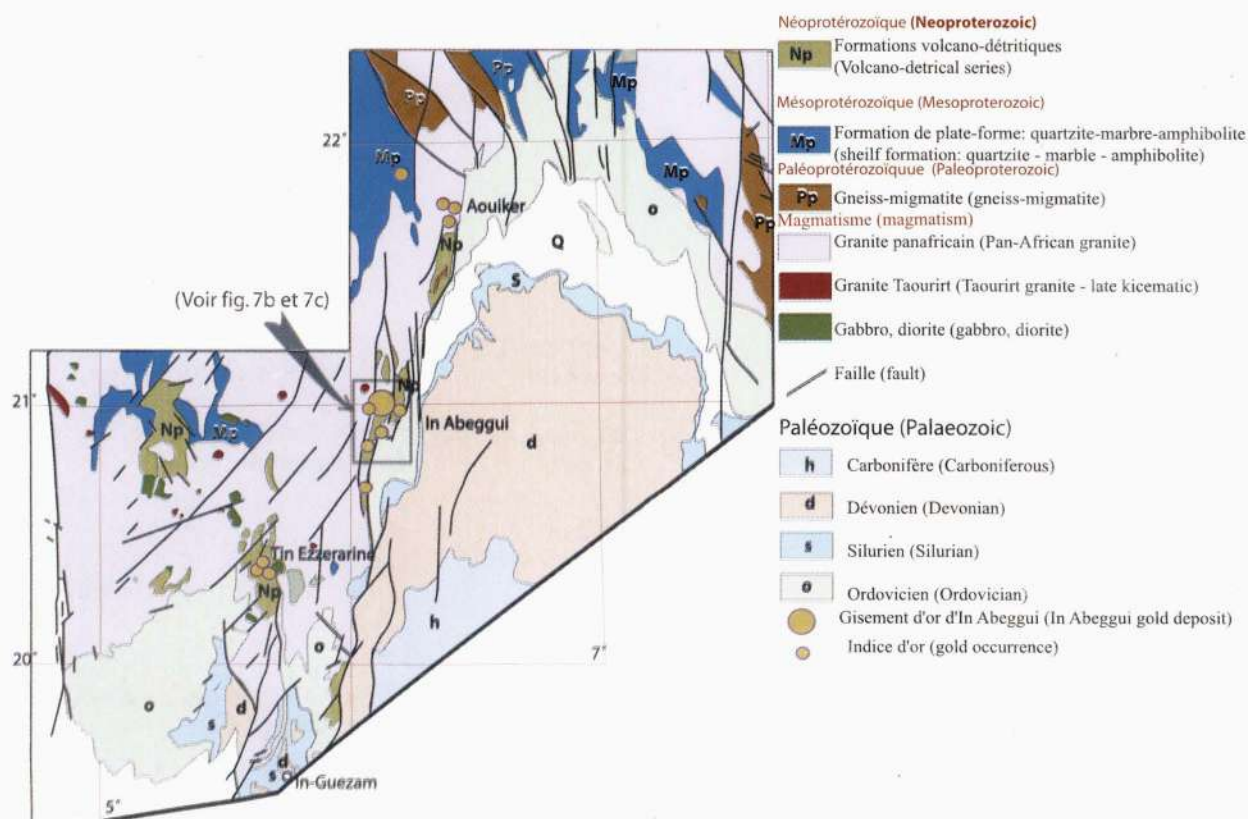


Fig. 7a - Carte géologique de la région de Laouni-In-Abeggui
Geological map of the Laouni-In-Abeggui area

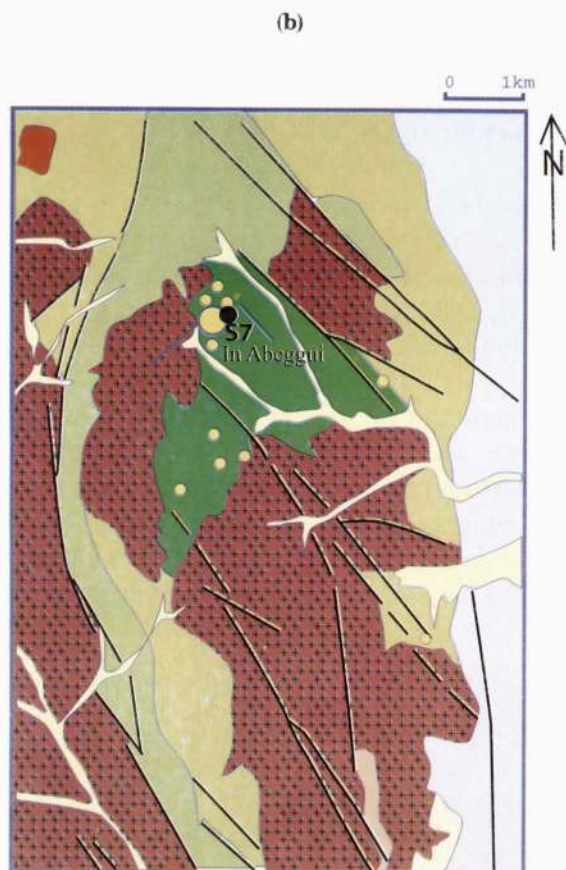


Fig. 7b - Carte géologique du gisement d'In Abeggui
Geological map of the In Abeggui deposit

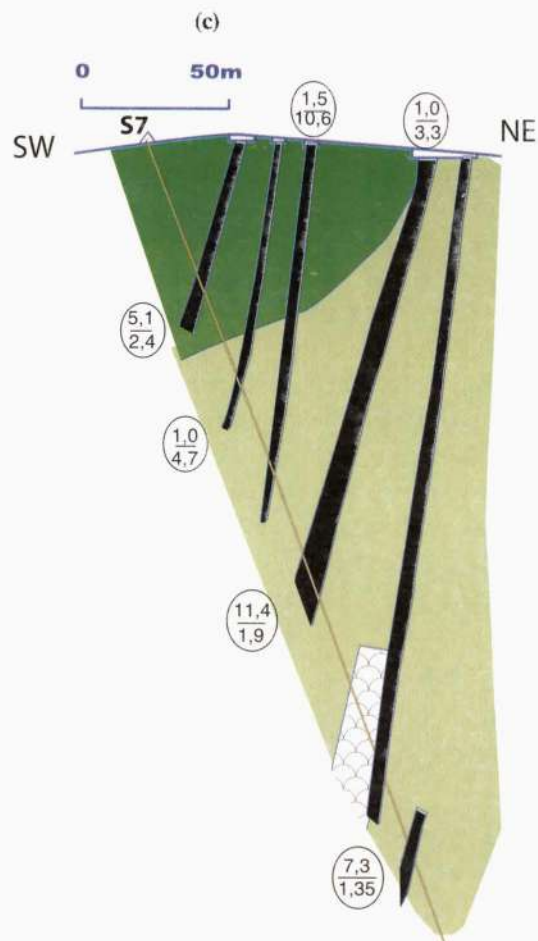


Fig. 7c - Coupe géologique du gisement de In Abeggui
 selon le sondage S7

*Geological cross-section of the In Abeggui
 deposit through drill hole S7*

renferment des intrusions syncinématiques qui affleurent sous forme de corps boudinés et allongés suivant la schistosité mylonitique. Elles sont représentées par des gabbros à hyperstène ou amphibole, des gabbros quartziques avec des passages progressifs vers des monzonites, des gabbrodiorites et des diorites. Globalement, la composition chimique de ces intrusions est semblable à celle des massifs basiques de In Abeggui, mais les termes les plus mafiques semblent être absents. Ces plutons sont injectés par de nombreux dykes et filons de nature variée (dolérites, microgabbro, aplites, pegmatites). Ils témoignent bien du caractère lithosphérique du cisaillement.

Quand elles sont développées à partir d'intrusions basiques à intermédiaires, la composition minéralogique des mylonites est : quartz - séricite-amphibole-biotite-plagioclase-épidote-chlorite-carbonate. Les chlorites sont toujours de cristallisation tardive et ne sont pas en équilibre avec l'essentiel de la paragenèse. Les amphiboles montrent de leur côté une certaine hétérogénéité chimique. Les résultats des analyses à la microsonde ont permis de définir deux lots d'amphiboles et de préciser les conditions de la déformation (thermomètres de Johnson et Rutherford, 1989 et Schmidt, 1992). L'assemblage précoce à quartz-biotite-plagioclase-amphibole-épidote-carbonate (sans chlorite) est réalisé sous une pression de $4,6 \pm 2,1$ kb et à des températures de $512 \pm 107^\circ\text{C}$. Un l'assemblage tardif à chlorite et actinote s'est formé sous une pression de 2 à 3 kb et à des températures comprises entre 315 et 330°C (Semiani, 1995).

2 - Les formations supracrustales granulitiques archéennes (marbres à olivine, pyroxénites, métapélites riches en Mg et quartzites avec ou sans magnétite) interprétées comme d'anciennes ceintures de roches vertes archéennes intrudées par des syénites à arfvédsonite datés à 1998 Ma (Semiani 1995), forment un encaissant privilégié des minéralisations d'or, lorsque celles-ci sont entraînées dans couloirs mylonitiques. Elles ont

alors subi une rétro-morphose en faciès schistes verts durant le Pana-fricain (vers 600 Ma), et l'or est lié à la percolation par des solutions hydrothermales tardives. Les filons de quartz et leurs halos d'altérations se mettent en place préférentiellement vers l'interface marbre-pyroxénite et marbre-syénite (fig. 8). Loin des cisaillements, en revanche ces formations supracrustales sont stériles en or.

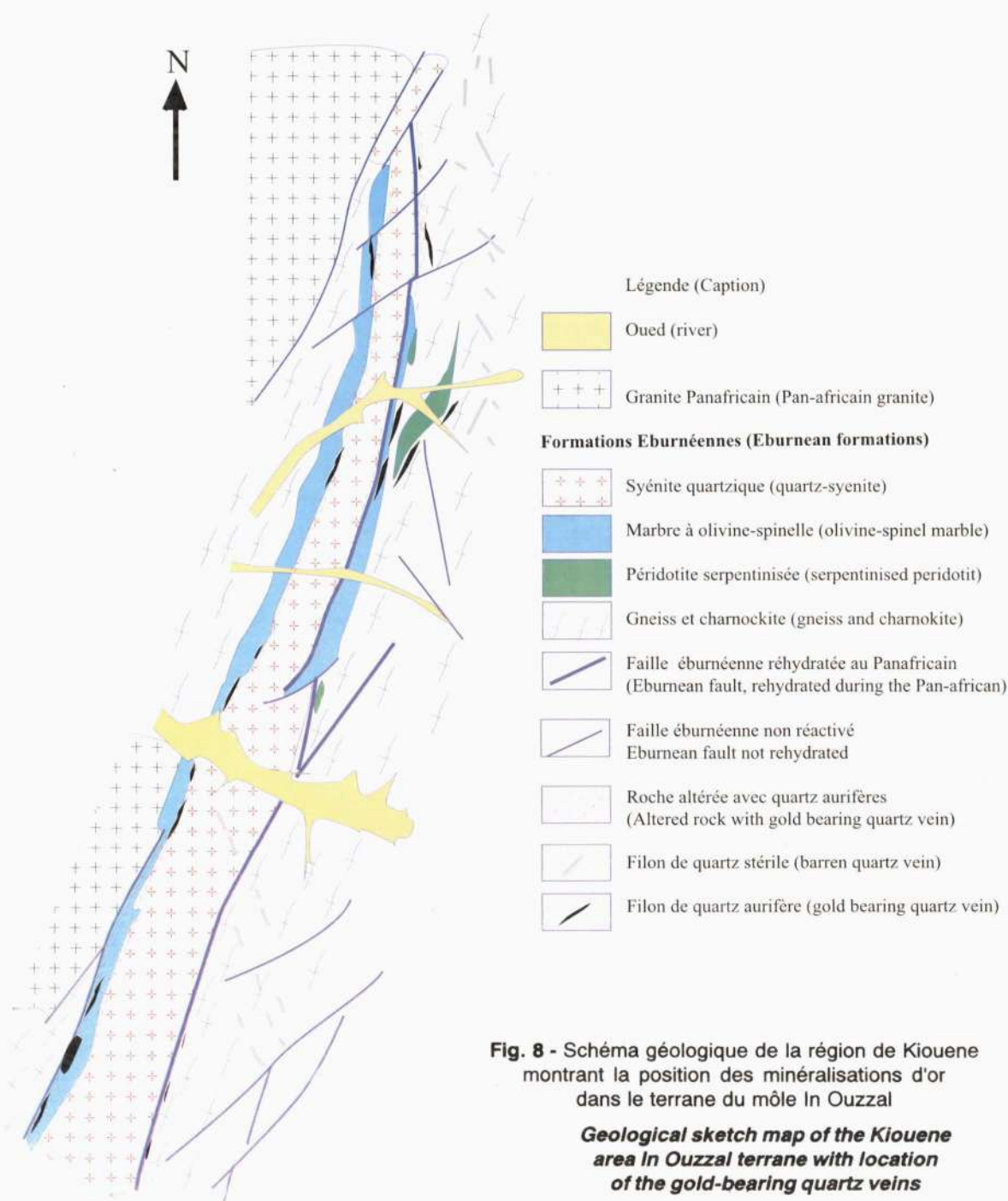
V- LES CONTRÔLES STRUCTURAUX

La relation des minéralisations d'or avec les cisaillements régionaux est utilisée comme principal outil d'exploration. Elle se traduit par une concentration des gisements et indices au sein et à proximité de certains couloirs mylonitiques subméridiens qui séparent les différents terranes. La nature des lithologies encaissant la minéralisation et contenues dans ces cisaillements étant un métallotecte primordial dans la concentration optimale de l'or.

Lelubre (1952) les considère comme d'anciennes failles ayant fonctionné durant l'évolution préorogénique et orogénique du Pana-fricain. Boullier et Bertrand (1981) les interprètent comme d'anciens chevauchements plats verticalisés par la suite. Boullier (1982) leur attribue une signification de ligne de glissement consécutive à la collision entre le Craton Ouest africain et la zone mobile panafricaine.

Ces cisaillements guident la mise en place de roches plutoniques syn-cinématiques (granitoïdes et gabbros selon les cas) témoignant de leur caractère lithosphérique.

Dans le môle In Ouzzal, la phase ultime (paroxysmale) de fonctionnement du cisaillement Est-ouzzalien se situe autour de 545 ± 15 Ma (Semiani, 1995; Marignac *et al.*, 1996). Dans l'Adrar des Iforas (prolongement sud du môle In Ouzzal), le fonctionnement du même cisaillement se termine à 535 ± 5 Ma (Lancelot



Les minéralisations d'or sont liées aux cisaillements éburnéens ayant subi une hydratation durant le panafricain
(Gold mineralisation is restricted to Eburnean shear zones that zone rehydrated during the panafrican events)

et al., 1983). Au Hoggar central, les cisaillements décrochants affectant les formations gneissiques du Paléoproterozoïque ont été datées à 546 ± 6 Ma (Viallette et Vittel, 1981); par contre les intrusions syncinématiques du cisaillement $8^\circ 30'$ ont été datées à 585 ± 13 Ma (Bertrand *et al.*, 1978).

À l'exception du cisaillement $8^\circ 30'$, la fin du fonctionnement semble englober une période assez courte comprise entre 546 ± 6 et 535 ± 5 Ma. Cette période coïncide avec la mise en place des premières intrusions granitiques de type Taourirt et avec la formation des bassins molassiques. Si l'or est intimement lié à ces zones, cela indique que la période de sa mise en place est partout identique et qu'elle constitue un événement majeur.

Sur le plan structural, il est possible de distinguer trois situations différentes, selon la position de ces gîtes par rapport aux zones de cisaillement :

a - Minéralisation d'or située à l'intérieur des couloirs mylonitiques

Le cas du cisaillement Est-ouzzalien est le plus représentatif de ce type de minéralisation (fig. 9). Il s'agit d'un couloir de déformation d'une largeur moyenne de 1500 m qui s'étend sur plus de 500 km du nord au sud, à l'interface entre deux terranes au comportement rhéologique contrasté. À l'intérieur de ce couloir mylonitique, trois zones peuvent être distinguées sur la base de l'intensité de la déformation qui augmente progressivement d'Est en Ouest, depuis les protomylonites, en passant par les mylonites et culmine juste à la limite du terrane d'In Ouzzal (paroxysme de la déformation) en donnant naissance à de véritables ultramylonites. Ces dernières localisent les bérésites (roche hydrothermalement altérée à quartz-séricite-carbonate-pyrite) et de nombreux filons de quartz à or-sulfures.

La foliation mylonitique est généralement verticale et orientée N-S mais localement peut devenir horizontale. Ces variations sont dues à la présence de lentilles et cigares de roches moins déformées autour desquelles se moule la foliation mylonitique. La linéation d'allongement N-S est statistiquement horizontale. De rares plongements de l'ordre de $10-20^\circ$ au maximum dans l'un des deux sens (nord ou sud) ont cependant pu être observés. Leur signification n'est pas claire. Les différents auteurs (Attoum, 1983; Ferkous, 1996; Attoum et Caby, 1994; Haddoum, 1994; Semiani, 1995. Marignac *et al.*, 1996) s'accordent pour caractériser une déformation non coaxiale décrochante dans un plan vertical et de sens dextre.

Les filons de quartz et l'encaissant immédiat représenté par les bérésites, sont généralement disposés parallèlement à la schistosité mylonitique et existent quoique de manière discontinue tout au long du cisaillement Est Ouzzalien. La mise en place de l'or dans les filons de quartz et les bérésites est intervenue après une succession de déformations ductiles puis fragiles. Ces déformations sont accompagnées par deux événements hydrothermaux. Le premier marque la rétro-morphose de l'association biotite-amphibole-chlorite en quartz-séricite - pyrite, réalisée en conditions profondes (déformation ductile); le second marque l'apparition d'épisodes hydrothermaux dominés par les processus de silicification et de carbonatation (ferrodolomite) et réalisés en partie dans les conditions fragiles. La minéralisation d'or, qui peut atteindre des teneurs énormes (>500 g/t), est liée à la présence de quartz saccharoïde qui résulte de la déformation.

Les filons de quartz qui sont sécants sur les plans de foliation ont une direction allant du NE-SW à E-W. Leur architecture témoigne d'un remplissage de fentes en extension cohérente avec une compression ENE-WSW. D'une manière générale, les filons de quartz ne sont généralement minéralisés que dans les limites des roches

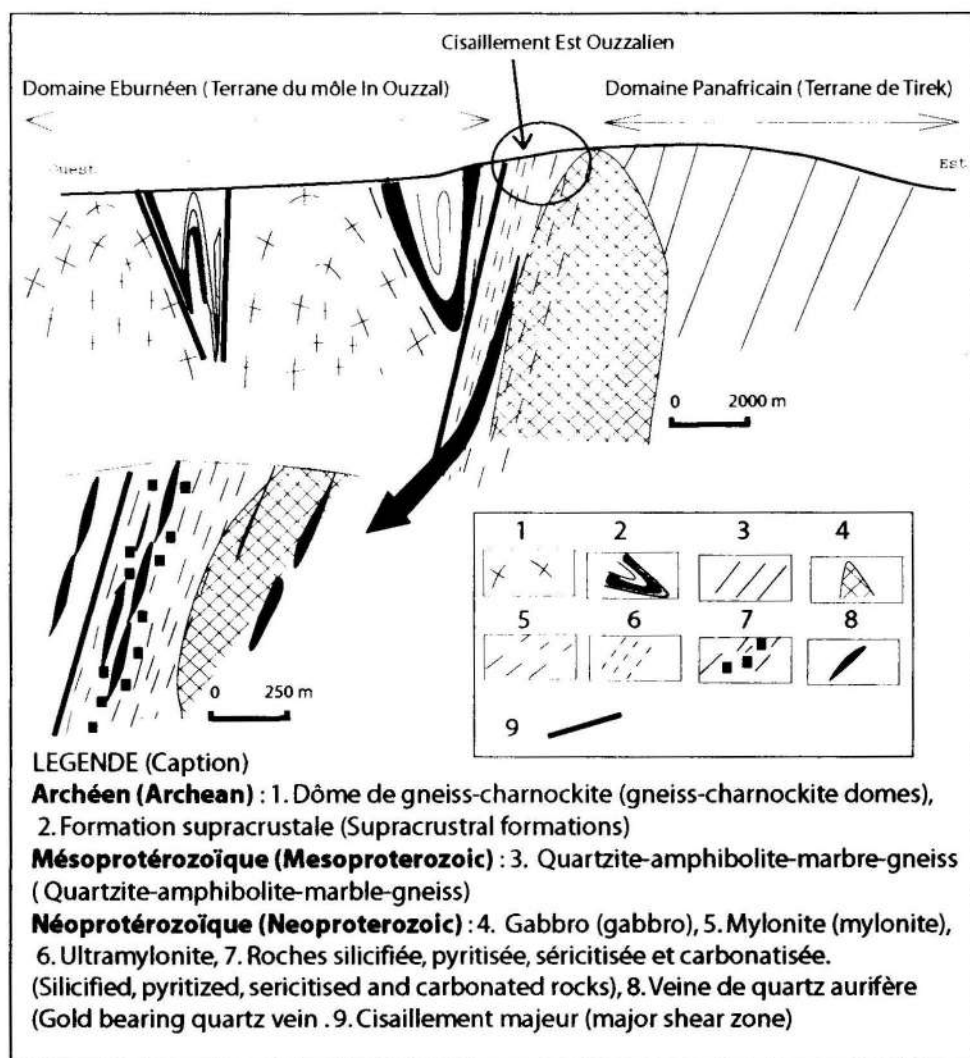


Fig. 9 - Coupe géologique montrant la position des filons d'or par rapport aux terranes d'In Ouzzal et de Tirek

Geological cross-section showing the gold veins between In Ouazzal and Tirek terranes

les plus déformées, c'est à dire dans le domaine des ultramylonites. Plus la direction des filons se rapproche de celle de la schistosité, plus la probabilité d'être minéralisé en or est grande. Ainsi, les filons disposés perpendiculairement à cette schistosité mylonitique sont presque toujours stériles en or. On a vu plus haut que la présence d'or est également contrôlée par la lithologie locale (supracrustale, gabbro)

b - Les minéralisations d'or situées à proximité des cisaillements : cas des filons de quartz dont l'encaissant est une roche non déformée (prospect de Tiririne)

Dans le prospect de Tiririne, la relation des filons porteurs d'or avec le cisaillement majeur 8°30' (fig. 3), matérialisé par un couloir mylonitique, n'est pas directe. Les filons de quartz, occupent des fentes de tension, le long de sa bordure orientale, mais existent surtout à l'extérieur de la mylonite. Deux directions dominantes (WNW et ENE) ont été relevées (fig. 10.a). Elles sont compatibles avec un raccourcissement E-W. La présence systématique d'enclaves de cataclasite au sein des filons de quartz porteurs d'or suggère des conditions de déformation fragile.

c - Les minéralisations d'or associées aux bordures cisailantes des batholites de granodiorite : cas de la province de Timgaouine-Tin Felki-Tesnou

Les filons de quartz aurifères occupent préférentiellement la bordure occidentale de l'intrusion hôte, le batholithe de Tin Tékadiouit intrusif à la limite des terranes d'Iskel et d'In Tedeini. Une coupe est-ouest à travers le batholithe montre que les filons de quartz sont présents à travers tout le massif. Cependant, ceux qui sont minéralisés en or apparaissent exclusivement vers sa bordure occidentale, où un réseau rapproché

de failles de direction NE-SW a entraîné une forte cataclase, sur une largeur d'environ 3 km. Les filons de quartz à or sont d'aspect saccharoïde et de couleur rose à blanc-grisâtre, par contre les filons stériles sont à gros grains et de couleur blanc-neige. Ils se présentent sous forme de lentilles boudinées épousant les plans de schistosité des roches fortement cataclasées et chloritisées. Ils sont généralement épais dans leur partie centrale (0.5 à 2 m) et s'effilent vers leurs extrémités jusqu'à atteindre des épaisseurs de l'ordre du cm. La disposition spatiale des filons est globalement dominée par les directions N-S et NE-SW; les directions E-W et NW-SE existent mais sont tardives, plus discrètes et peu minéralisées (fig. 10b). L'or est présent non seulement dans les filons de quartz, mais également dans les halos d'altération à quartz-séricite-pyrite. Dans ce dernier cas, des teneurs en or de la centaine de ppb existent jusqu'à une dizaine de mètres de part et d'autre des filons. La déformation fragile des filons de quartz est le facteur déterminant de la présence d'or. Un filon qui n'a pas subi de déformation postérieurement à sa mise en place est très faiblement minéralisé. Ici, c'est un argument en faveur de l'absence de liaison avec des fluides magmatiques liés à l'intrusion hôte

VI - LES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES

L'altération des roches associées à l'ensemble des gîtes aurifères est réalisée dans des conditions de faciès schistes verts.

a - Minéralisations de type shear zone (In Ouzal)

On distingue systématiquement deux stades successifs d'altération. Le premier stade, sans relation directe avec la minéralisation, est réalisé lors de la phase majeure du fonctionnement du cisaillement; il se caractérise par l'association

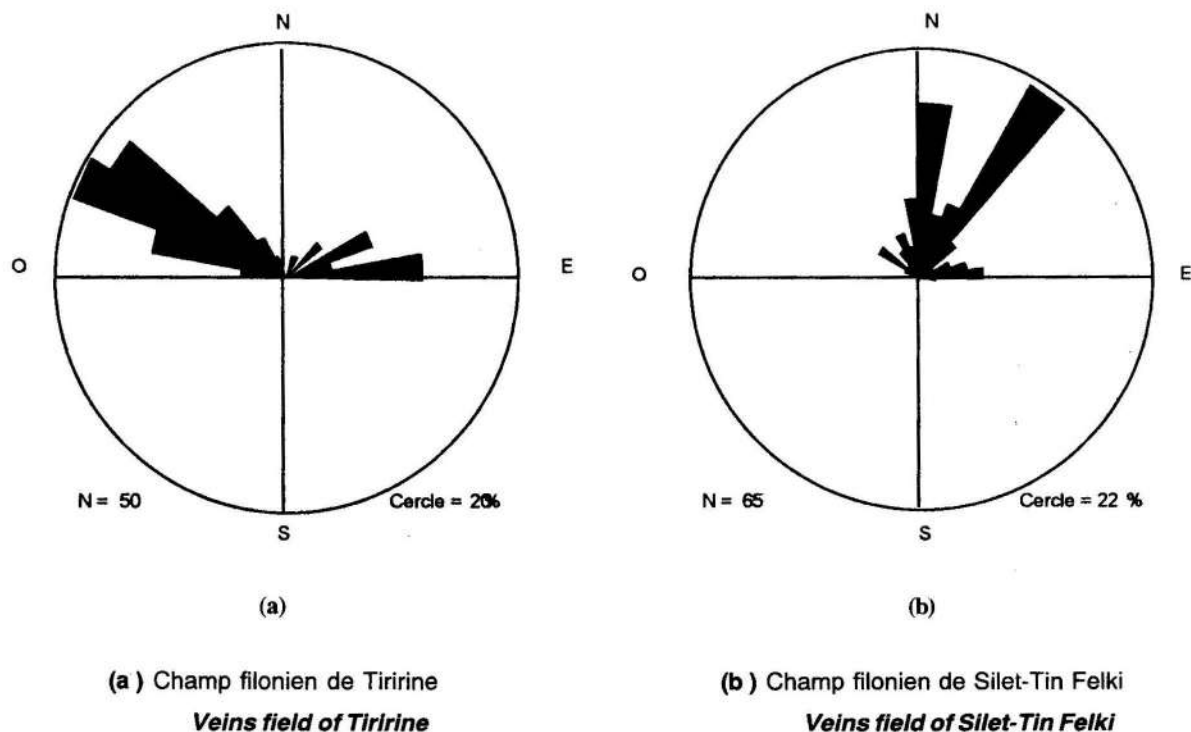


Fig. 10 - Directions des filons de quartz aurifères
Directions of gold bearing quartz veins

minérale néoformée suivante : biotite, amphibole, chlorite, séricite, quartz et carbonate. Le second stade comprend une altération rétro-morphique de l'association du premier stade en présence d'une phase fluide d'origine hydrothermale. Elle se focalise le long de zones fortement tectonisées dans laquelle se mettent en place des veines et veinules de quartz aurifères. Elle est définie par l'association minéralogique suivante : quartz, séricite, carbonate, pyrite et constitue l'enveloppe proximale de la minéralisation aurifère. Sur le plan géochimique, ce stade est marqué notamment par un appauvrissement en sodium où les teneurs en Na_2O tendent vers zéro et un enrichissement en CaO dû à la carbonatation. Ces bérésites résultent d'une altération polyphasée des ultramylonites, commençant par une altération acide (quartz-séricite) caractérisant un milieu réducteur (présence de pyrite), se

poursuivant par une silicification et s'achevant par un épisode de carbonatation oxydant (dissolution partielle de la pyrite) sous l'influence d'un fluide sous-saturé en silice.

L'intensité de l'altération du second stade est guidée par la position des zones minéralisées par rapport à direction de la foliation des mylonites. Lorsque ces zones sont disposées parallèlement aux plans de foliation, l'altération est très développée. Elle déborde les corps minéralisés sur au moins une dizaine de mètres. Plus l'angle qu'elles forment avec la foliation mylonitique est grand, plus son intensité diminue, aboutissant ainsi à une simple frange de quelques centimètres pour le cas extrême (disposition perpendiculaire des corps minéralisés par rapport à la foliation) où ne s'exprime que la séricitisation des protolithes.

b - Minéralisations en bordure du batholite de Tin Tékadiouit

On distingue également deux stades successifs d'altération. Le premier stade précoce se caractérise par une chloritisation générale des minéraux ferromagnésiens dans les limites des bandes affectées par la déformation. Cette altération est à mettre en relation avec la mise en place du batholite de granite syntectonique d'Imazzarène à l'ouest du batholite de Tin Tekadeouit dans la mesure où l'intensité des phénomènes de chloritisation diminue au fur et à mesure que l'on s'en éloigne. Le second stade se limite juste à quelques centimètres de part et d'autre des filons de quartz aurifère et se traduit par la rétro-morphose de la première association en quartz, séricite, carbonate et pyrite. Il correspond à la circulation des solutions hydrothermales aurifères.

c - Minéralisations d'In Abeggui et de Tin Ezzerarine

Les altérations hydrothermales accompagnant les minéralisations d'or sont nettement différentes des autres prospectes aurifères. Les filons de quartz et les dykes d'aplite qui recoupent le massif basique d'In Abeggui ont focalisé les circulations hydrothermales à l'origine du dépôt de l'or et des sulfures. Ces circulations ont développé une altération à quartz-séricite-pyrite (5 à 20%)-tourmaline (1-5%), maximale dans les dykes et au voisinage des filons, et d'intensité décroissante quand on s'en éloigne (on ne trouve plus de pyrite ni de tourmaline à plus d'une dizaine de mètre de part et d'autre). Les pyroxènes et les amphiboles sont partiellement altérés en chlorite et actinote.

VII - PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE DES MINÉRALISATIONS

L'assemblage minéralogique métallifère des gîtes filoniens est partout le même. Il comporte :

pyrite, chalcopryrite, galène, or, $\pm$ bismuthinite, $\pm$ arsénopyrite et $\pm$ pyrrhotite.

Tous les filons de quartz présentent un caractère plus ou moins bréchique. Des fragments de bérésites non jointifs, plus ou moins silicifiés, sont cimentés par le quartz.

Dans le cas des minéralisations de type shear zone, l'or est présent sous forme microfissurale, jalonnant les joints de grains et imprégnant préférentiellement les cataclasites.

VIII - DISCUSSION

La mise en place de l'ensemble des minéralisations d'or identifiées au Hoggar s'est produite durant la période tardive de l'événement tectono-métamorphique pan-africain. Elle implique à la fois les deux dernières phases magmatiques tardi à post tectonique pan-africaines et le fonctionnement des cisaillements. Selon que l'un ou l'autre de ces phénomènes domine, des types différents de minéralisations sont observés :

1 - Cas des minéralisations dont le support est une intrusion de composition moyenne grano-dioritique :

Prospectes aurifères de Tiririne-timolitine et de Timgaouine-Tin Felki-Tesnou

L'ensemble des données va à l'encontre d'une origine magmatique des fluides hydrothermaux aurifère : (i) les granitoïdes "porteurs d'or" ne se distinguent en rien des autres granitoïdes, stériles, du Hoggar. Il existe certes des teneurs en or anormales (de l'ordre de la dizaine de ppb) mais elles sont restreintes aux zones de cisaillement et d'altération, donc à la circulation des fluides hydrothermaux; (ii) les filons de quartz dans les parties non altérées et non déformées sont stériles, tandis que les filons de quartz oblitérés par une déformation fragile dans les couloirs cataclastiques sont les seuls à être minéralisés; la minéralisation est donc très postérieure à la

cristallisation du granitoïde-hôte; (iii) l'âge modèle du plomb des galènes du prospect de Timgaouine-Tesnou est de 950 Ma (Semiani, 1995), tandis que le granitoïde-hôte est daté à 868 Ma (Caby *et al.*, 1982); le plomb de ces galènes résulte donc d'un mélange entre un plomb hérité d'un socle ancien pré-pan-africain et du plomb lessivé dans le granitoïde-hôte. Il existe en revanche un contrôle avec les intrusions granitiques syn-cinématique au contact des deux terranes d'Iskel et d'In Tedeini (granite d'Im-mazarène), responsables probables de la mise en mouvement des fluides hydrothermaux.

2 - Les minéralisations dont le support est une zone de cisaillement majeure : cas de la province ouzzalienne

Les cisaillements qui contrôlent les minéralisations d'or et qui guident en même temps la mise en place des intrusions basiques à intermédiaire ont une échelle lithosphérique. Ils correspondent aux zones de coulissage qui séparent les différents terranes. La minéralisation en or de ces zones de cisaillement est contrôlée par deux facteurs :

- La transition ductile-fragile de la déformation, l'or est tardi-pan-africain dans les filons de quartz cataclasés ;
- La présence d'intrusion syn-cinématiques mafiques à intermédiaires, les gisements les plus riches sont situés à proximité. Les shears zones qui en sont dépourvues sont stériles, quelle que soit leur amplitude (cf. le cisaillement 4°50').

Cependant, les fluides ne sont pas d'origine magmatique ou mantellique. Les âges modèles du plomb des galènes contemporaines du dépôt de l'or sont systématiquement anté-pan-africains (1600-2000 Ma); et la composition isotopique des fluides associés ($d^{18}O$ entre +6.4 et +7.7 ‰ et dD entre -2 et -21 ‰) est celle de saumures de bassins, profondément infiltrées dans le socle (Semiani, 1995 a, Semiani *et al.*, 1995; Marignac *et al.*, 1996).

3 - Les minéralisations d'or associées aux bassins volcano-sédimentaires néoproterozoïques

Il existe une relation spatiale étroite entre le développement des minéralisations d'or et les intrusions tardives de gabbro qui se mettent en place au sein des bassins volcano-sédimentaire.

IV- CONCLUSIONS

1 - Toutes les minéralisations aurifères reconnues au Hoggar sont d'âge tardi à post-pan-africain. Elles sont principalement liées aux cisaillements majeurs et aux accidents secondaires qui les recoupent. La compilation des données géochronologiques existantes permet de les situer entre 585 et 535 Ma, ce qui correspond à la période de transition entre un régime compressif responsable de la structuration pan-africaine du Hoggar et un régime distensif responsable de la mise en place des premiers granites post orogéniques de type Taourirt. Cette période recouvre en partie la formation des bassins molassiques éocambriens.

2 - La rareté des minéralisations en or et métaux de base anté-pan-africaines est remarquable et difficile à expliquer. En particulier, quoique des traces de cisaillement éburnéen ayant fonctionné dans les conditions de faciès granulite soient toujours présentes dans les ceintures supra-crustales archéennes (môle In Ouzzal), l'or n'est jamais présent dans ces formations que quand elles ont été réhydratées et cisillées durant le Pan-africain. Cette rareté contraste avec le grand potentiel en or habituellement reconnu dans les boucliers archéens et paléoproterozoïques. L'efficacité du lessivage de ces socles pourrait tenir à l'existence d'anomalies régionale en or, non exprimées antérieurement au pan-africain, dans les terrains archéens granulitisés à l'Eburnéen (Marignac *et al.*, 1996).

3 - Les minéralisations en or sont surtout abondantes et riches le long des grandes zones qui

séparent des terranes anciens (archéens et ébur-néens), plus ou moins réactivés et remobilisés au Pan-Africain, et des terranes constitués pendant le cycle pan-africain. On peut proposer de généraliser à l'ensemble du bouclier Targui le modèle développé sur les gisements de Tirek et Amesmessa (Semiani, 1995; Marignac *et al.*, 1996). Dans ce modèle, les saumures des bassins éocambriens (édifiés durant la phase finale du cycle pan-africain) profondément infiltrés dans le socle, sont impliquées dans des circuits convectifs à la faveur d'un réchauffement des socles de ces bassins par les chambres magmatiques situées à faible profondeur (alimentant les intrusions Taourirt). Le lessivage de l'or et le drainage des fluides le long des couloirs de cisaillement intervient lors d'une phase de distension.

4 - Par conséquent, ce modèle conduit à explorer en priorité les zones de cisaillement qui délimitent les terranes constitués de matériels d'âge Paléoproterozoïque et Archéen.

Remerciements : Ce travail s'intègre dans le cadre du projet EEMT 9901ORGM inscrit dans le troisième Programme National de Recherche (PNR3). Ce projet est domicilié au Centre National de Développement des Technologies Avancées (CDTA) et est rattaché à l'ORGM. Nous remercions M Ch. Marignac pour avoir corrigé et enrichi cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- AÏSSA, D.J. E., TALBI, M., AZOUNI, A. ET KESRAOUI, M., **2002**. Les minéralisations aurifères du Hoggar (Sud algérien) et leur relation avec les zones de cisaillements lithosphériques. *Bul. Serv. Géol. de l'Algérie*. V13., n°2, pp. 93-115.
- ALLÈGRE, C.J., ET CABY, R., **1972**. Chronologie absolue du Précambrien de l'Ahaggar occidental. *C.R. Acad. Sci. Paris*, vol. 275, Série D, pp. 2095-2098.
- ALLÈGRE, C.J., CABY, R. ET TATSUMOTO, M., **1972**. U-Th-Pb systematics of hydroxyapatite intergrowths. *Trans Assoc. Geol. Unions*, vol. 53, pp. 556 (abstracts).
- ATTOUM, A., **1983**. Etude géologique et structurale des mylonites panafricaines et des minéralisations aurifères associées dans le secteur de Tirek (Hoggar, Algérie). *Th. Doc. Ing. U.S.T.L. Montpellier*, 98 p.
- BELLAL, M. ET BOUGHAR, F., **1991**. Rapport final sur les travaux de recherches systématiques et levé géologique sur la feuille Tin Felki (Hoggar occidental, Algérie). *EREM, rapport inédit*.
- BERTRAND, J.M.L., CABY, R., DUCROT, J., LANCELOT, J. MOUSSINE-POUCHKINE, P., AND SAADALLAH, A., **1978**. The late pan-african intracontinental linear fold belt of the eastern Hoggar (central Sahara, Algeria): Geology, structural development, U/Pb geochronology, tectonics implications for the Hoggar shield. *Prec. Research*, 7, pp 349-376.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEAIS, J.P., CABY, R. AND BERTRAND, J.M.L., **1994**. Pan-african displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*, vol. 22, pp. 641-644.
- BLAISE J., **1967**. Le Précambrien du Tazat. Sa place dans les structures du Hoggar oriental C.N.R.S., *Ser. Géol.*, 7, 197p.
- BOULLIER A.M., **1982**. Etude structurale du centre de l'Adrar des Iforas (Mali). Mylonites et tectogenèse. *Thèse d'Etat, INPL Nancy*, 327p.
- BOULLIER, A.M. ET BERTRAND, J.M.L., **1981**. Tectonique tangentielle profonde et couloir mylonitique dans le Hoggar central polycyclique (Algérie). *Soc. Géol. France Bull., Sér.* 7, 38, PP 17-22.
- CABY, R., **1970**. Evolution préorogénique, site et agencement de la chaîne panafricaine dans le NW de l'Ahaggar (Sahara algérien) : sa place dans l'orogénèse panafricaine en Afrique occidentale. *Notes et Mem. Serv. Géol. Mar.*, n° 236, pp 65-80.
- CABY R., ANDREPOULOS-RENAUD, V., ET GRAVELLE, M., **1982**. Cadre géologique et géochronologie U/Pb sur zircon des batholites précoces dans le segment panafricain du Hoggar central (Algérie). *Bull. Soc. Géol. Fr.* XXIV, pp. 677-684.

- CABY, R., BERTRAND, J.M.L. ET BLACK R., 1981.** Pan-African Ocean closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, Central Sahara. Precambrian Plate Tectonic. *Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam*.
- CABY, R. ET MOUSSU, H., 1967.** Une grande série déstructurale du Sahara: stratigraphie et évolution structurale de la „série pourprée“ dans l'Asseg'rad et le Tanezrouft oriental (Sahara algérien). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7), t. IX, pp. 876-882.
- COTTIN, J.Y., LORAND, J.P., AGRINIER, P., BODINIER, J.L. AND LIEGEOIS, J.P., 1998.** Isotopic (O, Sr, Nd) and trace element geochemistry of the Laouni layered intrusions (Pan-African belt, Hoggar, Algeria): evidence for post-collisional continental tholeiitic magmas variably contaminated by continental crust. *Lithos* 45 (1998), pp. 197-222.
- FERKOUS, K., 1995.** Filons de quartz aurifères dans une zone de cisaillement lithosphérique pan-africaine (Amesmessas-Tirek, Hoggar ouest, Algérie). *Thèse de doctorat de l'Université Montpellier II, France*, 264 p.
- FERKOUS, K. AND LEBLANC, M., 1995.** Gold mineralization and associated hydrothermal alteration in a late Proterozoic shear zone (Hoggar, Algeria). *Mineralium Deposita* 30, pp. 116-124.
- FERKOUS, K. AND MONIÉ, P., 2002.** Neoproterozoic shearing and auriferous hydrothermalism along the lithospheric N-S East In Ouzzal shear zone (Western Hoggar, Algeria, North Africa). *In journal of African Earth Sciences* 35, pp. 399-415.
- GRAVELLE, M., 1969.** Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. *Thèse d'Etat, Univ. Paris*, 298 p.
- GROVES, D.I., 1990.** Structural setting and control of gold deposits. Nuna conférence on greenstone gold and crustal evolution, *Val d'or, May 1990*.
- HADDOM, H., CHOUKROUNE, P. AND PEUCAT, J.J., 1994.** Evolution of the Precambrian In-Ouzzal block (Central Sahara, Algeria). *Precambrian Research*, 65, pp. 155-166.
- IBRAHIM OUALI, M., SEMIANI, A. ET FERKOUS, K., 1987.** Rapport final sur les travaux de recherches systématiques et levé géologique sur la feuille Silet (Hoggar occidental, Algérie). *EREM, rapport inédit*.
- HOLSER, W.T., 1979.** Trace elements and isotopes in evaporites. In *Marine Minerals. R.G. Burns, ed., Reviews in Mineralogy Min. Soc. Amer.*, pp. 295-346.
- ITSKOV, A. ET AL., 1987.** Notice explicative de la carte géologique et de la carte des gîtes minéraux du Hoggar oriental, à l'échelle 1/500 000. *Rapport ORGM inédit*, n° 508-2.
- JOHNSON, M.C. AND RUTHERFORD, R.J., 1989.** Experimental calibration of the Al-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Calderia (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, pp. 837-841.
- KOUADRI, M., 1983.** Etude des minéralisations aurifères du district d'In Ouzzal sur l'exemple de Tirek et Amesmessas (SW du Hoggar, Sahara central algérien). *Thèse de Docteur ingénieur. Univ. Paris VI, France*, 168p.
- LANCELOT, J.R., BOULLIER, A.M., MALUSKI, H. AND DUCROT, 1983.** Deformation and related radiochronology in the late Pan-African mylonitic shear zone, Adrar des Iforas (Mali). *Contrib. Mineral.*, 82, pp. 312-326.
- LELUBRE, M., 1952.** Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara Central). *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, 2ème série, n°22.
- LIEGEOIS J.P., BERTRAND, J.M. AND BLACK, R., 1987.** The subduction - and - collision related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas (Mali): a review *Geological Journal*, 22, pp. 185-211.
- LIEGEOIS, J.P., BERTRAND, BLACK, R. AND NAVEZ, J., 1994.** Early and late Pan-African orogenesis in the Air Assembly of terranes (Tuareg shield, Niger). *Precambrian Research* 67, pp. 59-88.

LA MÉTALLOGÉNIE DE L'OR LIÉE À L'ÉVOLUTION DE LA CHAÎNE PANAFRICAINNE DU MASSIF DU HOGGAR (SUD DE L'ALGÉRIE) :
INFLUENCE DES SOCLES ANTÉ – PANAFRICAINS DANS LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

- MARIGNAC, CH., SEMIANI, A., FOURCADE, S., BOIRON, MC., JORONN, J.L., KIENAST, J.R. AND PEUCAT, J.J., 1996. Metallogenesis of the late Pan-African gold bearing East In Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria): *J. Metamorphic Geol.*, pp. 783-801.
- MERIEU, D.J.E., 1987. Données nouvelles sur les granitoïdes du Pharusien de la région de Timgaouine. Pétrologie et évolution géodynamique. *Thèse Doct. Univ. Nancy I*, 198 p.
- OUZEGANE, K., 1987. Les granulites Al-Mg et les carbonatites de la série de l'In Ouzzal, NO du Hoggar, Algérie. *Thèse d'Etat. Université Paris VI*, 265 p.
- PEUCAT, J.J., BERNARD-GRIFFITHS, J., OUZEGANE, K., HADDOUM, H. AND KIENAST, J.R., 1991. Behaviour of Sr, Nd, Pb isotopic systems during a high temperature granulite metamorphism. *Terra, Abstr., EUG VI*, p.506.
- PICCIOTTO, E., LEDENT, D. ET LAY, C., 1965. Géochronologie de quelques roches du socle cristallin phyllien du Hoggar (Sahara central). Actes du 151e Coll. Int. Géochronologie absolue, CNRS, Paris, pp. 277-289.
- PIERRE, R.W., ORTTLIEB, L. AND PERSON, A., 1984. Supratidal evaporitic dolomite at Ojo de Liebre Lagoon: Mineralogical and isotope of primary crystallisation. *J. Sediment. Petrol.*, 54, pp. 1049-1061.
- STACEY, J.S. AND KRAMERS, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Letters*, V 26, pp 207-221.
- SCHMIDT, P.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-In hornblende barometer.
- SEMIANI, A., 1995. Métallogénie de la zone de cisaillement aurifère est-ouzaillienne: structure, pétrologie et géochimie des gisements d'or de Tirek-Amesmessia (Hoggar occidental, Algérie). *Thèse de doctorat de l'Université de Rennes I, France*, 262 p.
- SEMIANI, A., MARIGNAC, CH., FOURCADE, S., BOIRON, M.C., JORONN, J.L. AND KIENAST, J.R., 1995. Metallogenesis of the gold bearing east-ouzzal shear zone (Hoggar, Algérie). *Proceedings of the third biennial SGA meeting, Prague/Czech Republic 28-31 August 1995*.
- SYNTCHOUK, Y.A. ET AL., 1984. Notice explicative de la carte des formations géologiques, de la carte inventaire des gîtes métallifères, de la carte d'interprétation des champs géophysiques, de la carte métallogénique prévisionnelle et de la carte des prévisions et recommandations au 1/500 000. *EREM, rapport inédit*.
- VIALETTE, Y. AND VITEL, G., 1981. Geochronological data on the Amsinassene-Tefedest block (Central Hoggar) and evidence for its polycyclic evolution. *Precambrian Res.*, 9; pp. 241-254.
- VITEL, G., 1977. Le cycle magmatique polyphasé d'âge Pharusien du Hoggar Central (Sahara Central). *Bull. Soc. Geol. France t. XIX*. Pp. 1005-1010.
- VITEL, G., 1979. La région Tefedest-Atakor du Hoggar Central (Sahara). Evolution d'un complexe granulitique précambrien. *Thèse d'Etat, Univ. Paris VII*, 324 p.