

LES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DU HOGGAR (SUD ALGÉRIEN) ET LEURS RELATIONS AVEC LES ZONES DE CISAILLEMENTS LITHOSPHERIQUES

**Djamel Eddine AISSA*, Mohamed TALBI*, Abdelhakim LAZOUNI*,
Mokrane KESRAOUI* et Samia NEDJARI***

RÉSUMÉ

Le Hoggar (sud algérien) est constitué de plusieurs terranes séparés par des mégadécrochements lithosphériques sub-méridiens ductiles (shearzones) qui ont commencé à jouer à la fin de l'orogénèse panafricaine (650-611 Ma). Les principaux gisements et indices aurifères du Hoggar sont localisés dans ou à proximité de ces zones de cisaillement dont le principal rôle a été de favoriser la mise en place de roches magmatiques diverses qui à leur tour ont favorisé la circulation de fluides.

Il s'agit de filons lenticulaires de quartz à or natif, pyrite, sphalérite, galène et dans une moindre proportion : chalcopyrite, cuivre gris, minéraux de bismuth; où les seules altérations hydrothermales consistent en une bérésitisation (calcite, séricite, chlorite, pyrite). Mis à part quelques exceptions, l'or natif s'est déposé en une seule phase (en ne tenant pas compte de la phase d'altération supergène qui le remobilise), et se présente soit libre dans la gangue, soit soulignant les microfractures des sulfures, voire même soulignant les stylolites. La distribution de l'or est extrêmement irrégulière, néanmoins dans tous les cas, les teneurs en or diminuent vers la profondeur et l'essentiel des réserves est présent dans la partie supérieure des filons.

Tous ces gisements et indices sont encaissés dans des terrains ayant subi un métamorphisme (prograde ou rétrograde) de type "greenschist facies". Ils diffèrent des types "shear zone" et "archean epizonal lode-gold deposits".

D'autre part, il ressort que l'âge du terrain encaissant les filons a joué un grand rôle dans la richesse ou la pauvreté en or de ces derniers. En effet, les gisements les plus riches sont encaissés dans les terrains d'âge archéen (Tirek, Amessmessa); les moyennement riches dans des terrains d'âge protérozoïque supérieur (Tiririne,...), alors que les plus pauvres sont encaissés dans des terrains paléozoïques et plus récents.

En outre, les méga-shearzones structurant le Hoggar contrôlent aussi d'autres minéralisations telles Sn, W, Nb, Ta, Be, U.

Mots clés : Hoggar - Cisaillements lithosphériques - Filons de quartz aurifères.

* Laboratoire de Métallogénie - Magmatisme; Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire, USTHB, Alger. aissadj@yahoo.fr

- Manuscrit déposé le 11 Juillet 2001, accepté après révision le 08 Décembre 2002

GOLD MINERALIZATIONS IN THE HOGGAR (SOUTH ALGERIA) AND THEIR RELATIONSHIP WITH CRUSTAL-SCALE SHEAR ZONES

ABSTRACT

The Hoggar (South Algeria) is constituted by several terranes separated by major transcurrent N-S lithospheric faults who are late Pan-African (650-611 Ma) dextral ductile shear-zones, that can be traced for hundred of kilometers. The main gold deposits and occurrences of Hoggar are located in or near these shear zones who have played only a passive role, consisting mainly in mobilization of thermal fluids.

The native free gold, pyrite, galena, sphalerite, (chalcopyrite, bismuth minerals) are deposited in a brecciated quartz occurring in open fractures affecting ultramylonites and mylonites rocks, leading to the formation of quartz veins and lenses associated with a quartz-sericite-pyrite-carbonates (beresite) alteration.

The gold distribution is very irregular in veins and lenses, however, the gold contents decrease distinctly toward the depth.

These gold veins basically differ from the shear zone and Archaean epizonal lode-gold deposits.

On the other hand, rich and poor gold veins are directly related to the age of hosts rocks. Indeed, the richest gold veins are hosted in archaean rocks (Tirek and Amessmessa deposits), medium contents in proterozoic rocks (Tiririne deposit); whereas poorest veins are hosted in the upper proterozoic and more recent rocks.

Moreover, these shear-zone control also many other mineralization, such Sn, W, Nb, Ta, Be, U.

Key words : Hoggar - Megashear zones - Gold mineralizations

INTRODUCTION

Durant la période 1969-1995, sous l'égide de la SONAREM, puis de EREM ORGM des travaux de recherches ont permis de découvrir plus de 400 gisements et indices aurifères à travers tout le Hoggar. Ce dernier représente un important bouclier, façonné principalement durant les deux phases (750-660 Ma et 650-550 Ma) de l'orogénèse panafricaine. Il est caractérisé par des décrochements lithosphériques sub-méridiens ductiles (shear zones) d'extension hectométrique, qui délimitent le Hoggar en divers blocs crustaux dits terranes (Black *et al.*, 1994). Ces structures tectoniques majeures, sont considérées par divers auteurs comme étant synchrones de la phase tardive panafricaine (600-550 Ma)

de la collision entre une marge continentale passive à l'ouest du craton africain et la marge continentale active du Hoggar. Ces terranes s'individualisent par leurs propres caractéristiques lithologiques, métamorphiques, magmatiques et tectoniques et sont séparés par des mégashear-zones ou des fronts de chevauchement dont les limites peuvent parfois être soulignées par des assemblages ophiolitiques, ou des molasses (Black *et al.*, 1994).

C'est autour de ces grands accidents lithosphériques sub-méridiens (fig. 1 et photo 1) qui ont joué un rôle important dans la structuration du Hoggar et dans le contrôle de la mise en place des roches magmatiques qu'on rencontre une grande densité non seulement de minérali-

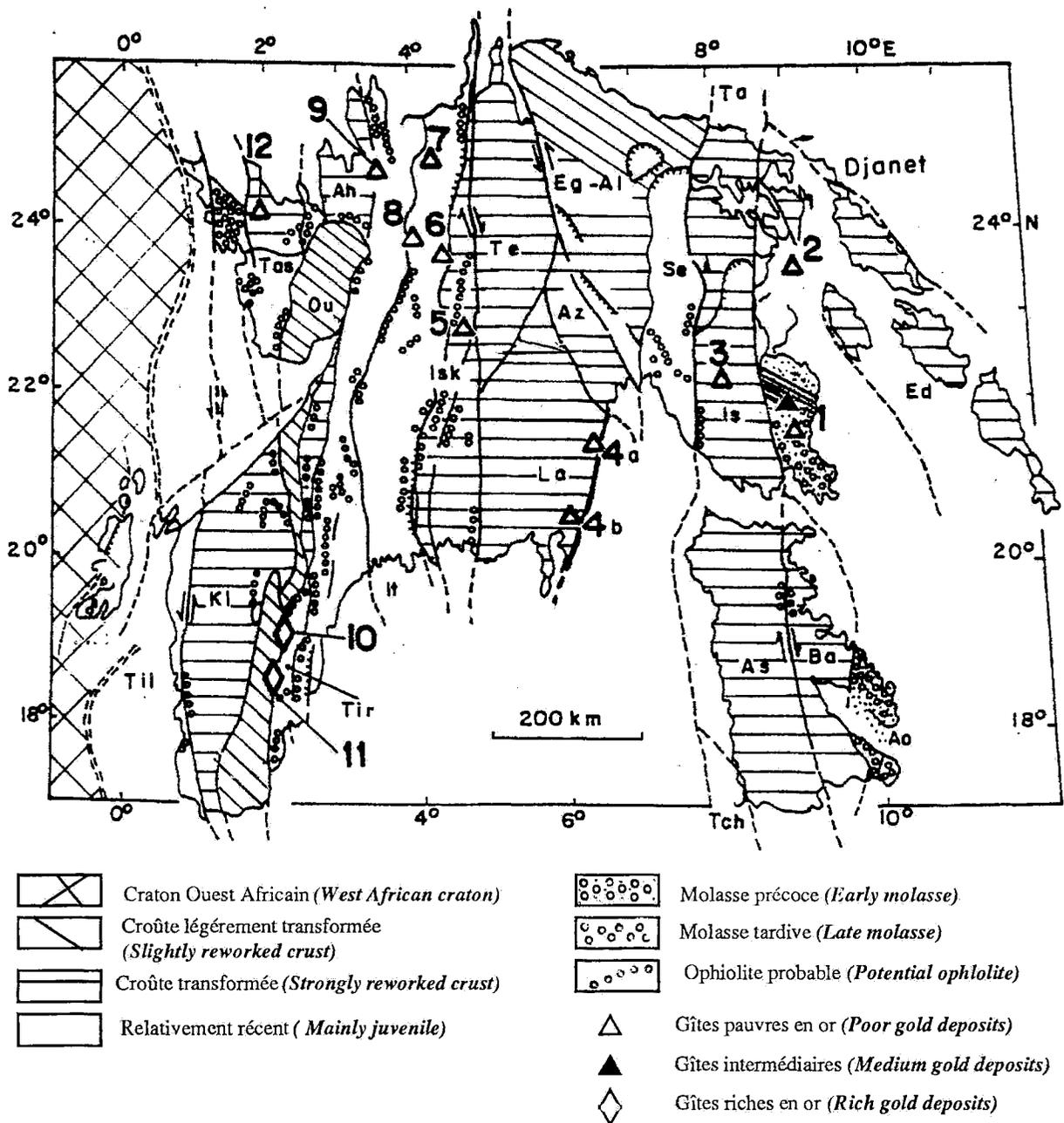


Fig. 1 - Carte des principaux indices et gisements aurifères du Hoggar, localisés dans ou près des shear-zones lithosphériques. (Le fond géologique est de Black *et al.*, 1994, modifié pour la région de Tiririne)

(*Main gold deposits and occurrences of Hoggar shield located in or near lithospheric ductile shear-zones. (Geological map is taken from Black and al., 1994 ; and modified for Tiririne area)*)

Principaux gisements et indices aurifères (*Main gold deposits*) : 1. Tiririne-Hanane-Timoletine, 2. Tin Massaret-Tin Zekri, 3. Issalane, 4a. InEbegui, 4b. Tin Seririne, 5. Silet, 6. Tekouyat, 7. Tesnou, 8. Tin Felki, 9. Tan Chafao, 10. Tirek, 11. Amessessa, 12. Ouallen.

Abréviations des terranes de l'Est vers l'Ouest (*Abbreviations of terranes from East to West*) :

DJ : Djanet, Ed : Edembo, Ao : Aouzegueur, As-Is : Assod -issalane, Ta : Tazat, Se : Serouenout, Eg-Al : Aleksod, Az : Azrou, Te : Tefedest, La : Laouni, Isk : Iskel, It : In Teldini, Tir : Tirek, Ah : Ahnet, Ou : In Ouzzal, Tas : Tassendjanet, Ki : Kidal, Tii : Tilemsi.

sations aurifères, mais aussi d'autres métaux tels que Sn, W, Nb, Ta, Be

Cet article qui passe en revue les principaux gisements et indices aurifères vise à mettre en évidence les principaux facteurs régissant la distribution des minéralisations dans le but de faciliter des prospections futures.

REPARTITION DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES

Les minéralisations aurifères du Hoggar se présentent essentiellement sous forme de filons lenticulaires irréguliers et de disséminations se répartissant dans les différents terranes constituant ce bouclier. Ainsi de l'Est vers l'Ouest du Hoggar on distingue les terranes incluant les gisements et indices suivants (fig.1) :

1 - Le Terrane d'Aouzegueur (Ao)

Le Terrane d'Aouzegueur (Ao) situé à l'Est du Hoggar renferme les gisements de Tiririne-Hanane-Timoletine (fig.1, n°1), situés à une trentaine de km à l'Est du décrochement lithosphérique 8°30

1.1 - Le gisement de Tiririne

Le gisement de Tiririne est situé à 450 km au Sud-Est de Tamanrasset et à 120 km au Nord de la frontière du Niger (fig. 1 et 2). L'enveloppe du gisement est constituée essentiellement par une série volcano sédimentaire (puissance ~ 600m) renfermant des sills d'andésites, de dacites et de rhyo dacites (Aissa et Bedouhène, 1988). La sédimentation est antérieure à la mise en place des nombreuses roches plutoniques intrusives (gabbros, diorites, granodiorites) d'âge 610-585Ma qui la recourent. Cette série renferme des ophiolites, des tonalites-trondhjemit-granodiorite d'âge 730 Ma (Black *et al.*, 1994). Il est communément admis un âge protérozoïque

supérieur à la série basale de Tiririne. Cette dernière, surmontée en discordance par deux autres séries détritiques est intrudée par des roches magmatiques panafricaines : granites roses à gros grains, granodiorites, diorites (Talbi, 1984). Notons en outre que les travaux de l'ORGM ont mis en évidence quelques affleurements sporadiques de roches archéennes dans la région. Le gisement de Tiririne est subdivisé en 3 grands districts filoniens, chacun d'eux pouvant renfermer plusieurs dizaines de filons parallèles appartenant à 2 systèmes conjugués l'un à N050° et l'autre à N120°. Les filons de quartz sont encaissés aussi bien dans la série volcano-sédimentaire que dans des granites d'âge ~ 480 Ma. ayant intrudé cette série.

Les filons de quartz sont verticaux à subverticaux, (70 à 85°); ceux orientés à N050° pendent vers le SE ou le NW; alors que les N120 pendent vers le NE ou le SW. (Talbi, 1984). Les teneurs en or diminuent irrégulièrement vers la profondeur (100 à 300m), et deviennent pratiquement nulles à la base des filons (Aissa et Bedouhène, 1988). Ce gisement est divisé en plusieurs districts :

1 - *Le district de Tiririne I* encaissé dans la série volcano-détritique est lui-même subdivisé en plusieurs champs filoniens :

a - *les champs filoniens septentrionaux* : ces filons sont encaissés essentiellement dans des séries du protérozoïque, rarement de l'archéen (rapports inédits de l'ORGM) et se subdivisent en :

- Le champ des dunes du Nord renferme 70 filons et filonets subverticaux (70-85°). La longueur des filons varie de 20 à 1200m, leur puissance de quelques cm à 1m 50. La teneur moyenne en or dans ce champ est de 34g/t,

- le champ Nord-Est renferme environ 50 filons subverticaux de 20 à 800m de longueur et de 0.3 à 1m de puissance. Les teneurs en or varient de 2.5 à 34 g/t,

- le champ occidental : renferme environ 94 filons subverticaux, dont seuls 21 sont aurifères. Les teneurs moyennes en or peuvent atteindre 44 g/t,

- le champ central renferme environ 60 filons subverticaux de 20 à 1000m de longueur, et de 0.1 à 1.55m de puissance. La teneur moyenne en or est de l'ordre de 22 g/t,

- le champ sud-ouest renferme environ 50 filons subverticaux (20 à 1000m de longueur, et de 0.1 à 5m de puissance) où seuls 7 sont faiblement aurifères.

b - les champs filoniens méridionaux : ces filons, de même direction que les précédents, sont encaissés essentiellement dans des séries du Paléozoïque et se subdivisent en :

- le champ sud renferme environ 83 filons subverticaux de quartz (20 à 1000m de longueur, de 0.6 à 1.0m de puissance) pratiquement stériles et où seulement 17 sont faiblement aurifères,

- le champ extrême sud renferme 105 filons de quartz stériles dont seulement 6 sont faiblement aurifères (1.34 à 9.20 g/t),

Remarque : Les teneurs en or les plus importantes sont rencontrées dans les filons encaissés dans les terrains du Protérozoïque et de l'Archéen; elles diminuent drastiquement vers le sud où les roches encaissantes sont essentiellement d'âge Paléozoïque.

L'étude des filons a permis de mettre en évidence trois types de quartz : un quartz rouge massif, un quartz blanc massif et un quartz blanc grisâtre rubané. L'essentiel de la minéralisation est portée par le quartz rouge massif riche en oxydes de fer.

La minéralisation est constituée de pyrite, chalcopryrite sphalérite, galène et or natif (photo 8). La galène renferme des inclusions ultramicroscopiques d'altaite, hessite et tetradymite. L'or

natif est soit libre dans la gangue soit remplissant les microfractures affectant les sulfures. Il ne s'est déposé qu'en une seule phase, suivie d'une remobilisation dans la zone d'altération supergène où il est associé à : hématite, goethite, limonite, covellite, anglésite, cérusite, malachite, azurite. Dans cette zone, l'or se présente souvent sous forme de grains ou de pellicules tapissant les cavités de dissolution d'anciens sulfures.

2 - Le district de Tiririne II (fig. 2) situé au Sud de Tiririne I, renferme environ 97 filons subverticaux de 15 à 1300m de longueur, et de 0.5 à 6m de puissance. Les filons sont très pauvres en or quand ils sont encaissés dans des terrains du Proterozoïque supérieur; alors qu'ils deviennent stériles quand ils passent dans le Paléozoïque.

La teneur moyenne en or pour l'ensemble du district est de l'ordre de 0.62g/t.

3 - Le district de Tiririne III (fig.2) situé à 50km au SW de Tiririne I, renferme environ 30 filons (puissance moyenne de 1.08m) de quartz subverticaux stériles (photo 7); exceptés 5 filons pauvres en or. Comme pour Tiririne II, ce district est pratiquement stérile car les filons sont encaissés dans la série détritique supérieure d'âge Paléozoïque ou plus récent.

1.2 - Le gisement de Timoletine -Hanane

Ce gisement est situé à 50 km au Sud de Tiririne (fig. 1 et 2).

Les filons de quartz sont exclusivement encaissés dans des granites d'âge 480Ma qui intrudent la série volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur. A Hanane, les filons occupent souvent la zone de contact granites-dykes d'andésites.

Les limites séparant les filons des roches encaissantes sont nettes. Les épontes sont soulignées par une salbande argileuse de quelques centimètres d'épaisseur.

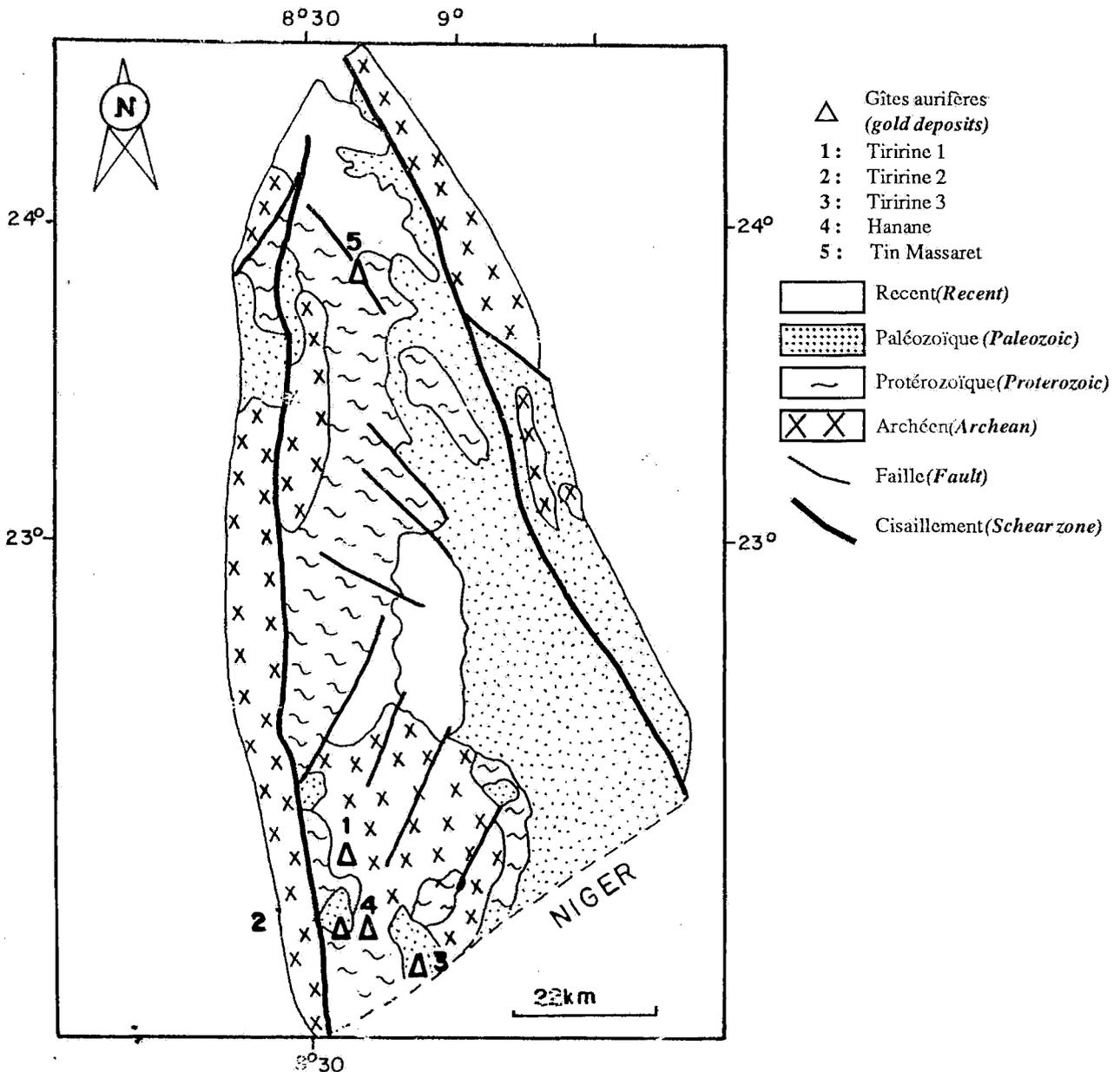


Fig. 2 - Carte géologique simplifiée du champ minier de Tiririne- Tin Massaret (d'après ORGM, inédit)
Simplified geological map of the Tiririne-Tin Massaret gold deposits (after ORGM, unpublished)

Les filons de quartz plus ou moins rectilignes présentent deux directions principales : une direction sub méridienne et une direction NE - SW prédominante.

Localement certains filons peuvent se présenter en X ou en Y, suggérant ainsi qu' il s'agit d' un remplissage de fentes de tension.

La longueur des filons est très variable et peut varier de 100 à 400 m et peut atteindre parfois 800 m comme c'est le cas du filon principal Hanane.

La puissance des filons est également très variable, et peut atteindre une moyenne de 60 à 80cm, avec parfois des maxima allant jusqu'à 3m.

Les teneurs en or varient de 1 à 41.2 g/t.

L'étude des différents filons a permis d'individualiser 3 générations de quartz selon la chronologie de mise en place suivante : un quartz rougeâtre rubané, un quartz blanc laiteux et un quartz blanc grisâtre.

L'essentiel de la minéralisation aurifère est portée par le quartz blanc grisâtre et dans une moindre mesure par le quartz rougeâtre.

La minéralisation est caractérisée par une répartition hétérogène et irrégulière dans les filons de quartz.

L'étude microscopique met en évidence une paragenèse simple : pyrite, chalcoppyrite, galène et or (en une seule génération).

Les minéraux d'altération supergène sont : malachite, azurite, covellite, cérusite, anglésite, hématite, goethite, limonite. Dans cette zone, l'or se présente souvent sous forme de grains ou de pellicules tapissant les cavités de dissolution d'anciens sulfures.

1.3 - L'indice de Tin Massaret

L'indice de Tin Massaret (fig. 1 et 2) se trouve à 150 km au SW de Djanet entre l'accident 8° 30' et un satellite oblique de ce dernier.

Les filons de quartz aurifères sont encaissés dans une série magmatique d'âge panafricain composée de granites roses, granodiorites, diorites, andésites et gabbros appartenant probablement à une même lignée magmatique. Le passage d'un terme à un autre se fait soit d'une manière progressive soit par faille.

Ces filons plus ou moins lenticulaires, sont disposés en parallèle ou en échelons selon 3 directions principales N40°, N70° et N180°. Ils montrent les caractéristiques suivantes :

puissance moyenne 30 à 40 cm, longueur moyenne 100 à 150m, teneur moyenne en or 8ppm (en excluant les fortes teneurs).

La paragenèse minérale est composée essentiellement de pyrite, marcasite, sphalérite, galène et en moindre proportion chalcoppyrite, bismuth natif et or natif (libre ou soulignant les microfractures des sulfures). Les minéraux d'altération supergène sont les mêmes que dans le précédent gisement.

En conclusion, dans le terrane d'Aouzeguer, le méga-shearzone 8°30' et ses satellites sont associés non seulement avec les minéralisations aurifères, mais à des métaux rares : Sn-W-Nb-Ta-Be. Ces méga-décrochements ont favorisé la montée de diverses roches magmatiques mafiques et acides ayant joué un rôle de source de métaux et surtout de moteur thermique ayant provoqué la mise en circulation d'énormes quantités de fluides à l'origine des minéralisations. Ainsi les roches granitiques du massif d'Ebelekane (Nedjari *et al.*, 2001) mises en place à la faveur du méga-décrochement séparant le terrane d'Aouzeguer (Ao) de celui d'Issalane (Is) auraient été à l'origine des minéralisations à Ta-Nb-Sn-W.

Concernant les minéralisations aurifères, elles ont approximativement toutes les mêmes caractéristiques, exceptées les teneurs en or. En effet, quand les filons sont encaissés dans les formations volcano-sédimentaires d'âge Protérozoïque, les teneurs en or sont élevées; dans les gabbros, diorites et granites panafricains elles sont moyennes; alors que les teneurs les plus basses voire nulles sont rencontrées dans les filons encaissés dans les séries d'âge paléozoïque ou plus récent.

2 - Le terrane de Laouni (La)

Le terrane de Laouni renferme les indices d'In Ebegui (fig. 1, 4a) et de Tin Seririne (fig. 1, 4b) qui sont représentés par un système de filons de quartz à tourmaline recoupant un grand massif de gabbros.

Ce dernier, renfermant des enclaves de roches protérozoïques, est intrusif dans une série paléozoïque constituée de séricitoschistes, de grés, de tufs andésitiques et de dacites porphyriques.

La paragenèse est simple : pyrite, sphalérite, galène et en moindre proportion chalcopryrite, bismuth natif, bismuthinite, or natif; dont l'association est identique aux indices et gisements précédents. L'altération hydrothermale aux épontes se résoud essentiellement à la précipitation de calcite, chlorite, épidote et talc.

Les filons ont deux directions principales N-S et NE-SW avec des longueurs variant de quelques mètres à une centaine de mètres et une puissance de quelques cm à 3m.

La teneur moyenne en or est de l'ordre de 6g/t, mais les teneurs les plus importantes (15 g/t en moyenne) sont rencontrées quand les filons de quartz sont voisins ou recoupent les enclaves hectométriques de roches protérozoïques.

Remarque : Par rapport aux gisements et indices précédents, on note l'apparition de tourmaline. Cette dernière, serait certainement en liaison avec la mise en place des granites potassiques d'âge Panafricain (670Ma) et des minéralisations à Sn-W-Nb-Ta liées. D'autre part, bien que les filons soient encaissés dans un important massif de gabbros à olivine, il n'en demeure pas moins que les teneurs en or restent relativement faibles; elles ne sont appréciables que quand les filons sont encaissés dans les roches du Protérozoïque.

3 - Le terrane d'Iskel (Isk)

Le terrane d'Iskel est constitué par un faciès d'ancienne plate-forme sédimentaire recoupée par des sills mafiques et ultramafiques, des granites (photo 2) calco-alcalins à 870Ma et des granites potassiques à 840 Ma (Black *et al.*, 1994). Il renferme les indices de Silet (fig.1, n°5), Tekouyat

(fig.1, n°6), Tesnou (fig.1, n°7) Seledrar, Tin Felki (fig.1, n°8), Tan Chafao (fig.1, n°9). Les minéralisations aurifères de type filonien jalonnent les décrochements ductiles 4°50, 4°13 et leur satellites. Les filons de quartz aurifères sont encaissés dans les granites et granodiorites et parfois même dans des amphibolites du Protérozoïque.

A noter que les filons sont disposés préférentiellement dans des couloirs cataclasés et mylonitisés, selon deux directions principales NE-SW et E-W

3.1. Le gisement de Tekouyat

Le gisement de Tekouyat (fig.1; n°6) est situé à 300 km au NW de Tamanrasset et à 70 km à l'Est d'In Ecker. Il est encaissé dans des failles de second ordre longeant le décrochement 4°38. Les filons de quartz aurifères sont encaissés surtout dans des granodiorites et des rhyolites d'âge Panafricain et, moins fréquemment dans les diabases et les microdiorites. Les roches environnantes sont constituées essentiellement d'amphibolites et de quartzites.

Les filons aurifères, dont les épontes sont souvent séricitisées et greisenisées, montrent une orientation variant de N40 à 140 pour des pendages de 40 à 70°, une longueur de 10 à 280m, et une puissance de 0.1 à 2.2m.

Ces filons sont constitués essentiellement de:

- quartz stérile en plages irrégulières et en druses précoces;
- quartz microcristallin en microveinules et en remplissages de vides, qui accompagne les sulfures (pyrite, sphalérite, chalcopryrite, galène, cuivres gris) et or natif. Ce dernier est soit libre dans le quartz, soit remplissant des microfractures dans les sulfures.

Séricite, chlorite, épidote, calcite, oxydes et hydroxydes de fer constituent les minéraux d'altération hydrothermale.

Les teneurs en or varient de 0.8 à 54.75 ppm. La moyenne, en excluant les fortes teneurs, est de 18ppm

3.2. Le gisement de Tin Felki

Le gisement de Tin Felki (fig. 1, n°8) est situé à 50 km à l'Ouest de la base d'In Eker, dans le bassin de l'oued Tekouyat. Il est encaissé dans des couloirs délimités par des failles de second ordre longeant l'accident 4°13.

La minéralisation se présente sous forme de filons de quartz en échelons encaissés dans des roches volcaniques du Proterozoïque. Ils sont orientés N40 à N60° avec un pendage de 30 à 60°, une longueur 200 à 1500 m et une puissance 0.15 à 3 m.

Ces filons sont composés essentiellement de quartz précoce blanc-gris drusique et de quartz rosâtre bréchi que qui accompagne les sulfures (pyrite, chalcopryrite, galène) et l'or natif. Les teneurs en or sont très irrégulières de 0.5 à 405 ppm. (La moyenne, en excluant les fortes teneurs, est de 15 ppm; variance 1082; coefficient de variation 241).

En conclusion, dans ce terrane, divers types de granites et autres roches magmatiques jalonnent le décrochement 4°50 et ses satellites. Les teneurs en or sont appréciables car les roches magmatiques intrudent des terrains d'âge Proterozoïque. Par ailleurs, l'apparition de la tourmaline et une greisenisation aux épontes des filons aurifères s'explique par l'interférence avec les fluides à l'origine des minéralisations à Sn-W-Nb-Ta liées aux phases tardives des granites panafricains.

4 - Le terrane de Tirek (Tir)

Le terrane de Tirek renferme deux principaux gisements de classe mondiale (Tirek et Amessmessa) et de nombreux autres gisements et indices (fig.1, n° 10 et 11; fig.3).

Ils jalonnent le couloir mylonitique de l'accident majeur Est Ouzzalien 2°30 (ou Zone de Cisaillement Est Ouzallienne : ZCEO).

Cette ZCEO représente un cisaillement ductile dextre subvertical actif à la fin de l'orogénèse panafricaine (650-611 Ma : Ferkous et Leblanc, 1995). Il sépare les gneiss archéens granulitisés à l'éburnéen (2 Ga) du bloc In Ouzzal à l'Ouest, des gneiss du Protérozoïque moyen déformés et métamorphisés au Panafricain (650-600Ma) à l'Est. De largeur kilométrique, cette ZCEO (faciés schistes verts) est dissymétrique (ultra-mylonites, mylonites, protomylonites d'W en E). Des corps de pyroxénites, gabbros, diorites (photo 3), dacites, rhyolites et rares carbonatites, se sont mis en place dans cette zone de cisaillement et sont affectés par la déformation ductile puis fragile (Semiani, 1995; Ferkous et Leblanc, 1995; Marignac *et al.*, 1996). Les roches ont subi localement des transformations hydrothermales profondes, à l'exemple de la présence de péridotites métasomatisées dans la région d'Amessmessa (photo 4).

La mise en place des minéralisations est déconnectée du fonctionnement de ce shear-zone (Marignac *et al.*, 1996).

4.1 - Le gisement de Tirek

Le gisement de Tirek (fig. 1, n°10 et fig. 3) comprend trois familles de filons de quartz aurifères (Semiani, 1995; Ferkous et Leblanc, 1995) :

- les filons de quartz N-S encaissés dans des ultramylonites d'origines diverses,
- les filons et lentilles de quartz N-S situées sur les bordures ultramylonitisées du massif de gabbro de Tirek,
- les filons et lentilles NE-SW (N10-N65) situés dans des ultramylonites satellites et encaissés également dans des gabbros,

Dans ces deux derniers types, la minéralisation est en majorité portée par des lentilles de quartz de forme sigmoïde.

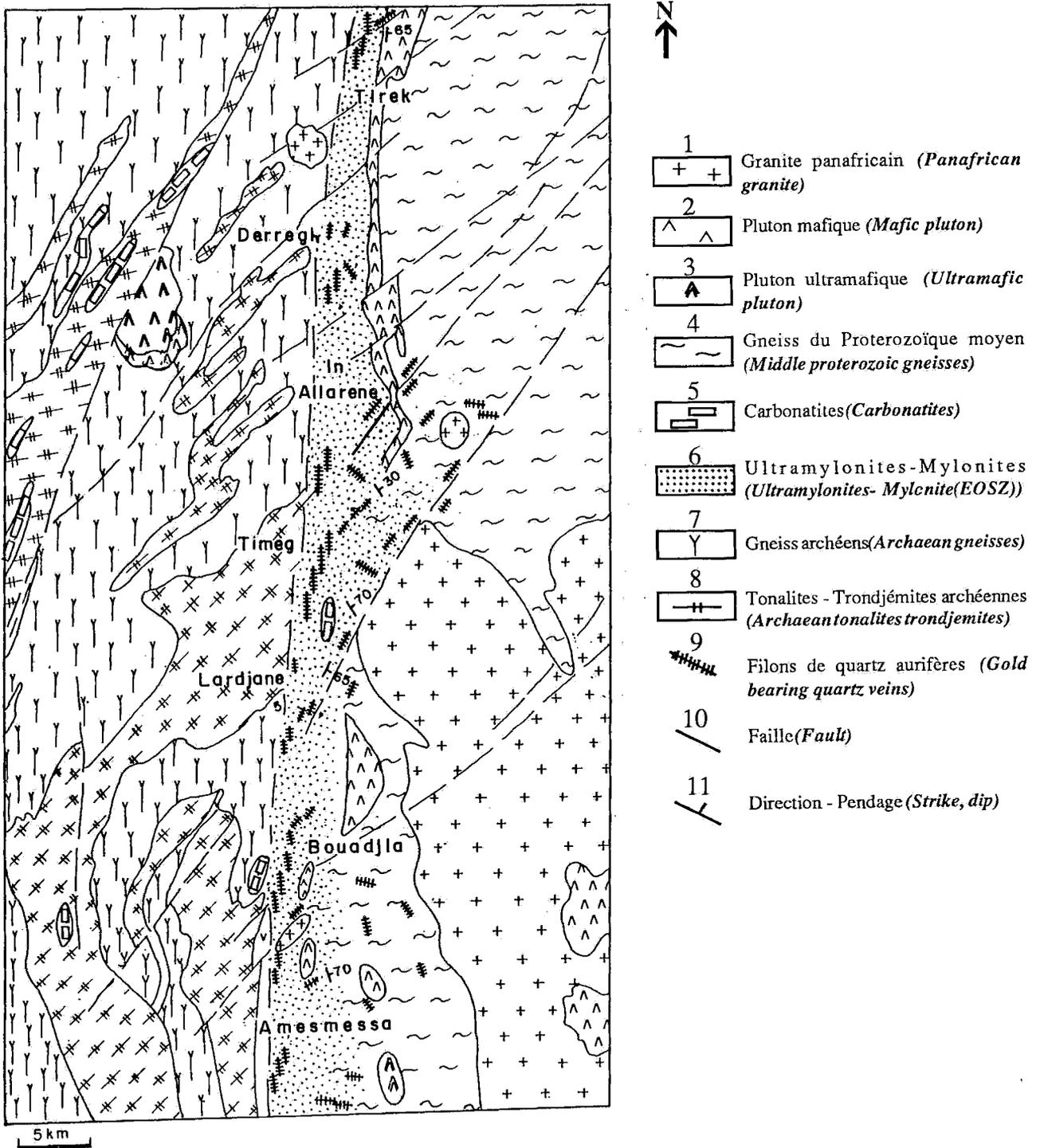


Fig. 3 - Carte géologique simplifiée du champ minier de Tirek-Amesmessa (compilée d'après les données inédites de l'ORMG.)

Simplified geological map of the Tirek-Amesmessa gold field (adapted from unpublished ORGM data)

L'or natif accompagne, mais tardivement, le stade à sulfures constitué par pyrite, chalcopyrite, sphalérite, et très rare galène

Le quartz s'est déposé en trois phases principales ; un quartz massif précoce, stérile; un quartz blanc drusique; un quartz «tardif» microcristallin accompagnant l'or natif et les sulfures. Ce quartz tardif cimente souvent les fragments bréchifiés des quartz précédents; et peut lui-même être parfois bréchifié.

4.2 - Le gisement d'Amessmessa (fig. 1, n°11 et fig. 3)

Par différence avec le cas du gisement de Tirek, les filons N-S (photo 6) dominent largement sur les NE-SW, alors que les E-W demeurent assez rares. Ici les dykes de rhyolites constituent la majeure partie du protolithe des ultramylonites. La galène (à micro-inclusions de minéraux de bismuth) est ici prédominante sur la sphalérite qui se raréfie. Ici aussi, c'est le quartz microcristallin tardif (en ciment de brèche) qui porte l'essentiel de la minéralisation.

4.3 - Le gisement de Djazaïria:

Le gisement de Djazaïria est situé à 13 km au Nord du gisement de Tirek, et constitue le prolongement septentrional de ce dernier.

Les filons de ce gisement sont disposés en échelons parallèles de direction générale N-S à N15° à pendage vertical.

Comme pour les deux gisements précédents, l'essentiel de la minéralisation aurifère est portée par un quartz grisâtre bréchique accompagnant le stade à sulfures où la pyrite prédomine sur les autres minéraux qui deviennent très rares.

Entre les deux gisements de Tirek et Amessmessa, on rencontre divers indices aurifères, dont plusieurs d'entre-eux semblent prometteurs. Aussi distingue-t-on du Nord au Sud les indices suivants (fig. 3) :

4.4 - Indice Derergh

Cet indice (fig.3) est situé à 10 km au Sud du gisement de Tirek dans le couloir mylonitique de l'accident majeur Est Ouzzalien 2°30.

Il est constitué par des filons lenticulaires de quartz encaissés dans l'ultramylonite et dans les gneiss archéens. On note une dominance nette des filons orientés N-S et NE-SW sur ceux orientés NNW-SSE; les pendages variant de 40 à 80°. Ces filons de morphologie lenticulaire sont constitués essentiellement de pyrite-chalcopyrite-galène (à micro-inclusions de bismuth natif) et d'or natif. Ce dernier se présente soit en inclusions dans la galène et la pyrite, soit libre dans la gangue quartzeuse où il occupe les fissures et les stylolites.

Ces corps minéralisés montrent des longueurs variant de 20 à 185m, des épaisseurs variant de 0.15 à 2.2 m et des teneurs en or variant de 0.5 à 890 ppm .

Le traitement statistique des analyses (en excluant les fortes teneurs) a donné les résultats suivants (Lazouini et Aissa, 2000; Lazouini *et al.*, 2002) :

- les teneurs aurifères varient de 0,5 à 171 ppm avec une moyenne de 6.59 ppm, une variance de 115.15, un standard de déviation de 10.73, un coefficient de variation 162.8, un skewness de 2.88 et un kurtosis de 10.98.

Les histogrammes ont montré une distribution dissymétrique du côté des faibles valeurs. Les diagrammes de corrélation ne mettent en évi-

dence aucune relation entre les teneurs et les épaisseurs. Néanmoins, on constate de fortes teneurs aurifères pour les corps minéralisés ayant des épaisseurs variant entre 100 et 120cm; et au delà de cette fourchette les teneurs ont tendance à diminuer.

Il n'y a pas non plus de corrélation entre les teneurs aurifères et les pendages; néanmoins on constate de fortes concentrations aurifères dans l'intervalle 72-86°.

4.5 - Indice In-Allarene

Cet indice est situé à 10km au Sud de Derregh, dans le couloir mylonitique de l'accident Est Ouzzalien 2°30'. Il est subdivisé en deux zones :

zone In-Allarene NE

Cette zone est située dans une branche orientale annexe du cisaillement ductile principal 2°30'. Elle est constituée de plusieurs filons (épaisseur 0.2 à 2.7m) encaissés dans de gneiss mylonitisés, avec une direction générale moyenne de N33°.

La distribution de l'or est plus ou moins régulière dans les filons et les lentilles mais on note cependant que leurs parties centrales renferment des teneurs en or plus importantes et que les teneurs en or diminuent nettement en profondeur

Zone In-Allarene sud

Cette zone située au Sud et SW de la précédente, avec une extension de plus de 8 km, comprend une trentaine de filons et filons lenticulaires, d'orientation moyenne N8, encaissés dans des ultramylonites-mylonites, gneiss granulitisés, amphibolites, dykes mafiques. Mises à part l'orientation et les roches encaissantes, cette zone montre les mêmes caractéristiques que la zone précédente.

A titre d'exemple le traitement statistique de la zone filonienne la plus riche (n°4) et la moins riche (n°7) d'In Allarene a donné les résultats suivants (en excluant les teneurs extrêmes), Lazouni et Aissa (2000) :

Zone filonienne n°4

Moyenne : 11.85 ppm, variance : 187.98, standard deviation : 13.71, coefficient de variation : 115.7, skewness : 1.27, kurtosis : 3.32

Zone filonienne n°7

Moyenne : 3.85 ppm, variance : 21.93, standard deviation : 4.68, coefficient de variation : 121.7, skewness : 1.55, kurtosis : 4.48, mediane : 2.10

4.6 - L'Indice Timeg

Situé à 5 km au sud de l'indice In Allarene sud, il est constitué par une dizaine de filons de direction N10 à N30, de longueur 0.15 à 1.85m, de pendage 40 à 85° et de puissance 0.1 à 2.5m. Les teneurs en or varient de 0.1 à 171.2 ppm

4.7 - L'Indice Lardjane

Localisé à 25km au Nord du gisement d'Ames-messa, il est représenté par quatre filons lenticulaires sub-parallèles de direction moyenne N15° encaissés dans des ultramylonites. Les teneurs en or varient de 0.5 à 144 ppm; en notant que les zones les plus riches en or sont localisées dans les parties centrales des structures

4.8 - L'Indice Bouadjla Nord

Il est situé à 5 km au sud de l'indice Lardjane. Les filons sont de morphologie très complexe (présence des failles d'orientations diverses), où l'on note la présence des lentilles, des veinules ainsi que les grandes bifurcations des filons, d'épaisseurs très importantes.

Les bifurcations des filons de quartz sont faiblement à moyennement riches en or. Ce sont en revanche les terminaisons (extrémités) des filons de quartz qui contiennent les teneurs en or les plus importantes.

5 - Le gisement de Ouallen

Le gisement de Ouallen (fig.1, n°12) est situé à quelques 450 km au Nord-Ouest de Tamanrasset dans une série métamorphique composée pour l'essentiel par des gneiss à biotite, de mica-schistes, d'amphibolites et de charnockites. Les filons de quartz aurifères sont encaissés dans des intrusions de gabbros (785 Ma), de tonalites et granodiorites (570 Ma) et dans des dykes de microgabbros et dolérites.

La minéralisation aurifère est portée par des filons et des fentes de tension organisés en relais, essaims, ramifications, d'orientation N40-70°, de pendage 65-80°, de longueur 10 à 350m, d'épaisseur décimétrique à métrique. Les filons et lentilles d'orientation N90-110 sont rares et pauvres en minéralisation.

La minéralisation montre approximativement les mêmes caractéristiques que celle de Tirek-Amessmessa.

6 - Caractères communs aux minéralisations des régions de Tirek, Amessmessa et Ouallen

Les minéralisations aurifères consistent en des essaims de filons lenticulaires (et lentilles) très irréguliers (fig. 4) ainsi qu'en des disséminations dans les roches encaissantes. Ces dernières sont métamorphosées ou retrométamorphosées dans le greenschist facies.

De façon générale, les corps minéralisés montrent des longueurs de 50-500m, des épaisseurs de 0.10-2m, des profondeurs de 100-400m et

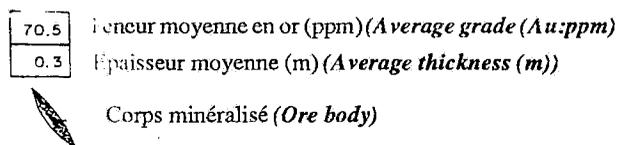
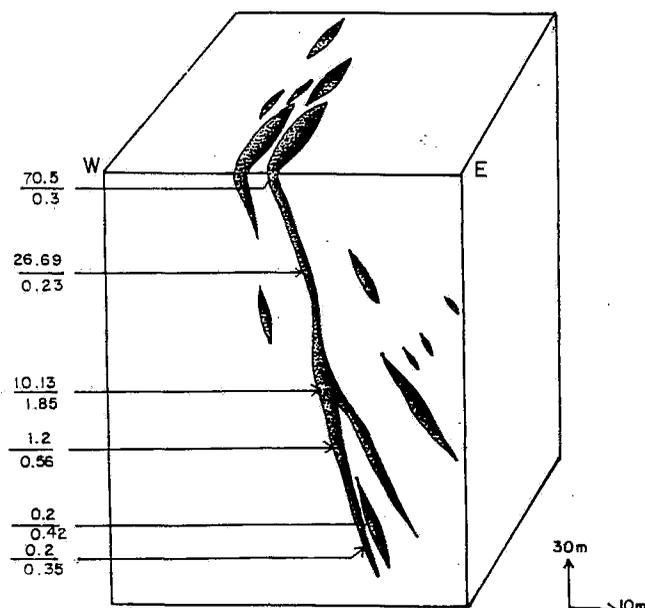


Fig. 4 - Bloc diagramme montrant la morphologie de l'essaim des filons lenticulaires de Timeg

Block diagram showing gold lenticular-veins morphology at Timeg occurrence

des pendages de 60°-90°. Mais dans le détail, ils sont plus irréguliers (fig. 5, 6 et 7). Les zones riches en or sont généralement rencontrées dans les roches et les quartz les plus bréchifiés.

La minéralisation est souvent concentrée dans un quartz gris-sombre bréchifié et/ou quartz blanc-laiteux (0.1% à 5% du volume), où elle souligne préférentiellement des plans intergranulaires, des microfentes, des stylolites. Après la relaxation, les stylolites jouent le rôle de zone de faiblesse permettant la diffusion ou la circulation de fluides.

L'association minérale est constituée par ordre décroissant d'abondance: pyrite, galène, sphalerite, chalcopryrite, or natif, bismuth natif, bismuthinite, hessite, altaite, hematite, limonite,

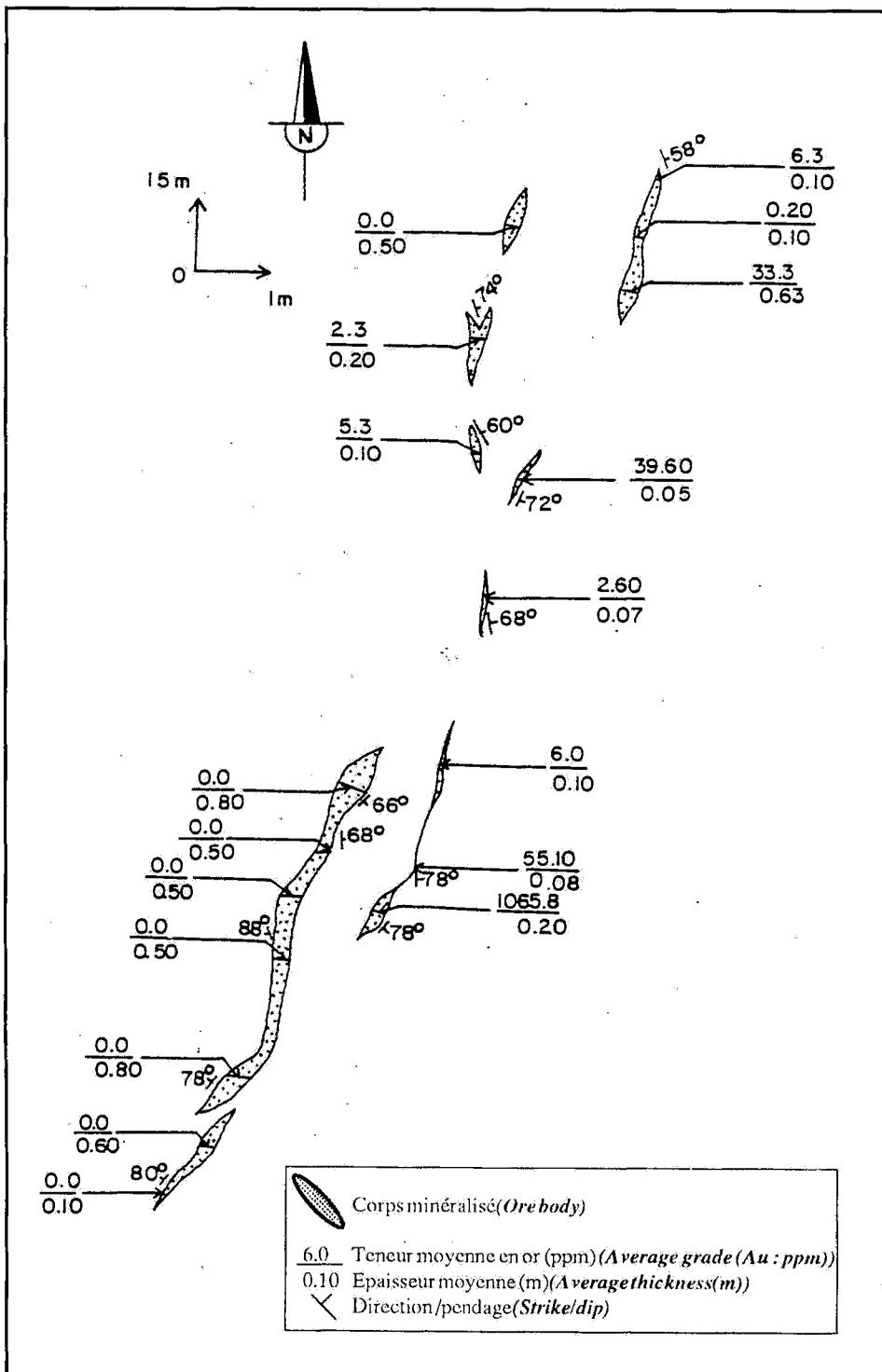


Fig. 5 - Paramètres des corps minéralisés affleurant dans le prospect de Timeg
Gold distribution in outcrops of lenticular veins at Timeg occurrence

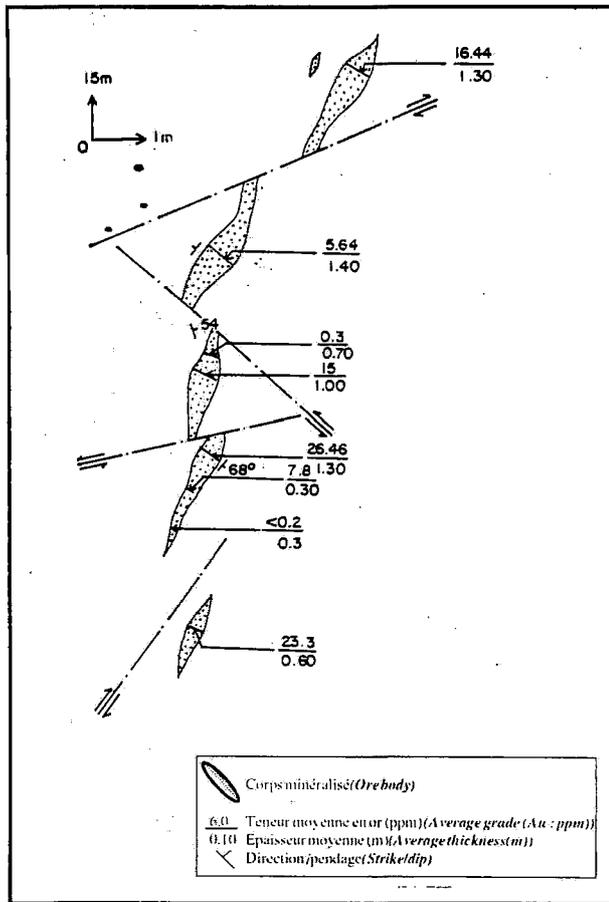


Fig. 6 - Paramètres des corps minéralisés affleurant dans le prospect de In Allarène

Gold distribution in outcrops of lenticular veins at In Allarène occurrence

goethite, covellite et cerusite qui constituent les minéraux de la zone d'altération supergène.

Pour ce qui est de la succession chronologique; après le dépôt de quartz-pyrite 1-sericite-calcite (altération hydrothermale de type bérésite) en relation avec le réseau dense de fractures (fracturation hydraulique): vient la précipitation de sphalérite-chalcopryrite-pyrite 2- minéraux de bismuth, puis galène et or natif. L'or natif s'est déposé en un seul stade, très rarement en deux stades.

L'or natif se présente souvent en :

- alignement de micrograins, nébulisats, microveinules soulignant les microfractures des sulfures ou des quartz,
- micrograins ou microveinules soulignant les stylolites,
- fines pellicules,
- pellicules ou cristaux tapissant les cavités de dissolution, y compris les dissolutions des sulfures.

Distribution de la minéralisation aurifère

La répartition des teneurs aurifères au sein des corps minéralisés est très irrégulière (Lazouni et Aissa, 2000; Lazouni *et al.*, 2002) ceci complique les calculs des réserves du minerai; d'autant plus que les halos de dissémination de l'or (en association avec la bérésitisation) peuvent parfois se poursuivre dans les roches encaissantes jusqu'à une dizaine de mètres au delà des filons de quartz. Bien que la minéralisation aurifère soit souvent liée à la bérésitisation, il n'en demeure pas moins qu'il n'existe aucune relation entre cette dernière et l'intensité de la minéralisation. Aussi, peut-on distinguer des bérésites riches ou pauvres en or, voire même totalement stériles.

L'autre difficulté de l'estimation des réserves du minerai est la répartition très irrégulière de la minéralisation au sein des filons lenticulaires de quartz. En effet, tantôt elle est concentrée dans les parties centrales des filons ou lentilles, tantôt elle est concentrée dans les extrémités (fig. 5, 6 et 7.). Néanmoins, dans tous les cas les teneurs en or diminuent irrégulièrement vers la profondeur (fig. 4 et 8).

D'autre part, bien qu'il existe une importante zone d'altération supergène, les sondages ne mettent en évidence aucune zone de cimentation.

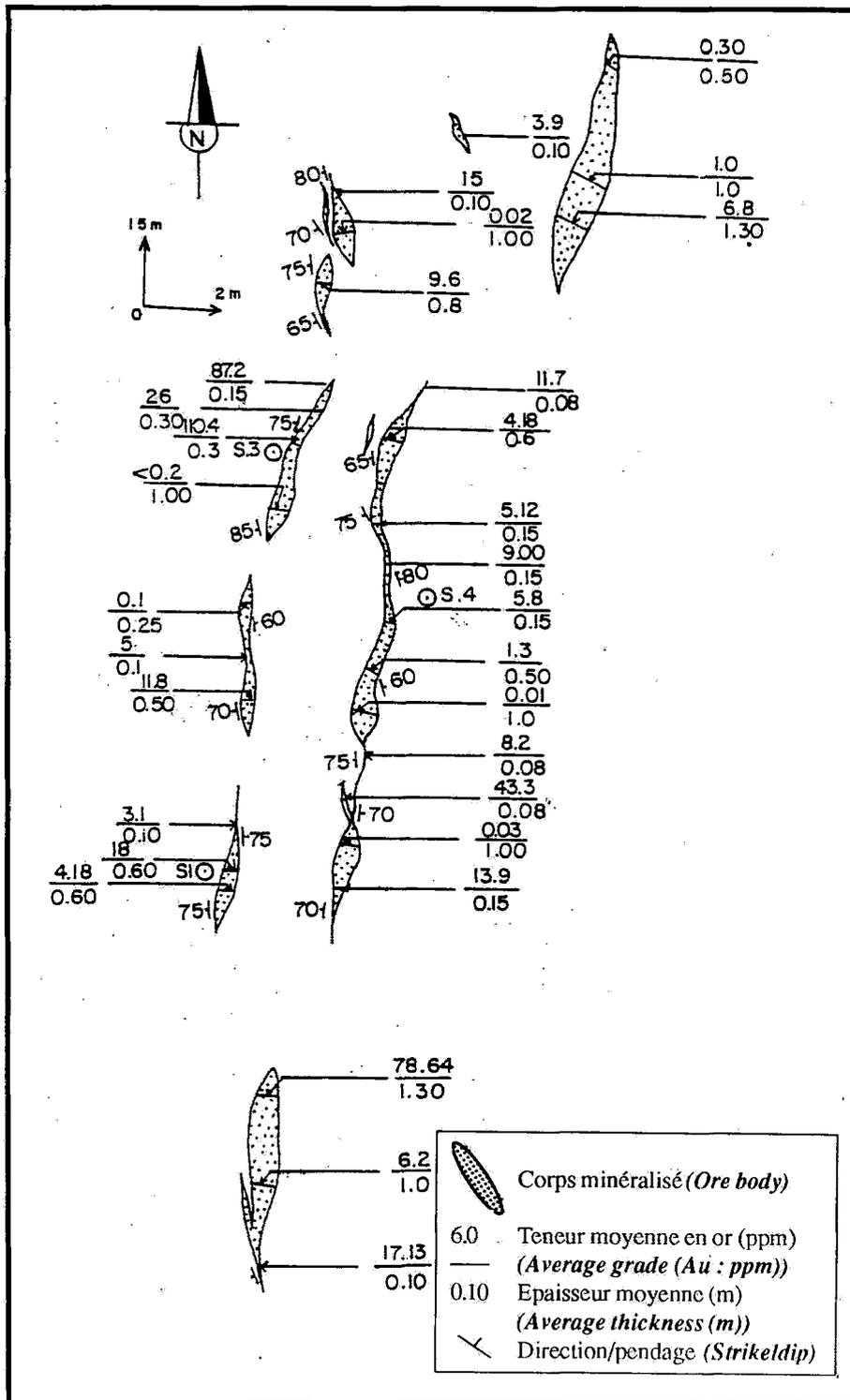


Fig. 7 - Paramètres des corps minéralisés affleurant dans le prospect de Timeg -Est
Gold distribution in outcrops of lenticular veins at Timeg-East occurrence

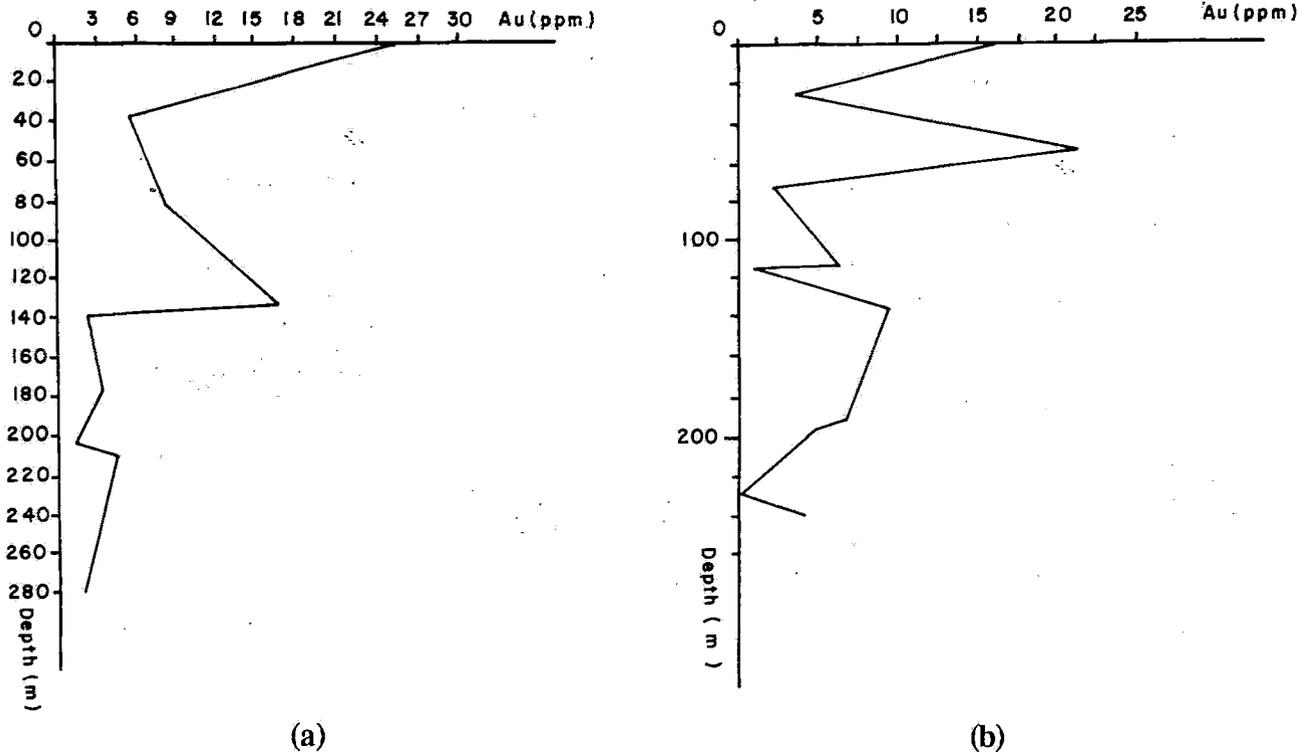


Fig. 8 - Evolution des teneurs en or en fonction de la profondeur dans les filons d'Amessmessa.

Gold distribution with depth at Amessmessa deposit.

a - filon n°8 (*vein 8*), b - filon n°9 (*vein 9*).

7 - Conclusion sur les minéralisations des régions de Tirek, Amessmessa et Oualén

Les filons les plus prédominants et les plus riches sont ceux orientés N-S à N 50 encaissés dans les mylonites-ultramylonites soulignant la bordure ouest des terrains archéens.

En dehors de cette bande favorable de terrains archéens, les filons encaissés dans les terrains protérozoïques s'appauvrissent relativement en or. En outre, les teneurs en or diminuent drastiquement vers la profondeur.

CONCLUSION GENERALE

Les indices et gisements aurifères du Hoggar sont tous situés dans ou à proximité de décroche-

ments lithosphériques ductiles (shear zones) ou de leurs satellites qui ont commencé à jouer à la fin de l'orogénèse panafricaine.

Par ailleurs, les morphologies des corps minéralisés sont approximativement lenticulaires, mais dans le détail elles sont complexes et sont loin d'être cernées ni structurellement interprétées : s'agirait-il d'une association de fractures par traction (T)?, ou d'une évolution d'un système de fentes de tension en échelons?

La pragenèse est simple avec pyrite, sphalérite, galène, et en moindre proportion chalcoppyrite, cuivre gris, minéraux de bismuth. L'arséno-pyrite demeure très rare. L'altération hydrothermale est partout de basse température (sericite, chlorite, carbonates, pyrite).

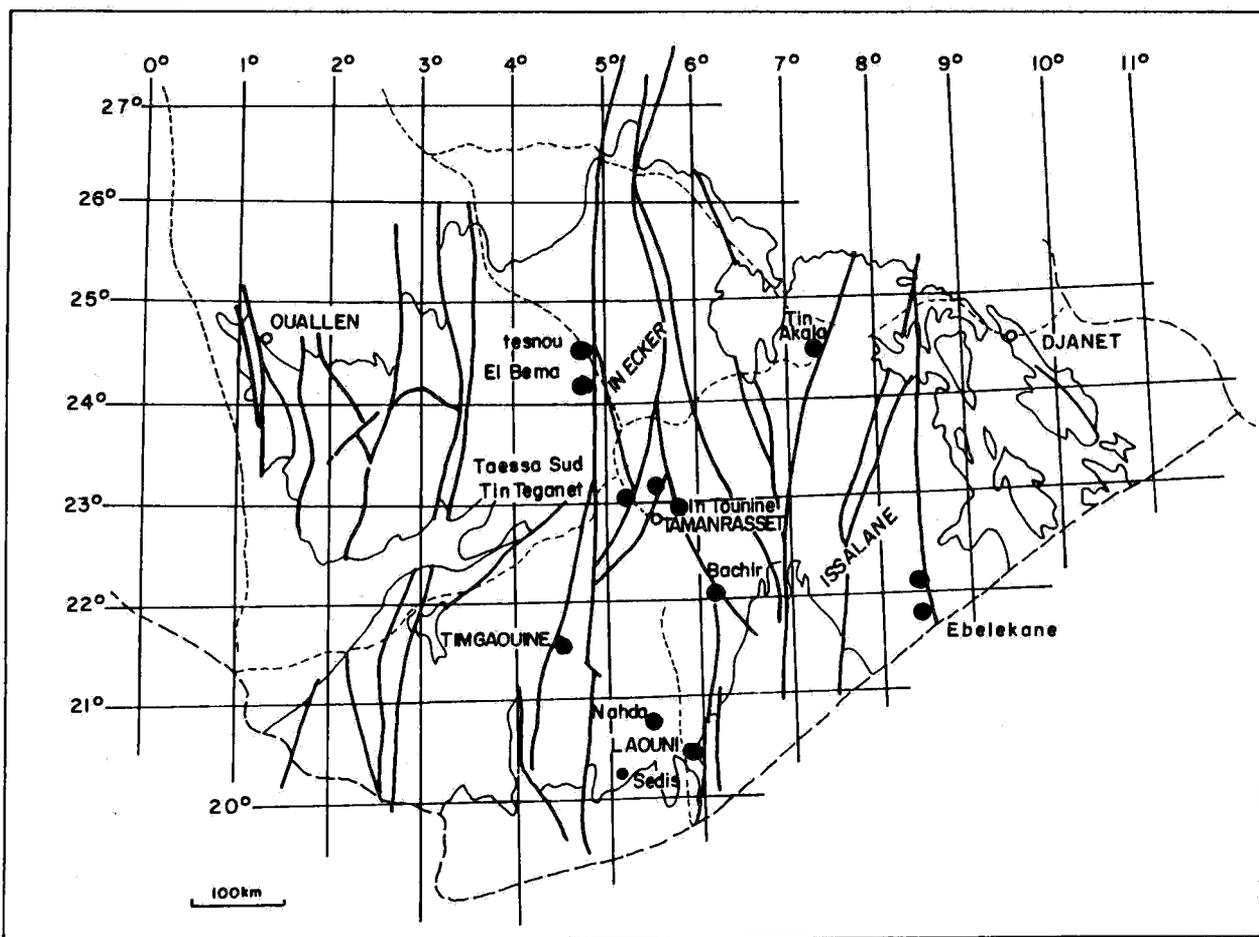
La présence de tourmaline dans certains indices et gisements tels que Laouni serait liée à la mise en place des granites évolués post-orogéniques et des minéralisations à Sn, W, Nb, Ta. En effet, divers types et stades de roches magmatiques jalonnent les shear zones et leurs satellites; et on constate que les minéralisations aurifères cotoient parfois à l'échelle régionale des minéralisations à Nb-Ta-Sn-W (Aissa *et al.*, 2002) (fig.9).

Ces roches magmatiques associées à l'orogénèse panafricaine résultent d'une évolution faisant intervenir des zones sources différentes. Au Hoggar

central, deux épisodes magmatiques principaux, ont été distingués (Cheilletz *et al.*, 1992) :

- granites subalcalins datés 615–570 Ma impliquant une participation mantellique,
- granites hyperalumineux d'origine crustale (PAT) datés à 539-525 Ma.

Par ailleurs, considérant que les filons de quartz datés à ~ 611 Ma sont plus anciens que les granites (550-530 Ma) de la région (Ferkous et Monié, 1997), l'immense quantité de fluides mise en circulation nécessaire à la formation des épais filons



● Sn - w - Ta deposit

Fig. 9 - Relation des minéralisations à Sn-W-Ta avec les cisaillements crustaux du Hoggar
Relationship of Sn-W-Ta mineralization with Hoggar crustal shear-zone

de quartz serait provoquée par un magmatisme plus ancien, probablement syn à tardi-orogénique (615-570 Ma) qui aurait procédé à une vaste remobilisation de l'or mais à de très faibles concentrations. Alors que les deux stades principaux de mise en place des granites post-tectoniques à 550-530 Ma auraient d'une part, procédé à une reconcentration de ces infimes quantités d'or dans les parties supérieures des filons et, permis la mise en place des métaux rares d'autre part.

Les minéralisations aurifères du Hoggar associées à une altération hydrothermale de basse température, se sont déposées dans des quartz intensément bréchifiés. Elles se rapprochent du type "epizonal gold deposits" de Gebre-Mariam *et al.*, (1995); mais elles diffèrent fondamentalement du type "gold shear-zone" ou "shear zones aurifères" (Robert et Brown, 1986). En effet, dans le cas du Hoggar, les minéralisations aurifères déposées dans des quartz bréchiques superficiels sont complètement déconnectées du fonctionnement des shear-zones (Marignac *et al.*, 1996). Le principal rôle joué par ces derniers est d'avoir surtout favorisé la mise en place de divers roches magmatiques (mafiques à felsiques), sources de métaux et de chaleur permettant la mise en mouvement d'importantes quantités de fluides à l'origine des minéralisations.

Bien qu'il existe une importante zone d'altération supergène, les sondages ne mettent en évidence aucune zone de cémentation. Pratiquement dans tous les gisements et indices, l'or est essentiellement présent dans la partie supérieure des filons et les sondages mettent en évidence une diminution drastique des teneurs en profondeur.

Enfin, ce qui est intéressant à retenir pour la prospection est qu'à l'échelle d'un terrane, et même de tout le Hoggar, la richesse des filons en or est beaucoup plus liée à l'âge de la roche encaissante qu'à sa nature. Les réserves en or les plus importantes sont rencontrées dans les terrains d'âge archéen, tels les gisements de Tirek et Amessmessa. Les filons encaissés dans

les terrains d'âge protérozoïque renferment aussi des réserves intéressantes (Tiririne I). Les teneurs commencent à devenir faibles quand les filons sont encaissés dans des roches magmatiques diverses d'âge panafricain; le cas de Laouni est instructif à plus d'un titre, car contrairement à ce qu'on attendait, les filons encaissés dans un important massif de gabbros à olivine sont relativement pauvres. Les filons deviennent très pauvres ou stériles quand ils sont encaissés dans des terrains paléozoïques ou plus récents à l'exemple des épais filons de quartz de Tiririne II et III, dont la majorité est totalement stérile.

Remerciements : Nous tenons à remercier l'O.R.G.M., pour son aide logistique sur le terrain, ainsi que MM. Semiani, Aouli et Ibrahim Ouali pour les discussions fructueuses sur terrain.. Nos remerciements vont également à L. Courel et Y. Mahdjoub pour la lecture critique du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- AISSA, D.E. ET BEDOUHÉNE, N., 1988.** Les minéralisations aurifères d'Algérie Nord-Orientale et du Hoggar : essai d'approche sur leur métallogénie. *Actes du 1^o Congrès Géol. Tunisie- Publ. Serv. Géol. Tunisie, Tunis pp. 429-442*
- AISSA, D.E., KESRAOUI, M. NEDJARI, S. ET BOUTALEB A., 2002.** Crustal-Scale Shear Zones and their Au - Sn - W - Nb - Ta - Li-Be mineralisation controls in the Hoggar shield (Central Sahara, South Algeria)- *19th Colloquium on African Geology- El Jadida (Morocco)- March 2002.*
- Black, R., Latouche, L., Liégeois, J.P., Caby, R. et Bertrand, J.M., 1994.** Pan-African displaced terranes in the Targui shield (central Sahara). *Geology, v.22, p. 641-644*
- CHEILLETZ, A., BERTRAND, J.M., CHAROY, B., MOULAHOU, O., BOUABSA, L., FARRAR, E., ZIMMERMAN, J.L., DAUTEL, D., ARCHIBALD, D., BOULLIER, A.M., 1992.** Géochimie et géochronologie Rb-Sr, K-Ar, ⁴⁰Ar-³⁹Ar des complexes granitiques panafricains de la région de Tamanrasset (Algérie) : relations avec les minéralisations Sn-W associées. *Bull. Soc. Géol. France, 1992, t.163, n°6, pp.733-750*
- Bull. Serv. Géol. Alg. Vol. 13 n° 2. 2002*

- FERKOUS, K. AND LEBLANC, M., 1995. Gold mineralization in the West Hoggar shear zone, Algeria. *Mineralium Deposita*, 30, 211-224.
- FERKOUS, K. AND MONIÉ, P., 1997. Petrostructural data and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe of the Pan-african shearing and related gold-mineralizations in the East In Ouzzal district (Western Hoggar, Algeria)- *In : Mineral Deposits, Research and Exploration, Where do They Meet*. Edited by H. Papupen, Balkema- pp. 185-188
- GEBRE-MARIAM, M., HAGEMANN, S.G AND GROVES, D.I., 1995. A classification scheme for epigenetic Archaean lode-gold deposits. *Mineralium Deposita*, 30, 408-410.
- LAZOUNI, A. ET AISSA, D.E., 2000. Les filons de quartz aurifères d'Amessmessa : aspects métallogéniques et statistiques -*International Symposium on Hydrocarbons and Ores Deposits-Boumerdès p. 34*
- LAZOUNI, A., AISSA, D.E. ET GUETTOUCHE, S., 2002. Distribution complexe des paramètres dans les filons aurifères : exemple de quelques filons du gisement d'Amessmessa (Hoggar occidental). -*Colloque National sur la Géologie des Gisements-Université de Boumerdès- Janv. 2002*
- MARIGNAC, CH., SEMIANI, A., FOURCADE, S., BOIRON, M.C., JORON, J.L., KIENAST, J.R., AND PEUCAT, J.J., 1996. Metallogenesis of the late Pan-African gold-bearing east Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria)-*J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14, 783-801
- NEDJARI, S., KESRAOUI, M., MARIGNAC, C. ET AISSA, D.E., 2001. Le massif d'Ebelekan: un granite à tantalite dans le sud-est du Hoggar central (Algérie). *Bull. Serv. Géol. Algérie*, V.1, n°12, pp.15-47, 9 fig., 7 tabl., 2 pl.
- ROBERT, F. AND BROWN, A.C., 1986. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi Greenstone belt, Quebec -*Econ. Geol.* 81-593-616
- SEMIANI, A., 1995. Métallogénie de la zone de cisaillement aurifère Est-Ouzzalienne: structure, pétrologie et géochimie des gisements d'or de Tirek-Amessmessa (Hoggar occidental, Algérie). *thèse Doct. Univ, Rennes 1*, 262 pp.
- TALBI, M., 1984. Contribution à l'étude du gisement aurifère de Tiririne, Hoggar oriental. *Thèse Doctorat 3 cycle Univ. Paris VI.*, 220 p.

Planches



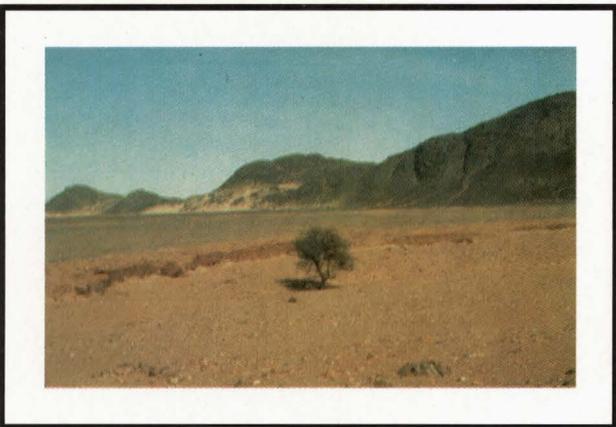
1 . Affleurement de l'ultramylonite soulignant le cisaillement majeur 2°30

Outcrop of ultramylonite who is marking a mega-shearzone 2°30



2 . Affleurement du granite potassique de Tekouyat (Terrane d'Iskel)

Outcrop of K-granite in Tekouyat (Iskel Terrane)



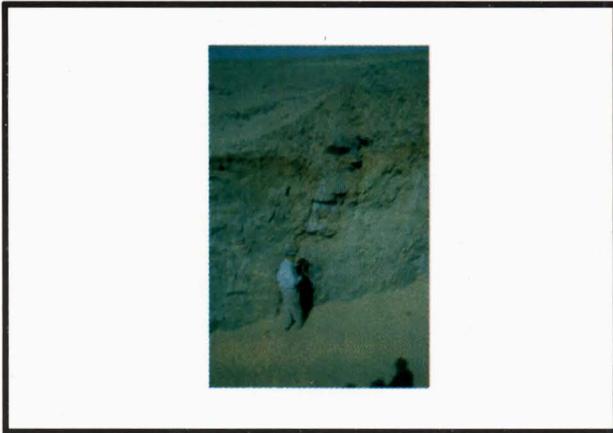
3 . Affleurement de roches mafiques (môle d'In ouzzal)

Outcrop of mafic rocks (In Ouzzal mole)

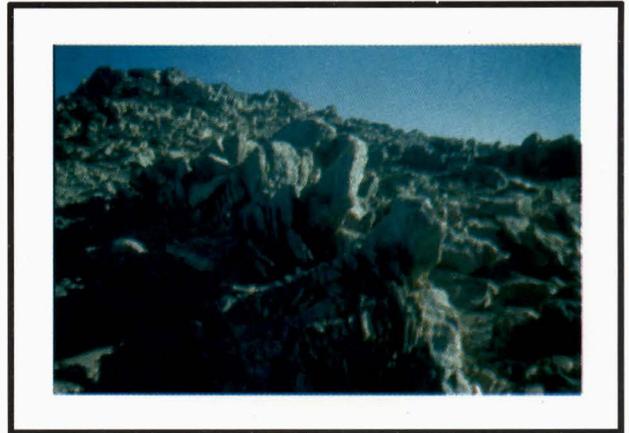


4 . Péridotites métasomatisées (Tekhamalt - In Ouzzal)

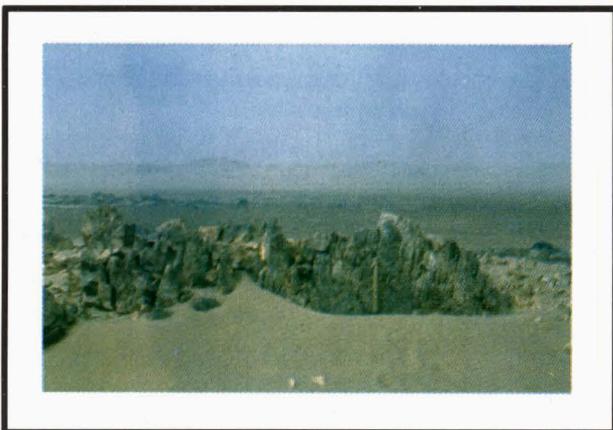
Metasomatized peridotites (Tekhamalt - In Ouzzal)



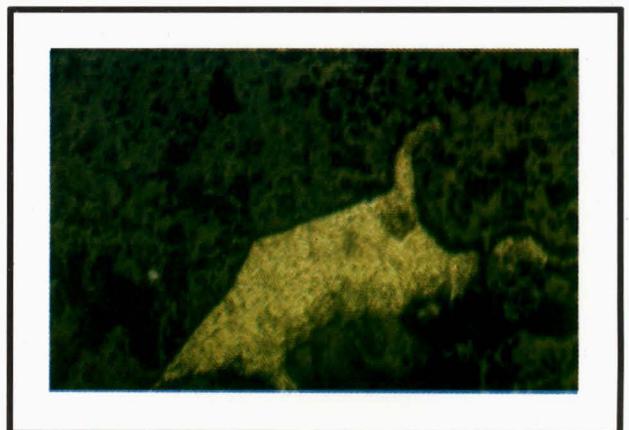
5 . Affleurement d'un filon de quartz aurifère à Tirek
Outcrop of a gold bearing quartz-vein at Tirek



6 . Affleurement d'un filon de quartz aurifère à Amessmessa
Outcrop of a gold quartz-vein at Amessmessa



7 . Affleurement d'un filon de quartz stérile à Tiririne 3
Outcrop of a barren quartz-vein at Tiririne 3



8 . Aspect microscopique de l'or natif dans un filon de Tiririne 1 (grossissement x 100)
Microscopic view of nativ gold in a gold quartz-vein at Tiririne 1 (X 100)