

MINERALISATIONS A CU-ZN (W-MO) LIEES AUX FORMATIONS VOLCANO- SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOIQUES DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

Ahmed HAMIS* et Djamel Eddine AISSA**

RESUME

Le bassin pharusien Chet Iller édifié au cours de l'orogénèse panafricaine est composé de deux séries volcano-sédimentaires d'âge néoprotérozoïque, métamorphisées dans le faciès "schistes verts".

A la base, la **série Chet Iller** est à dominante grésopélitique, avec des termes volcaniques (acides et basiques). Des plutonites et des roches hypovolcaniques de faible profondeur l'intrudent en plusieurs endroits et provoquent un métamorphisme de contact. Ces dépôts de type flyschöide se sont déposés dans une marge active.

Au sommet, la **série Ameskor** surmonte en discordance la série Chet Iller. Elle est composée de termes détritiques terrigènes et volcaniques bimodaux.

Les termes détritiques, souvent grossiers et à dominance de grauwackes et d'arkoses témoignent, d'une sédimentation assez rapide au cours d'une phase orogénique. Les termes volcaniques témoignent d'une forte activité magmatique à la fin du Néoprotérozoïque.

Dans ce bassin existent de nombreuses occurrences métallifères encaissées dans des faciès variés, essentiellement volcaniques (séries Chet Iller et Ameskor). Ces minéralisations se présentent sous forme disséminée, en petits amas lenticulaires et/ou en remplissage de fissures.

Les indices du fossé Chet Iller montrent en surface une minéralisation secondaire de cuivre caractéristique des zones supergènes : chalcocite – covellite – malachite et azurite. Les roches encaissantes sont des schistes tachetés, chloritoschistes, leptynites, schistes d'origine mafique, métagrès et métavolcanites acides et basiques.

En profondeur, dans la série Chet Iller sont observés deux types de minéralisation polymétallique :

- une minéralisation à Cu - Zn caractérisée par une paragenèse à pyrite, magnétite, sphalérite, chalcopyrite et molybdénite, encaissée dans des métavolcanites basiques entièrement transformées;
- une minéralisation à Cu - W caractérisée par une paragenèse à pyrite, magnétite, pyrrhotite, wolframite, chalcopyrite et scheelite, encaissée dans des épidiories.

* Département des Hydrocarbures et de la Géologie, FSSI / UKMO, BP. Ouargla. hamis_ahmed@yahoo.fr

** Laboratoire de Métallogénie de l'Algérie, FSTGAT/USTHB, BP.32, El Alia. Bab Ezzouar, Alger.

- Manuscrit déposé le 08 Novembre 2006, accepté après révision le 13 Juillet 2008.

La série Ameskor est caractérisée par une minéralisation cuprifère à pyrite - chalcopyrite et une minéralisation polymétallique à Cu-Zn et Pb.

L'or associé à la minéralisation cuprifère de l'indice Tessalit s'exprime rarement sous forme minéralogique, les teneurs sont très faibles. Elles sont en moyenne de l'ordre de 2g/t.

Les minéralisations du bassin Chet Iller seraient associées au magmatisme post orogénique, qui serait aussi, responsable de la mise en place des minéralisations aurifères et wolfram - étain du Hoggar.

Mots clés - Chet-Iller - Ameskor - Sud Ouest du Hoggar - Minéralisations à Cu-W-Au - Néoprotérozoïque - Volcano-sédimentaires - Concentrations polymétalliques - Hypo à mésothermale - Altérations hydrothermales.

CU-ZN (W-MO) MINERALISATIONS ASSOCIATED TO THE NEOPROTEROZOIC VOLCANO-SEDIMENTARY SERIES OF THE CHET ILLER BASIN, SOUTH WESTERN HOGGAR, ALGERIAN SAHARA.

ABSTRACT

The Chet Iller Pharusian basin, built during the Pan-African orogeny is composed of two Neoproterozoic volcano sedimentary series, metamorphosed in green schist facies.

At the bottom, **the Chet Iller serie** is composed principally of sandy-pelitic terms, rarely associated to acid and basic volcanic terms. The plutonites and the hypovolcanic rocks intrude it in several places and cause a thermic metamorphism. This deposits of flyschoid type are interpreted as an active margin deposits.

At the top, **the Ameskor serie** overcomes the Chet Iller serie in discordance. It is composed of terrigenous and bimodal volcanic terms.

The detritic terms which are often coarse with predominance of grauwackes and arkoses show a rather fast sedimentation of an orogenic phase.

The volcanic terms testify to a strong magmatic activity linked to a subduction at the end of Neoproterozoic.

In this basin, many metalliferous occurrences are enclosed different facies, essentially in volcanic terms (Chet Iller and Ameskor series). These mineralisations are presented in disseminated and small lenticular forms and/or filling cracks.

The Chet Iller occurrences show at the surface a secondary mineralisation of copper characteristic of cementing zones (chalcocite - covellite) and of oxidation (malachite, azurite). The wall-rocks are represented by spotted schists, chloritoschists, leptynites, schists of mafic origin, metasandstone and acid and basic metapyroclastic rocks.

MINÉRALISATIONS A CU-ZN (W-MO) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOÏQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

In depth, two types of polymetallic mineralizations are observed in the Chet Iller serie:

- A mineralization with Cu - Zn characterized by the following association : Pyrite, Magnetite, Sphalerite, Chalcopyrite and Molybdenite, spotted in entirely transformed basic metapyroclastic rocks.

- A mineralization with Cu - W characterized by the following association : Magnétite, Pyrite, Pyrrhotite, Wolframite and Chalcopyrite, spotted in epidiorites.

The Ameskor serie is characterized by a cupriferos mineralization with pyrite - chalcopyrite and polymetallic mineralisation with Cu-Zn and Pb.

Gold is rarely expressed in mineralogical form, the contents are very weak. They are in average about 2g/t.

Mineralizations of the Chet Iller basin are associated with late orogenic magmatism which would be responsible of the emplacement of the gold and tin-tungsten deposit in the whole Hoggar.

Key words - Chet-Iller - Ameskor - South western of Hoggar - Cu-W-Au mineralisations - Neoproterozoïc - Volcanosedimentary - Polymetallic concentrations - Hypo to mésothermal - Hydrothermals altérations.

I - INTRODUCTION

Le bassin Chet Iller (fig.1) est situé dans la branche orientale du Hoggar occidental (fig.1) et constitue une portion du "super terrane pharusien" (Caby, 2003), édifié au cours de l'orogénèse panafricaine. Cette région a fait l'objet de nombreux travaux inédits (O.R.G.M). En revanche, il n'existe que de rares travaux universitaires qui généralement portent sur des éléments de synthèse géologique sur le Hoggar: Bertrand (1980, 1986); Boukhalfa (2002) et Caby (2003).

Les minéralisations cuprifères et polymétalliques encaissées dans les séries volcano-sédimentaires du bassin Chet Iller n'ont pas fait l'objet d'une étude gîtologique; les travaux inédits réalisés par l'O.R.G.M restent au stade de prospection.

L'objectif de ce travail consiste essentiellement à étudier les caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et structurales des concentrations cuprifères et polymétalliques du bassin Chet Iller, afin de mieux cerner leur signification métallogénique.

II - CADRE GEOLOGIQUE

Le bassin Chet Iller partie intégrante du terrane pharusien, édifié au cours de l'orogène panafricain, a connu plusieurs événements tectonométamorphiques depuis son ouverture jusqu'au stade actuel. Il est composé de deux séries volcano-sédimentaires d'âge néoproterozoïque, métamorphisées dans le faciès "schistes verts" (fig. 1, 2).

A la base, la série Chet Iller de type flyschoid est à dominante grésopélique, avec des termes volcaniques acides et basiques. Elle se serait déposée dans un environnement océanique soumis à une déformation continue depuis les premiers mouvements orogéniques panafricains. Les plutonites et les roches hypovolcaniques de faibles profondeurs l'intrudent en plusieurs endroits et provoquent un métamorphisme de contact.

Au sommet, la série Ameskor surmonte en discordance la série Chet Iller. Elle est composée de termes détritiques terrigènes et volcaniques bimodaux (fig. 2, 3).

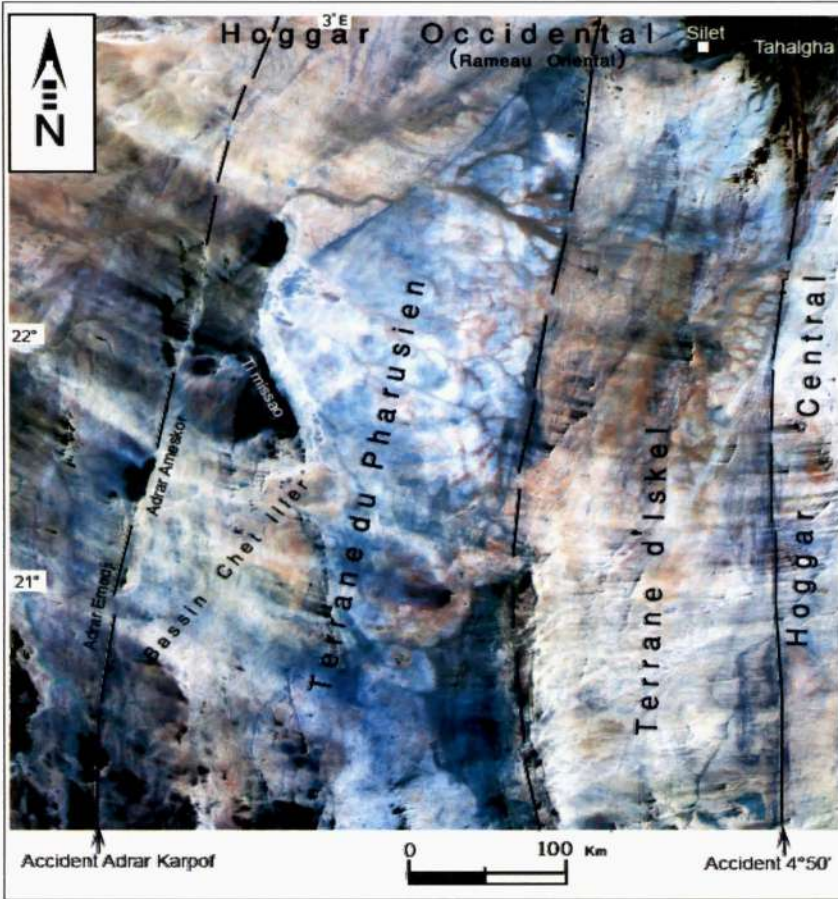


Fig. 1 – Localisation du bassin Chet Iller (Photo satellite Google Earth)
 Location of the Chet Iller basin (Google Earth satellite photo)

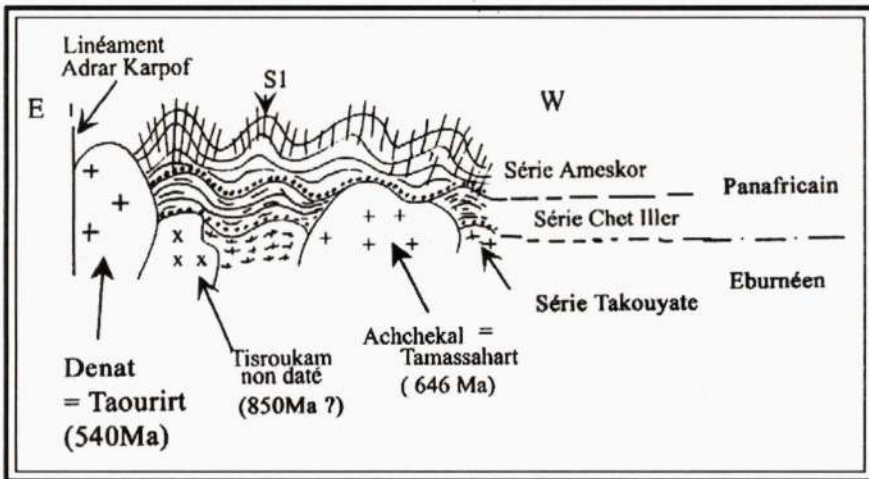


Fig. 2 – Schéma géologique du bassin Chet Iller
 Geological schema of the Chet Iller basin

MINÉRALISATIONS A CU-ZN (W-Mo) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOIQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

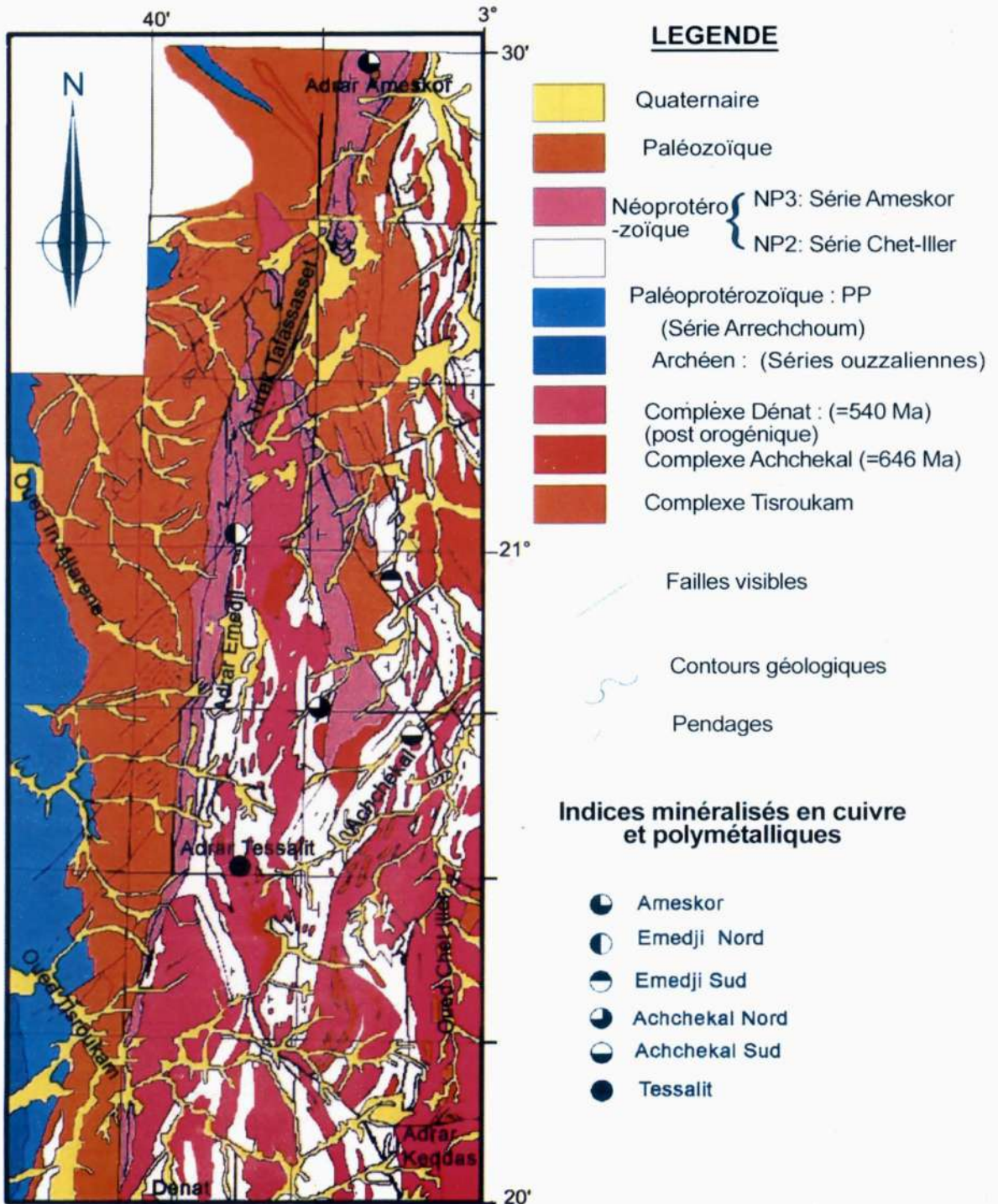


Fig. 3 – Carte géologique montrant la répartition des principaux indices minéralisés du fossé Chet Iller (extraite des cartes géologiques des feuilles In Ouzzal et Tirek au 1/200 000, Kiniakine et al., 1984, modifiée)

Geological map showing the distribution of the principal mineral bearing indexes of the Chett Iller ditch (extracted from the geological map of In Ouzzal and Tirek sheets on 1/200 000 scale, Kiniakine and al., 1984, Modified)

Les termes détritiques souvent grossiers et à dominance de grauwackes et arkoses témoignent d'une sédimentation assez rapide au cours d'une phase orogénique.

Les termes volcaniques témoignent d'une forte activité volcanique à la fin du Néoprotérozoïque liée à une subduction.

Une approche géochimique des volcanites du bassin Chet Iller (Hamis, 2005) montre que :

- les laves de la série Chet Iller caractériseraient une suite felsique calco-alcaline de type marge continentale et une suite mafique tholéiitique riche en titane de type arc;

- les laves de la série Ameskor sont caractérisées par une suite felsique calco-alcaline et une suite mafique tholéiitique pauvre en titane. Ceci, confirme la nature bimodale de ces laves décrites par Boukhalfa (2002), qui rattache la suite tholéiitique au type arc insulaire et la suite felsique au type marge continentale.

Les deux formations volcaniques Chet Iller et Ameskor bimodales, tholéiitiques - calco-alcalines seraient, d'après Boukhalfa (2002), générées par la répétition dans le temps d'événements tectono-magmatiques similaires. Ces événements volcaniques sont liés aux stades successifs et diachroniques d'évolution d'une croûte continentale, située au-dessus d'une zone de subduction, dans un environnement de bassins intra-arcs et/ou d'arcs.

La tectonique se manifeste par trois familles d'accidents décrochants de directions différentes, avec souvent un jeu de ces mêmes accidents. Il s'agit : **(i)** - des familles de failles panafricaines (nord-ouest / sud-est), **(ii)** - des linéaments sub-méridiens (ces derniers attribuent au Hoggar sa

physionomie actuelle) et **(iii)** - des familles (nord-est / sud-ouest) post panafricaines.

Les déformations plastiques se matérialisent par des plis couchés et des mégaplis d'échelle régionale. Il s'agit d'une phase de structuration principale, reprise par une phase de plis droits très serrés, et localement par la présence des plis d'entraînement en liaison avec le fonctionnement des décrochements.

Les séries du fossé Chet Iller ont subi un métamorphisme général de type schistes verts de faibles conditions de T et P, synchrone de l'orogénèse panafricaine, caractérisée par une pseudomorphose des minéraux primaires. Localement, se manifeste un métamorphisme de contact lié à différentes intrusions magmatiques, dont le plus spectaculaire est le complexe plutonique intrusif Achchekal. Les roches plutoniques intrusives Achchekal présentent un caractère métalumineux calco-alcalin et les différents diagrammes les placent dans les grani-toïdes intrusifs de type collision continentale (Hamis, 2005).

Le magmatisme anorogénique de type Dénat recoupe à l'emporte pièce l'ensemble des formations. Il est de nature subalcaline et peut être classé dans la série métalumineuse de la classification de Schand. Le diagramme d'Irvine et Baragare place ces roches dans le contexte syn- à postorogénique (Hamis, 2005).

Les roches magmatiques du complexe Dénat sont recouvertes en discordance par la molasse éocambrienne. Ce sont des dépôts dans des petits bassins résiduels, où s'accumulent les derniers sédiments grossiers témoins de la destruction de la chaîne panafricaine.

Après une phase de dénudation, la mer envahit de nouveau le Hoggar et permet le dépôt de la série paléozoïque des Tassilis.

III - GITOLOGIE

Les nombreuses opérations de prospection réalisées par le B.R.G.M puis par l'O.R.G.M dans le bassin Chet Iller, ont permis de mettre à jour de nombreuses occurrences cuprifères et polymétalliques, encaissées dans des faciès différents : schistes, métagrès, métavolcanites et roches hypovolcaniques des séries Chet Iller - Ameskor. Ces minéralisations se présentent sous forme de disséminations, de petits amas lenticulaires et/ou en remplissage de fissures. L'observation montre que les altérations hydrothermales affectent toutes les roches encaissantes et les alentours des indices minéralisés en surface et en profondeur. Les phénomènes d'épidotisation et de silicification sont les plus importants. Des analyses aurométriques et spectrales ont donné de faibles teneurs en or.

A l'échelle du bassin Chet Iller, les nombreuses concentrations cuprifères et polymétalliques présentent dans l'ensemble beaucoup de similitudes sur le plan morphologique, minéralogique et textural, même si dans le détail certaines différences ont été observées.

Al'affleurement, les minéralisations présentent les mêmes caractéristiques morphologiques et minéralogiques. Ces concentrations cuprifères sont typiques des zones supergènes caractérisées par les associations minéralogiques suivantes : malachite, azurite, chrysocolle et limonite.

L'indice Achchekal Sud, montre particulièrement une richesse en magnétite massive, contrairement aux autres indices.

Les roches encaissantes sont variées; elles comprennent : (a) - des schistes micacés et quartzites (indice Achchekal), des leptynites à débit en pavés et granodiorites schistosées. Les minéralisations sont souvent localisées à la limite

entre les plutonites et les leptynites comme dans l'indice Tessalit; (b) - des schistes tachetés (indice Achchekal Nord) et des schistes à aiguilles d'amphibole (Emedji Sud). Ces faciès sont recou-pés par des microdiorites qui engendrent un métamorphisme de contact; des métagrès (indice Emedji Nord) et enfin des métagrès et des méta andésites (indice Ameskor).

La morphologie des zones minéralisées se présente sous forme de lentilles de quelques centimètres, voir plusieurs mètres d'extension latérale suivant la schistosité régionale sub-méridienne. Ces lentilles sont souvent décalées par des accidents décrochants tardifs.

Les minéralisations présentent souvent les mêmes textures; il s'agit de dissémination de fines mouchetures ou de nuages de forme et de dimension très variées, de remplissage de fines fissures et cavités et de petites veinules de quartz soulignées par du chrysocolle vert bleuâtre.

En profondeur, les concentrations cuprifères et polymétalliques ont été recoupées par plusieurs sondages. Comme dans le cas précédent, elles présentent toutes des textures disséminées et de remplissage de fissures. Seule la minéralisation à Cu - Zn - Mo encaissée dans les metabasites (indice Tessalit) présente une texture massive sur une épaisseur de 3 m environ.

Notre étude porte sur six indices : deux indices localisés dans la série Ameskor (Ameskor et Emedji Nord) et quatre indices encaissés dans la série Chet Iller, il s'agit des indices : Tessalit, Emedji Sud, Achchekal Nord et Achchekal Sud (fig. 3). Mais pour des commodités de présentation, nous ne développerons que l'étude de trois indices principaux : Tessalit, Ameskor et Emedji qui sont encaissés respectivement dans les séries Chet Iller pour le premier et Ameskor pour les deux autres.

III. 1 – Indice de Tessalit (série de Chet Iller)

L'indice de Tessalit (fig. 3) représente un certain nombre de points minéralisés qui sont liés à la série volcano-sédimentaire de Chet Iller. Les sondages réalisés dans les périmètres des indices Emedji Sud, Achchekal Nord, et Achchekal Sud n'ont pas recoupé de niveaux minéralisés en profondeur.

La paragenèse primaire rencontrée dans ces trois indices est à magnétite - pyrite et rare chalcoppyrite. On note cependant la présence de grains d'or dans de la magnétite qui est en voie de martitisation (fig. 4) (Boubidi et *al.*, 2000; Boubidi, 2000)

Dans l'indice de Tessalit, les minéralisations polymétalliques, recoupées par sondages près de la surface, s'expriment sous forme de minéraux oxydés de fer, de carbonates, de silicates et sulfures de cuivre : malachite, azurite, chryso-

colle, rare chalcosine, bornite (signalée par le B.R.M.A en 1956), hématite, goethite et limonite.

L'étude pétrographique et métallographique a mis en évidence l'existence de plusieurs types de minéralisation : **(i)** - une minéralisation à cuivre - zinc - molybdène dans des metabasites, **(ii)** - une minéralisation à cuivre - tungstène dans des épidiorites et **(iii)** - une minéralisation à cuivre seul dans des leptynites.

III. 1. 1 - Minéralisation à Zn-Cu-Mo

Dans les diorites, la minéralisation se présente sous un aspect massif sur une épaisseur de trois mètres environ. Elle comprend essentiellement de la chalcoppyrite et de la sphalérite (fig. 5). Ces deux minéraux sont accompagnés par de la molybdénite subordonnée, en petits cristaux sub automorphes ou en fines baguettes automorphes (fig. 5A, 5B), par de la magnétite subautomorphe et de rares cristaux de pyrite.

L'étude aux rayons X, a confirmé la présence de la molybdénite en association avec la chalcoppyrite et la sphalérite.

L'encaissant de cette minéralisation à (Cu - Zn - Mo) est une metabasite entièrement transformée par les altérations hydrothermales et le métamorphisme. Les minéraux qui sont associés aux sulfures sont : l'anthophyllite; des fantômes de feldspaths séricitisés; la chlorite; le quartz et de l'épidote (pistachite) (fig. 6).

Les sulfures remplacent presque totalement les minéraux hôtes; la chalcoppyrite est le dernier sulfure à remplir les clivages et fissures des anthophyllites.

L'observation microscopique montre l'existence de deux générations d'épidotes : **(i)**- une épidote I xénomorphe ou remplissant de fines veinules qui recoupe la sphalérite et **(ii)** - une épidote II qui recoupe la chalcoppyrite (fig. 6).

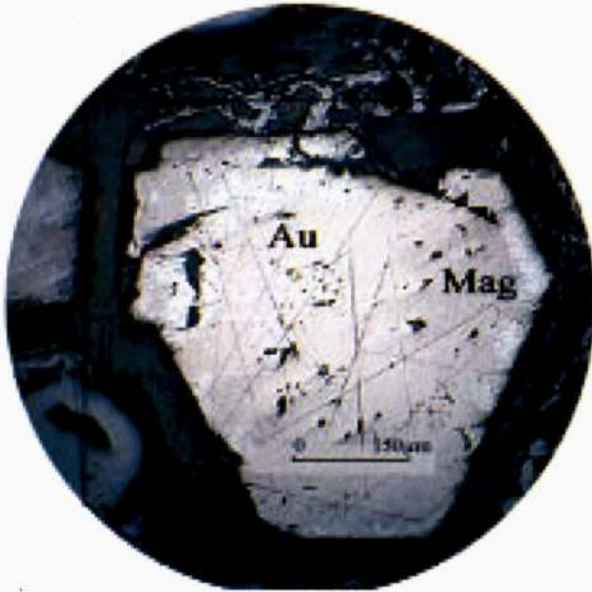


Fig. 4 - Grain d'or (électrum) dans une magnétite automorphe en voie de martitisation.

Gold grain (electrum) in an automorphic magnetite in the process of martitization

MINÉRALISATIONS A CU-ZN (W-MO) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOIQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

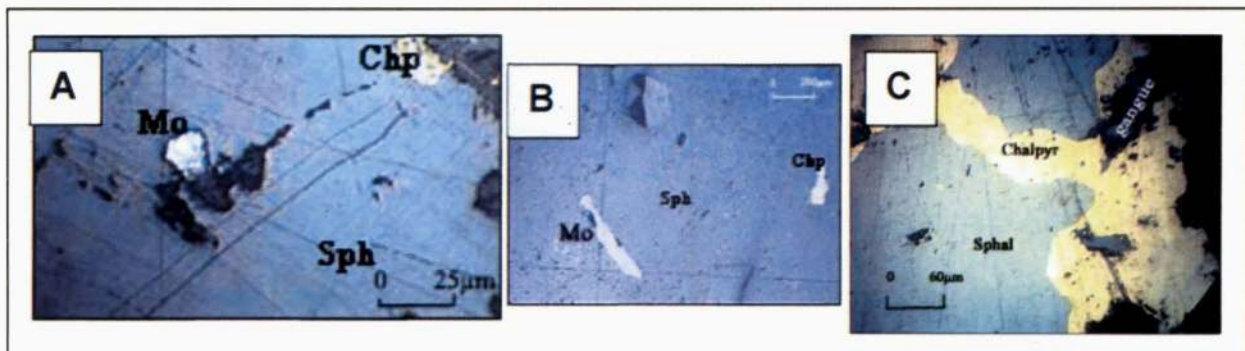


Fig. 5 - A : Molybdénite en plage irrégulière dans la sphalérite,
B : baguette automorphe de molybdénite incluse dans la sphalérite,
C : chalcopyrite recoupant nettement la sphalérite, (**Sph** : sphalérite, **Chp** : chalcopyrite,
Mo : molybdénite) (Sp14-4,5).

A : Molybdenite in irregular beach in spalerite
B : Automorphic rodding of molybdenite included in sphalerite
C : Chalcopyrite cutting distinctly the sphalerite

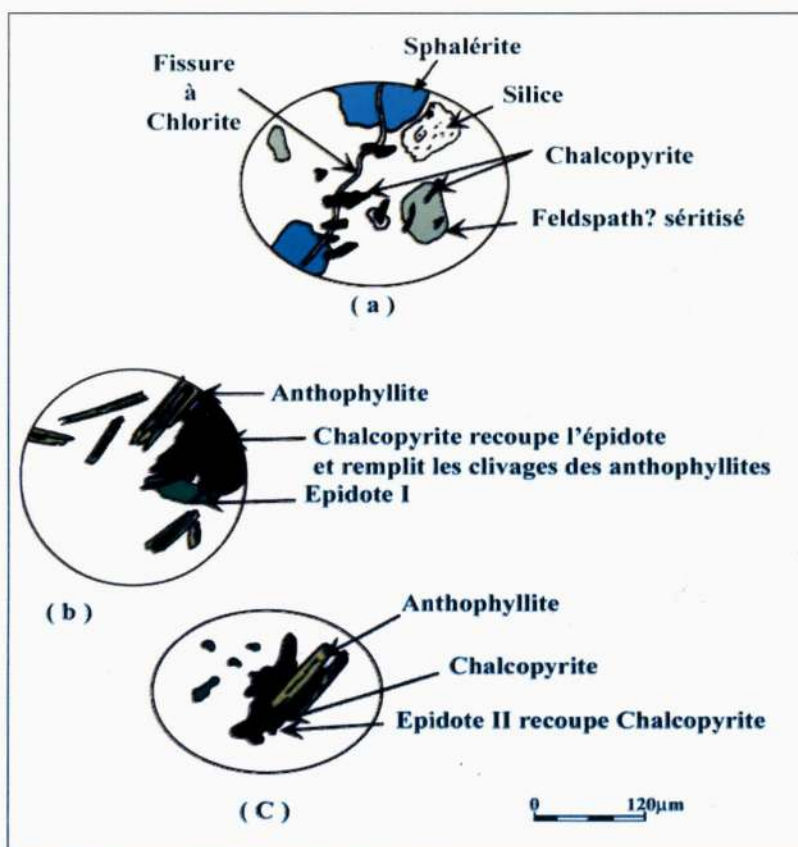


Fig. 6 - Aspects microscopiques montrant les relations mutuelles entre les minéraux de la minéralisation et de l'encaissant à anthophyllite.

Microscopic aspects showing the mutual relations between minerals of the mineralization and the country rocks with anthophyllite.

L'épidote II subautomorphe recoupe nettement la chalcopryrite. L'observation révèle en outre des fantômes de feldspaths porphyriques complètement transformés en séricite (fig. 6).

La chlorite forme de fines veinules qui recoupe la sphalérite et elle est à son tour recoupée par la chalcopryrite. La silice tardive ne présente pas de relation avec les sulfures mais semble occuper les vides (fig. 6a).

La succession paragénétique de la minéralisation à Zn-Cu-Mo peut se résumer dans le tableau suivant (fig. 7).

III. 1. 2 - Minéralisation à Cuivre - Tungstène

La minéralisation à Cu-W est encaissée dans des épidiories.

L'épidiorite encaissante est une roche gris-sombre à texture doléritique. Elle est constituée

d'amphiboles (hornblende, actinote), de plagioclases, de biotites (rares) chloritisées, d'un peu de quartz, de l'apatite et du topaze.

Les minéraux d'altération hydrothermale sont représentés par : l'épidote (pistachite); la chlorite; la calcite et le quartz.

Dans ces épidiories, la minéralisation à Cu - W se présente sous forme de dissémination et de remplissage de fissures. L'observation microscopique montre également un remplacement des minéraux de gangues (amphiboles) par les sulfures (fig. 9-c, e, f).

La paragenèse est à pyrite, pyrrotite, arsénopyrite, magnétite, chalcopryrite et wolframite, la sphalérite est absente. La chalcopryrite se présente en petits grains inférieurs à 10 µm disséminés dans la roche ou en grandes plages de plusieurs millimètres, par contre la pyrite est abondante et se présente souvent en cristaux automorphes. Elle est parfois pseudomorphosée en marcassite (fig. 8).

PHASE MINÉRAUX	PHASE HYDROTHERMALE		ALTÉRATION SUPERGÈNE
	Stade I	Stade II	
Epidote		I	
Séricite		F	
Calcite		R	
Chlorite		A	
Quartz		C	
Magnétite		T	
Molybdénite		U	
Pyrite		R	
Sphalérite		A	
chalcopryrite		T	
		I	
		O	
		N	
Malachite			
Azurite			
Chrysocolle			

Fig. 7 - Tableau de succession paragénétique de la minéralisation à Cu-Zn-Mo

Table of paragenetic succession of mineralization with Cu.

MINÉRALISATIONS À CU-ZN (W-Mo) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOÏQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGÉRIEN.

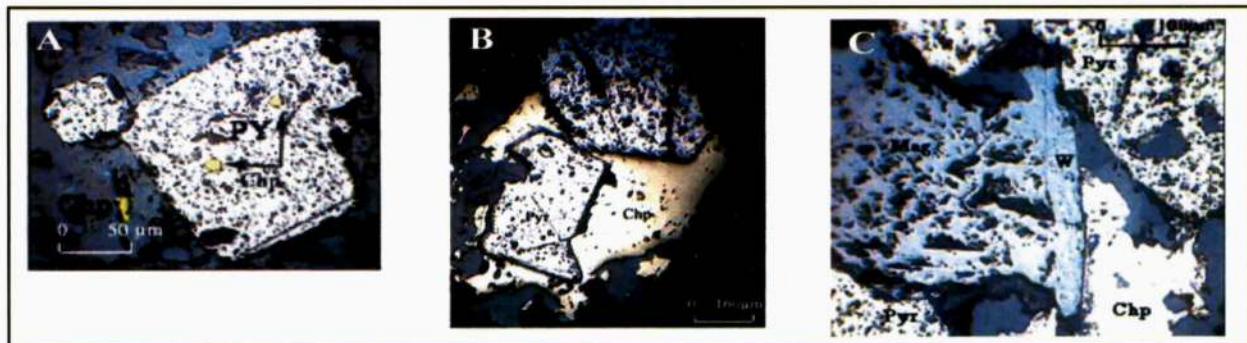


Fig. 8 - A : les cristaux de pyrite automorphes montrant dans leur porosité des inclusions de chalcopyrite;
B : la chalcopyrite cimente nettement la pyrite et remplit les pores,
C : la wolframite (variété hubnérite) recoupe la magnétite. (Sp n°41-3, 4, 5)

*A : Automorphic pyrite crystals showing in their inclusions porosity of chalcopyrite.
B : The chalcopyrite cements clearly the pyrite and fills the pores.
Wolframite (Hubnerite variety intersects magnetite.*

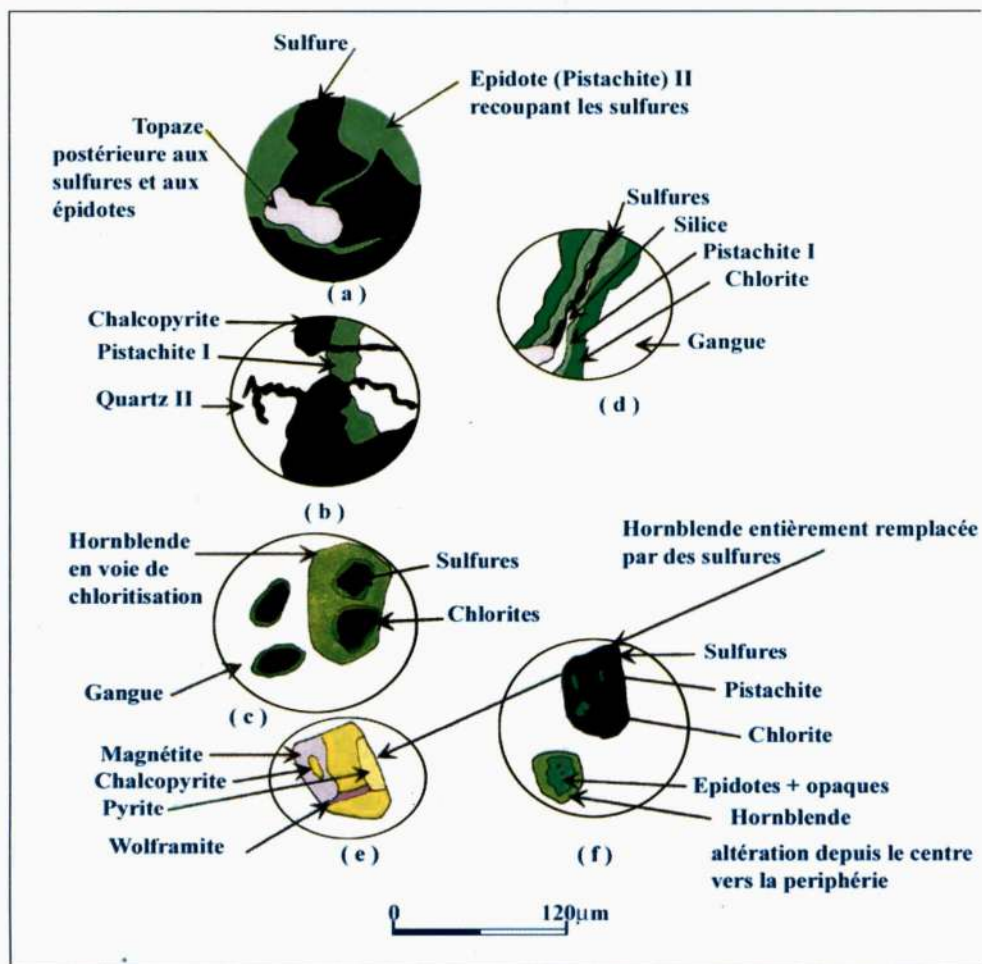


Fig. 9 - Relation minéralisation à cuivre – tungstène avec l'encaissant épidioritique (Lm c41-2)
Relation between copper - tungstene mineralization and epidioritic country rock.

Les sulfures seraient liés à plusieurs stades d'une même phase hydrothermale : la chloritisation se serait formée durant le premier stade, puis l'épidotisation et enfin, la silification.

Cette succession n'est pas toujours respectée car on peut observer des sulfures associés à la chlorite seule, soit à l'épidote seule, et rarement à la silice.

Succession paragenétique

Postérieurement à la mise en place du pluton Achchekal et donc au volcanisme Chet Iller qu'il recoupe, des phénomènes tectoniques post-Achchekal se sont produits dans cette région et vont générer un réseau de fractures dans lesquelles vont circuler des solutions hydrothermales.

Ces dernières vont transformer les roches encaissantes en métasomatites (épidotites) ; les transformations hydrothermales induites sont :

la chloritisation, l'épidotisation, la silification et à un degré moindre la carbonatation.

Une phase de pyritisation, verra le dépôt de la pyrite et de la chalcoppyrite. Une seconde phase va permettre la mise en place des minéralisations à wolframite, arsénopyrite (marcasite) (fig. 10).

Cette phase hydrothermale est suivie d'une phase supergène responsable de la mise en place des carbonates de cuivre et de limonite.

III. 1. 3 - Minéralisation cuprifère dans les leptynites

Les leptynites sont des roches métamorphiques très fréquentes dans la série Chet Iller. Au niveau de l'indice Tessalit, elles affleurent au contact des granites et granodiorites sous forme de bancs décimétriques à teinte claire. La roche est essentiellement quartzo - feldspathique.

Phases Minéraux	Phase Hydrothermale			Altération Supergène
	Stade I	Stade II	Stade III	
Chlorite	I			
Epidote			II	
Séricite				
Calcite				
Quartz				
Magnétite			II	
Pyrite		I		
Pyrrholite				
Chalcoppyrite			II	
Arsénopyrite				
Wolframite				
Malachite				
Azurite				
Chrysocolle				
	F R A C T U R A T I O N	F R A C T U R A T I O N	F R A C T U R A T I O N	F R A C T U R A T I O N

Fig. 10 - Tableau de la succession paragenétique probable de la minéralisation à cuivre - tungstène.

Table of the copper - tungstene mineralization probable paragenetic succession.

MINÉRALISATIONS A CU-ZN (W-Mo) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOIQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

Au microscope, on observe des grains de quartz et de feldspaths granoblastiques présentant une schistosité apparente (fig. 11). Les porphyroblastes de feldspath sont poecilites dans le quartz et muscovite (fig.11a). Des phénomènes hydrothermaux affectent la roche avec apparition de quartz, de calcite et de barytine.

On note aussi, le développement de veinules secondaires millimétriques, dans lesquelles se développent des cristaux de calcite secondaire associée parfois à des micas blancs et de la barytine (fig.11b). Dans le détail (fig.11c), l'observation montre de la calcite qui cristallise entre les interstices d'autres minéraux. On remarque que la calcite recoupe le quartz secondaire suivant une chronologie quartz – calcite – barytine.

La magnétite et la muscovite dans ce cas seraient d'origine magmatique.

Près des zones minéralisées, les leptynites sont souvent très altérées et renferment des concentrations cuprifères relativement pauvres. La minéralisation sulfurée est disséminée et remplit de très fines fissures. Elle est constituée essentiellement de pyrite et de chalcoppyrite auxquels est associée de la magnétite (fig. 12).

En dehors de la pyrite que l'on observe sous forme d'inclusion dans la chalcoppyrite, les relations entre ces minéraux ne sont pas observées.

4. CONCLUSION

L'indice Tessalit est encaissé dans la série Chet Iller d'âge néoproterozoïque supérieur (NP2), métamorphisée dans le faciès schistes verts. La minéralisation est caractérisée en surface par une paragenèse d'altération supergène à chalcocite, malachite, azurite et chrysocolle.

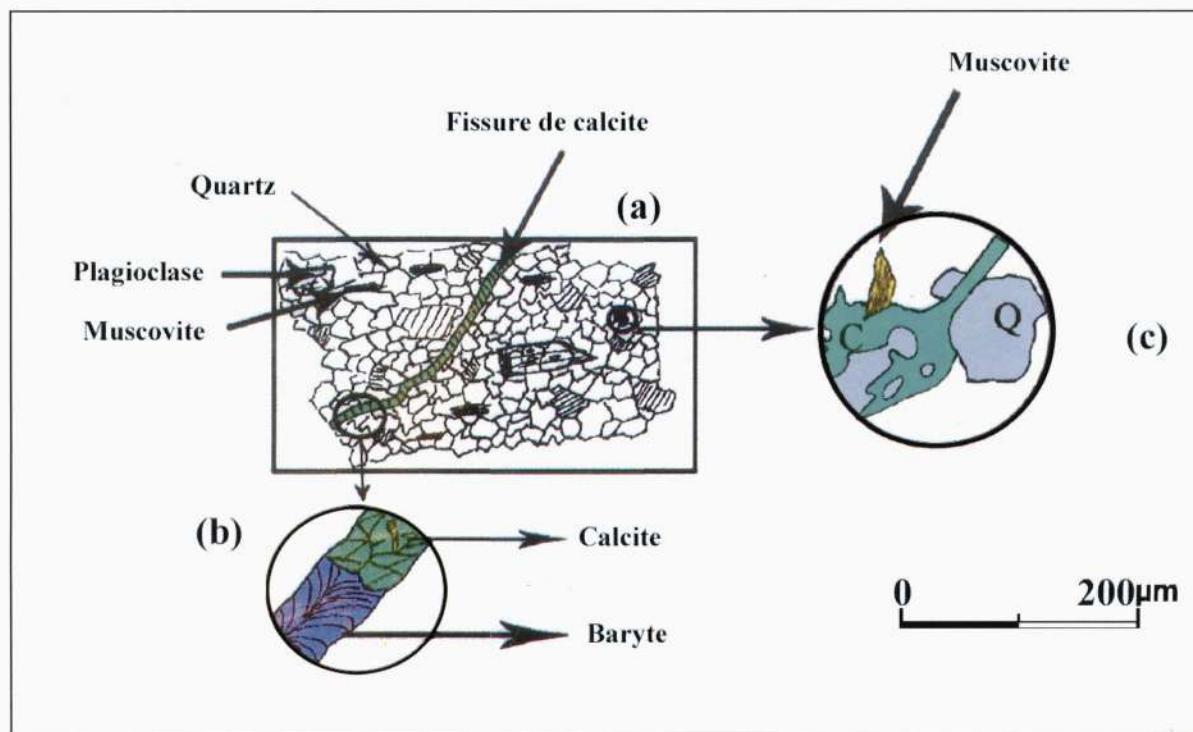


Fig. 11 - Observations microscopiques des leptynites affectées par les phénomènes hydrothermaux
Microscopic observations of leptynite affected by the hydrothermal phenomena

Phases Minéraux	ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES			ALTÉRATIONS SUPERGENES
	F R A C T U R A T I O N		F R A C T U R A T I O N	F R A C T U R A T I O N
Chlorite		—		
Epidote		—		
Séricite		—		
Quartz			—	
Calcite			—	
Baryte			—	
Pyrite			—	
Chalcopryrite			—	
Malachite				—
Azurite				—
Chrysocolle				—

Fig. 12 - Tableau de la succession paragenétique probable de la minéralisation cuprifère.

Table of the probable paragenetic succession of cupriferous mineralization.

En profondeur, la minéralisation est caractérisée par la présence de trois types distincts :

- le type à Zn - Cu - Mo qui forme une minéralisation massive, encaissée dans une métabasite (métabasalte ?). La chalcopryrite et la sphalérite constituent l'essentiel du minerai. Les sulfures remplissent les fissures, cavités et/ou remplacent les minéraux principaux. Ils sont accompagnés de minéraux d'altération hydrothermale : séricite, épidote, chlorite, calcite, barytine et silice;

- le type à Cu - W, encaissée dans des épidiorites intrusives. Cette minéralisation est disséminée ou sous forme de remplissage de fissures. Elle est liée à des altérations hydrothermales de type chloritisation, épidotisation et silification;

- le type à Cu seul, la minéralisation cuprifère est encaissée dans des leptynites fortement

altérées. Elle se présente sous forme disséminée et en remplissage de fissures. La chalcopryrite est le sulfure principal, accompagné de minéraux d'altération hydrothermale de type propylitique: chlorite, épidote, quartz, calcite et accessoirement barytine et muscovite.

Les minéralisations de l'indice Tessalit sont encaissées aussi bien dans des faciès grenus (épidiorite), que dans des faciès volcanodétritiques (métabasites) et des leptynites. Elles ont subi des altérations hydrothermales intenses à chlorite, épidote, calcite, séricite et quartz.

III. 2 - Indices de la série d'Ameskor

La série volcano-sédimentaire d'Ameskor, métamorphisée dans le faciès schistes verts encaisse de nombreuses concentrations cuprifères réparties sur deux secteurs principaux : le secteur d'Emedji au sud et le secteur d'Ameskor

MINÉRALISATIONS A CU-ZN (W-Mo) LIÉES AUX FORMATIONS VOLCANO-SEDIMENTAIRES NEOPROTEROZOIQUES
DU FOSSE CHET ILLER, HOGGAR SUD OUEST, SAHARA ALGERIEN.

au nord (fig. 3). L'observation montre à l'évidence une zonalité verticale qui fait apparaître :

- une minéralisation cuprifère affleurant en surface.
- une minéralisation polymétallique en profondeur recoupée par les sondages.

III. 2. 1 - La minéralisation cuprifère en surface

La minéralisation cuprifère affleurant en surface est encaissée essentiellement dans des méta-grès et métavolcanites (acides et basiques).

Dans les méta-grès se développent des phénomènes d'altération hydrothermale (épidotisation, chloritisation et silicification) qui apparaissent en zones lenticulaires.

Les sulfures se présentent sous forme de petites mouchetures finement disséminées dans la roche et soulignent les fissures ou les micro-

cavités. Ces fissures minéralisées sont sécantes sur la schistosité de la roche, ce qui implique une mise en place post-métamorphique (fig. 13).

L'étude microscopique (fig. 14) montre une association à cuivre gris (tennantite : $\text{Cu, Sb}_{12}, \text{As}_4, \text{S}_{13}$), chalcocite, pyrite, covellite et rare chalcoppyrite avec un fort développement des minéraux supergènes (malachite, chrysocolle et azurite).

Différentes analyses aurométriques, spectrales et docimasiques ont donné de faibles teneurs en or, de l'ordre de 1gr/t. L'or natif n'a été, à aucun moment, observé sous forme minéralogique.

Dans l'encaissant métavolcanique (méta-andésite), l'observation montre de nombreuses fissures remplies par du cuivre gris, presque totalement transformé en malachite et accompagné par des minéraux d'altération hydrothermale (calcite, épidote, barytine et quartz) (fig.15).

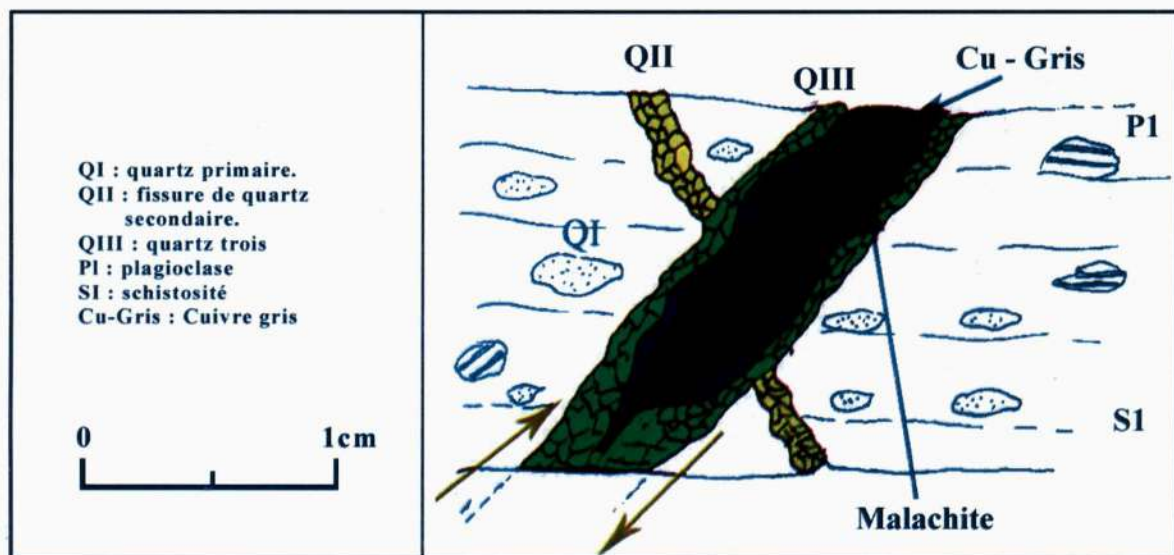


Fig. 13 - Fissure à cuivre gris sécante à la schistosité dans un méta-grès (Lm C124).

Grey copper crack secant to the schistosity in a meta-sandstone.

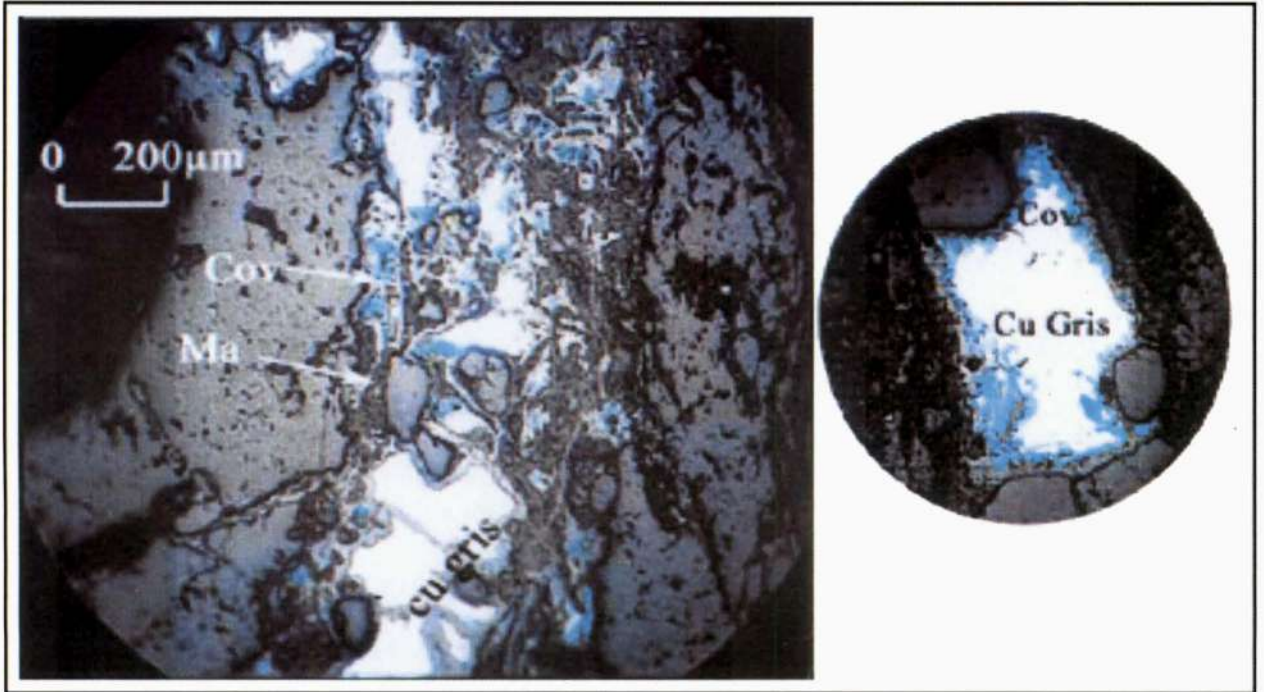


Fig. 14 - Fissure dans un grès remplie par le cuivre gris, ce dernier est remplacé par de la malachite (Ma) et de la covellite (Cov) à partir des bordures (détail photo de droite)

Fissure in a sandstone filled by the grey copper ore, this last is replaced by malachite (my) and covellite (cov) starting from the edges (photo detail right-hand side)

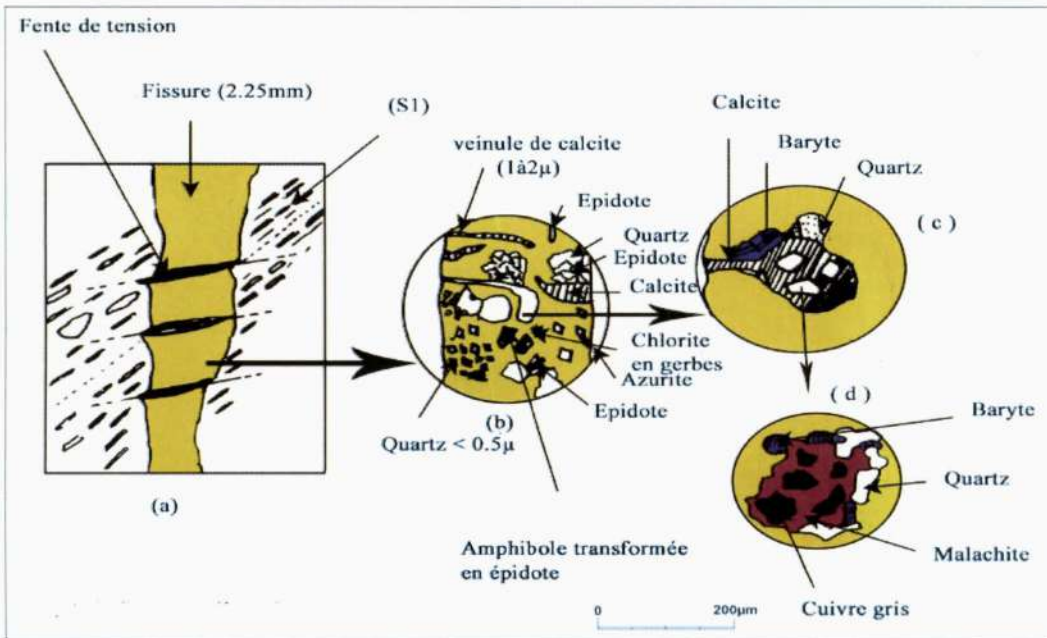


Fig. 15 - Fissure tardive à cuivre gris dans une métavolcanite (andésite silicifiée) (Lm C135)

Late crack with grey copper ore in a metavolcanite (silicified andesite)

c : Série pourprée (purple series)

III. 2. 2 - La Minéralisation polymétallique

Minéralisation à Cu, Zn, Pb dans le secteur Ameskor

La minéralisation à Cu, Zn, Pb est encaissée essentiellement dans des métavolcanites acides (dacites) et intermédiaires (andésites); (Belkhodja 1985, 1989; Daniec, 1986, 1989)

Ces roches encaissantes sont également accompagnées par un fort développement de phénomènes d'altération hydrothermale : épidotisation, chloritisation, silicification, calcitisation, séricitisation et kaolinisation.

Les concentrations polymétalliques à Cu, Zn, Pb se présentent sous forme de sulfures (pyrite, chalcopryrite, sphalérite, galène), accompagnés par un ensemble de minéraux d'altération supergène (chalcocite, malachite, chrysocolle, azurite, oxydes et hydroxydes de fer).

Les sulfures se trouvent disséminés dans la roche ou remplissent de petites fissures ou microcavités.

Les analyses n'ont pas détecté la présence de l'or.

IV - ÂGE RELATIF DES MINÉRALISATIONS

Pour avoir une idée sur l'âge de ces minéralisations, nous avons analysé les données géologiques régionales et locales (cf. fig. 2). Dans le cas des minéralisations de Chet Iller, on sait que l'âge probable du complexe Achchekal est de 646 Ma, (âge obtenu par la méthode Rb/Sr sur les granites Tamassahart qui sont leur prolongement au sud (Bertrand et Davison, 1981), or les minéralisations recoupent la série Chet Iller. Ces minéralisations sont donc postérieures à 646 Ma.

Elles sont antérieures aux dépôts molassiques éocambriens : des éléments andésitiques à

minéraux de cuivre sont retrouvés dans les conglomérats de la série pourprée éocambrienne (minéralisation remaniée, selon Baziz, 1986).

D'autre part, on ne connaît pas de minéralisations dans les séries paléozoïques du Tassili.

Dans le cas des minéralisations d'Ameskor, on sait qu'elles sont encaissées dans les méta-grès et les métavolcanites de la série Ameskor qui est discordante sur les diorites du complexe Achchekal.

Si nous considérons que les minéralisations du bassin Chet Iller sont liées au volcanisme Ameskor, leur âge serait donc compris entre 646 Ma (âge des diorites Achchekal) et 540 Ma (âge probable du complexe Dénat : type Taourirt).

V - SCENARIOS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS DU BASSIN CHET ILLER

Origine hydrothermale postérieure aux volcanismes Chet Iller et Ameskor

L'absence d'études isotopiques rend difficile toute reconstitution génétique. Le plutonisme Achchekal du Néoprotérozoïque supérieur (NP2), comme celui de Dénat post-orogénique auraient joué un rôle important dans la mise en place des minéralisations polymétalliques du Hoggar occidental en général et du bassin Chet Iller en particulier (fig. 2).

Deux scénarios de mise en place seraient possibles :

Hypothèse 1 : La mise en place des minéralisations polymétalliques (Cu, Zn, Pb, Mo, W, Au) liées aux formations volcano-sédimentaires du Protérozoïque supérieur à l'échelle du Hoggar occidental suggérerait deux stades successifs étalés dans le temps (fig.16).

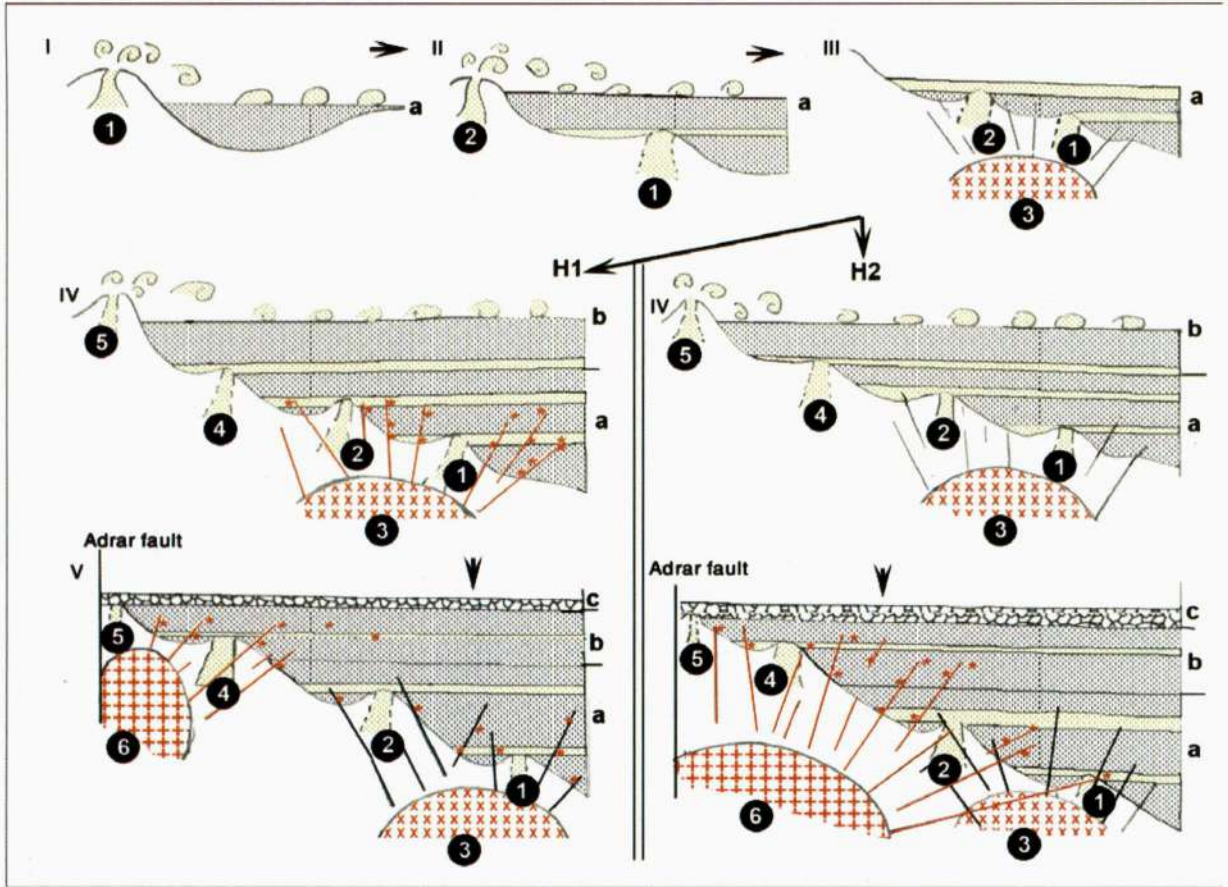


Fig. 16 – Evolution du bassin Chet Iller et mise en place des minéralisations polymétalliques durant le Néoprotérozoïque

Evolution and polymetallic mineralization in the Chet Iller Basin during the Neoproterozoic

a – série Chet Iller (*Chet Iller serie*), b – série Ameskor (*Ameskor serie*), c – série Pourprée (*Purple serie*), 1 – volcanisme mafique Chet Iller (*Mafic volcanism of Chet Iller*), 2 – volcanisme felsique Chet Iller (*Felsic volcanism of Chet Iller*), 3 – plutonisme tardi-orogénique Achchekal (*Lateorogenic plutonism of Achchekal*), 4 - volcanisme mafique Ameskor (*Mafic volcanism of Ameskor*), 5 – volcanisme felsique Ameskor (*Felsic volcanism of Ameskor*), 6 – plutonisme post orogénique Dénat (*Lateorogenic plutonism of Denat*).

I et II : dépôts de la série Chet Iller (*Chet Iller serie deposits*), III : Intrusion du pluton Achchekal dans la série Chet Iller (*Intrusion of the Achchekal pluton in the Chet Iller serie*).

H1 – première hypothèse (*First assumption*).

IV : Mise en place des minéralisations polymétalliques dans la série Chet Iller (*Emplacement of polymetallic mineralizations in the Chet Iller serie*);

V : Intrusion du complexe Dénat (grano-syérite). Mise en place des minéralisations de la série Ameskor (seule ou avec celles de la série Chet Iller) (*Intrusion of Denat complex (grano-syenite). Emplacement of the Ameskor serie mineralizations*);

H2 – deuxième hypothèse (*Second assumption*).

IV : Intrusion du pluton Achchekal dans la série Chet Iller sans minéralisation (*Achchekal pluton intrusion in the mineralization free of the Chet Iller serie*

V : Intrusion du complexe Dénat (grano-syérite). Mise en place des minéralisations de la série Ameskor avec celles de la série Chet Iller (*Intrusion of Denat complex (grano-syenite). Installation of mineralizations of the Ameskor serie alone or with those of the series Chet Iller*)

* Minéralisations polymétalliques (*Polymetallic mineralizations*).

Le premier stade : Les minéralisations polymétalliques se seraient formées à partir des fluides émanant des foyers magmatiques ayant fourni les granodiorites Achchekal intrusives dans la série Chet-Iller (Néoprotérozoïque supérieur = NP2).

Après le dépôt de la série volcano-détritique Chet Iller, se met en place un plutonisme calco-alcalin typique des zones de subduction. Ce pluton va recouper la série Chet Iller et provoquer un métamorphisme de contact.

Les derniers fluides riches en éléments volatiles vont remobiliser les métaux existant dans les différents faciès traversés et dans le pluton lui même. Donc, la mise en place des minéralisations est postérieure au plutonisme calco-alcalin qui est à 646 Ma.

Le deuxième stade : Ce deuxième stade serait lié à la mise en place des minéralisations polymétalliques dans la série volcano-détritique Ameskor (Néoprotérozoïque terminal = NP3).

Cette fois-ci, le plutonisme post orogénique Dénat aurait joué un rôle important dans la mise en place de ces minéralisations polymétalliques, bien que nous n'ayons pas trouvé de relation directe entre ce plutonisme et les minéralisations polymétalliques. Donc, la mise en place des minéralisations du deuxième stade serait postérieure au plutonisme Dénat (540Ma).

Hypothèse II : Les minéralisations polymétalliques seraient formées à partir des fluides émanant des foyers magmatiques ayant fourni les plutonites Dénat (540 Ma) intrusives dans la série Chet-Iller et Ameskor. L'accident subméridien profond « Adrar Karpof » aurait joué le rôle de principal métallotecte tectonique (fig. 16).

Les minéralisations sont postérieures au plutonisme post-orogénique Dénat (540 Ma). Ce dernier devance légèrement les minéralisations à wolfram - étain du Hoggar et coïnciderait approximativement avec l'âge de mise en place

des minéralisations aurifères dans le Hoggar occidental.

VI - CONCLUSION GENERALE

Dans le bassin du fossé Chet Iller se sont mises en place de nombreuses occurrences métallifères encaissées dans des faciès différents, essentiellement volcaniques (séries Chet Iller et Ameskor). Ces minéralisations se présentent sous forme disséminées, en petits amas lenticulaires et/ou en remplissage de fissures.

Les minéralisations du bassin Chet Iller sont alignées approximativement suivant un accident subméridien profond ayant joué le rôle de principal métallotecte tectonique. Ces minéralisations sont en partie développées dans les méta-volcanites par les effets du magmatisme post-orogénique panafricain. En effet, ce dernier a provoqué des circulations convectives hydrothermales, centrées sur l'accident tectonique subméridien, qui ont remobilisé et reconcentré les métaux diffus dans les laves volcaniques.

L'originalité dans ces minéralisations est la présence d'une paragenèse à cuivre - tungstène, à coté d'une autre à cuivre - zinc (téléscopage).

En outre, les études microscopiques, plus particulièrement les importantes altérations hydrothermales, laissent présager un enrichissement progressif des minéralisations en profondeur. Néanmoins « l'absence » de l'or dans ce type de minéralisation mérite une reprise de l'étude avec des moyens analytiques plus performants.

Remerciements : Nous tenons à remercier profondément Mr le Professeur Dejonghe Léon du Service Géologique de Belgique pour la lecture critique du manuscrit. Que Mr le Professeur Omar Kolli du Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie (U.S.T.H.B), trouve ici toute notre gratitude pour sa rigueur et tout l'intérêt qu'il a porté à ce modeste travail. Grâce à ses critiques fondées et ses conseils fructueux, plusieurs chapitres ont connus une grande refonte. Nos remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel du Service Géologique National (A.N.G.C.M) .

BIBLIOGRAPHIE

- BAZIZ, K. 1986.** L'orogène panafricain et sa couverture cambrienne dans la région de Ouallen. (NW. Hoggar, Sahara, Algérie). Permanence des indices minéralisés cuprifères. *Doct. 3^{ème} cycle INPL, Fr.*
- Belkhodja, N. 1985-1989.** Rapport final sur les travaux de recherches et de contrôle des zones perspectives en Cu, Ni, Co et Cr, dans les régions : D'Arak, Tinfelki, In Hihou, Ameskor, In Ettebel et Akofou.
- BERTRAND, J.M.L. 1980-1986.** Rapport sur les travaux effectués au Hoggar en collaboration avec l'E.R.E.M durant la période 1980-1986. *Nancy.* 94 p.
- BERTRAND, J.M.L. AND DAVISON, L. 1981.** Pan-africain granitoïds emplacement in the adrar des Ifoeras mobile belt (Mali). A Rb/Sr isotopic study. *Prec. Res.* 14. p. 333-362.
- BOUBIDI, L., LEBDIRI, M. ABCHICHE, R., BENZOHRARA, A. ET SADI, B. 2000.** Projet : prospection des minéralisations à Cu-Au liées à la série volcano-sédimentaire du néoprotérozoïque de la zone de Chet Iller (Hoggar occidental).
- BOUBIDI, L. 2000.** Projet : Rapport annuel de prospection régionale des minéralisations à Cu -Au liées aux séries volcano sédimentaires de la zone de Chet Iller. *O.R.G.M. Direction régionale Sud.*
- BOUBIDI, L. 2001.** Rapport annuel de prospection régionale des minéralisations à Cu - Au liées aux séries volcano-sédimentaire de la zone de Chet Iller. *O.R.G.M. Direction régionale Sud.*
- Boukhalfa, L. 2002.** Les formations volcano-sédimentaires néoprotérozoïques de la branche orientale de la chaîne pharusienne (Hoggar occidental, Algérie) : lithologie et géochimie. *Mem. Serv. Géol. Algérie.* n° 11. pp.9-31, 12 fig.
- CABY, R. 2003.** Terrane assembly and geodynamic evolution of central- Western Hoggar: a synthesis. *Journal. of. African. Earth. Sciences.* 37, 133-159.
- DANIEC, L. 1986-1987.** Rapport sur les minéralisations d'Ameskor, N°717-4.
- HAMIS, A. 2005.** Minéralisations à Cu-Au liées aux formations volcano-sédimentaires du Néoprotérozoïque du fossé Chet Iller. Hoggar Sud-Ouest, Sahara algérien, *Thèse. Magister, U.S.T.H.B. Alger.*
- KINIYAKINE, A. 1980-84.** Rapport final de l'équipe In Ouzal sur les travaux de prospection et de cartographie géologique au 1/200000 effectué en 1980-1984 sur le territoire des feuilles Ilafer, Tirek, Tessalit et In Ouzal.