

## L'indice à arsénopyrite aurifère de Koudiet El Ahrach (Edough, Annaba)

Djamel-Eddine AISSA \*, Christian MARIGNAC \*\*, Alain CHEILLETZ \*\*  
et Marie Christine BOIRON \*\*\*

\* IST/USTHB- BP 31 El-Alia 16111 ALGER

\*\* CRPG (CNRS) Rue Notre Dame des Pauvres, Vandoeuvre-NANCY (France)

\*\*\* CREGU (CNRS) BP23- 54501 NANCY (France)

**Résumé :** L'indice aurifère de Koudiet El Ahrach est situé au N.E. du massif de l'Edough, à une dizaine de kilomètres au Nord-Ouest de la ville de Annaba. Il consiste en deux filons de quartz pauvres en sulfures prospectés par la SONAREM en 1979. L'étude détaillée de cette zone nous a permis de préciser que les filons sont encaissés dans la zone de contact bréchifiée rhyolites-gneiss ocellés à sillimanite, proche d'affleurements d'amphibolites. Ces filons, remaniant aussi bien des embryons ou des fragments polymétalliques, que des aiguilles de minéraux antimonifères; montrent une évolution assez complexe consistant en des cycles alternés de quartz géodiques - quartz calcédonieux - quartz microcristallins reflétant des périodes de sous saturation et sursaturation en silice; en liaison avec des recharges thermiques; rythmées par les phases de mise en place des rhyolites; accompagnées d'épisodes de fracturation.

C'est dans le quartz microcristallin (qui se met en place surtout au sein des quartz calcédonieux et géodiques intensément fracturés et bréchifiés) que se déposent les sulfures (disséminations de marcasite, pyrrhotite, arsénopyrite  $\pm$  sphalérite  $\pm$  galène), en association avec séricite, argile et phyllites.

L'étude des arsénopyrites à la microsonde électronique, a permis d'une part de déceler des teneurs variables en or; et de caractériser ces minéraux d'autre part. En effet, ces arsénopyrites aurifères montrent un léger excès en soufre, un faible déficit en As, Fe, et une anomalie en Sb.

L'or est surtout réparti au coeur et sur les bordures caractérisées par un ratio As+Sb/S relativement élevé. Le traitement statistique des analyses des arsénopyrites à la microsonde permet de distinguer deux groupes:

- dans les analyses où As > 30,5% at. et S < 35,5% at., il existe une corrélation Sb-S; et ce sont les analyses à or significatif;
- dans les analyses où As < 30,5% at. et S > 35,7% at., il existe une corrélation As-Sb.

En outre, les études à la microsonde protonique ont mis en évidence l'existence d'or libre dans la matrice siliceuse.

Les études microthermométriques ont en outre révélé un processus de mélange entre des fluides purement météoriques, des fluides météoriques ayant traversé les rhyolites et

amphibolites, et des fluides marins provenant de la mer langhienne; à des températures 180-280°C et à très basses pressions.

**Mots clés:** Arsénopyrite aurifère - Filons épithermaux - Microthermométrie - Géothermométrie.

### **Gold bearing arsenopyrite from Koudiet el Ahrach occurrence (Edough, Annaba)**

**Abstract :** At the Koudiat el Ahrach occurrence (Edough metamorphic basement, NE Algeria) stibnite, pyrite, pyrrotite, sphalérite, galene and gold-bearing arsenopyrite are found in epithermal quartz veins. Gold distribution within crystals is very irregular and it is very difficult to establish a correlations with elements bearing arsenopyrite, thus a microprobe study have shown that these arsenopyrites can be approximatively subdivided in two groups :

- in the analysis were As >30.5 at. % and S <35.5 at.%; it exists a correlation Sb-S. This subgroup include a relatively Au-rich arsenopyrite.

-in the analysis were As <30.5 at.% and S > 35.7 at.% , it exists a correlation As-Sb. This subgroup include a Au-poorly arsenopyrite.

Thus gold is heterogeneously distributed and it is specifically enriched in growth zones or overgrowths having a high ratio As+Sb/S.

Therefore, a secondary ion mass spectrometry have shown that Au is correled with AsS<sup>-</sup>, FeS<sup>-</sup> phases, AsS<sup>-</sup>/FeS<sup>-</sup> boundary; and have revealed the presence of a free nativ gold in a quartz matrix.

The vuggy quartz is strongly zoned, with abundant fluid inclusions, mainly primary, allowing a description of the variation in fluid composition and temperature during quartz growth. Melting of ice occurs in the very restricted range of 0°C to -1.3°C, while the eutectic temperature is recorded around -21°C, thus indicating a low-salinity NaCl-dominated. Fluid Homogenization temperatures are in the range of 180° to 270°C, and densities (0.795-0.854 g/cm<sup>3</sup>). From one growth zone to the other, changes in both salinity and homogenization temperature are the rule. Mixing trends between a very low-salinity fluid and a more saline fluid are apparent. Mixing occurs either with an increase or a decrease in homogenization temperature.

**Key words :** Gold-bearing arsenopyrite - Epithermal veins - Microthermometry - Geothermometry.

## **INTRODUCTION**

Les minéralisations épithermales en contexte de volcanisme ou sub-volcanisme sont souvent favorables à la présence de quantités plus ou moins importantes d'or. Cependant, le problème principal réside dans la détection et la localisation de cet or. En effet, ce dernier est souvent infra-microscopique ou diffus dans le réseau des sulfures.

Parmi ces derniers, l'arsénopyrite demeure le minéral qui est le plus souvent associé à l'or.

Dans l'indice de Koudiet El Ahrach (Annaba), l'or est invisible même au microscope. La présente étude essaiera de préciser l'environnement géologique, l'évolution P-T-x et les méthodes utilisées quant à la localisation et la caractérisation de l'or.

## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)

## 1. Présentation

L'indice à Arsénopyrite aurifère de Koudiet el Ahrach est situé au Nord du massif de l'Edough (fig.1). Ce massif est constitué essentiellement par un socle métamorphique polycyclique recouvert par une couverture tectonique méso-cénozoïque et recoupé par des roches magmatiques diverses: métaleucogranites et metabasites anté-alpins; leucogranites peralumineux burdigaliens; microgranites subcalcalins langhiens et rhyolites peralumineuses langhiennes. (Aïssa, 1985; Aïssa *et al.*, 1995; Aïssa, 1996).

Dans le secteur de Koudiet el Ahrachaffleurent diverses roches : gneiss ocellés fins à sillimanite localement migmatitiques, micaschistes, amphibolites, microgranites, rhyolites (fig.2). A l'affleurement, cet indice consiste essentiellement en deux filons de quartz subverticaux (Direction N165° à N10°; pendage

85°NW à 90°) de puissance semi-métrique, faiblement minéralisés en sulfures et encaissés dans la zone de contact bréchique gneiss-rhyolite. Ils montrent des disséminations de marcasite, pyrrhotite, arsénopyrite ± sphalérite ± galène dans les zones à quartz gris-bleuté; alors que les zones à quartz blanc laiteux ou rosâtres plus tardives sont pratiquement dénuées de toute minéralisation. Les gneiss aux épontes des filons sont intensément bréchifiés, silicifiés, chloritisés, kaolinisés et traversés par des veinules à quartz-adulaire-fluorite.

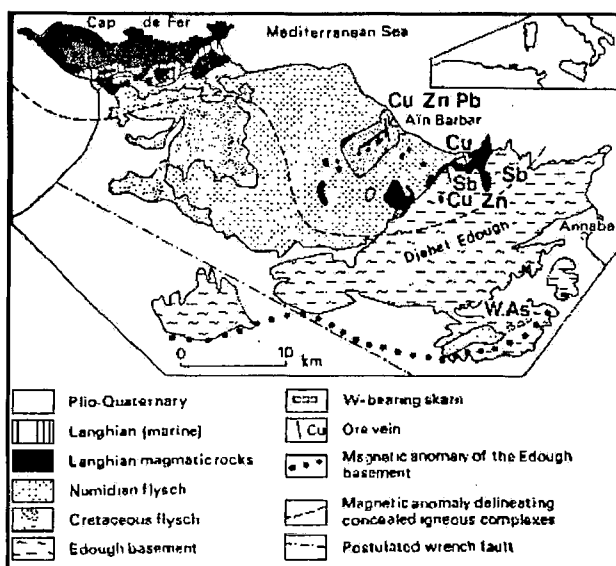
## 2. Succession paragénétique

L'étude macroscopique et microscopique de plusieurs échantillons, dont l'échantillon EX 26 A et B est bien représentatif (fig 3 et 4), a permis de mettre en évidence la succession chronologique suivante :

- une minéralisation antimonifère précoce, caractérisée par le dépôt de quartz palissadiques anciens (Q°A), renfermant localement des aiguilles de stibine ou berthiérite (partiellement dissoutes), noyés dans un quartz micro-cristallin ancien (Q°B), au sein duquel se rencontrent aussi de très rares aiguilles de stibine.

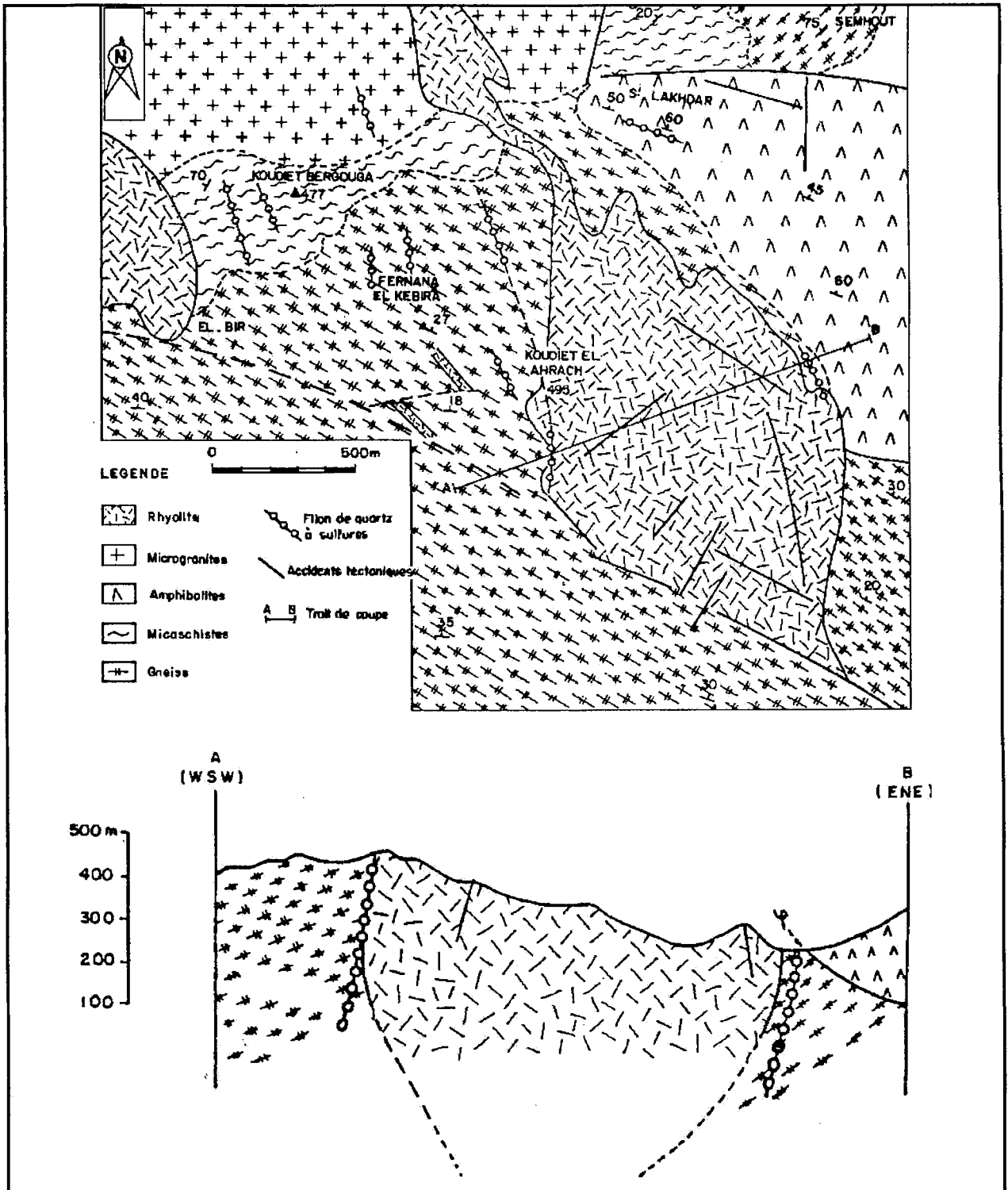
- après un épisode de fracturation, se mettent en place des quartz géodiques (Q1g) caractérisés par de nettes zones de croissance soulignées par des inclusions fluides, et qui renferment parfois, en fin de croissance, de petits cubes isotropes moins réfringents que le quartz, attribués à la fluorite. Un timide épisode de quartz microcristallin à microsaccharoïde (QmC) est associé à ces Q1 g.

- suit le dépôt de quartz calcédonieux (Q2 c), évoluant vers des quartz géodiques (Q2 g). Cette phase 2 est irrégulièrement développée et peut localement être très réduite, voire absente. Notons qu'on observe parfois la succession :



**Fig. 1** - Situation et environnement géologique et géologique du massif de l'Edough (compilé d'après Hilly, 1957; Vila, 1980; Marignac, 1985; Aïssa, 1980 - 1985 )

**Location and regional environment of the Edough ore field (adapted from Hilly, 1957; Vila, 1980; Marignac, 1985; Aïssa, 1980 - 1985 )**



L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)

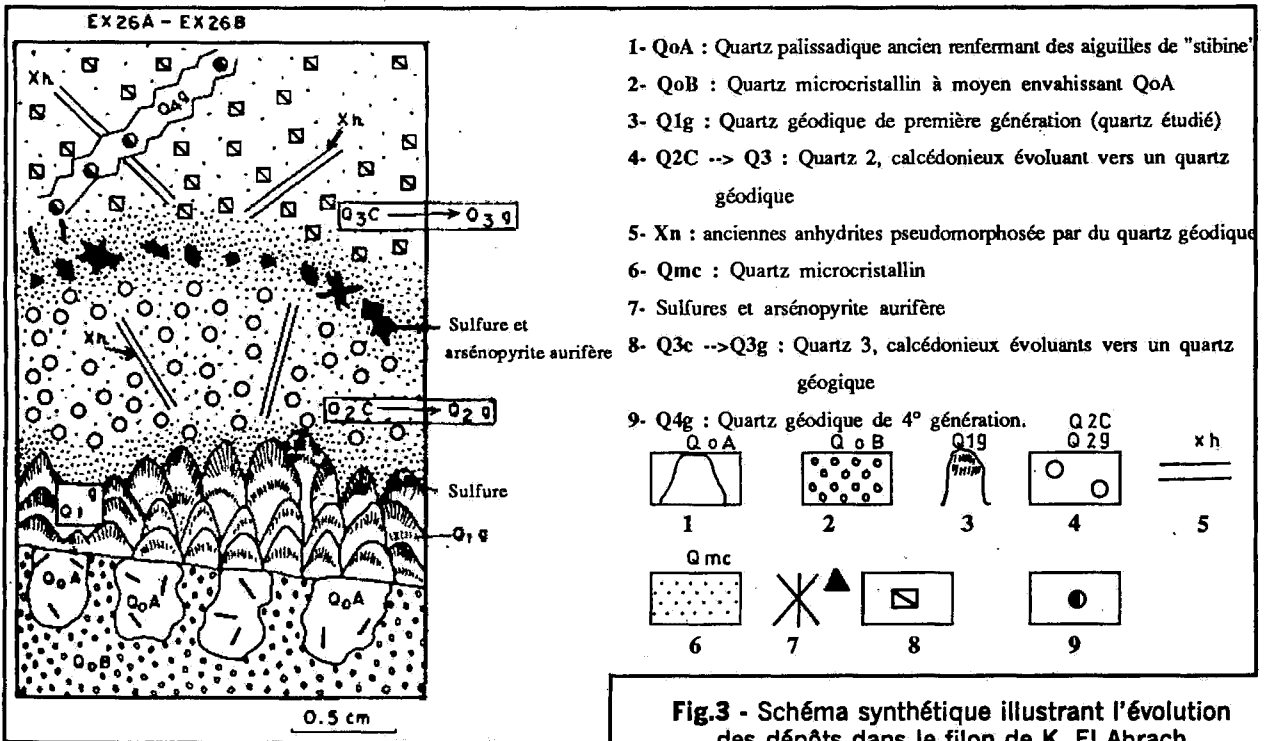


Fig.3 - Schéma synthétique illustrant l'évolution des dépôts dans le filon de K. El Ahrach  
*Synthetic evolution of mineral deposit in the K. Al Ahrach vein*

quartz 1 géodique-quartz 2a géodique «fibreuse»-quartz 2b calcédonieux.

- en liaison avec un nouvel épisode de fracturation, une nouvelle génération de quartz microcristallin (Q2 mc) se met en place, surtout au sein des quartz calcédonieux et géodiques qui sont intensément fracturés et bréchifiés. Cette mise en place de Q2mc s'accompagne de phyllites et, surtout, de la précipitation de sulfures, notamment d'arsénopyrite aurifère. Ce cycle s'achève par la mise en place d'une troisième génération de quartz calcédonieux (Q3c) évoluant vers un quartz géodique (Q3g), et plus tardivement un quartz géodique (Q4g), avec lequel précipitent de rares cristaux de sphalérite et galène.

Notons la présence à travers tout l'échantillon d'anciens minéraux prismatiques allongés (Xn); actuellement pseudomorphosés par du quartz géodique, que l'on peut attribuer à l'anhydrite.

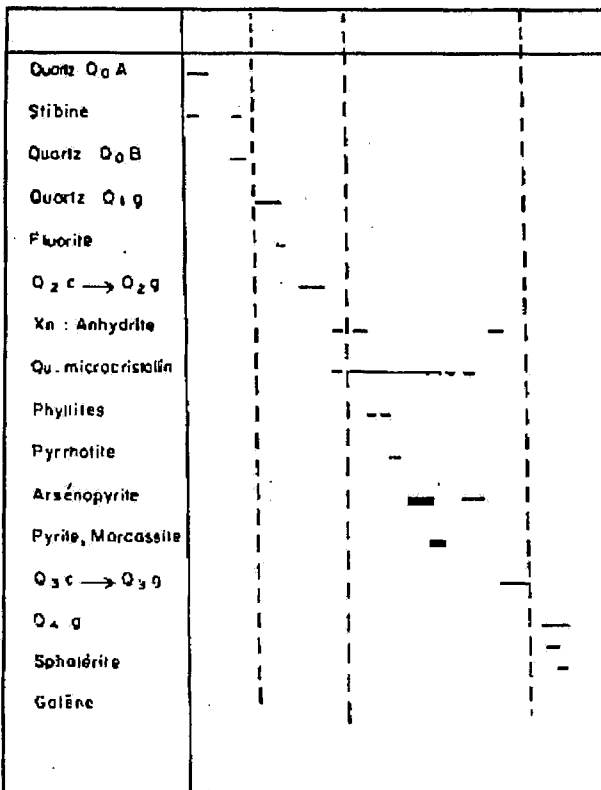
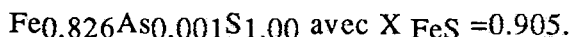


Fig.4 - Succession chronologique de dépôt dans le filon de K. el Ahrach  
*Synthetic paragenetic succession of K. el Ahrach vein*

### 3. Etude minéralogique

Les analyses à la MSE de la pyrrhotite et de la marcasite (Aïssa, 1996) ont montré que ces minéraux renfermaient de très faibles teneurs en arsenic. La formule structurale moyenne de la pyrrhotite est :

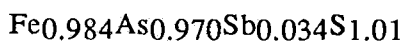


La marcasite, de formule structurale moyenne  $\text{Fe}_{0.999}\text{As}_{0.005}\text{S}_{1.95}$ , accuse de faibles déficits en soufre et fer et un très léger excès en arsenic, et parfois aussi en antimoine.

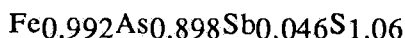
Les cristaux d'arsénopyrite étudiés au MEB (MEB/EDS, Hitachi, Université Nancy 1) par électrons rétrodiffusés, montrent des zonations nettes (Fig. 5) dues à la variation du rapport  $\text{As+Sb/S}$ , mettant en évidence les fluctuations rythmiques de l'arsenic et du soufre; les zones claires étant les zones riches en arsenic.

On distingue deux générations d'arsénopyrite :

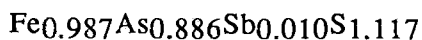
- une arsénopyrite anté-marcasite de formules structurales moyennes comprises entre :



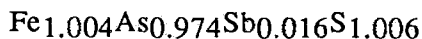
et



- une arsénopyrite post-marcasite, de formules structurales moyennes comprises entre :



et



Par comparaison aux arsénopyrites des filons voisins du Safsaf (cf. Aïssa, 1996), celles de Koudiet el Ahrach sont plus riches en As et Sb, et ne renferment pratiquement pas de Co. Ce sont les arsénopyrites précoces qui montrent les plus fortes teneurs en antimoine; ce sont aussi celles qui apparaissent aurifères.

Le traitement statistique des analyses des arsénopyrites à la microsonde permet de distinguer deux groupes ( Tableau 1 et Fig.6) :

- dans les analyses où  $\text{As} > 30,5\%$  at. et  $\text{S} < 35,5\%$  at., il existe une corrélation Sb-S; et ce sont les analyses à or significatif;

- dans les analyses où  $\text{As} < 30,5\%$  at. et  $\text{S} > 35,5\%$  at., il existe une corrélation As-Sb.

Le problème de l'or:

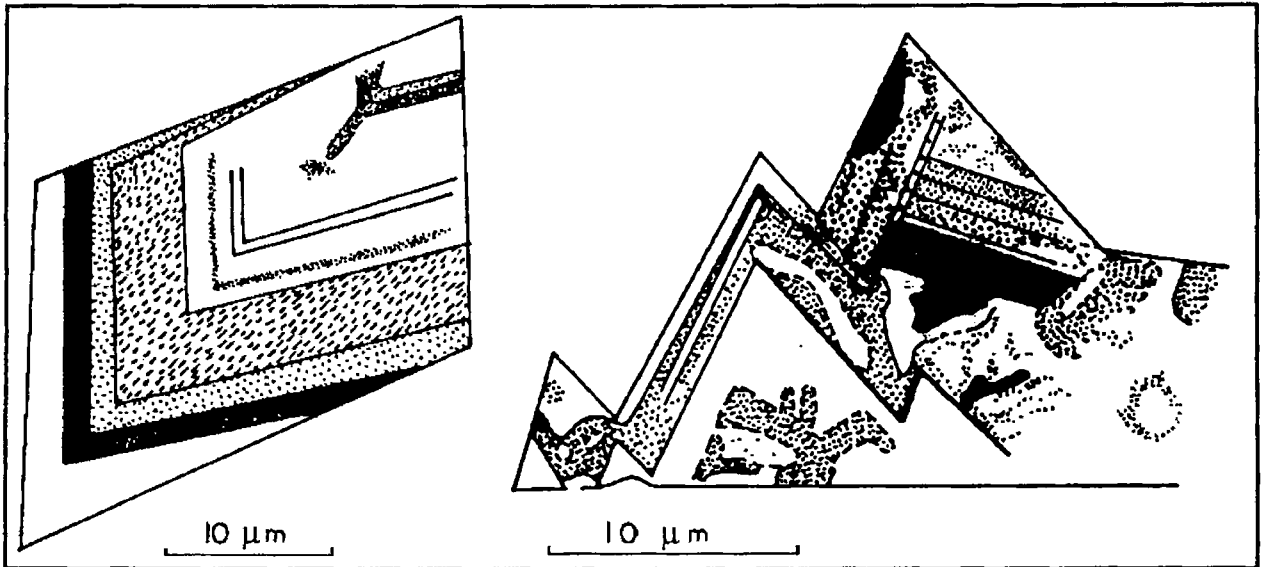
- l'or a été localisé et détecté grâce aux études combinées du MEB/EDS et de la MSE (CAMECA-SX50 du service commun d'analyses de l'Université de Nancy I);

- la limite de détection (qui écarte tout doute) pour l'or à la CAMECA SX50 est de l'ordre de 400 ppm, pour un temps de comptage de 30 secondes, à 20 kV, 30 nA (M.C. Boiron, 1987; J.M. Claude, communication personnelle, 1992). Des teneurs supérieures à ce seuil, de l'ordre de 600 ppm en moyenne, avec une "pointe" à 1700 ppm, ont été effectivement obtenues dans les arsénopyrites anté-marcasite.

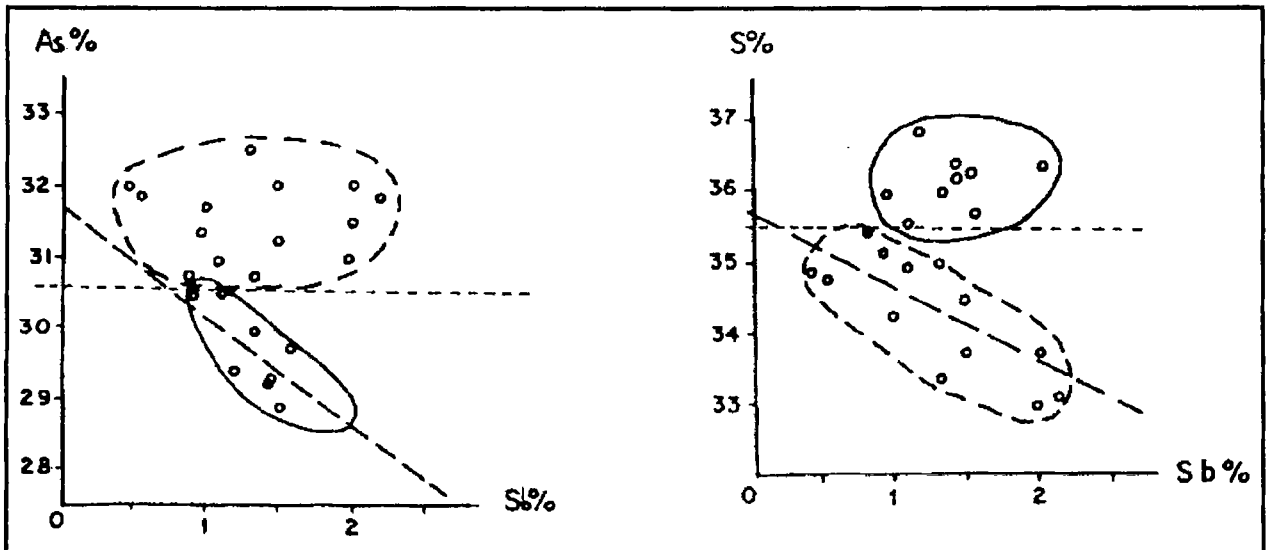
Les diagrammes de corrélation restent souvent controversés; néanmoins, à quelques exceptions près, les arsénopyrites anté-marcasite (aurifères) se distinguent des autres arséno-pyrites par une constance dans le faible déficit en fer, et la relative richesse en antimoine. En outre, dans les arsénopyrites zonées (Fig. 5) l'or est surtout présent au coeur et sur les bordures claires des cristaux, correspondant aux zones enrichies en As (ou ratio  $\text{As+Sb/S}$  relativement élevé).

Pour savoir si l'or des arsénopyrites correspond à des substitutions dans le réseau ou à des micro-inclusions, une série d'images a été réalisée sur l'échantillon EX 26 à la microsonde ionique de l'Université de Grenoble. Cette

## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)



**Fig. 5 - Zonalités dans les cristaux d'arsénoxyrite en fonction du rapport As+Sb/S.**  
 Les zones sont d'autant plus claires que le rapport As+Sb/S est élevé  
*Zonation within arsenopyrite crystals related with As+Sb/S ratio.*  
 Zone are more light when As+Sb/S ratio are more high



**Fig. 6 : Diagrammes de corrélations Sb/As et Sb/S des arsénoxyrites de K. Ahrach**  
*Sb/As et Sb/S correlation diagrams from the K. Ahrach arsenopyrites*

**Tableau 1 - Analyses des arsénopyrites de K. Ahrach à la microsonde électronique**  
***Electron microprobe analyzes of gold-bearing arsenopyrites from K. Ahrach***

	Au (ppm)	As (%at.)	Sb(%at.)	Fe (%at.)	S (%at.)
R23.1	0	30,98	1,96	32,89	34,16
2	630	31,96	0,43	32,73	34,84
3	0	28,9	1,53	33,3	36,26
4	0	31,71	0,98	32,96	34,33
5	0	31,54	1,99	32,8	33,68
9	0	32	1,51	32,76	33,73
11	120	32,21	1,52	32,77	34,5
12	0	32,52	1,3	32,83	33,35
13	0	30,72	1,34	33	34,93
R22. 2	0	28,79	2,03	32,81	36,37
5	1740	30,87	1,14	32,96	34,98
6	0	29,2	1,39	33,05	36,36
7	450	29,4	1,44	32,94	36,21
8	0	30,54	1,13	32,82	35,52
EX26	400	30,3	2,18	33,42	34,38
	670	31,07	1,47	33,42	34,27
	250	29,82	2,1	33,52	35
	3,5	29,9	1,94	33,42	34,65
	0	29,79	1,6	33,32	35,33
	190	33,41	1,52	33,52	32,06
	320	29,86	2,08	33,42	34,6
	660	28,8	1,77	33,32	35,88
	500	29,74	1,7	33,42	35,15
	270	28,19	1,44	33,52	36,67
	0	27,74	1,36	33,42	37,29
	500	29,06	1,36	33,42	35,95
	620	29,18	1,74	33,32	35,58
	540	29,53	1,27	33,42	35,65
	720	32,44	1,19	33,32	32,92
	480	28,9	1,62	33,32	35,96
	190	28,53	1,43	33,52	36,77
	20	28,8	1,36	33,42	36,12



## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)

imagerie a confirmé la présence d'or dans le réseau des arsénopyrites, avec des portions localisées à plus fortes teneurs.

En outre, ces études ont précisé que l'or est surtout lié à la phase  $AsS^-$  (bordures des cristaux); moins nettement à la phase  $FeS^-$ , bordures et coeurs; à la zone de contact des phases  $AsS/FeS^-$ . Des microplages d'or libre dans la matrice siliceuse on pu également être mises en évidence.

#### Comparaison avec les travaux antérieurs

Beaucoup d'auteurs se sont intéressés à l'insertion de l'or dans les arsénopyrites aurifères, avec les résultats suivants :

- pour M. Bonnemaïson (1987) les teneurs élevées en or sont corrélées avec un excès de As, Fe et anticorrélées avec Sb, malgré des exceptions locales;

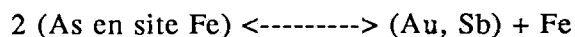
- pour E. Marcoux *et al.*, (1987), l'or se localise à la périphérie des cristaux et il existe une corrélation positive Au-As; Au-Fe; et une corrélation négative Au-Sb;

- pour P. Marion (1988), l'or est surtout concentré dans les zones périphériques, et il existe une corrélation Au-Fe; et une anti-corrélation Au-Sb. Toutes les arsénopyrites sont déficitaires en Fe; l'or remplace Fe, mais ne remplace pas As.

- pour M. Cathelineau *et al.*, (1988), l'or est corrélé avec As; anti-corrélé avec Sb, S;

- pour Z. Johan (1989), les teneurs élevées en or sont corrélées avec un excès de (As+S) et anti-corrélées avec Fe, Sb, S. L'étude de certaines zones de croissance riches en Sb et As montre clairement que ces éléments se situent sur le site Fe. Dans les zones saturées en S, l'excédent de cet élément occupe pour partie le site As. Ces zones ne sont pas aurifères. Dans les zones

aurifères, le site As est saturé. L'excédent en As occupe pour partie le site S. Enfin, il propose le mode de substitution suivant :



A Koudiet el Ahrach, on retrouve bien la localisation de l'or au coeur et sur les bordures des cristaux et la liaison Au-Fe et zones enrichies en As notée par la plupart des auteurs; mais pas les relations directes avec Sb qui sont décrites dans les autres occurrences.

#### 4. Evolution P-T-X

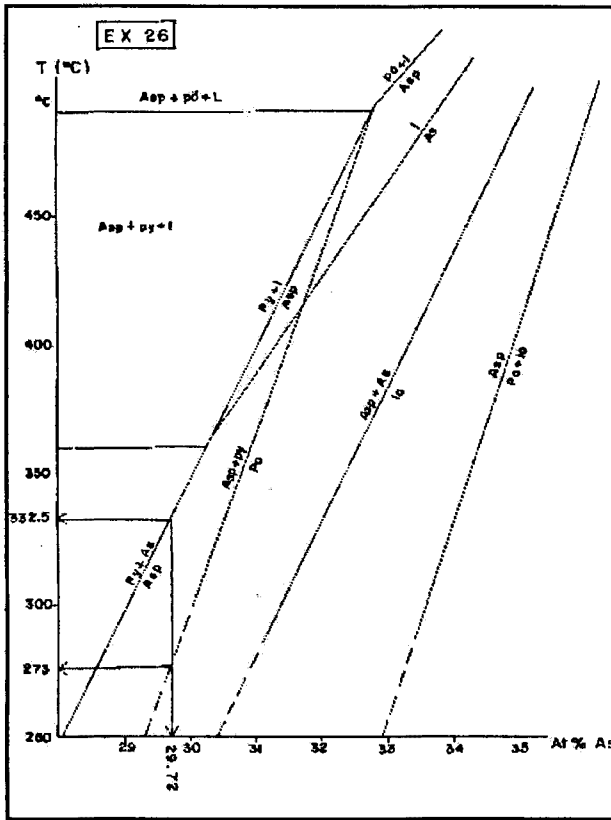
##### Thermométrie de l'arsénopyrite

Nous avons utilisé les données de U.Kreshmar et S.D. Scott (1976); Z.D. Sharp *et al.*, (1985) ont critiqué l'emploi de ces données à des fins microthermo-métriques pour les conditions de haute pression et signalé qu'elles sont peu précises pour les basses températures; dans le cas des arséno-pyrites de Koudiet El Ahrach, la pression est certainement trop basse pour que les corrections proposées par Z.D. Sharp *et al.*, (1985) soient utiles. En considérant que ces arsénopyrites reflètent des conditions proches du joint  $Po/Asp+Py$ , on obtient des températures inférieures ou égales à 273°C (Fig.7).

##### Etude des inclusions fluides

Les seuls quartz qui contiennent des inclusions fluides étudiables sont les quartz Q1g. Quoiqu'ils ne soient pas directement contemporains de la minéralisation sulfurée, qui est postérieure, on peut espérer que leur étude donnera des informations utiles sur le régime thermique et la composition des fluides dans le filon épithermal de Kt el Ahrach.

Les inclusions fluides dans les Q1g sont en majorité primaires, puisqu'elles soulignent les zones de croissance des cristaux. Ces



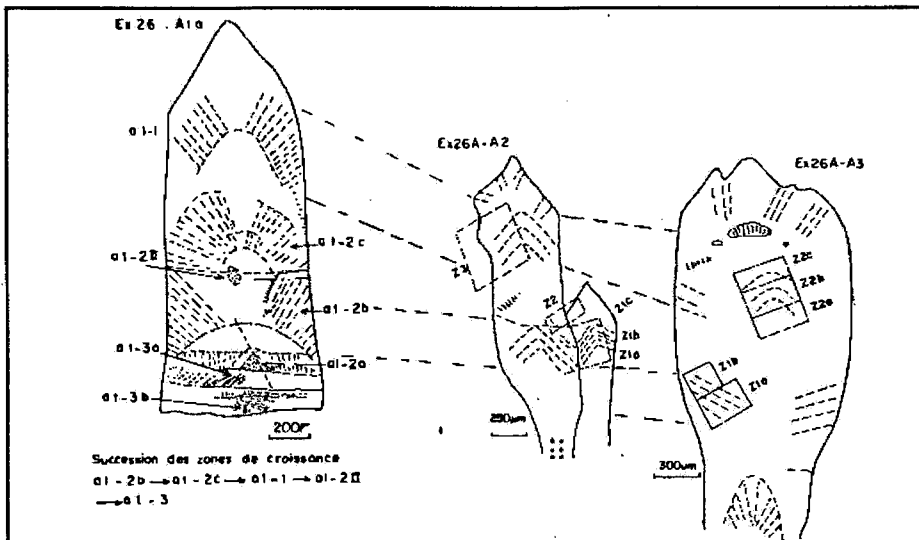
**Fig.7 -** Diagramme de Kretschmar et Scott (1976) appliqué aux arsénopyrites de K. Ahrach  
*Kretschmar and Scott diagram (1976) applied to K. Ahrach arsenopyrites.*

inclusions sont toutes de type Lw (aqueuses) et ne renferment pas de CO<sub>2</sub>, ni de clathrates.

La figure 8 montre la disposition générale des lames épaisses étudiées au sein de l'échantillon EX26 (A et B, B est une plage antérieure à la plage A dans la séquence de croissance). Les inclusions fluides, de formes irrégulières, ont des tailles variant de 10 à 50 micromètres et un degré de remplissage vapeur grossièrement homogène; cependant, le «necking down» semble avoir été la règle. Certaines inclusions fluides renferment des phyllites et des solides biréfringents. Les températures eutectiques mesurées tournent autour de -2°C. Les températures d'homogénéisation varient de 180° à 270°C (Aïssa, 1996). Les courbes isochores et densités correspondantes sont représentées sur la figure 9.

*Evolution T-X-t*

Les températures eutectiques montrent que l'on est en présence de fluides appartenant au système H<sub>2</sub>O-NaCl ; il n'y a pas trace de CO<sub>2</sub>. Les évolutions T-X-t sont difficiles à suivre, du fait de la grande dispersion en Th des données microthermométriques (Fig. 10). Cette disper-



**Fig. 8 :** Vue synthétique sur la répartition des inclusions fluides au sein des lames polies de l'échantillon EX26  
*Distribution of fluid inclusions in polished sections from EX26 sample*

## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)

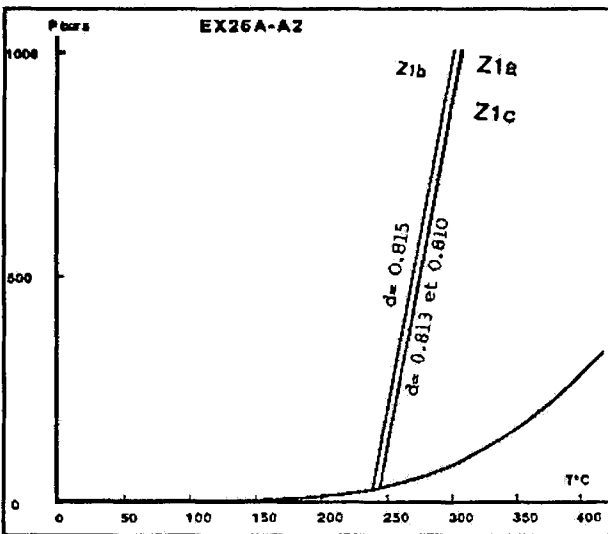
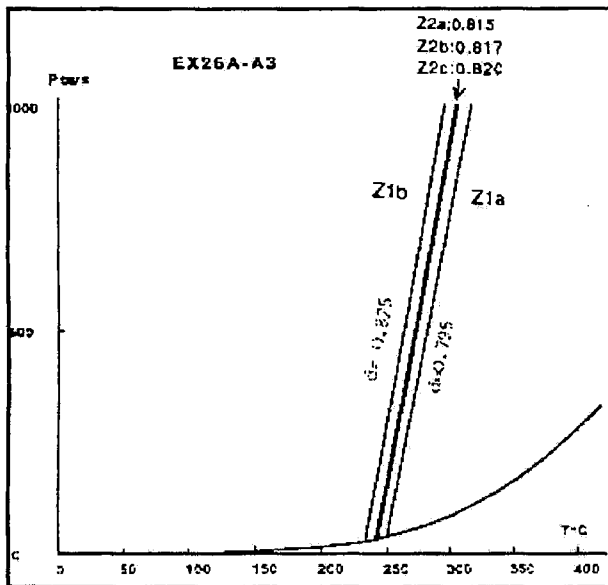


Fig. 9 - Exemples de courbes isochores des inclusions fluides K. Ahrach

*Isochore curves of fluid inclusions from K. Ahrach*

sion est imputable dans certains cas au phénomène du «necking down»; il est donc possible de s'en affranchir pour une approximation grossière en considérant les barycentres des nuages correspondants à une zone de croissance donnée.

Les salinités sont dans l'ensemble faibles, mais, dans le détail, elles apparaissent variables, entre un pôle plus salin (autour de 2,2 poids % NaCl) et un pôle très peu salé (de l'ordre de 0,5 poids % NaCl) (Fig.11).

On constate alors que, d'une zone à l'autre, se dessinent des évolutions caractérisées à la fois par des variations de température et des variations de salinité :

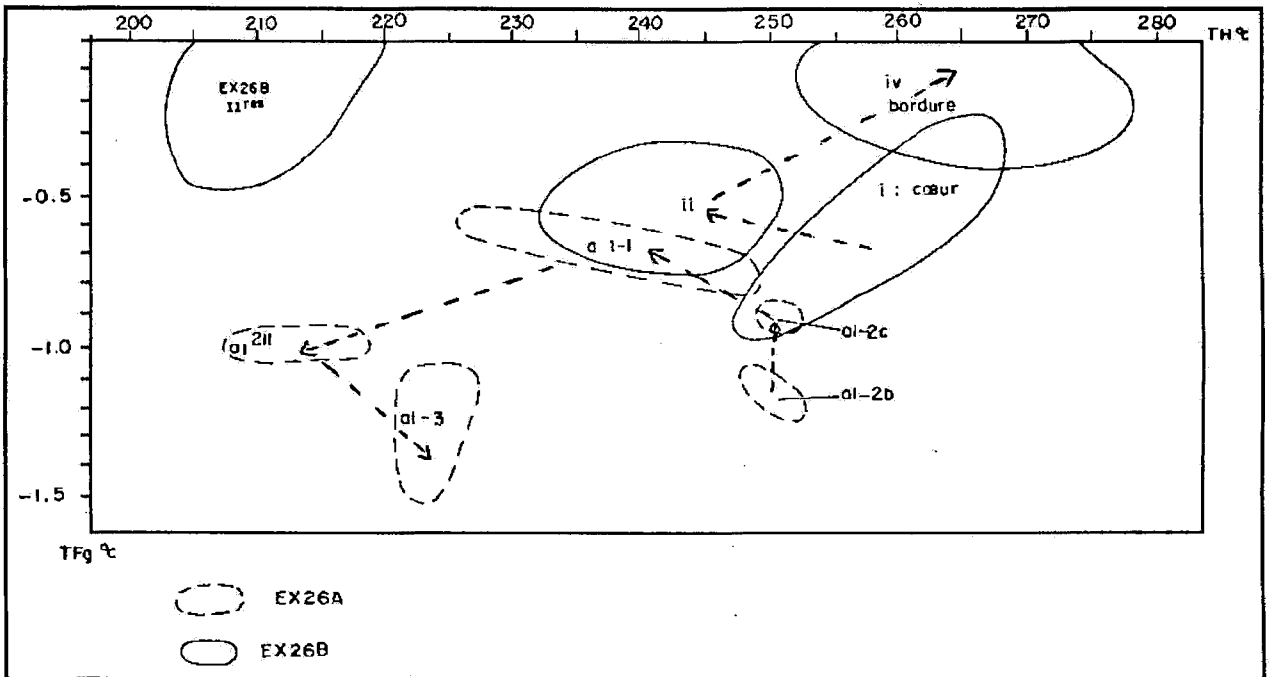
- les variations de salinité correspondent à des mélanges entre le pôle «salé» et le pôle proche de l'eau pure;

- les variations de température sont de deux types: elles se font en effet soit à salinité constante (il s'agit alors généralement d'un refroidissement); soit en s'accompagnant de variations de salinité: elles traduisent alors le caractère anisotherme des mélanges et on remarque que, selon les cas, c'est le pôle le plus salé ou, au contraire, le pôle le plus proche de l'eau pure, qui apporte la chaleur.

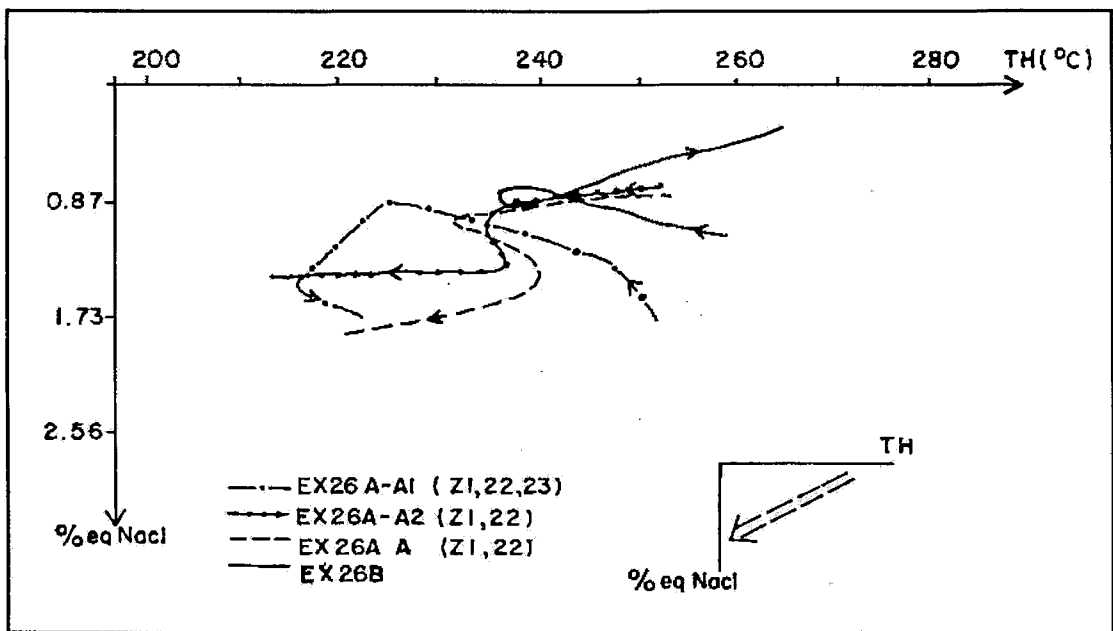
Sur le diagramme synthétique de la figure 12, où sont mises en regard les variations de  $T_h$  (considérées comme proches des températures vraies dans cet environnement très proche de la surface) et de la salinité globale, on voit que les températures ont constamment oscillé au cours de la croissance des quartz, avec une tendance générale à la baisse, depuis des valeurs proches de 260°C jusqu'à des températures de l'ordre de 200°C; de même que les salinités, traduisant selon les cas la domination du fluide salé ou celle du fluide peu salé.

### Fluides mis en jeu

L'étude des diagrammes résultant de l'étude microthermométrique (TH-TFg) mettent en évidence une évolution temporelle avec une circulation d'au moins trois fluides (Fig.13):

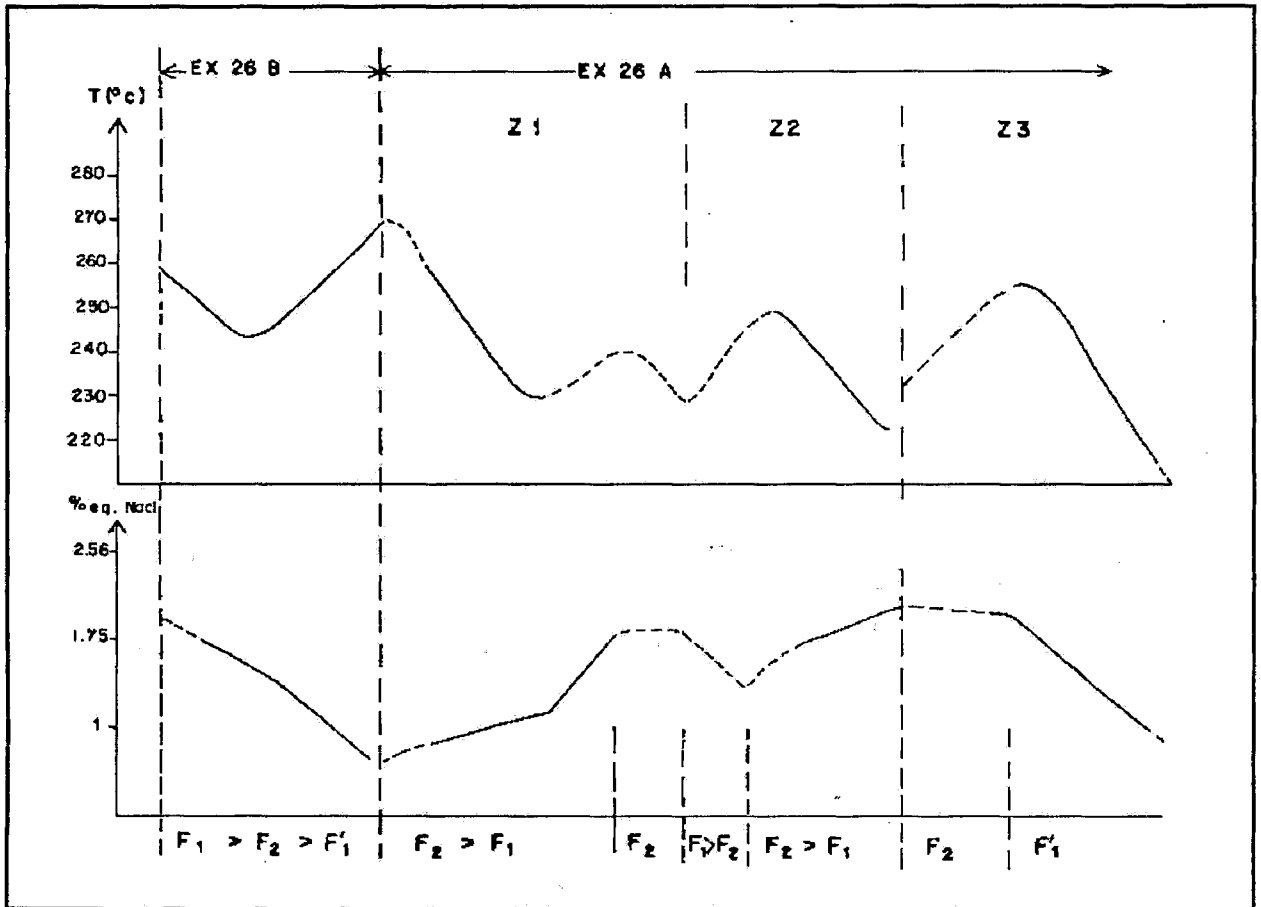


**Fig. 10** - Diagramme, température d'homogénéisation (TH) / température de fusion de la glace (TFg) des échantillons EX26A, EX6B, EX26C  
*Homogenization temperature (TH)/Temperature of melting ice (TFg) diagrams of EX26, EX26B, EX26C samples*



**Fig. 11** - Diagramme, Température d'homogénéisation (TH) / % eq. NaCl des inclusions de K. Ahrach  
*Homogenization temperature (TH) / % eq. NaCl of fluid inclusions from K. Ahrach*

## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)



**Fig. 12** - Evolution temporelle - Température d'homogénéisation (Th)-%eq. NaCl des inclusions fluides de K. Ahrach; F1: fluide aqueux à dominante météorique ayant traversé les rhyolite; F'1: fluide purement météorique; F2: fluide d'origine marine.

**Temporal evolution - Th- % eq. NaCl of fluid inclusions from K. Ahrach.**

**F1 : meteoric fluid percolating trough rhyolite;**

**F'1 : pure meteoric fluid; F2 : seawater fluid .**

- F'1: fluide purement météorique; révélé par les inclusions fluides où la température de fusion de la glace est nulle ou voisine de zéro; et la température d'homogénéisation relativement basse :

- F2 : fluide relativement froid et plus salé, d'origine marine provenant probablement de la mer langhienne existant à cette époque. L'hypothèse de l'origine marine est avancée à cause de la présence d'anciennes tablettes d'anhydrite dans les filons. On pense aussi, que ces fluides ont traversé les roches basiques

environnantes, sources probables de l'or.

- F1 révélés par la présence de microinclusions de fluorite dans les quartz suggérant une contribution par les rhyolites langhiennes; les inclusions piégées dans les zones de croissance correspondantes montrent la participation d'un fluide dilué et chaud de type F'1; plutôt qu'à une contribution par des fluides magmatiques, on doit donc penser à la participation de fluides F'1 réchauffés par leur passage dans les corps rhyolitiques, où ils ont lessivé un peu de fluor.

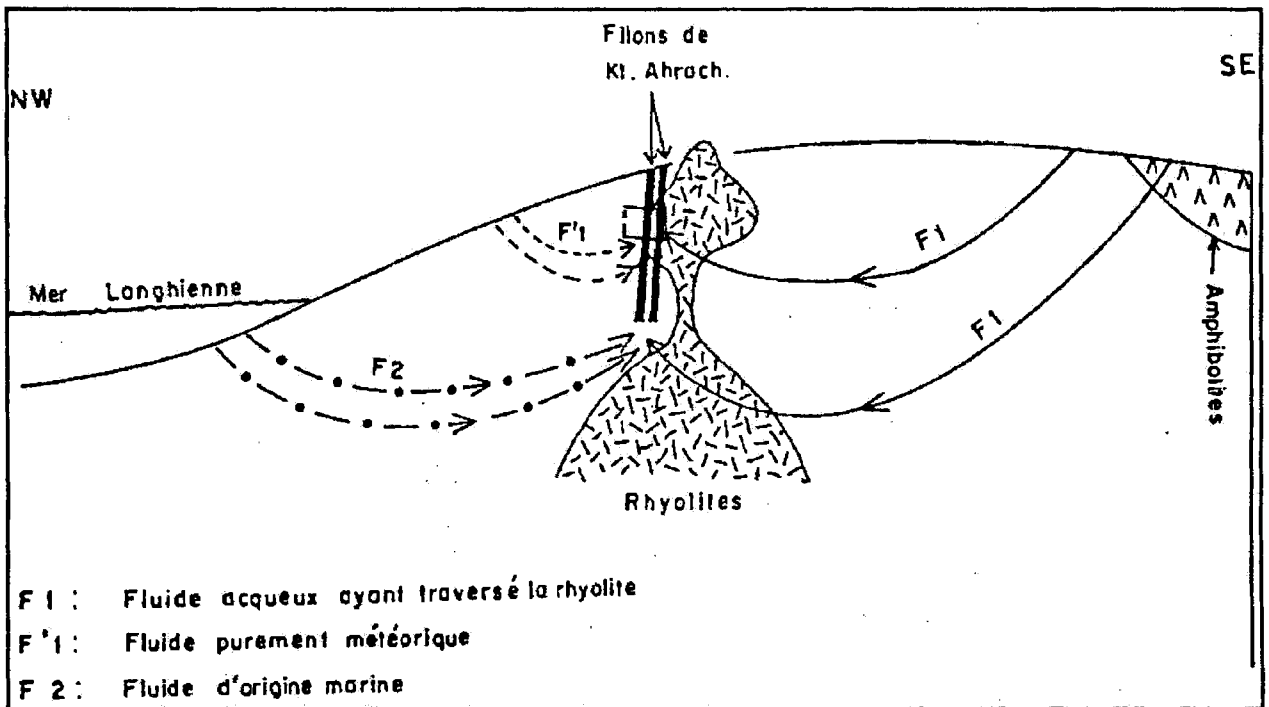


Fig. 13 - Principaux types de fluides intervenant dans la zone de K. Ahrach  
*Principal kinds of K. Ahrach Fluids*

### 5. Esquisse d'un modèle

#### *Mécanismes de précipitation de l'or*

Malgré le manque de données, il est possible d'esquisser quelques pistes concernant les évolutions physico-chimiques à Kt el Ahrach :

- à un stade précoce, on a dans les rhyolites bréchifiées situées aux épontes des filons, lors de l'altération hydrothermale, la stabilité des minéraux suivants: chlorite, albite, adulaire, quartz hydrothermal, séricite; ce qui indique un pH proche de la neutralité. La présence de pyrrotite au stade sulfuré précoce indique par ailleurs un milieu réducteur.

- lors du dépôt de l'or, le pH s'est déplacé vers des valeurs acides, comme l'indique l'association arsénopyrite-marcasite; cette acidité accrue peut être mise en relation avec la participation

des fluides météoriques; par ailleurs, le fait que de l'eau de mer, plutôt oxydante, participe aux circulations hydrothermales suggère que c'est le déplacement de la fugacité d'oxygène ( $fO_2$ ) vers des valeurs plus élevées qui pourrait constituer le processus déclenchant de la précipitation de l'or.

#### *Modèle de circulation*

La figure 13 montre comment les différents fluides impliqués dans la croissance des quartz Q1g peuvent avoir circulé dans la structure de Koudiet el Ahrach.

Les fluctuations de température observées impliquent des recharges thermiques, qui renvoient vraisemblablement à la dynamique des intrusions rhyolitiques; les textures indiquent en effet, de façon générale, que les intrusions sont hautement polyphasées (Aïssa, 1996).

## L'INDICE À ARSÉNOPYRITE AURIFÈRE DE KOUDIET EL AHRACH (EDOUGH, ANNABA)

Cependant, l'absence de fluides strictement associés au dépôt des sulfures conduit à poser la question de la pertinence de ce modèle pour le stade des sulfures. Néanmoins, on peut penser que des conditions similaires ont régné tout au long de l'histoire de ce filon. D'une part, les reliques d'anhydrite sont présentes pendant une bonne partie de l'histoire, attestant la circulation de fluides chauds proches de la composition de l'eau de mer. D'autre part, les cycles alternés de quartz géodiques-quartz calcédonieux-quartz microcristallins reflètent des périodes de sous-saturation et sursaturation en silice, en liaison avec des recharges thermiques, rythmées par les phases de mise en place des rhyolites. Enfin, la composition des arsénopyrites indique des températures de formation voisines de celles que l'on met en évidence par microthermométrie.

Pour finir, il est bon de remarquer que l'on retrouve approximativement le schéma d'évolution des fluides au stade tardif épithermal à Fe-As-Sb-(Au?) des filons du Safsaf et des minéralisations antimonifères de Zlezelle et Kebira (Aïssa, 1985; 1996; Aïssa *et al.*, 1995).

Cependant, les filons de Koudiet el Ahrach, qui sont clairement liés aux circuits convectifs

hydrothermaux induits par les intrusions rhyolitiques fini langhiennes, remanient des sulfures et des minéralisations antimonifères de type Kebira, Zlezelle et Safsaf. Il s'agit donc là, indubitablement, des dernières manifestations minéralisées dans le massif de l'Edough.

## CONCLUSION

L'indice de Koudiet el Ahrach lié au volcanisme langhien appartient aux gisements hydrothermaux de sub-surface. Le principal intérêt de cette première étude qui a permis formellement d'identifier et de localiser l'or, est d'attirer l'attention sur le potentiel aurifère des massifs de l'Edough et de Petite Kabylie, longtemps sous-estimé (Aïssa, 1986 ; Aïssa *et al.*, 1994). En outre, une bonne partie des caractères géologiques, géochimiques et minéralogiques de plusieurs gisements aurifères liés au volcanisme à travers le monde se retrouvent aussi bien à Koudiet el Ahrach qu'à travers les champs filoniens du Nord de l'Edough. A titre d'exemple, l'indice de Koudiet el Ahrach présente de fortes similitudes avec la minéralogie et la géochimie du gisement d'or du «Le Chatelet», en France (Piantone *et al.*, 1994).

Liste des abréviations utilisées dans le texte

% at. :	pourcentage atomique
% eq. NaCl :	pourcentage poids équivalent NaCl
Lw :	liquide dominant
V :	Vapeur dominante
Th :	Température d'homogénéisation
TFg :	Température de fusion de la glace
MSE :	Microsonde électronique
MEB :	Microscope électronique à balayage
EDS :	Energy Dispersiv System

## BIBLIOGRAPHIE

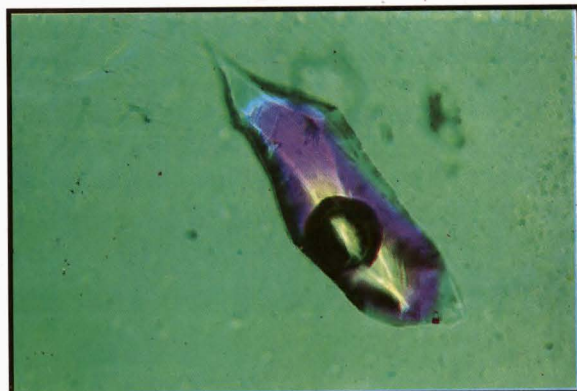
- AISSA D.E., 1985. Etude géologique et métallogénique du massif de l'Edough. - *Thèse Doctorat 3<sup>o</sup> cycle* - USTHB, Alger..
- AISSA D.E., 1986. Présence de minéraux aurifères et argentifères dans le massif de l'Edough. - *6<sup>o</sup> Semin. Nat. Sci. Terre*, Alger, Dec. 1986
- AISSA D.E., CHEILLETZ A., GASQUET D. ET MARIGNAC CH., 1994. Potentialités métallogéniques des roches basiques du massif de l'Edough. - *2<sup>o</sup> Sém. Maghrébin de Géologie appliquée, Annaba*, Novembre 1994.
- AISSA D.E., MARIGNAC CH., GASQUET D., CHEILLETZ A., 1995 a. P-T-t paths in the Edough massif (NE Algeria): the limits of a metamorphic core complex model. *Terra Nova, suppl.*, Vol.7, N<sup>o</sup>1, p.X2,123-124.
- AISSA D.E.; CHEILLETZ A.; GASQUET D. ET MARIGNAC CH. 1995 b. Alpine metamorphic core complexes and metallogenesis: the Edough case NE Algeria - in *Mineral Deposits. from their origin to their environmental impacts.* - Pasava Kribek et Zak eds. Balkema, Rotterdam, pp.23-26.
- AISSA D.E., 1996. Etude géologique, géochimique et métallogénique du massif de l'Edough Annaba, NE Algérie) - *Thèse de Doctorat d'Etat*, USTHB Alger-500 p., 4 cartes hors texte.
- BONNEMAISON M., MARCOUX E., 1987. Les zones de cisaillements aurifères du socle hercynien français- *Chron. Rech. Min.* - n<sup>o</sup>488
- CATHELINEAU M., BOIRON M.C., HOLLIGER P., MARION P., DENIS M., 1989. Gold - rich arsenopyrite: cristal chemistry, gold location and state, physical chemical conditions of crystallisation- *Econ. Geol. Monograph* 6-The geology of gold deposits: the perspective 1988, p328-341
- HILLY, J., 1957. Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est-Constantinois). *Thèse Doct. Etat Univ. Nancy*.
- JOHAN Z, MARCOUX E, BONNEMAISON M., 1989. Arsenopyrite aurifère: mode de substitution de Au dans la structure de Fe, As, S- *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 308, série II, p. 185-191
- KRETSCHMAR U., SCOTT S.D., 1976. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canadian Mineralogist* Vol.14 pp 364-386
- MARCOUX, E.; BONNEMAISON, M., JOHAN, Z. ET BRAUX, C., 1987. Distribution des éléments dans l'arséno-pyrite aurifère.-résumés, *BRGM*, p.180-181.
- MARIGNAC, Ch., 1985. Les minéralisations filoniennes d'Aïn Barbar Algérie: un exemple d'hydrothermalisme lié à l'activité géothermique alpine en Afrique du Nord. *Thèse Doct. Etat, I.N.P.L., Nancy*, 2 vol., 1163p.; vol. annexe, 176p.
- MARIGNAC, Ch., 1988. Composition et évolution des phases fluides: le cas des filons polymétalliques d'Aïn - Barbar Algérie. *Bull. Minéral.* 183, pp. 183-206.
- MARION, P. 1988. Caractérisation des minerais sulfurés aurifères. Mise en oeuvre de méthodes classiques et nouvelles. *Thèse Doct. INPL, Nancy*, 401 p.
- PIANTONE, P.; WU, X.; TOURAY, J.C., 1994. zoned hydrothermal alteration and genesis of the gold deposit at Le Chatelet (French massif central). *Economic Geol.*, Vol.89, pp. 757-777.
- SHARP Z. D., ESSENE E. J. ET KELLY, W. C., 1985. A reexamination of the arsenopyrite geothermp-meter: pressure considerations and applications to the natural assemblages. *Canad. Miner.*, 23, pp. 517-534.
- VILA, J. M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doct. d'Etat, Univ. Paris VI*, 663p.



## Planches



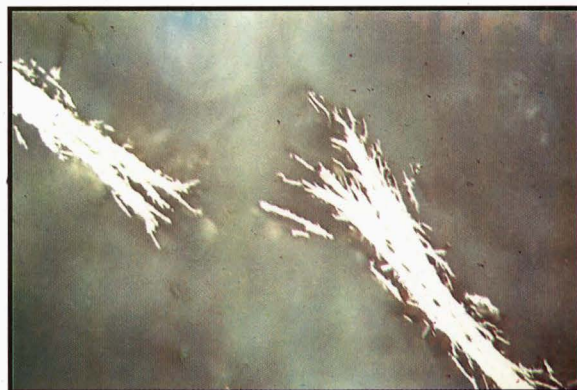
**1 -** Affleurement du filon de Koudiet el Ahrach  
*Outcrop of Koudiet el Ahrach vein*



**2 -** Aspect d'une inclusion fluide de Koudiet el Ahrach  
*An aspect of fluid inclusion from Koudiet el Ahrach*

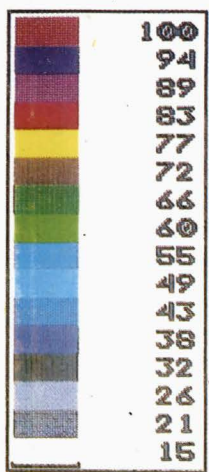


**3 -** Cristaux automorphes d'arsénopyrite poussant sur d'anciennes aiguilles de stibine (Filon de Koudiet el Ahrach)  
*Automorphic arsenopyrite growing upward acicular old stibine (Koudiet el Ahrach vein)*



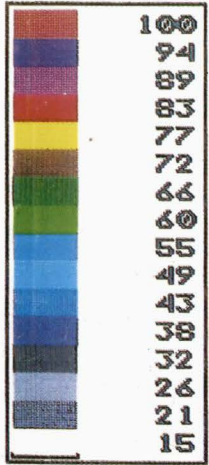
**4 -** Pseudomorphose d'anciennes aiguilles de stibine par pyrite et marcasite  
*Pseudomorphs of old acicular stibinite by pyrite and marcasite*

Dr-E. AISSA, Ch. MARIIGNAC, A. CHEILETZ ET M. CH BOIRON



ALG51  
 14 Sep 90  
 17:57:09  
 89.8 mass  
 30.0 sec

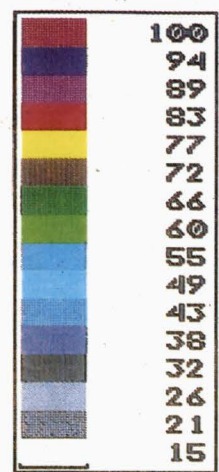
FeS-



ALG52  
 14 Sep 90  
 18:00:37  
 106.8 mass  
 30.0 sec

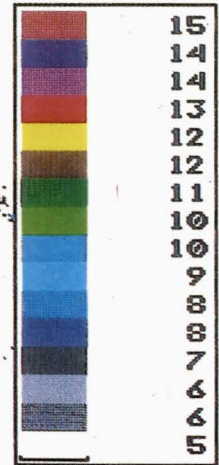
AsS-

ALG.A - SITE 10-1



ALG53  
 14 Sep 90  
 18:01:55  
 154.9 mass  
 30.0 sec

Sbs-



ALG54 M  
 14 Sep 90  
 18:08:49  
 197.2 mass  
 300.0 sec

197Au-

Répartition de l'or dans l'arsénopyrite (image microsonde ionique)  
 Distribution of gold in the arsenopyrite (image by ion microprobe)