

Le gisement aurifère d'Iourirn (boutonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc) : un exemple de minéralisation mésothermale dans les formations paléoprotérozoïques

Mohamed BENBRAHIM & Mohamed AISSA

Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de Géologie,
B.P. 11201 Zitoune, Meknès, Maroc. e-mail : mbrah@yahoo.fr

Résumé. Le gisement d'Iourirn est situé à 260 km au SE d'Agadir dans la boutonnière de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental). Celle-ci est formée d'un socle métamorphique et magmatique d'âge protérozoïque inférieur et d'une couverture carbonatée d'âge néoprotérozoïque terminal. La minéralisation aurifère se trouve dans des couloirs de cisaillement d'orientation E-W à remplissage de quartz bréchique. L'or est généralement libre dans le quartz ou associé à des sulfures. La caractérisation chimique des sulfures (arsénopyrite, pyrite et pyrrhotite) à la microsonde électronique montre que l'or n'est pas lié à leurs réseaux cristallins, mais se trouve dans des microfissures ou en inclusions inframicroscopiques dans les sulfures. L'étude géochimique de l'or, notamment le rapport Au/Ag permet d'affilier le gisement d'Iourirn aux gisements aurifères mésothermaux.

Mots clés : Maroc, Anti-Atlas, Iourirn, quartz aurifère, sulfure, Or.

The gold bearing district of Iourirn (Tagragra of Akka inlier, western Anti-Atlas, Morocco): example of mesothermal mineralization in the Paleoproterozoic formations.

Abstract. The Iourirn gold occurrence is located at 260 km southeast of Agadir, in the inlier of Tagragra d'Akka (western Anti-Atlas). This inlier is composed of a metamorphic and magmatic craton of Proterozoic age and Adoudounian carbonated cover. The gold bearing mineralization is related to shear corridors oriented E-W with a brecciated texture. Gold can be free in quartz or associated with sulphides. The chemical characterization of the sulphides (mispickel, pyrite and pyrrhotite) with the help the electronic microprobe shows that gold is not related to their crystalline systems. The ratio Au/Ag situates the Iourirn occurrence among mesothermal gold deposits.

Key words: Morocco, Anti-Atlas, Iourirn, Gold-bearing quartz, Sulphide, Gold.

INTRODUCTION

La minéralisation aurifère dans l'Anti-Atlas fut découverte en 1939 par Thiebault, suite à une campagne de prospection d'or. En 1984, le BRPM a effectué une prospection alluvionnaire sur les terrains protérozoïques, aboutissant à l'identification d'une vingtaine d'indices d'or (Amentag 1985, Ait Kassi 1989). Iourirn a fait l'objet en 1991 de sondages carottés qui ont décelé des teneurs en or très encourageantes (5 à 60 g/t) sur des puissances d'ordre métrique (Baroudi *et al.* 1998). Le démarrage des travaux miniers à Iourirn a eu lieu en 1995 par le BRPM. Par la suite, en 1997, la société Akka Gold Mining (AGM), filiale du groupe MANAGEM / ONA, a pris la relève. Lors de ces dernières années, la société AGM a effectué plusieurs travaux de recherche (sondages carottés, sondages en circulation inverse, puits, travers bancs, traçages et recoupes) qui ont permis la découverte d'autres indices aurifères dans la boutonnière de Tagragra d'Akka.

L'objectif de la présente étude est de contribuer à la compréhension de la mise en place de la minéralisation aurifère à Iourirn en examinant la géométrie des corps minéralisés, les formes d'expression de l'or et leur relation avec les sulfures. Un essai de caractérisation géochimique de cette minéralisation sera également entrepris. Ces données seront utilisées pour essayer de déterminer la typologie du gisement d'Iourirn.

CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL ET LOCAL

Contexte géologique régional

La boutonnière de Tagragra d'Akka est située dans l'Anti-Atlas occidental à 260 km au sud-est d'Agadir. Elle est

formée de deux lobes : un lobe oriental et un lobe occidental, composés d'un socle métamorphique et magmatique d'âge précambrien et d'une couverture carbonatée d'âge adoudounien (Fig. 1).

Le lobe oriental comporte un leucogranite à deux micas et un granite à biotite d'âge éburnéen (Choubert 1963a, Mortaji 1989). Ces massifs sont intrusifs dans des formations métamorphiques et volcano-sédimentaires d'âge protérozoïque inférieur. L'ensemble de ces formations est traversé par des dykes de gabbro, granodiorite et dolérite, (Choubert 1963a, Michard 1976, Mortaji 1989, Zouhair 1992, Ikenne 1997).

Le lobe occidental est principalement formé de roches métamorphiques et volcano-sédimentaires d'âge protérozoïque inférieur, traversées par des dykes de diorite, diorite quartzique et rhyodacite.

Contexte géologique du district d'Iourirn

Le secteur d'Iourirn, objet de cette étude, appartient au lobe occidental de la boutonnière de Tagragra d'Akka. Les formations métamorphiques et magmatiques qui le composent sont recoupées par des structures minéralisées en or. Ces structures correspondent à des veines, lentilles et fentes de quartz de direction E-W. Elles présentent des textures bréchiques et recoupent les formations métamorphiques (schistes) et magmatiques (rhyodacite porphyrique, diorite quartzique) avec un jeu cisailant dextre au sein des dykes de la diorite quartzique, orientés NNE-SSW (Fig. 2). Ces terrains ont subi les effets d'une tectonique complexe responsable de l'individualisation de deux schistosités. La schistosité S_1 , attribuée à la phase éburnéenne (Marignac 1990, Zouhair 1992), est

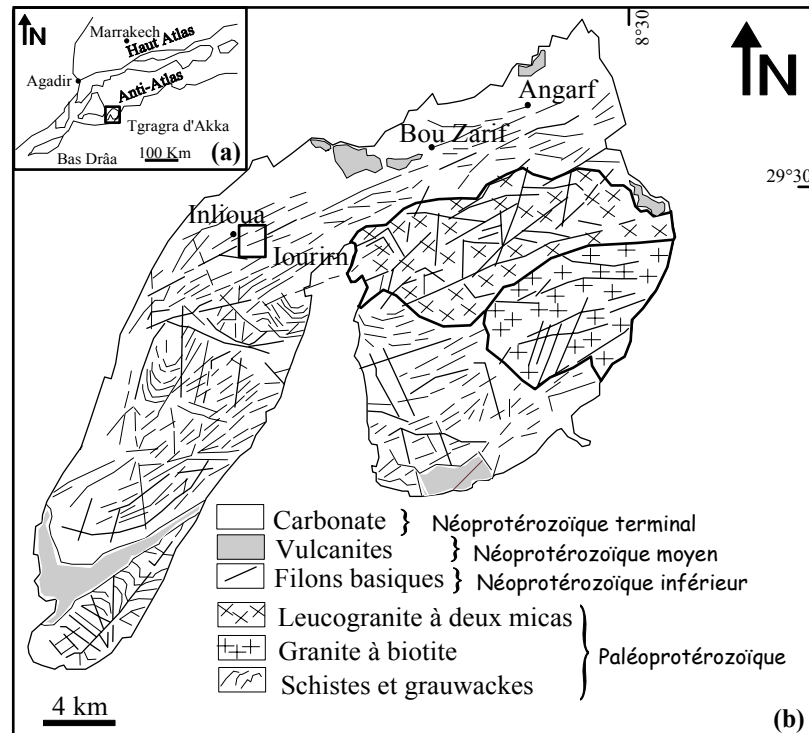


Figure 1. (a), Situation de la boutonnière de Tagragra d'Akka ; (b), Carte géologique de Tagragra d'Akka et situation de secteur d'Iourim (Choubert 1963b, Mortaji 1989).

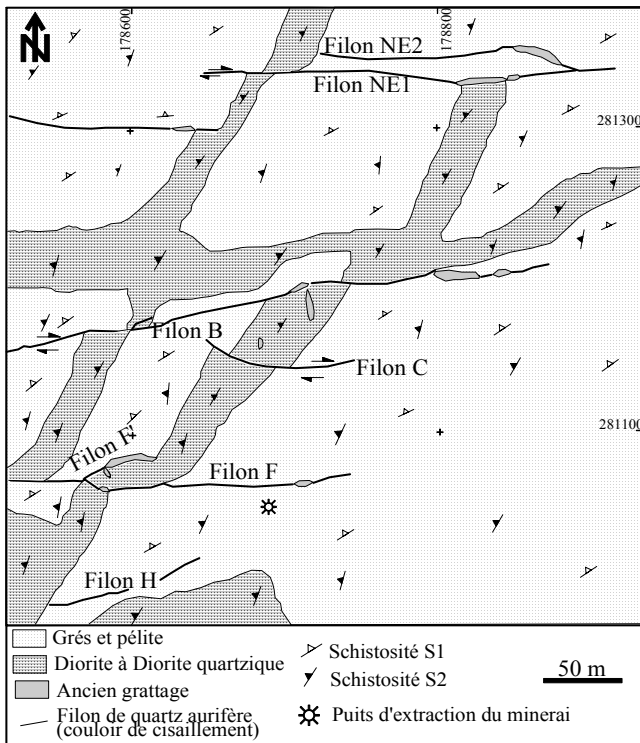


Figure 2. Carte géologique simplifiée du secteur minier d'Iourim.

déformée par les veines aurifères, tandis que la schistosité S₂ recoupe les filons de quartz aurifères. Elle est associée à la phase panafricaine majeure. Les filons aurifères exploités sont dénommés structures B, C, D, D', F, F', H, NE1 et NE2 (Fig. 2).

METALLOGRAPHIE DES SULFURES ET DE LA MINÉRALISATION AURIFÈRE

Les filons minéralisés se présentent sous forme de lentilles, veines ou filons de direction E-W. Ils sont à texture bréchique et recourent toutes les formations préexistantes, particulièrement la diorite quartzique, où le jeu dextre des structures est bien représenté. Le remplissage des filons est formé de quartz, de chlorite, de muscovite, de carbonate et des sulfures (arsénopyrite, pyrite, chalcopryrite, pyrrhotite). Le quartz, dont on distingue plusieurs générations, forme la gangue principale de la minéralisation aurifère d'Iourim.

L'identification des minéraux métalliques a été réalisée à la loupe binoculaire, au microscope métallographique, en lumière transmise et en lumière réfléchie, puis par des analyses au MEB et à la microsonde électronique. Les phases minérales métalliques reconnues sont essentiellement : l'arsénopyrite, la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopryrite et la galène.

L'arsénopyrite (FeAsS), sulfure dominant de cette association minéralogique, se présente dans les filons aurifères sous forme de cristaux automorphes à sub-automorphes isolés ou agglomérés en amas de taille centimétrique ou en rubans d'épaisseur millimétrique à décimétrique. Les cristaux montrent une fracturation d'intensité variable.

Deux types d'arsénopyrite ont été distingués principalement par leur aspect et leur taille.

* *L'arsénopyrite I* se présente sous l'aspect de cristaux automorphes et de forme losangique, parfois très diaclasés. La taille de ces cristaux peut varier de quelques μm à 1 mm. Ce type d'arsénopyrite est souvent disséminé dans la matrice quartzreuse.

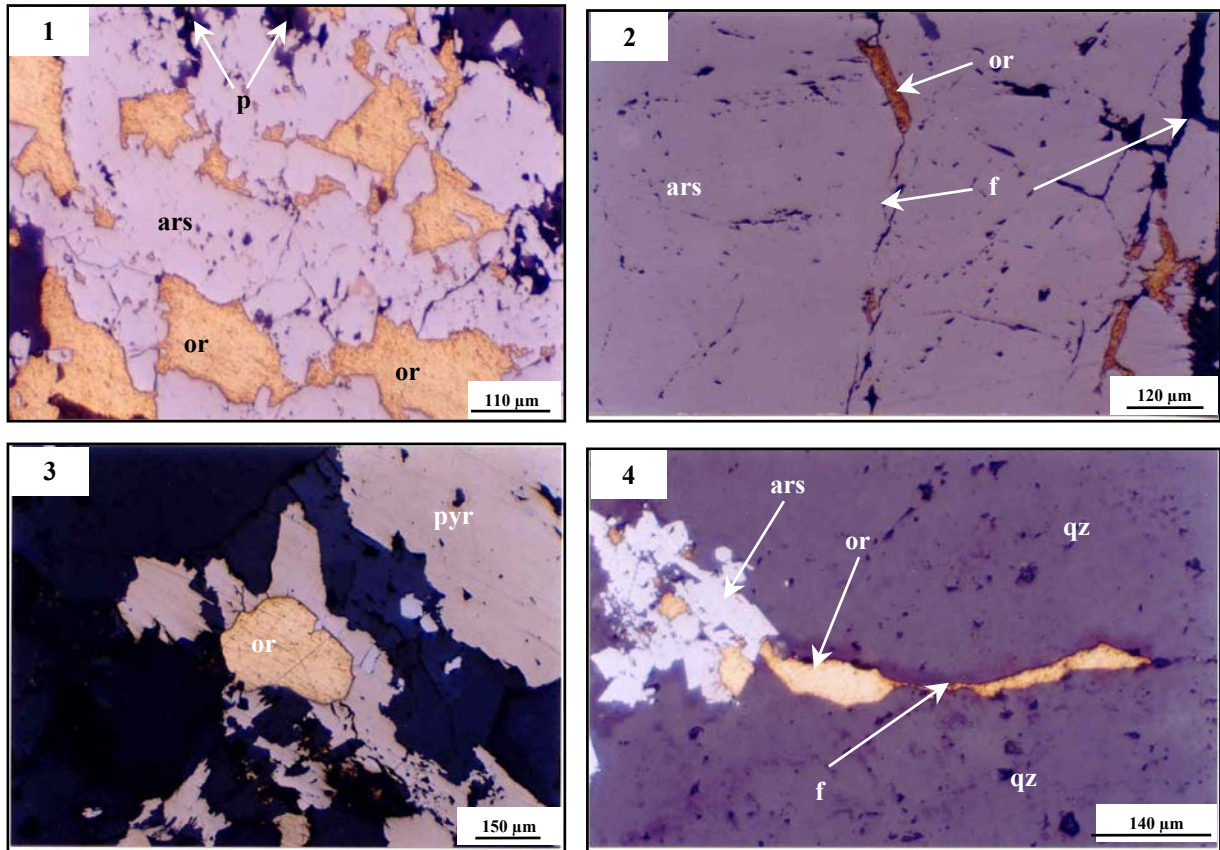


Figure. 3. Photos 1 et 2. Or dans les pores (p) et microfissures (f) de l'arsénopyrite I (ars) (L.R). Photo 3. Observation en lumière réfléchie de l'or dans la pyrite (pyr) d'Iourim. Photo 4. L'or dans les microfissures (f) du quartz (qz) (L.R).

* *L'arsénopyrite II* est xénomorphe et se présente dans des veines souvent chloritisées ou en minéraux alignés. Ce type d'arsénopyrite à grains très fins dont la taille n'excède guère quelques μm , est très abondant au niveau des brèches et dans les microcouloirs de cisaillement.

La pyrite (FeS_2), de taille variable, est plus au moins idiomorphe et contient parfois de l'or libre. La pyrite est soit massive avec des cristaux déformés et fracturés, montrant une structure cataclastique, soit en plage xénomorphe provenant de la transformation progressive de la pyrrhotite.

La pyrrhotite (Fe_{1-x}S), moins abondante que l'arsénopyrite et la pyrite, est de couleur brun clair et s'altère progressivement en pyrite et en marcassite.

La chalcopyrite (CuFeS_2), d'une taille de quelques centaines de μm , s'exprime seule ou en association avec l'arsénopyrite. Elle est souvent altérée en covellite et en oxydes de fer.

La galène (PbS), assez rare, est sous forme d'inclusions microscopiques détectées au MEB dans les cristaux de la chalcopyrite.

L'or (Au). Les échantillons observés sous la loupe binoculaire montrent que l'or existe en pépites sous une forme spongieuse. Les cavités sont plus au moins sphériques ou encore irrégulières. Au microscope, les grains d'or ont une taille de $40 \mu\text{m}$ à 7mm . Ils sont soit en grains « libres » dans le quartz soit en inclusions dans des

sulfures. L'or d'Iourim se met souvent en place dans les pores et les microfissures, affectant l'arsénopyrite, la pyrite (Fig. 3, photos 1 à 3) et dans les espaces intergranulaires et les microfissures affectant le quartz (Fig. 3, photo 4).

GEOCHIMIE DES SULFURES ET DE LA MINERALISATION AURIFERE

Les sulfures ont fait l'objet d'une série d'analyses chimiques ponctuelles à la microsonde électronique. Les éléments analysés sont : le fer, l'arsenic, le soufre, le cobalt, le nickel et l'or.

L'arsénopyrite I. Les teneurs en pourcentage atomique des éléments majeurs sont relativement homogènes et celles de l'or varient de 10 à 160 ppm (Tab. I). Les analyses ont permis également de révéler la présence de teneurs significatives de certains éléments en traces tels que Co et Ni. Ces analyses ne montrent pas de corrélation évidente entre l'or et Fe, As et S (Fig. 4)

La pyrite. Tous les points analysés de cette pyrite sont arsenifères. Les teneurs en pourcentage atomique d'arsenic s'échelonnent entre 0,01 à 0,72, celles de l'or varient de 10 à 210 ppm (Tab. II). Les éléments en traces tels que Co et Ni présentent de très faibles teneurs. L'or ne montre manifestement pas de corrélation significative avec les éléments fondamentaux Fe, S et As (Fig. 5).

La pyrrhotite. Les analyses à la microsonde ne montrent pas de corrélation entre l'or et Ni, S, Co, Fe et As (Fig. 6). Comme pour l'arsénopyrite et la pyrite, les

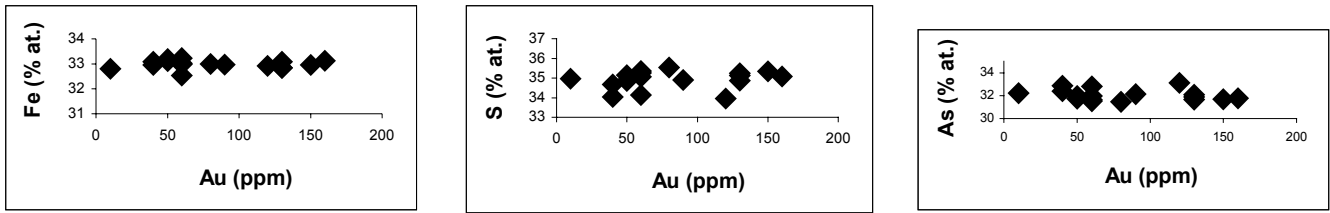


Figure 4. Variation de la teneur en Au et les teneurs en S, Fe et As dans l'arsénoyrite I d'Ourim.

Tableau I. Analyses de la microsonde (en % at.) de l'arsénoyrite I d'Ourim.

Elem/Ech	Composition atomique					
	Co	Fe	As	Au	S	Ni
1 a	–	33,109	31,741	0,005	35,145	–
2 a	–	33,081	31,654	0,013	35,252	–
3 a	–	33,229	31,511	0,006	35,254	–
4 a	0,017	33,127	31,764	0,016	35,076	–
5 a	–	33,183	31,963	0,005	34,849	–
6 a	–	32,808	32,219	0,001	34,971	–
7 a	–	32,988	31,64	0,006	35,365	–
8 a	0,001	32,957	31,69	0,015	35,336	–
9 a	–	32,992	31,457	0,008	35,543	–
10 a	–	32,846	32,092	0,013	34,865	0,185
11 a	–	32,835	31,892	0,013	35,137	0,123
12 a	–	32,537	31,976	0,006	35,06	0,421
13 a	–	33,086	32,853	0,004	34,046	0,011
14 a	0,006	33,02	32,803	0,006	34,145	0,02
15 a	–	32,914	33,115	0,012	33,96	–
16 a	–	32,97	32,122	0,009	34,899	–
17 a	–	32,953	32,375	0,004	34,668	–

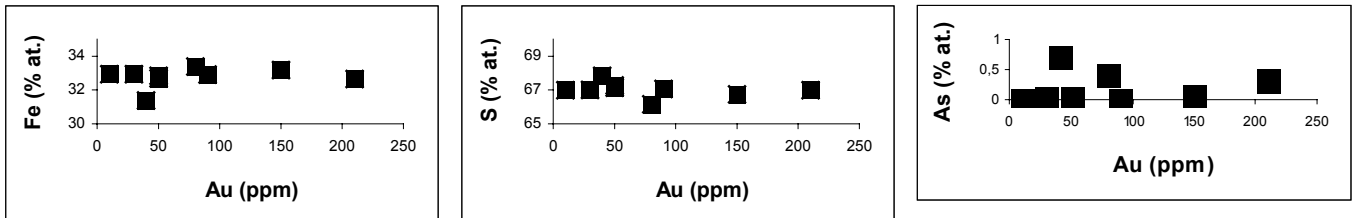


Figure 5. Variation de la teneur en Au et les teneurs en S, Fe et As dans la pyrite d'Ourim.

Tableau II. Les analyses de la microsonde (en % at.) de la pyrite d'Ourim.

Elem/Ech	Composition atomique			
	Fe	As	Au	S
1 py	32,84	0	0,005	67,14
2 py	33,18	0,07	0,015	66,74
3 py	33,39	0,43	0,008	66,16
4 py	32,65	0,34	0,021	66,99
5 py	32,94	0,04	0,003	67
6 py	32,68	0,05	0,16	67,24
7 py	32,94	0	0,001	66,98
8 py	32,91	0,01	0,009	67,06
9 py	32,69	0,03	0,005	67,27
10 py	31,39	0,72	0,004	67,85

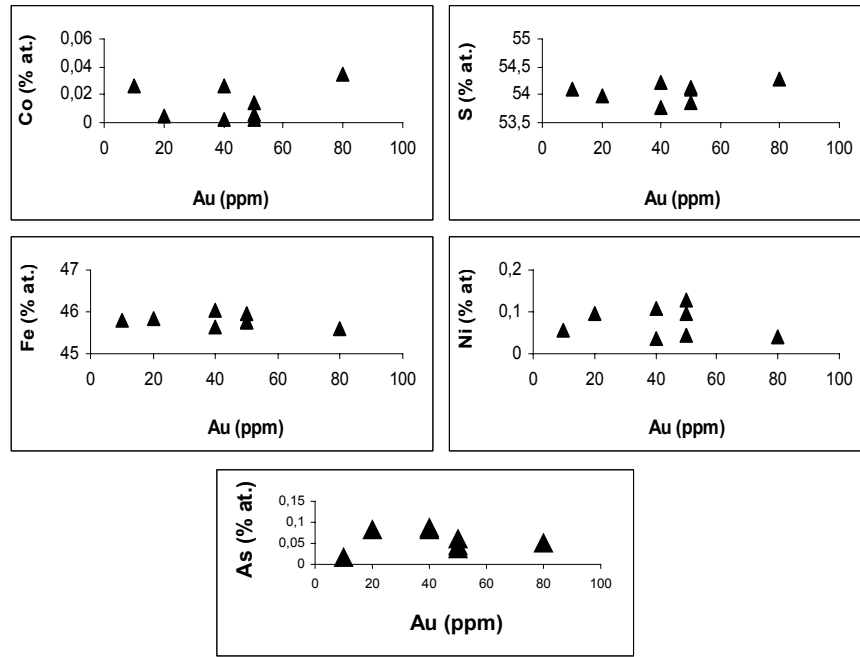


Figure 6. Variation de la teneur en Au et les teneurs en S, Fe, As, Co et Ni dans la pyrrhotite d'Iourim.

Tableau III. Analyses de la microsonde (en % at.) de la pyrrhotite d'Iourim.

Elem/Ech	Composition atomique					
	Co	Fe	As	Au	S	Ni
1 ph	0,014	46,096	0,066	0,017	53,757	0,05
2 ph	0,035	45,582	0,05	0,008	54,283	0,042
3 ph	0,026	45,635	0,082	0,004	54,218	0,035
4 ph	0,026	45,789	0,016	0,001	54,111	0,057
5 ph	0,014	45,755	0,043	0,005	54,136	0,046
6 ph	0,006	45,949	0,036	0,005	53,875	0,13
7 ph	–	45,748	0,06	0,005	54,091	0,095
8 ph	0,005	45,831	0,082	0,002	53,984	0,097
9 ph	0,002	46,022	0,086	0,004	53,778	0,108

teneurs en pourcentage atomique des éléments majeurs sont homogènes et ne montrent aucune corrélation avec l'or, les teneurs en or oscillent entre 10 et 170 ppm (Tab. III).

Les grains d'or. Les analyses chimiques faites au MEB sur les grains d'or observés dans l'arsénopyrite, la pyrite et le quartz, sont reportées sur le diagramme Au = f (Ag). On y observe la corrélation négative classique Au-Ag mais aussi la richesse en Ag des pépites d'or en inclusions dans l'arsénopyrite par rapport à celles contenues dans le quartz (Fig. 7).

DISCUSSION

La composition des grains d'or peut être traduite, en terme de pureté, par le paramètre finesse (*F*) qui est exprimée par la relation suivante : $F = (1000 \times \%Au) / (\%Au + \%Ag)$. Ce paramètre a été utilisé par Rose & Morrison (1988) pour établir une classification des gisements aurifères à partir d'analyses chimiques de l'alliage Au-Ag réalisées à la microsonde électronique sur des échantillons de 120 gisements (Fig. 8). La projection des valeurs de finesse de

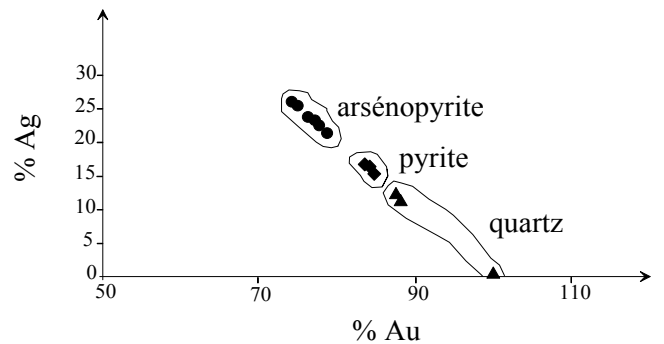


Figure 7. Variation du rapport Au/Ag à partir des analyses MEB faites sur l'or au niveau de l'arsénopyrite, la pyrite et le quartz d'Iourim.

l'or d'Iourim ($F = 750-880$) dans le diagramme de Rose et Morrison, n'a pas permis de trancher sur la typologie de ce gisement puisqu'il présente des valeurs similaires à celles des porphyres, ou des gisements épithermaux ou encore à celles de l'or volcanogène ou mésothermal.

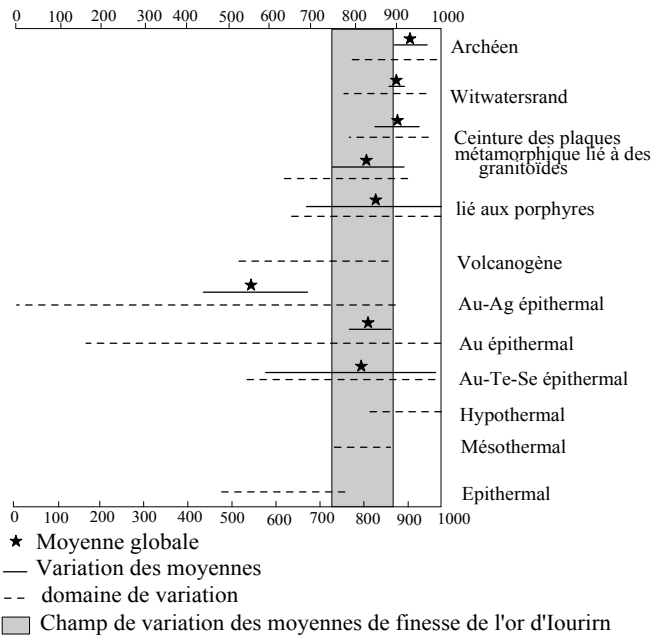


Figure 8. Finesse de l'or du gisement d'Iourim dans le diagramme de Rose & Morrison (1988).

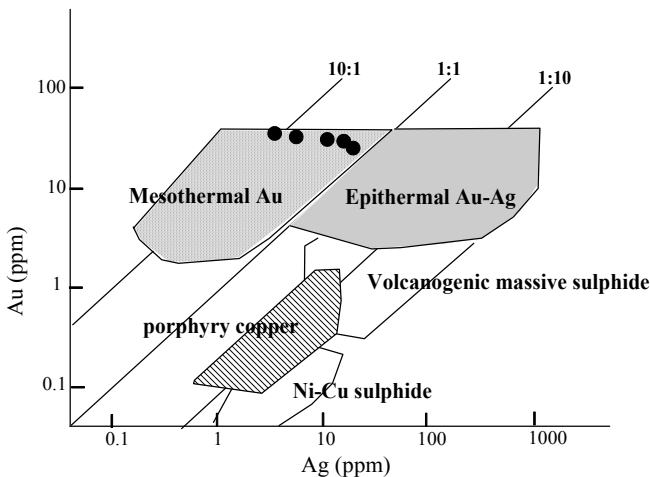


Figure 9. Diagramme de Poulsen *et al.* (2000) montrant la position du gisement d'or d'Iourim dans le domaine mésothermal.

L'utilisation du diagramme Au vs Ag de Poulsen *et al.* (2000) a permis de contraindre davantage cette typologie et d'affilier la minéralisation aurifère d'Iourim aux gisements mésothermaux (Fig. 9).

CONCLUSION

Les filons aurifères d'Iourim sont disposés le long de couloirs de cisaillement dextre, d'orientation générale E-W, recoupant les formations métamorphiques du Protérozoïque inférieur et les dykes de diorite quartzique. L'étude métallographique et géochimique des sulfures et des grains d'or associés permet de conclure que : (1) l'or est sous forme libre et n'est pas lié au réseau cristallin des sulfures (arsénopyrite, pyrite, pyrrotite); (2) l'or en inclusion dans l'arsénopyrite est plus riche en Ag que l'or du quartz qui est pratiquement pur ; (3) l'or montre une

corrélation négative classique avec l'argent ; (4) le rapport Au/Ag montre que le gisement d'Iourim présente une affinité géochimique avec les gisements mésothermaux selon le diagramme de Poulsen *et al.* (2000).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention entre la Faculté des Sciences de Meknès et les compagnies minières REMINEX et AGM (Omnium Nord-Africain-Maroc) et a bénéficié du soutien financier du Projet Protars III D15/31. Nous tenons à remercier M. Abdellah MOUTTAQUI (ONHYM, Rabat) et un évaluateur anonyme, dont les remarques et les critiques ont contribué à son amélioration

Références

Amentag M. 1985. Résultats d'exploration de la géochimie des minéraux aurifères de la boutonnière de Tagragra d'Akka. Rapport inédit, BRPM, Rabat, Maroc.

Ait Kassi A. 1989. Note préliminaire sur certains indices aurifères dans la boutonnière d'Akka. Rapport inédit, BRPM, Rabat, Maroc.

Baroudi B., Annich M., Ait Kassi A. & Zouhair M. 1998. La recherche de l'or au Maroc, cas du gîte d'Iourim et revue des indices d'or. *Chron. Rech. Min.*, 531-532, 93-107.

Choubert G. 1963a. Histoire géologique du précambrien de l'Anti-Atlas. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 162, 443 p.

Choubert G. 1963b. Carte géologique de Foum El-Hassan-Assa au 1/100 000. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*.

Ikenne M. 1997. *La boutonnière précambrienne du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc) : Caractérisation pétrologique et géochimique des roches magmatiques et métamorphiques et leur relation avec la déformation*. Thèse d'Etat, Univ. Ibn Zohr, Fac. Sciences, Agadir, 285 p.

Marignac C. 1990. Contribution à l'étude du potentiel aurifère des Tagragra d'Akka et de Tata. Rapport inédit, BRPM, Rabat, Maroc.

Michard A. 1976. *Eléments de géologie marocaine*. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 252, 408 p.

Mortaji A. 1989. *La boutonnière précambrienne de la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental ; Maroc) : Pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphismes associées*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Nancy, I. France, 211 p.

Poulsen K.H., Robert F. & Dube B. 2000. Geological classification of Canadian gold deposits. *Geol. Surv. Canada, Bull.*, 540, 106 p.

Rose W.J. & Morrison G.W. 1988. Classification of gold deposits using the silver content (finesse) of gold. *In: Bicentennial gold 88, extended abstracts poster programme, vol. 12. Geological Society of Australia, abstracts series 23*, pp. 464-468.

Thiebault L. 1939. Rapport sur les opérations de prospection d'or dans l'Anti-Atlas. Rapport inédit, BRPM, Rabat, Maroc.

Zouhair M. 1992. *Les paléocirculations fluides dans la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas ; Maroc). Etude combinée des inclusions fluides et de la déformation des quartz aurifères, conséquences pour la métallogénie de l'or*. Thèse 3^{ème} cycle Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 393 p.

Manuscrit déposé auprès du Comité BSM-17 le 25 avril 2004
 Transmis au Comité éditorial le 29 novembre 2004
 Version modifiée acceptée le 25 octobre 2005