

# RÉFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR (SUD ALGÉRIE).

Mohamed TALBI\* et Ismahane CHAOUCHE\*\*

## RÉSUMÉ

Les gisements aurifères de type « orogenic gold » sont particulièrement importants, car ils sont partie intégrante de l'évolution de terranes connexes au cours de la collision. L'une des questions importantes qui se posent pour les shear-zones aurifères concerne l'origine de l'or et des fluides minéralisateurs (magmatiques, métamorphiques ou autres). Ces fluides sont supposés avoir lessivé les métaux à partir des roches sous-jacentes puis les avoir concentrés dans les zones de cisaillement dans des filons de quartz. Malheureusement, il n'existe pas un modèle unique en mesure d'expliquer toutes les observations faites à partir des gisements d'or orogéniques.

Les données fournies par les études isotopiques aident à identifier à la fois la/ou les sources des métaux, et à déterminer les mécanismes responsables du transport qui ont conduit la concentration de l'or. Pour mieux préciser l'origine de l'or, il faudrait procéder à des études géochimiques ou isotopiques très fines qui tiendraient compte des valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  et des rapports des isotopes du plomb des sulfures et des roches avoisinantes et / ou encaissantes. Pour illustrer ces affirmations, nous nous sommes inspirés d'un certain nombre de gisements dans le monde où l'origine des métaux en général et de l'or en particulier est plus ou moins déterminée, à l'exemple des gisements du Dôme-Mine (Canada), Yilgarn Craton (d'Australie), de Dahube, Mayum, Shonggang (Chine) et des Yellowstone (USA).

Les seuls arguments de datation des minéralisations sont obtenus indirectement à partir de l'âge des roches et des assemblages liés aux altérations hydrothermales. En outre, les phénomènes d'enrichissement, de remobilisation ou de contaminations - quand ils existent - ne sont pas maîtrisés ou mis en relief. Il en est de même pour la chronologie des événements. À ce titre, les isotopes tels que le couple osmium-rhénium, le hafnium et les gaz rares comme l'hélium, l'argon peuvent être d'un apport important non seulement pour dater la minéralisation et établir une succession chronologique de tout événement minéralisateur, mais aussi pour confirmer les résultats obtenus par d'autres méthodes pour une meilleure compréhension de l'évolution des gisements aurifères.

Dans le Hoggar, en Algérie, le problème de l'origine de l'or n'est pas en reste car aucune étude poussée n'a été consacrée à cette question sur la base de méthodes modernes, utilisant par exemple les isotopes du soufre, du plomb, le couple osmium-rhénium et les gaz rares. Les seules données disponibles concernent les isotopes du plomb des gisements de Tirek et d'Amesmessa et les résultats sont contradictoires. C'est sur la base de ce constat (et compte tenu de l'importance de la question pour l'établissement des guides de prospection ; notamment pétrologique), que nous proposons cette réflexion.

Nous attendons de cette démarche comparative qu'elle permette de définir ou d'orienter les recherches futures dans le Hoggar, en tenant compte ou en s'inspirant des conclusions et résultats ainsi obtenus dans certains gisements de type orogénique, sur la base de l'utilisation des méthodes modernes et en particulier des résultats de l'étude des isotopes.

**Mots-clés** - Or orogénique - Origines - Isotopes - Hoggar - Algérie.

\*Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie, USTHB/FSTGAT, BP. 32, El Alia Bab Ezzouar 16111- Algérie. E-mail: mtmtalbi55@gmail.com

\*\* FSNVSTU, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie. E-mail: chasane@gmail.com

- *Manuscrit déposé le 18 Avril 2012, accepté après révision le 18 Septembre 2012.*

## REFLEXION AND HYPOTHESIS ON THE ORIGIN OF GOLD IN THE HOGGAR (SOUTH ALGERIA)

### ABSTRACT

The gold deposits of « orogenic gold » type are of particular interest, because they are part of the evolution of the connected terranes during the collision. A major interest for the gold-bearing shear zones relies on the problem of the gold origin and of the mineralizing fluids (magmatic, metamorphic or others). These latter are supposed to have leached metals from the underlying rocks and then concentrated them in quartz veins within the shear zones. However, no single model is able to explain all the observations dealing with the « orogenic gold » deposits.

In fact, isotope studies would be able to help identifying both the sources of metals and the mechanisms responsible for transportation and those that induce the concentration of gold. To get more information about the gold origin, it would be necessary to develop geochemical and isotopic studies, especially regarding the  $\delta^{34}\text{S}$  values for sulfides and the lead isotope ratio, from the neighboring and/or host rocks.

Focusing on this problem of gold origin we shall, first in this paper, compare the occurrences that are actually known in the Hoggar and their geological background with some well described gold deposits throughout the world for which the origin of metals in general and particularly gold is more or less known like those of Dôme-Mine (Canada), Yilgarn Craton (Australia), Dahube, Mayum, Shanggong (China) and the Yellowstone (USA).

The age of mineralization is uncertain, known only indirectly from the age of the neighbouring rocks and their relationship to hydrothermal alteration. Moreover, both the phenomena of enrichment, remobilization or existing contaminations and their relationship to geological events chronology are not well-known or not highlighted. Isotopes measurements like osmium-rhenium pair, hafnium and rare gases, such as helium, argon, could allow not only to precise the age of the mineralization and the chronological succession of the different mineralizing events, but would also help to confirm the results obtained by other methods.

These isotopic data would also bring new elements for the comprehension and the evolution of the gold bearing host-rocks.

In the Hoggar, South of Algeria, the gold origin is still not well-known. There is a lack of detailed studies using modern methods such as sulphur and lead isotopes, osmium-rhenium pair, rare gases etc. The only studies (lead isotopes) were focused on some lead isotopes data, but they are limited to the Tirek and Amesmessa deposits. They are contradictory and their interpretation remain dubious. For all these reasons, it is necessary to develop new studies and ideas on the gold origin. We hope to develop new guidelines for exploration particularly based on the petrological features. Data from some well described and analyzed orogenic-type deposits data throughout the world where modern methods were used, are available from the literature. They may help to precise methods and targets of future research for gold in the Hoggar.

**Keywords** - Orogenic gold - Origins - Isotops - Hoggar - Algeria.

## 1. INTRODUCTION-PROBLÉMATIQUE

La source des métaux a longtemps été controversée à la fois en théorie et en métallogénie, notamment pour l'établissement des guides de recherche. Connaître la source des métaux est l'un des paramètres essentiels dans la définition de ces guides. En plus des contrôles tectoniques et structuraux (principaux métallotectes révélateurs) avérés pour les gisements d'or de type orogénique, il serait intéressant de déterminer - quand cela est possible - le contrôle pétrologique, afin de mieux préciser la/ou les sources éventuelles des métaux. En effet, à ce type de gisements sont le plus souvent associées des roches de natures et d'âges divers. Les âges varient de l'Archéen (ex : Abitibi, Canada) au Tertiaire (ex : Mayum, Dahube, Chine, liés à l'orogénèse alpine).

Dans le Hoggar, les minéralisations aurifères sont distribuées selon une répartition spatiale bien précise. En effet, les filons de quartz sont localisés soit à l'intérieur des grands accidents subméridiens (notamment la 2°30 et la 4°30) ayant structuré le Hoggar au panafricain, soit à l'intérieur des terranes dans des séries volcano-sédimentaires ou encore dans des granitoïdes intrusifs toujours à proximité des grands accidents. Si les contrôles tectoniques et pétrographiques sont certains et bien mis en évidence, il n'en n'est pas de même pour le contrôle pétrologique. Déterminer ce contrôle, c'est connaître la source potentielle de l'or et inversement !

Or, dans le Hoggar, la source de l'or n'est pas connue avec précision malgré quelques timides tentatives ayant débouché sur des résultats peu convaincants. En effet, dans sa globalité le Hoggar ne semble pas présenter une uniformité concernant la source de l'or et il ne semble pas possible de considérer que cette source soit du même type dans tous les cas. Ainsi, selon certains auteurs, dans le district de Tirek, l'or tire son origine soit des terrains archéens représentés par des gneiss granulitiques appartenant au terrane de l'In Ouzzal (Semiani, 1995), soit des terrains attribués au

Mésoprotérozoïque et appartenant au terrane de Tirek (Ferkous, 1995; Ferkous et Leblanc, 1996).

Dans la LATEA (terrane de Laouni, Tefedest et Azrou-n-Fad) et dans le terrane d'Iskel, certains auteurs préfèrent attribuer une origine magmatique à l'or en le rattachant directement aux granites les plus tardifs dits Taourirts. Cette hypothèse repose sur le schéma classique de l'aurole de dispersion ou de zonalité des métaux autour des intrusions granitiques, et en aucun cas sur des études isotopiques comme celles utilisant le soufre et le plomb.

Dans le Hoggar, la source de l'or reste un objet de controverse, et est donc, indéterminée. Pour éclaircir ce point, nous proposons cette réflexion qui pourra servir comme une feuille de route ou un axe de recherche. Nous nous baserons sur les données connues et publiées d'un certain nombre de gisements qui tiennent compte de tous les aspects évoqués à l'instar des gisements de type «orogenic gold» de classe mondiale

### 1.1. Cadre géologique

Le Hoggar recèle de très nombreuses occurrences aurifères toutes en relation avec les grands accidents subméridiens qui l'ont structuré au Panafricain. D'après leur importance économique et la nature de l'encaissant des filons de quartz, on distingue quatre districts aurifères principaux (fig. 1.) :

#### *1.1.1. Le district de Tirek dans le Hoggar Occidental*

Les filons de quartz sont encaissés dans les mylonites matérialisant l'accident du 2°30 dit Zone de Cisaillement Est Ouzzalienne (ZCEO). Les filons sont tantôt parallèles à la foliation mylonitique, tantôt sécants. La zone minéralisée s'étend sur une longueur de 100 km dans la branche sud de la shear-zone. Les filons de quartz les plus minéralisés se présentent selon une direction longi-

tuinale et sont à pyrite, chalcopryrite, blende, galène, pyrrhotite, mispickel et or.

### 1.1.2. Le district de Tin Felki

Situé dans le terrane d'Iskel, ce district comporte des filons de quartz encaissés dans une série volcano-sédimentaire métamorphisée dans le faciès des schistes verts et également dans une méga-shearzone affectant surtout des granodiorites et diorites du complexe magmatique d'Afedafeda. En plus des sulfures tels que la pyrite et la chalcopryrite, le quartz filonien est accompagné de tourmaline fibreuse et en masse qui semble être l'élément ayant favorisé la précipitation de l'or.

### 1.1.3. Le district d'In Ebbegui

Ce district, situé dans le terrane de Laouni (Sud LATEA), est essentiellement représenté par un sys-

tème de filons de quartz à tourmaline, localisés préférentiellement dans un massif gabbroïque et dans des microgranites. Le gisement d'In Ebbegui est contrôlé par un système de failles conjuguées de second ordre de direction générale N30°-N40°. La minéralisation de ce district est inhabituelle et originale (Boutrika, 2006) car en plus des sulfures et sulfoarséniures (pyrite, chalcopryrite, pyrrhotite et arsénopyrite) on y rencontre également la wolframite et la topaze.

### 1.1.4. Le district de Tiririne

Ce district se situe dans le Hoggar Oriental et plus précisément dans le terrane d'Aouzeguer. Les filons de quartz présentent deux directions conjuguées principales N040° et N110-120°. Ils recourent une série volcanodétritique monoclinale renfermant des sills de rhyolites, de rhyodacites et d'andésites. La paragenèse qui accompagne l'or est simple; elle comporte pyrite, chalcopryrite, galène et blende.

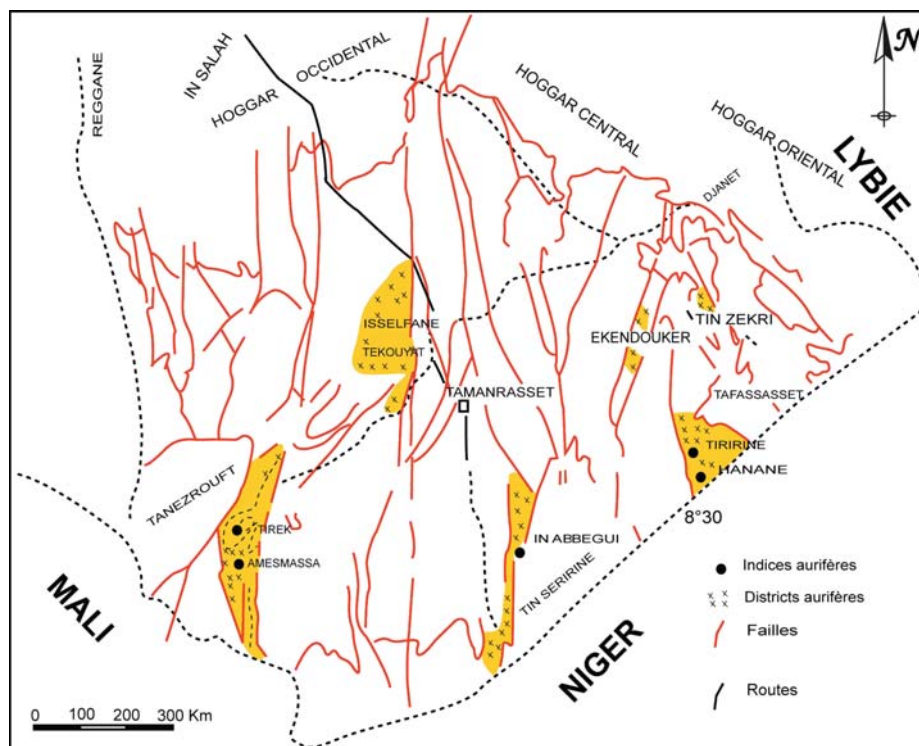


Fig. 1 - Les principaux districts aurifères dans le Hoggar (ORGM, 2004)

*The major gold mining districts in the Hoggar (ORGM, 2004)*

## 1.2. Origine de l'or au Hoggar

Si le contexte géologique et les minéralisations semblent bien connus, il n'en demeure pas moins que l'origine de l'or reste incertaine. Aucune étude n'a porté spécifiquement sur cet aspect du problème.

Dans une première étape, les recherches ont fait appel aux modèles classiques, c'est-à-dire aux relations spatiales existant entre les minéralisations aurifères et les intrusions de granitoïdes les plus récentes et les plus à même de fournir les métaux qui sont plus ou moins contemporaines des filons aurifères. Cette affirmation ou hypothèse n'est étayée que par l'omniprésence des granites Taourirts à proximité des indices aurifères, notamment ceux encaissés dans la LATEA et le terrane d'Is-ikel.

Par ailleurs, les hypothèses émises concernant l'origine de l'or dans le district de Tirek, en se basant sur les données des isotopes du plomb, semblent contradictoires et non fondées car la chronologie des événements et de la minéralisation ayant contribué à la formation de ces gisements n'est pas définie avec précision.

Deux études menées simultanément (Ferkous, 1995 et Semiani, 1995) présentent des résultats différents, voire même contradictoires.

L'une des études (Ferkous) suggère ou privilégie l'hypothèse d'une origine à partir des terrains du Mésoprotérozoïque du terrane de Tirek. La seconde (Semiani) voit pour l'or, une origine à partir des terrains archéens appartenant au terrane de l'In Ouzzal, représentés par des gneiss granulitiques acides métamorphisés à l'Eburnéen (-2000 Ma).

### 1.2.1. Pour Ferkous (1995), Ferkous et Leblanc (1996) et Ferkous et Monié (2002)

L'origine de l'or serait à rechercher dans les terrains protérozoïques du terrane de Tirek. Ces au-

teurs souligne que les analyses effectuées sur quelques échantillons prélevés dans le bloc archéen ont montré que les roches ultrabasiques et basiques qui s'apparentent à des formations de type « greenschist belts » étaient pauvres en or (inférieure au Clarke); ce qui exclut une origine de l'or à partir de ces roches. En effet, si les formations archéennes ne peuvent pas être la source directe de l'or des gisements se rattachant à la zone de cisaillement, il n'en demeure pas moins que l'or des indices filoniens intra-ouzzaliens tire originellement sa source à partir de ces roches. En effet, là où il y a l'Archéen il y a de l'or (permanence et héritage ; Routhier, 1980)!

Si leurs teneurs étaient inférieures au Clarke, cela suppose qu'elles ont été déjà lessivées.

La question est de savoir quand et comment ? En se basant sur cette observation, ils proposent donc une origine de l'or à partir des gneiss du Protérozoïque, du fait que ces derniers présentent des teneurs en or inférieures au Clarke et que le déficit en or de ces roches s'expliquerait par un lessivage de ces dernières par des fluides hydrothermaux d'origine métamorphique dus à la mylonitisation. Une telle hypothèse serait plausible si les échantillons de gneiss du terrane de Tirek analysés concernaient uniquement des roches altérées et lessivées, tout en sachant que les roches non-altérées présenteraient des teneurs supérieures, ou au moins égales au Clarke. Elles seraient donc lessivées par les fluides hydrothermaux et l'or serait soustrait et redéposé dans les filons de quartz. Ainsi, tout écart ou différence de teneurs notables entre des échantillons altérés et non altérés plaideraient pour une origine de l'or à partir de ces gneiss. Cependant, ces auteurs n'excluent pas une origine à partir des orthogneiss de l'Unité Granulitique de l'In Ouzzal (UGIO) avec une réserve voilée, à peine nuancée, du fait que le plomb des galènes accompagnant l'or dans les filons N-S soit peu radiogénique par rapport au plomb des filons E-W. En effet, les analyses des isotopes du plomb des galènes prélevées dans les filons de quartz E-W, ont montré que ces derniers étaient fortement radiogéniques, compa-



rés aux plombs des filons N-S, et qu'ils correspondaient aux plombs des formations du Protérozoïque; d'où l'éventualité d'une origine à partir des gneiss du terrane de Tirek. Or, ces filons, en relation avec les décrochements NE-SW qui décalent la ZCEO, sont largement postérieurs aux filons N-S puisqu'ils recoupent la schistosité de fracture qui elle, est contemporaine à postérieure aux filons N-S. Ce qui pourrait être valable pour les filons E-W ne le serait pas nécessairement pour les filons N-S. Comment expliquer cela ? Pour répondre à cette question, deux solutions sont envisagées : soit il s'agit de deux minéralisations distinctes ayant des origines et/ou une chronologie de mise en place différentes pour l'or, soit que les filons E-W, dans le cas d'une origine à partir des terrains archéens, aient subi une contamination par du plomb issu des terrains protérozoïques, ce qui est peu probable s'agissant d'une source unique ! Pour notre part, nous pensons qu'il s'agit plutôt de deux minéralisations distinctes du point de vue origine et âge de leur mise en place. Pour étayer ces affirmations, nous préconisons dans un premier temps de dater les deux minéralisations par l'utilisation des méthodes basées sur le couple Os-Re par exemple, en imprégnations dans la pyrite ou la chalcopyrite.

### 1.2.2. *Semiani-Marignac et al.*

Semiani (1995) et Marignac *et al.* (1996) proposent pour l'or une origine différente. Selon eux, l'or proviendrait des orthogneiss variés de l'Unité Granulitique de l'In Ouzal. Ils basent cette assertion sur les résultats des analyses isotopiques du plomb de la galène des filons de quartz et du plomb de ces orthogneiss. Le plomb de la galène et celui des orthogneiss présentent les mêmes rapports isotopiques. L'or et la galène ayant précipité conjointement (contemporains ou cogénétiques), leur source serait la même, à savoir : les orthogneiss de l'Unité Granulitique (-2400 Ma). Confrontés à la faiblesse des teneurs en or de ces orthogneiss (inférieures au Clarke), ces auteurs

suggèrent que ces derniers ont été contaminés par des émanations mantelliques au cours de la phase éburnéenne. Ils tirent argument du fait que la composition isotopique du  $^{13}\text{C}$  des inclusions fluides du quartz filonien présente une signature mantellique. En conséquence, ils se prononcent en faveur d'une source pour l'or à partir des orthogneiss suite à une interaction entre ces gneiss et le manteau supérieur. Cette interaction s'est produite à l'Eburnéen et a donc imprégné l'UGIO en or. L'or proviendrait partiellement et indirectement du manteau supérieur après un passage ou une pré-concentration dans les orthogneiss. L'Archéen ne présenterait plus un potentiel ou un réservoir pour l'or (comme c'est le cas dans plusieurs gisements aurifères de part le monde) mais il a subi un enrichissement précoce.

Ces auteurs n'ont pas tenu compte des apports ou de la contribution des granites tardi-panafricains (-520 Ma ; âge isochrone U-Pb) qui sont intrusifs dans les unités granulitiques. Effectivement, ces granites plus abondants dans la partie septentrionale du Môle, s'apparentent à des granites d'origines mixtes, mantelliques ayant assimilé la croûte sus-jacente représentée par l'unité granulitique. Dans ces conditions, la signature mantellique est expliquée; le plomb serait recyclé et conserverait tous ses caractères isotopiques hérités à partir de l'UGIO. Ainsi, le plomb ou une partie du plomb et l'or seraient remobilisés à partir des orthogneiss et transportés par les fluides hydrothermaux et déposés dans les filons de quartz au niveau de la ZCEO. Si on accepte cette hypothèse, on se heurte à un problème de datation car les âges des minéralisations se situeraient à -610 Ma pour Amesmessa et -570 Ma pour Tirek (Ferkous, 1995; Ferkous et Leblanc, 1996; Ferkous et Monié, 2002). Ces âges (méthode  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) ont été obtenus sur des amphiboles et biotites syntectoniques dans les ultramylonites de la ZCEO. Or, les fentes de tension se forment au cours du passage du domaine ductile vers le domaine fragile et comme les premiers fluides sont généralement stériles, nous pouvons estimer que les minérali-

REFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR  
(SUD ALGÉRIE)

sations se sont mises en place bien au-delà de ces âges. Il serait intéressant de dater directement les minéralisations à partir des isotopes, tels que le couple osmium-rhénium, et d'essayer de voir la contribution du manteau supérieur grâce aux isotopes de l'hélium.

### 1.2.3. Autres hypothèses sur l'origine de l'or

Concernant les gisements dans la LATEA et le Terrane d'Iskel, Aïssa et *al.* (2002) proposent une autre origine générale. Ils voient dans les granites Taourirts (-520 Ma) spécialisés en minéralisations à étain, tungstène et métaux rares une source magmatique possible. De ce fait, les minéralisations aurifères semblent toujours associées spatialement avec ces granites et, de leur point de vue, l'or occuperait ou se positionnerait dans le schéma classique de l'auréole de dispersion des intrusions granitiques au-delà du wolfram et étain. Cette hypothèse ou supposition n'est toutefois pas confortée par des données de géochimie isotopique. Le fait que les filons aurifères soient associés spatialement avec les granites Taourirts n'implique pas *ipso-facto* que ces granites constituent la source de l'or. De plus, la proximité des indices aurifères avec ces granites n'est pas généralisée pour tout le Hoggar. En effet, ces granites sont absents aussi bien dans le district de Tirek que dans le district de Tiririne.

Cependant, cette hypothèse quant à une origine à partir des granites Taourirts n'est pas à écarter en ce qui concerne le district d'In Ebeggui où l'or est accompagné par la topaze et la tourmaline (Boutrika, 2006). La topaze est un minéral omniprésent dans les granites Taourirts les plus évolués qui sont responsables de minéralisations à wolfram, étain et métaux rares. Pour étayer cette hypothèse il faudrait procéder à des études sur les isotopes du soufre et du plomb des sulfures, des granites et des roches encaissantes (microgranites, rhyolites et gabbros). L'existence de sources variées se traduirait par des valeurs disparates de

$\delta^{34}\text{S}$  et les rapports isotopiques du plomb fourniraient des signatures pour chaque réservoir potentiel. Néanmoins, l'origine d'une partie au moins des fluides minéralisateurs à partir de ces granites n'est pas totalement exclue. Il en est de même pour le rôle joué par ces granites comme moteur thermique. Un projet ambitieux consisterait à procéder à l'étude des isotopes d'He, Hf, Re-Os, Ne-Sm pour voir s'il n'y aurait pas une contribution du manteau supérieur et dans quelles mesures, comme c'est le cas dans les gisements de Hebei, Dahube, Tianger, Newfoundland.

Dans le Hoggar oriental, aucune étude n'a porté sur la source de l'or. Les réservoirs potentiels sont très variés. À Tiririne, les filons de quartz sont encaissés dans une série volcano-détritique renfermant des sills d'andésites, de dacites et de rhyodacites. Cette série est, en outre, recoupée par des granites, des granodiorites et des diorites.

En conclusion, le problème de l'origine de l'or dans le Hoggar est toujours d'actualité. Pour répondre aux questions soulevées, il serait donc intéressant de procéder à un échantillonnage judicieux des sulfures dans les filons et les roches encaissantes ou avoisinantes pour chaque district et procéder systématiquement à l'étude des isotopes du soufre et du plomb. Dans une seconde étape, il faudrait s'intéresser à la chronologie de la mise en place de la minéralisation pour mieux préciser l'origine des métaux en général et de l'or en particulier.

## 2. DANS LE MONDE

Les gisements d'or de type « orogenic gold » dans le monde se rencontrent à travers toutes les orogènes depuis l'Archéen (ex : Yilgarn Craton, Australie) jusqu'à la chaîne alpine (ex : Mayum, Tibet).

L'or étant un élément ubiquiste, chalcophile ayant un comportement sidérophile, il est très dé-

licat d'en déterminer l'origine. Généralement, dans tous les gisements du monde, l'or est spatialement associé à des intrusions de granitoïdes. Ce qui laisse supposer que ce dernier dériverait de ces intrusions et qu'il est transporté par les fluides terminaux avant de précipiter ou de se déposer dans les filons de quartz. Or, en se basant sur la géochimie isotopique de quelques éléments qui accompagnent l'or, notamment le soufre et le plomb, on s'est aperçu que le problème était beaucoup plus complexe. En effet, un certain nombre d'éléments chimiques, accompagnant le plus souvent l'or, peuvent être considérés comme des traceurs de la minéralisation et peuvent, par conséquent, nous indiquer indirectement l'origine de l'or. Déterminer l'origine ou le réservoir de ces éléments revient donc à préciser d'une manière indirecte la source potentielle de l'or.

L'or pourrait provenir soit d'une source unique, soit de sources multiples concomitantes, c'est-à-dire primaire (au niveau du manteau supérieur ou au niveau de la partie inférieure de la croûte), d'un « lessivage » des terrains encaissants métamorphiques et sédimentaires ou enfin d'intrusions mafiques et/ou acides.

D'autres éléments peuvent également apporter des informations et confirmer les résultats obtenus par d'autres méthodes. Certains comme l'osmium, le rhénium et le hafnium peuvent être complémentaires dans l'étude des minéralisations et fournir des informations pour la compréhension de l'histoire géologique de la minéralisation. C'est grâce aux rapports isotopiques  $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$  qu'un certain nombre de minéralisations ont été datées directement et que des remobilisations ou des superpositions avec des écarts de plusieurs centaines de millions d'années ont pu être mises en évidence dans un même gisement (ex : Niassa Gold Belt, Mozambique).

Aucun modèle ne semble pouvoir s'appliquer à tous les gisements en question et il serait très difficile d'établir un parallèle avec le Hoggar

comme nous l'avons vu auparavant. Néanmoins, si l'on admet que pour l'ensemble du Hoggar l'or pourrait provenir de sources de types différents, alors il serait possible de trouver des similitudes et de faire des comparaisons pour chaque district avec un certain nombre de gisements de type « orogenic gold » dans le monde. En voici quelques exemples.

### 3. LES ISOTOPES DU SOUFRE.

Dans les gisements aurifères, le soufre peut provenir d'une source unique ou de sources multiples: à partir des terrains métamorphiques encaissants les filons de quartz, d'intrusions de roches granitiques ou mafiques et même parfois de roches sédimentaires. Ces diverses origines se traduisent par des valeurs isotopiques du  $\delta^{34}\text{S}$  spécifiques pour chaque milieu d'où sont puisés les atomes de soufre. Si les valeurs isotopiques du soufre s'écartent des valeurs spécifiques pour chaque origine, il ne pourra s'agir que d'une contribution à partir de plusieurs sources ou d'une contamination. Comme l'or est le plus souvent en association intime avec les sulfures et notamment la pyrite, l'arsénopyrite et parfois la galène, connaître l'origine du soufre permet de remonter à la source de l'or.

Les quelques exemples sélectionnés pour cette étude montrent que le problème de l'origine de l'or est complexe. Néanmoins, certains gisements présentent des similitudes et seuls ceux qui ont donné des résultats significatifs méritent d'être pris en considération ici. Il en existe plusieurs variantes et combinaisons possibles dont voici quelques exemples.

#### 3.1. Origine mantellique de l'or

- Les gisements aurifères du district de Shandong en Chine sont localisés dans des shear-zones ductiles (Niu *et al.*, 2005). Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  de la pyrite associée à la minéralisation d'or présentent



REFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR  
(SUD ALGÉRIE)

une gamme de valeurs étroites comprises entre +0.71‰ et +2.9‰; ce qui implique que le soufre dérive probablement, directement du manteau ou d'un magma mafique.

- Le district aurifère du Dahube comprend plusieurs shear-zones tertiaires distribuées au niveau de la marge orientale du plateau tibétain. Les gisements sont encaissés dans un terrane précambrien qui s'apparente à un granite-Greenstone Belt. Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  de la pyrite sont comprises entre +0.7‰ et -4.2‰ suggérant soit directement une source mantellique, soit le résultat du lessivage de roches mafiques environnantes (Li Xiaofeng et al., 2007).

### 3.2. Origine mixte sédimentaire et mantellique

Les gisements d'or de Sams Creek (Nouvelle Zélande) sont localisés dans des granites porphyriques peralcalins de type A (Faure et Brathwaite, 2006). Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  des sulfures comprises entre +5‰ et +10‰, présentent une distribution bimodale avec les stades II et III de la minéralisation. Des valeurs identiques ont été également obtenues pour les pyrites des carbonates de deux formations avec respectivement des valeurs comprises entre +3 et -1‰ et +4‰ et -9.5‰. Ceci implique que le soufre dérive au moins en partie de ces carbonates. Une autre source pour le soufre peut être envisagée; il s'agit du manteau lithosphérique qui présente des valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  positives comprises entre 0‰ et +10‰ (Faure et Brathwaite, 2006).

### 3.3. Source magmatique

#### 3.3.1. Origine volcanique à sub-volcanique

Le gisement de Kanggur se situe dans l'est des montagnes de Tianshan dans la section orientale de la ceinture orogénique de l'Asie Centrale. La minéralisation est pour l'essentiel localisée dans

une série volcanique calco-alkaline (Zhang et al., 2003). Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  des sulfures qui accompagnent l'or sont dans une gamme comprise entre -0,9‰ et +3,3‰. Ces valeurs sont similaires à celles des roches volcaniques et sub-volcaniques. La composition isotopique du soufre est caractéristique d'un soufre du manteau non fractionné. De même, les compositions isotopiques du plomb du minerai se situent entre celles des roches volcaniques et des roches sub-volcaniques. Les données du soufre et du plomb permettent d'attribuer à la minéralisation une origine à partir des roches volcaniques avec une source profonde de ces dernières.

#### 3.3.2. Cas d'une source magmatique unique pour plusieurs gisements

Parfois, à l'échelle d'un craton, des gisements filoniens d'or sont localisés dans des roches variées du point de vue nature et âge. L'origine de l'or ne peut être attribuée à un type particulier de faciès. Une étude comparative des isotopes du soufre a été effectuée pour les gisements du Craton de Dharwar (Inde du Sud) où il a été démontré que plusieurs gisements se caractérisaient par une source magmatique unique (Saravanan et Mishra, 2009). La composition isotopique du soufre des sulfures, principalement la pyrite et l'arsénopyrite des gisements d'or du Craton Dharwar présente des valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  comprises entre +1,1‰ et +7,1‰. Ces valeurs sont uniformes à l'échelle du Craton malgré la diversité des roches hôtes et suggèrent une source magmatique ou de croûte moyenne pour tous les gisements étudiés (compositions isotopiques du soufre quasi-homogènes).

### 3.4. Deux sources distinctes

Le gisement d'or de Golden Pride se situe dans la partie centrale de la ceinture de roches vertes de Nzega en Tanzanie (Vos et al., 2009). La minéralisation tardi-archéenne est localisée dans des métasédiments intensément déformés. Deux types

de minéralisations peuvent être distingués avec notamment, pyrrhotite, arsénopyrite, pyrite et accessoirement galène et blende. L'or est tardif dans la séquence paragéométrique où il est associé à la pyrrhotite de seconde génération. Les compositions isotopiques de  $\delta^{34}\text{S}$ , présentent un large éventail de valeurs comprises entre -6‰ et +7‰ et sont interprétées comme étant le résultat d'une contribution de deux ou plusieurs sources distinctes volcanoclastiques ou magmatiques.

### 3.5. Sources multiples

Le gisement aurifère de Mayum, découvert en 2002, se situe dans l'Ouest du Tibet. La minéralisation aurifère est encaissée dans des schistes néoprotérozoïques-cambriens; elle est contrôlée par des failles E-W (Jiang *et al.*, 2009). Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  des sulfures comprises entre -0.2‰ et +16.8 ‰ sont donc très variables. Ces données indiquent que le soufre a de multiples sources et provient des roches encaissantes. Il en est de même pour le plomb.

### 3.6. Contamination (or d'origine magmatique d'abord puis d'origine sédimentaire)

Le gisement aurifère de Betze-Post-Screamer (Nevada, USA) est l'un des plus grands gisements de type Carlin au monde (caractérisés par de très fortes concentrations en As, Sb, Hg et Te). Des études antérieures ont conclu que la plupart de ces gisements sont formés à partir du soufre qui est largement d'origine sédimentaire. Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  de la pyrite dans le gisement en question varient de -1‰ à +4‰. Cependant, les analyses de  $\delta^{34}\text{S}$  pour le réalgar et l'orpiment présentent des valeurs comprises entre +5‰ et +7‰ (Kesler *et al.*, 2005). Ces résultats combinés avec ceux de l'arsénopyrite primaire indiquent plutôt, que le soufre était d'abord d'origine magmatique avec une contamination à partir des roches sédimentaires paléozoïques pour le soufre de l'arsénopyrite secondaire (nucléus ou

cœur avec un soufre magmatique et la périphérie avec un soufre provenant d'une source sédimentaire). Il est possible que cette contamination résulte de l'assimilation magmatique des roches sédimentaires du Paléozoïque ou du lessivage hydrothermal du soufre à partir des roches encaissantes.

### 3.7. Origine sédimentaire

Dans plusieurs gisements; à l'exemple de ceux de Dian-Qian-Gui, de Shangong (Chine) et du Caucase, les filons de quartz sont situés aussi bien dans des roches magmatiques que sédimentaires. Le soufre peut dériver en partie ou en totalité de ces roches sédimentaires.

- Les gisements aurifères de la région de Dian-Qian-Gui en Chine se classent dans le type Carlin (Nevada) avec notamment une minéralisation disséminée à pyrite, marcassite et arsénopyrite à forte concentration en Au, As, Sb, Hg, Ti et faible en Ag. Les données de  $\delta^{34}\text{S}$  indiquent un soufre réduit dérivant de roches sédimentaires (Zhang *et al.*, 2005). Ces données, et l'absence de plutons ou de magmatisme sont compatibles avec un modèle sans contribution d'un magmatisme (amagmatique) pour ces dépôts.

- Les gisements d'or de la République de Géorgie dans le Caucase constituent un bel exemple de soufre issu de roches sédimentaires. Les filons de quartz aurifères y sont encaissés à la fois dans des terrains de schistes et d'ardoises carbonées paléozoïques, recoupés par deux épisodes de granitoïdes; l'un au Jurassique moyen et l'autre au Néogène (4 à 5 Ma). Les veines de quartz dans les ardoises ont subi un enrichissement en As, Au, Hg, Sb et W, typique des gisements orogenic gold (Kekelia *et al.*, 2008). Ainsi, les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  variant de +1‰ à +4‰ sont compatibles avec une origine partielle du soufre à partir de roches sédimentaires.

- Le district de Shangong situé dans le Terrane de Xionger en Chine est l'un des plus importants

gisements d'or orogénique de type mésothermal encaissé dans des roches volcaniques attribuées au Méso-protérozoïque. Les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  pour le stade intermédiaire de la minéralisation sont comprises entre -19.2‰ et -6.3 ‰ suggérant une contribution importante du soufre d'origine organique à partir des roches sédimentaires (Chen Yan-Jing et *al.*, 2008) à travers la réduction bactérienne de sulfates marins. Ainsi la source pourrait être la séquence composée de carbonates, de grès et de schistes.

En conclusion, si l'origine de l'or n'est pas explicitement corrélée avec la/ou les sources potentielles du soufre dans les exemples pris comme référence, il n'en demeure pas moins que cet élément demeure un bon traceur de la mise en place de la minéralisation. En principe, l'or devrait provenir de la même source et présenter le même cheminement que le soufre. Si tel était le cas, l'or pourrait tirer son origine soit directement du manteau avec/ou sans contamination par des roches encaissantes (Betze-Post-Screamer, Nevada); soit par l'intermédiaire indirect du manteau à partir de roches volcaniques ou plutoniques comme c'est le cas dans les gisements de la Chine (Shandong, Kanggur...). Il peut également avoir une origine mixte à partir du manteau et de roches sédimentaires encaissant les filons (ex : Sam Creeks en Nouvelle Zélande). L'or peut également tirer son origine exclusivement de roches sédimentaires (ex: Shangong, Dian-Qian-Gui en Chine et dans le Caucase en Géorgie).

#### 4. LES ISOTOPES DU PLOMB

Sur la base des données des datations à partir des isotopes du plomb, ceux-ci peuvent être également utilisés comme des traceurs de la minéralisation et peuvent donner des indications sur leur origine ou leur source en fonction de leur degré radiogénique. Comme l'or et la galène sont parfois cogénétiques ou bien en association intime

(or en fines inclusions dans la galène), ils ne peuvent donc provenir que d'un même réservoir ou d'une même source. Pour ce faire, il suffit de connaître le fond géochimique ou la composition isotopique du plomb des roches encaissantes pour en déterminer la/ou les roches réservoirs.

Il arrive parfois que le plomb dérive de plusieurs sources possibles d'une manière concomitante. Pour illustrer cette affirmation, nous allons considérer quelques exemples de gisements de taille mondiale dans lesquels le plomb et l'or tirent leur origine soit à partir d'une source juvénile (mantellique), de roches ignées (plutoniques et volcaniques), de roches métamorphiques ou enfin, de roches sédimentaires en toutes proportions et dans des combinaisons diverses.

##### 4.1. Croûte continentale et manteau

L'orogénèse altaïte en Chine, se caractérise par un magmatisme granitique abondant et accueille certains des plus importants gisements d'or dans le monde. L'étude des isotopes du plomb des roches magmatiques et des roches métasédimentaires (Chiaradia et *al.*, 2005, 2006) démontre que cette région se caractérise par une signature isotopique du Pb distincte et qu'il existe un gradient de direction SW-NE suggérant une transition progressive d'un plomb provenant de la croûte continentale à l'ouest et un plomb purement mantellique à l'est. Les signatures isotopiques des gisements étudiés suivent de près celles des roches magmatiques et des métasédiments pour chaque terrane. Il existe donc, une discrimination des terranes à partir des isotopes du plomb (?). Cela suggère également, qu'il n'existe pas une origine unique responsable de la minéralisation aurifère dans la région mais plutôt un mixage entre une minéralisation d'origine crustale (S-W) avec une imprégnation ou une contribution mantellique conséquente induisant ainsi un enrichissement (N-E) selon une polarité calquée sur le gradient SW-NE.

#### 4.2. Granites et roches vertes

Dans les terrains archéens, il est couramment admis que les ceintures de roches vertes (greenstones belts) associées aux BIF et les granitoïdes issus de la fusion partielle d'une ancienne croûte continentale constituent les réservoirs initiaux de l'or. À ce titre, les gisements du Yilgarn Craton en Australie présentent un bel exemple de ces types (Qiu et Mc Naughton, 1999). Ce craton se caractérise par un haut degré de métamorphisme (amphibolites à granulites faciès) et présente de vastes affleurements de granites et de roches volcaniques vertes. Les compositions isotopiques du plomb des granitoïdes (-2.64 Ga) correspondent ou sont compatibles avec une origine crustale, probablement à partir de la fusion partielle d'une ancienne croûte continentale. Les compositions isotopiques du plomb des roches vertes (principales roches encaissantes) présentent des rapports isotopiques initiaux élevés, intermédiaires avec ceux des granitoïdes et des roches vertes. Ainsi, le caractère isotopique du plomb de ces gisements est intermédiaire entre celui des granites et des roches vertes, indiquant que les fluides minéralisateurs contenaient les métaux des deux réservoirs (Hodkiewicz et *al.*, 2009).

#### 4.3. Origine mantellique à partir des basaltes (point chaud)

La haute qualité des gisements d'or épithermaux dans le bassin du Great Northern (Yellowstone, USA) a toujours été associée avec le volcanisme régional basalto-rhyolitique miocène (Hames et *al.*, 2009). Ainsi, les modèles précédents ont généralement dépeint les magmas plutôt comme une source de chaleur à grande échelle ayant permis la convection des eaux météoriques et le lessivage de l'or à partir d'une source crustale et son dépôt dans les veines de quartz. Or, de nouvelles données indiquent que l'or a un lien génétique direct avec le panache des magmas basaltiques de la région. Les compositions isotopiques du plomb

lié à l'or présentent les mêmes caractéristiques que celles des basaltes des premiers panaches de Yellowstone. Ainsi, l'or et le plomb dérivent conjointement du manteau, relayé par une chambre magmatique basaltique de la province au cours des premiers stades des points chauds du Yellowstone.

#### 4.4. Réservoir porphyre et contamination

Les veines de quartz à fuchsite du gisement de Dôme-Mine (Ontario, Canada) sont caractérisées par une association intime entre l'or et la galène. L'étude des isotopes du plomb réalisée sur les galènes pour identifier la source du plomb a permis par déduction, d'évaluer les réservoirs possibles pour l'or. Bien que d'autres sources ne puissent pas être totalement exclues, la composition des isotopes du Pb de la plupart des galènes et des porphyres suggèrent que le plomb dans les veines, a pour origine ces porphyres à quartz-feldspaths (Moritz et *al.*, 1990). Le scénario le plus probable, est que, les fluides hydrothermaux minéralisateurs de profondeurs, ont été canalisés préférentiellement le long des porphyres et ont lessivé le plomb de ces intrusions et l'ont déposé avec l'or dans les veines de quartz.

#### 4.5. Intrusion mantellique alcaline

Dans la province aurifère de Baoutou Bayan, les trois types de gisements présentent un plomb relativement radiogénique comparé à celui du manteau et de la croûte inférieure (Nie et *al.*, 2002). Ces données sont interprétées comme étant le signe d'un mélange du plomb provenant des intrusions mantelliques alcalines et de celui des roches métamorphiques précambriennes. Le magmatisme alcalin a dû fournir à la fois les métaux et la source de chaleur pour les trois types de gisements (enrichissement ?).



REFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR  
(SUD ALGÉRIE)

En conclusion, si les isotopes du soufre nous permettent de connaître l'origine de l'or avec une certaine marge d'incertitude, les isotopes du plomb se présentent, eux, comme de meilleurs traceurs. Ils nous permettent de mieux déterminer quels sont le/ou les réservoirs potentiels, qu'il s'agisse d'une source unique à partir du manteau (Yellowstone, USA), d'un mélange du plomb de la croûte continentale et du manteau (Altaïte en Chine), de granites et roches vertes à partir de terrains archéens (Yilgarn Craton, Australie) ou enfin, à partir de porphyres avec une contamination-contribution probable du manteau (Dôme-Mine, Canada).

## 5- AUTRES ISOTOPES

Résoudre l'âge de la mise en place de la minéralisation présente un grand intérêt non seulement, pour évaluer le potentiel économique d'une zone mais aussi, pour l'élaboration d'un modèle génétique ainsi que pour la proposition de guides de prospection. Les gîtes aurifères présentent un intérêt particulier car ils peuvent, comme nous allons le constater, n'avoir aucun lien génétique avec les roches encaissantes et être relativement plus jeunes. Les seuls arguments de datation des minéralisations sont obtenus indirectement à partir de l'âge de ces roches et des assemblages liés aux altérations hydrothermales, qui donnent l'âge de la mise en place des filons de quartz et en aucun cas l'âge exacte de la minéralisation!

Dans la plupart des cas, les premiers fluides sont dépourvus de minéralisations (Bonnemaison et Marcoux, 1990).

Il est particulièrement difficile de dater avec précision la minéralisation, surtout quand les filons de quartz recoupent des séries métamorphiques très anciennes reprises dans des orogénèses ultérieures. L'utilisation des rapports isotopiques tels ceux du rhénium et de l'osmium inclus dans les sulfures, peuvent nous indiquer l'âge de la minéralisation, qu'elle soit primaire ou remobilisée ultérieurement

et nous permet donc de suivre son évolution au cours de son histoire géologique.

### 5.1. Rhénium-Osmium

#### 5.1.1. Cas d'une remobilisation

Les données isotopiques Re-Os dans les sulfures du gisement de Niassa Gold Belt au Mozambique suggèrent deux périodes de minéralisations aurifères : une première ayant un âge post-panafricain (-483 Ma) donné spécialement par un assemblage de pyrite et de chalcopryrite; la deuxième faisant suite à une remobilisation des minéraux primaires et plus particulièrement la chalcopryrite avec des grains d'or en inclusion. Cet épisode a eu lieu au Crétacé inférieur (-112 Ma), et s'est produit lors de la dislocation du Gondwana et du rifting ayant séparé Madagascar de l'Afrique (Bjerkgard et al., 2009). L'assemblage minéral ou la paragenèse d'âge panafricain se caractérise par des ratios isotopiques chondritiques  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  de l'ordre de 0.123. Ceci implique une source juvénile pour les fluides minéralisateurs et pour l'or qui proviendrait des métagabbros du Néoprotérozoïque.

#### 5.1.2. Minéralisation plus récente que les intrusions

Dater les minéralisations des gisements aurifères est difficile en l'absence de minéraux appropriés dans les veines de quartz. Cependant, l'or est généralement en association avec la pyrite et l'arsénopyrite qui renferment en très faible quantité du Re et de l'Os (caractère commun chalcophile et sidérophile de ces deux éléments). Ainsi, les données radiochronologiques à partir du couple Re-Os pour les deux gisements aurifères du district de Newfoundland (Canada) donnent des âges respectifs de -411Ma et de -420 Ma, en conformité avec les âges obtenus avec la méthode U-Pb sur des zircons hydrothermaux. Cependant, la minéralisation aurifère paraît plus jeune que la plupart des intrusions associées à cet événement

(Kerr et Selby, 2012). Le fait que la minéralisation soit beaucoup plus jeune que la plupart des intrusions exclut que ces dernières puissent constituer la source de l'or!

## 5.2. Gaz rares (Ar, He)

Les isotopes des gaz rares tels que l'hélium, par exemple, sont de très bons traceurs pour la détermination de l'origine des fluides (notamment des fluides mantelliques) et de l'or. L'étude systématique des isotopes de ces gaz, permet de confirmer la nature et l'origine des fluides minéralisateurs et, par la même, probablement, l'origine au moins partielle de l'or. En plus des datations obtenues par la méthode  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , ce gaz permet également d'estimer la part de la contribution du manteau supérieur dans les fluides minéralisateurs.

### 5.2.1. Or d'origine mantellique

L'étude des caractéristiques isotopiques de l'hélium et de l'argon de quelques pyrites de onze (11) gisements aurifères et de quelques roches hôtes de la province du Hebei en Chine, a permis de mettre en évidence que les ratios de  $^3\text{He}/^4\text{He}$  étaient compris dans une fourchette entre  $0.66 \cdot 10^{-6}$  et  $7.3 \cdot 10^{-6}$  et ( $R/Ra=0.66-4.93$ ). Les ratios  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  varient de 426 à 2070 avec une valeur moyenne de  $^{40}\text{Ar}$  de l'ordre de 8.32 et de  $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$  de 2.17. Pour leur part, les rapports de  $^3\text{He}/^4\text{He}$  dans les gneiss et les granites dans la périphérie du district minier sont compris dans la fourchette de  $0.001 \times 10^{-6}$  et  $0.55 \times 10^{-6}$  reflétant une différence significative de leur source. Cette étude montre donc que les éléments constitutifs du minerai proviennent des profondeurs de la terre avec une évolution multistage et que les fluides minéralisateurs se déplaceraient vers le haut à des niveaux peu profonds dans la croûte. Dans de telles circonstances, il y aurait eu inévitablement mélanges de fluides d'origine mantellique et crustale et leurs caractéristiques isotopiques seraient intermédiaires entre celles de la croûte et celles du manteau. Cette conclusion est confirmée par la présence de xénolites mantelliques dans des

basaltes cénozoïques présentant des teneurs en or dans des assemblages sulfurés de l'ordre de  $10^{-3}$ , alors que les teneurs habituelles de l'or dans les xénolites mantelliques sont de l'ordre de  $10^{-8}$ . Ainsi, le manteau lithosphérique sous-jacent de la plateforme nord de la Chine se présente comme étant un réservoir potentiel important et, peut être à la fois, la source principale de l'or et peut contribuer également à l'enrichissement.

### 5.2.2. Fluides d'origine mantellique

- Le district aurifère de Kuoerzhenkuola (Chine) est l'un des plus importants de la ceinture aurifère de Sawuer située dans le nord-ouest du Bassin de Zhunggar. L'étude des gaz rares révèle que les fluides minéralisateurs de deux gisements dérivent du manteau avec une composante mineure d'une autre source (Shen *et al.*, 2005). L'étude des isotopes de l'hélium des inclusions fluides de la pyrite, indique des ratios de  $^3\text{He}/^4\text{He}$  compris respectivement entre 0,64-4,25 et 1,6-5,08 pour les deux gisements mais avec deux exceptions de l'ordre de 8,18 et 9,48 pour l'un des deux. Ces données suggèrent que l'hélium des fluides est un hélium issu du manteau et qu'il y a aussi une faible participation d'origine météorique.

- Dans le district aurifère du Dahube, les valeurs isotopiques de  $\delta^{34}\text{S}$  suggèrent une origine mantellique pour le soufre, ce qui est confirmé par les isotopes de l'hélium et l'argon (Li *et al.*, 2007). Ainsi, les inclusions fluides dans les pyrites présentent des ratios de  $^3\text{He}/^4\text{He}$  compris entre 0,16 et 0,86, alors que leurs ratios en  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  sont compris entre 298 et 3288, indiquant un mélange de fluides d'origine mantellique et d'origine crustale mais avec une contribution importante et significative du manteau (Li *et al.*, 2007).

### 5.3.3. Deux orogènes, deux minéralisations

Le gisement aurifère de Tanjianshan se situe à la limite tectonique du bloc Oulongbuluk et du

REFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR  
(SUD ALGÉRIE)

Craton Orogénique Nord Qaidam à l'ouest de la Chine. C'est un exemple typique de gisement résultant de deux événements minéralisateurs en relation avec deux orogénèses (Zhang et *al.*, 2009). Deux phases tectoniques majeures ont pu être mises en évidence : une zone de cisaillement ductile-fragile dextre, tardi-paléozoïque précoce, orientée NW et une seconde de direction NS se traduisant par un cisaillement senestre d'âge paléozoïque-mésozoïque précoce, responsable de plissements porteurs de la deuxième phase de minéralisation. La séricite prélevée dans la shear-zone NW a donné un âge de -409 Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) en cohérence avec l'âge de la collision. Le deuxième événement, marqué par un assemblage de minéraux de seconde génération au sein des plis N-S liée à l'orogénèse tardi-paléozoïque a, quant à lui, donné un âge de -268 Ma (K-Ar) et un âge de -288 Ma (âge isochrone Rb-Sr). La minéralisation de ce dernier événement s'est superposée à la minéralisation de la phase précoce et forme l'essentiel des gisements.

## 6. CONCLUSION - DISCUSSION

En ce qui concerne l'origine de l'or dans le type «orogenic gold», et au regard des différents exemples, nous remarquons qu'il n'y a pas un modèle unique qui puisse s'appliquer à l'ensemble de ces gisements. Ils sont tous localisés dans des filons de quartz et contrôlés par des failles lithosphériques. Dans les gisements situés dans les terrains archéens, l'or peut provenir soit de granitoïdes (Yilgarn Craton, Western Australia), soit des greenstones belts (Australie; Canada), soit enfin du manteau supérieur (Shandong, Dahube, Kanggour). Parfois, des terrains archéens et paléozoïques sont en contact tectonique et l'or provient d'intrusions plus récentes. Pour les gisements encaissés dans les terrains paléozoïques à tertiaires, l'or peut tirer son origine soit de roches magmatiques, métamorphiques, sédimentaires ou même en partie du manteau supérieur.

## - Perspectives et axes de recherche pour le Hoggar

Dans le Hoggar, les districts aurifères appartiennent clairement au type « orogenic gold » car pratiquement tous les indices sont localisés aux frontières de terranes et sont en relation directe avec les grands accidents (shear-zone ou Rieddel) lithosphériques NS ( $2^{\circ}30'$ ,  $4^{\circ}50'$  et le  $8^{\circ}30'$ ) qui ont structuré le Hoggar au Panafricain.

Chaque district se caractérise par son propre contexte géologique et peut être même par des origines différentes pour l'or. Un seul modèle génétique pour l'origine de l'or ne semble pas acceptable pour l'ensemble du Hoggar, comme cela a pu être montré dans le cas du Craton de Dharwar en Inde.

En considérant les contextes géologiques différents qui prévalent pour chaque district, nous sommes tentés de supposer -sous toutes réserves- qu'il ne s'agirait pas de la même et unique origine pour tous les gisements et que chaque district se distingue par une origine propre à lui. Néanmoins, deux districts (Tin Felki et In Ebbegui) présentent des points communs qui conduisent à supposer qu'une même source pour l'or est possible dans ce cas. Le seul point commun, en plus d'une source potentielle probable, est l'omniprésence des granites Taourirts et concerne surtout l'origine des fluides minéralisateurs et le rôle que ces granites ont pu jouer en tant que moteur thermique. Des sources concomitantes ne sont pas à écarter sans négliger une éventuelle contribution à partir du manteau. En effet, dans les districts de Tin Felki (Terrane d'Iskel) et d'In Ebbegui (terrane de Laouini), les roches qui encaissent les filons de quartz à tourmaline sont respectivement des granitoïdes recoupant des séries méta-volcanosédimentaires et des gabbros recoupés par des rhyolites.

Il serait nécessaire d'effectuer des études sur les ratios isotopiques du soufre, du plomb, de l'hélium et de l'argon pour chaque district en tenant compte des hypothèses ou remarques précédentes.

Ainsi, les sources potentielles de l'or dans le district de Tin Felki pourraient être multiples et concerneraient aussi bien les granites Taourirts que les granitoïdes. Tandis que dans le district d'In Ebbegui, les sources potentielles pourraient être soit les gabbros, soit les rhyolites sans perdre de vue aussi, la/ou les contributions des granites Taourirts et du manteau supérieur. La chronologie de mise en place de la minéralisation sera aussi d'un apport très important pour préciser l'origine de l'or. Les quelques données chronologiques donnent un décalage de 40 Ma entre le gisement d'Amesmessa au sud et le gisement de Tirek au nord. Des arguments tectoniques (article en cours) confirment ce décalage car il s'agit d'un continuum avec une polarité N-S du fait de la translation du Môle In Ouzzal vers le nord au cours de l'orogénèse panafricaine favorisant d'abord l'apparition de fentes de tension au sud puis au nord.

La seule incertitude concerne le district de Tiririne où nous ne disposons pour le moment d'aucune hypothèse sur l'origine de l'or, et où les données isotopiques manquent

À Tiririne, la nature des roches magmatiques qui encaissent les filons de quartz, susceptibles d'être des sources potentielles pour l'or, sont multiples et variées. En effet, en plus des sills basiques à acides (diabases, andésites, dacites et rhyodacites) qui sont intercalés dans la série détritique, nous pouvons noter aussi l'existence d'intrusions de granites et de granodiorites recoupant l'ensemble de la série volcano-détritique. En outre, cette dernière semble reposer en discordance sur des microdiorites schistosées, altérées et lessivées et présentant un faciès délavé à aspect pulvérulent de couleur verdâtre, jaunâtre à blanchâtre. Est-ce la source de l'or?

En conclusion, il ressort que l'origine de l'or dans le Hoggar ne s'apparente pas à une source unique pour l'ensemble des districts et que chaque district se caractérise par une origine distincte contrairement au Craton Dahwar en Inde.

Comme nous l'avons constaté, la géologie de l'or au Hoggar est complexe et les occurrences sont très nombreuses. Le problème de la/ou des sources de l'or ne pourra être résolu que par de nouvelles investigations sur la base d'études de géochimie isotopique poussées.

## BIBLIOGRAPHIE

- AISSA, D.-E., TALBI, M., KESRAOUI, M. ET NEDJARI, S. 2002.** Les minéralisations aurifères du Hoggar (Sud Algérie) et leur relation avec les zones de cisaillements lithosphériques. *Bull. Serv. Géol. Algérie*, vol. 13, n°2, pp. 93-115.
- BJERKGARD, T., STEIN, H.-J., BINGEN, B., HENDERSON, I.-H.-C., SANDSTAD, J.-S. AND MONIZ, A. 2009.** The Niassa Gold Belt, Northern Mozambique - A segment of a continental-scale Pan-African gold-bearing structure? *Journal of African Earth Sciences*, 53, pp. 45-58.
- BONNEMAISON, M. AND MARCOUX, E. 1990.** Auriferous mineralization in some shear-zones - A 3-stage model of metallogenesis. *Mineralium Deposita*, 25, pp. 96-104.
- BOU TRIKA, R. 2006.** Contribution à l'étude des minéralisations aurifères liées aux aplites et microgranites de la région d'In Abbegui et les corps de rhyolites d'Affra Heouhine (Feuille In Abbegui et Tahifet), Hoggar Central. *Mémoire de Magister, FSTGAT-USTHB*, 159p.
- CHEN YAN-JING, FRANCO PIRAJNO AND JIN-PING, QI. 2008.** The Shangong gold deposit, Eastern Qinling Orogen, China: isotope geochemistry and implications for ore genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33, pp. 252-266
- CHIARADIA, M., KONOPELKO, D., SELTMANN, R. AND CLIFF, R.-A. 2005.** Lead sources in ore deposits and magmatic rocks of the Tien Shan and Chinese Altay. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, session 12, pp. 1301-1304.
- CHIARADIA, M., KONOPELKO, D., SELTMANN, R. AND CLIFF, R.-A. 2006.** Lead isotope variations across terrane boundaries of the Tien Shan and Chinese Altay. *Mineralium Deposita*, 41, 411-428.



REFLEXION ET HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE L'OR DANS LE HOGGAR  
(SUD ALGÉRIE)

- FAURE, K. AND BRATHWAITE, R.-L. 2006.** Mineralogical and stable isotope studies of gold–arsenic mineralisation in the Sams Creek peralkaline porphyritic granite, South Island, New Zealand. *Mineralium Deposita*, 40, pp. 802-827.
- FERKOUS, K. 1995.** Filons de quartz aurifères dans une zone de cisaillement lithosphérique panafricaine (Amesmessas–Tirek, Hoggar Ouest, Algérie). *Th. de Doct., Univ. de Montpellier II*, 264 p.
- FERKOUS, K. AND LEBLANC, M. 1996.** Gold mineralization in the West Hoggar shear-zone. Algeria. *Mineralium deposita*, 30, pp. 211-234.
- FERKOUS, K. AND MONIE, P. 2002.** Neoproterozoic shearing and auriferous hydrothermalism along the lithospheric N–S East In Ouzzal shear-zone (Western Hoggar, Algeria, North Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 35, pp. 399-415.
- HAMES, W., UNGER, D., SAUNDERS, J. AND KAMENEV, G. 2009.** Early Yellowstone hotspot magmatism and gold metallogeny. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 188, pp. 214-224.
- HODKIEWICZ, P.-F., GROVES, D.-I., DAVIDSON, G.-J., WEINBERG, R.-F. AND HAGEMANN, S.-G. 2009.** Influence of structural setting on sulphur isotopes in Archean orogenic gold deposits, Eastern Goldfields Province, Yilgarn Craton, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 44, pp. 129-150.
- JIANG, S.-H., NIE, F.-J., HU, P., LAI, X.-R. AND LIU, Y.-F. 2009.** Mayum: an orogenic gold deposit in Tibet, China. *Ore Geol. Reviews*, 36, pp. 160-173.
- KEKELIA, S.-A., KEKELIA, M.-A., KULOSHVILI, S.-I., SADRADZE, N.-G., GAGNIDZE, N.-E., YAROSHEVICH, V.-Z., ASATIANI, G.-G., DOEBRICH, J.-L., GOLDFARB, R.-J. AND MARSH, E.-E. 2008.** Gold deposits and occurrences of the Greater Caucasus, Georgia Republic: their genesis and prospecting criteria. *Ore Geology Reviews*, 34, pp. 369-386.
- KERR, A. AND SELBY, D. 2012.** The timing of epigenetic gold mineralization on the Baie Verte Peninsula, Newfoundland, Canada: new evidence from Re–Os pyrite geochronology. *Mineralium Deposita*, 47, pp. 325-337
- KESLER, S.-E., RICIPUTI, L.-C. AND YE, Z.-J. 2005.** Evidence for a magmatic origin for Carlin-type gold deposits: isotopic composition of sulfur in the Betze-Post-Screamer Deposit, Nevada, USA. *Mineralium Deposita*, 40, pp. 127-136.
- LI, X., MAO, J., WANG, C. AND WATANABE, Y. 2007.** The Dahube gold field at the eastern margin of the Tibetan Plateau: He, Ar, S, O, and H isotopic data and their metallogenic implications. *Ore Geology Reviews*, 30, pp.244–256.
- MARIGNAC, CH., SEMIANI, A., FOURCADE, S., BOIRON, M.-C., JORON, J.-L., KIENAST, J.-R. AND PEUCAT, J.-J. 1996.** Metallogenesis of the late Pan-African gold-bearing East Ouzzal shear-zone (Hoggar, Algeria). *Journal of Metamorphic Geology*, 14, pp. 783-801.
- MORITZ, R.-P., CROCKET, J.-H. AND DICKIN, A.-P. 1990.** Source of lead in the gold-bearing quartz-fuchs site vein at the Dome Mine, Timmins area, Ontario, Canada. *Mineralium Deposita*, 25, pp. 272-280.
- NIE, F.-J., JIANG, S.-H., SU, X.-X. AND WANG, X.-L. 2002.** Geological features and origin of gold deposits occurring in the Baotou–Bayan Obo district, South-Central Inner Mongolia, People's Republic of China. *Ore Geology Reviews*, 20, pp. 139-169.
- NIU, S., SUN, A., HU, H., WANG, B. AND XU, C. 2005.** The formation of a mantle-branch structure in western Shandong and its constraints on gold mineralization. *Mineral Deposit Research : Meeting the Global Challenge*, session 1, pp. 37-39.
- QIU, Y. AND MC NAUGHTON, N.-J. 1999.** Source of Pb in orogenic lode-gold mineralisation: Pb isotope constraints from deep crustal rocks from the southwestern Archean Yilgarn Craton, Australia. *Mineralium Deposita*, 34, pp. 366-381.
- ROUTHIER, P. 1980.** Où sont les métaux pour l'avenir? *BRGM, Mémoire n°105*.
- SARAVANAN, C.-S. AND MISHRA, B. 2009.** Uniformity in sulphur isotope composition in the orogenic gold deposits from the Dharwar Craton, Southern India. *Mineralium Deposita*, 44, pp. 597-605.

- SEMIANI, A. 1995.** Metallogénie de la zone de cisaillement aurifère est-ouzzalienne: structure, pétrologie et géochimie des gisements d'or de Tirek-Amesmess (Hoggar occidental, Algérie). *Thèse de Doctorat, Université de Rennes I*, 285 p.
- SHEN, P., SHEN, Y., LIU, T., LI, G. AND ZENG, Q. 2005.** Rare-earth element and noble gas studies of Kuoerzhenkuola gold field, Xinjiang, China: a mantle connection for mineralization. *Mineral Deposit Research: Meeting. The Global Challenge*, session 12, pp. 1335-1338.
- VOS, I.-M.-A., BIERLEIN, F.-P., STANDING, J.-S. AND DAVIDSON, G. 2009.** The geology and mineralization at the Golden Pride gold deposit, Nzega Greenstone Belt, Tanzania. *Mineralium Deposita*, 44, pp. 751-764.
- ZHANG, D., SHE, H., FENG, C., LI, D. AND LI, J. 2009.** Geology, age and fluid inclusions of the Tanjianshan gold deposit, Western China: two orogenies and two gold mineralizing events. *Ore Geology Reviews*, 36, pp. 250-263.
- ZHANG, L.-C., SHEN, Y.-C. AND JI, J.-S. 2003.** Characteristics and genesis of Kanggur gold deposit in the eastern Tianshan mountains, NW China: evidence from geology, isotope distribution and chronology. *Ore Geology Reviews*, 23, pp. 71-90.
- ZHANG, X.-C., HOFSTRA, A.-H., HU, R.-Z., EMSBO, P., SU, W.-C. AND RIDLEY, W.-I. 2005.** Geochemistry and  $\delta^{34}\text{S}$  of ores and ore stage iron sulfides in Carlin-type gold deposits, Dian-Qian-Gui area, China: implications for ore genesis. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, session 9, pp. 1107-1110.