

## Minéralisation du district aurifère d'In Ateï (Hoggar central, Sud Algérien)

### *Mineralization of the In Ateï gold district (Central Hoggar, South Algeria)*

Rabah Boutrika

Laboratoire de Métallogénie, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB), BP 32, Bab-Ezzouar 16111, Alger, Algérie. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6960-5855>, Email: [boutrika.rabah@yahoo.fr](mailto:boutrika.rabah@yahoo.fr)

#### RÉSUMÉ

Le district aurifère d'In Ateï est situé dans la partie orientale du terrane du Laouni "LATEA" (acronyme de Laouni, Azrou-n-Fad, Tefedeset, Egéré-Aleksod) (Hoggar central, sud algérien). En fait, durant la période post-collisionnelle de l'orogénèse panafricaine (600 et 570 Ma), ce microcontinent fut en partie déstabilisé jusqu'à correspondre à un méta-craton.

Le gisement d'or d'In Abeggui fait partie du district d'In Ateï et est situé à 210 km, au sud-est de la ville de Tamanrasset. Il est situé dans un important massif de gabbro-diorite de la série volcano-sédimentaire du Néo-protérozoïque.

Le gisement d'In Abeggui montre deux types morphologiques de filons aurifères et une paragenèse minérale différente du reste du Hoggar.

Dans le gisement d'In Abeggui un pluton granitique à biotite comprenant des corps de gabbro-diorite contemporains est intrusif dans la série volcano-sédimentaire du Néo-protérozoïque. Les veines minéralisées sont principalement encaissées dans l'un de ces corps mafiques. De nombreux dykes de roches mafiques et felsiques recoupent à la fois le granite à biotite et le massif de gabbro-diorite. Les dykes felsiques comprennent des granites, des microgranites, des aplo-pegmatites roses et des aplites.

L'objectif principale de ce travail est d'étudier les types de minéralisations aurifères exprimées dans le terrane de Laouni (Hoggar central) en nous basant plus particulièrement sur celles de la région d'In Ateï.

On distingue deux générations de quartz aurifères du gisement d'In Abeggui: Veines 1: Filons de quartz à tourmaline à dominante N30° encaissés dans le massif de gabbro, et Veines 2: Stockwerk et veinules de quartz, encaissées dans des dykes d'aplitites recouvrant le système filonien1

**Mots-clés:** In Abeggui; Minéralisation aurifère; Filons de quartz à tourmaline; Deux générations d'or; Massif de gabbro; Dyke d'aplite.

---

Recibido el 22 de abril de 2023; Aceptado el 28 de julio de 2023; Publicado online el 26 de octubre de 2023

**Citation / Cómo citar este artículo:** Boutrika, R. (2023). Minéralisation du district aurifère d'In Ateï (Hoggar central, Sud Algérien). *Estudios Geológicos*, 79(2), e158. <https://doi.org/10.3989/egeol.45038.1054>

**Copyright:** ©2023 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

## ABSTRACT

The In Ateï gold district is located in the eastern part of the Laouni “LATEA” terrane (acronym of Laouni, Azrou-n-Fad, Tefedeset, Egéré-Aleksod) (central Hoggar, southern Algeria). In fact, during the post-collision period of the Pan-African orogeny (600 and 570 Ma), this microcontinent was partly destabilized until it corresponded to a meta-craton.

The In Abeggui gold deposit is part of the In Ateï district and is located 210 km southeast of the town of Tamanrasset. It is located in a large gabbro-diorite massif of the Neoproterozoic volcano-sedimentary series.

The In Abeggui deposit shows two morphological types of gold veins and a mineral paragenesis different from the rest of the Hoggar.

In the In Abeggui deposit, a biotite granite pluton comprising contemporary gabbro-diorite bodies is intrusive in the Neoproterozoic volcano-sedimentary series. The mineralized veins are mainly hosted in one of these mafic bodies. Numerous dykes of mafic and felsic rocks cut both the biotite granite and the gabbro-diorite massif. Felsic dikes include granites, microgranites, pink aplo-pegmatites and aplites.

The main objective of this work is to study the types of gold mineralization expressed in the Laouni terrane (central Hoggar) based more particularly on those of the In Ateï region.

Two generations of gold-bearing quartz from the In Abeggui deposit can be distinguished: Veins 1: Tourmaline quartz veins predominantly N30° embedded in the gabbro massif, and Veins 2: Stockwork and quartz veinlets, hosted in aplite dykes covering the vein system1

**Keywords:** In Abeggui; Gold mineralization; Tourmaline quartz veins; Two golden generations; Gabbro massif; Aplite dyke.

## Introduction

Le Hoggar est le noyau du Bouclier touareg, une ceinture panafricaine qui s’est formée entre 750 et 550 Ma par collision continentale entre le craton convergent d’Afrique de l’Ouest, le craton du Congo et le métacraton saharien (Caby, 1996; Liégeois et al., 2003, 2013) (Fig. 1).

Le Bouclier touareg est un collage de 23 terranes (Black et al., 1994; Liegeois et al., 2003), comprenant des cratons et des micro-cratons remaniés à croûte archéenne à paléo-protérozoïque (terranes d’In Ouzzal, LATEA et terranes d’Assode-Issalane) ain-

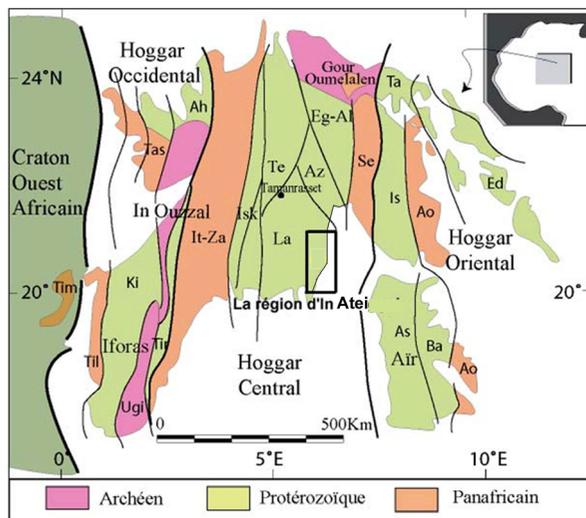
si que des Terranes Néo-protérozoïques, océaniques (par exemple, terrane de Serrouenout) ou des arcs insulaires (par exemple, terranes d’Iskel et d’Aouze-gueur). À la fin de la collision panafricaine (environ 600 Ma), certaines limites de terrane ont évolué en méga zones de cisaillement N-S, avec un déplacement latéral jusqu’à 1000 km (Henry et al., 2007).

Les minéralisations aurifères du Hoggar sont diverses et variées; seul le type dit « shear zone » a été étudié par Ferkous et al (1995; 2002); Marignac et al 1996; Aïssa et al., 2002; 2005; 2006; Aïssa et al., 2017). Dans ce type classique contrôlé directement par les grands accidents lithosphériques subméridiens (2°30’ et 8°30’) du Hoggar, les paragenèses minérales sont simples et monotones. Les autres types de minéralisations aurifères restent encore peu connus.

Le gisement d’or d’In Abeggui fait partie du district d’In Ateï est situé à 210 km en ligne droite au sud-est de la ville de Tamanrasset (Fig. 1), qui est situé dans la partie orientale du terrane du Laouni “LATEA”.

Ce gisement est encaissé dans un grand massif de gabbro-diorite et montre deux types morphologiques de veines aurifères et une paragenèse minérale différente (Boutrika, 2006; 2019; Boutrika et al. 2019).

Les roches encaissantes sont affectées par des failles orientées E-O et subméridiennes, ayant joué successivement à plusieurs reprises. Une fracturation secondaire intense d’orientation NE-SO constitue le piège favorable pour le dépôt des minéralisations à quartz, tourmaline, sulfures et or natif.



**Figure 1.**— Localisation du district aurifère d’In Ateï (Terrane Laouni, Hoggar central) (Liégeois et al., 2003).

La morphologie des filons de quartz à tourmaline et sulfures est complexe; ceux-ci constituent essentiellement des filons lenticulaires en relais et se caractérisent par des rétrécissements réguliers tous les 80-100 m (Boutrika, et al 2018).

Dans les zones d'intersection avec les directions méridiennes, la direction des filons de quartz aurifère subit une réorientation, en formant des renflements de 3 à 5 m, tandis que leur puissance moyenne varie entre quelques dizaines de centimètres à 1 m.

Dans les zones tectoniques méridiennes, certaines parties atteignent une puissance de 30-40 m, les filons sont répartis en relais. Dans certains cas, ils s'unissent en formant un seul corps minéralisé.

Les minéralisations aurifères s'expriment dans des filons de quartz à tourmaline, et dans les zones d'altérations hydrothermales (secteur central) de première génération. Elles se manifestent le long des fractures de cisaillement orientées préférentiellement NNE-SSO. Elles sont surtout concentrées sur la bordure nord du massif de gabbro, là, où la fracturation et les altérations hydrothermales se répartissent sur une superficie de 2.5 km<sup>2</sup> (Alexandrov, 1972; Boutrika, 2019).

Un autre type de minéralisation aurifère lié aux microgranites-aplites est rencontré dans la partie sud du secteur central (secteur intermédiaire) représentés par des zones de stockwerk et veinules de quartz de deuxième génération répartis en relais de direction NE-SO et de longueur variant de 0.1 à 0.6 m, les résultats d'analyse de quelques échantillons des saignées de surface ont donné des teneurs variant de 0.4 à 23.5 g/t avec une teneur moyenne de 8.9 g/t sur 11 m de puissance.

Ce présent travail a pour objectif d'étude les types de minéralisations aurifères exprimées dans le terrane de Laouni (Hoggar central) en nous se basant plus particulièrement sur celles de la région d'In Ateï. Le choix de cette région est guidé par le fait que les minéralisations ne sont pas liées aux grands accidents lithosphériques subméridiens, et par l'existence d'une grande variété de corps minéralisés et des roches encaissantes.

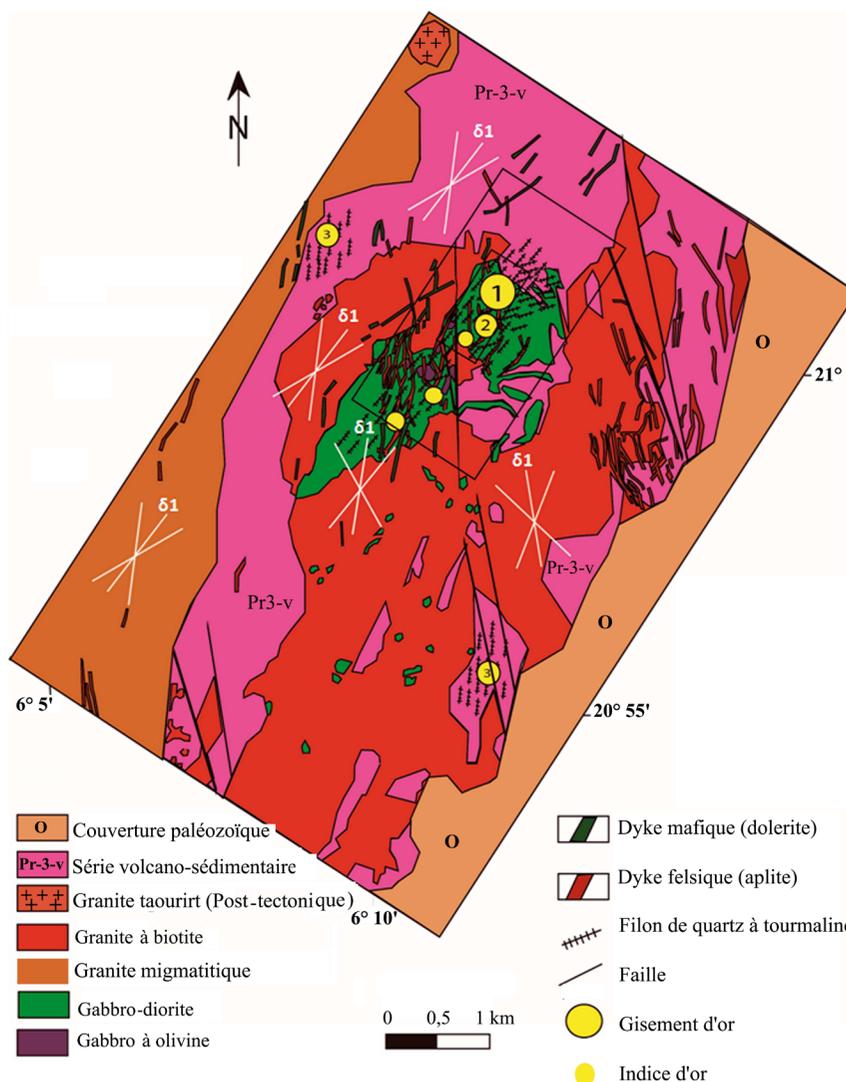
## Matériels et méthodes

Les matériels et méthodes utilisés pour atteindre cet objectif reposent sur:

- Etudes géologiques et structurales sur le terrain suite aux travaux de terrain réalisés par le groupe de géologues de l'Office National des Mines et de la Géologie d'Algérie (O.R.G.M) (Alexandrov et al., 1972) et aux deux missions de terrain réalisées au cours des années 2008 et 2009.
- La composition chimique des minéraux a été déterminée à l'aide du dispositif de microsonde électronique (EPMA; JEOL Jxa-8530f) installé à l'Université de Kyushu au Japon. Les conditions analytiques sont réalisées avec une tension d'accélération de 15 kilovolts et avec un diamètre de sonde de 02 µm. Le temps de comptage pour les pics et les points médians étaient de 10 secondes et 5 secondes, respectivement, sauf F (90 s et 45 s) et Cl (30 s et 15 s). Les oxydes et les métaux naturels sont utilisés selon des normes naturelles et utilisés comme normes d'étalonnage. Les échantillons préparés sous forme de lames minces polies ont été recouverts d'une fine couche de carbone (environ 50 nm) et déposés par évaporation avec un évaporateur à charbon Edwards (type auto 306).
- Étude des lames polies: Quatorze échantillons (un échantillon de gabbro S27-1, un échantillon de diorite K 2/16, deux échantillons de carbonate (calcite et dolomie), dix échantillons de quartz tourmaline (S27/7-1, S27/7-2, S27/7-3, S25/11-1, S25/11-2, S25/13, S25/5-4-1, S25/5-4-2, S25/5-5 et S25/5-6) ont été sélectionnés pour préparer des lames polies et envoyés au laboratoire de l'Université de Kyushu (Japon) pour déterminer et confirmer les différents types de roches et de minéraux.

## Cadre géologique

Le gisement d'In Abeggui est situé dans la partie central du district d'In Ateï (Terrane de laouni - Hoggar central). Il est essentiellement composée par des formations volcano-sédimentaires intensément métamorphisées d'âge Néo-protérozoïque (schistes, volcanites, gneiss, granito-gneiss) qui sont recouvertes par de nombreux massifs intrusifs (gabbros, gabbro-diorites, diorites, granites), ainsi que les granitoïdes et les dépôts actuels (Fig. 2).



**Figure 2.**— Carte géologique de la zone d'In-Abeggui (Boutrika, 2006; 2019; Boutrika et al. 2019)

Les structures géologiques du gisement d'In-Abeggui sont constituées par des roches du paléo-protérozoïque et du néo-protérozoïque ainsi que par des formations de Tassili (Cambro-ordovicien) et du Quaternaire. Les formations les plus anciennes sont les granites du paléo-protérozoïque (Alexandrov et al, 1972; Boutrika, 2019) (Fig. 2).

Le gisement d'In Abeggui est formé de filons de quartz à tourmaline encaissés dans un grand massif de gabbro-diorite qui recoupe un batholite de granite. L'ensemble recoupe les formations volcano-sédimentaires du Néo-protérozoïque. Le massif de gabbro-diorites est lui-même recoupé par des dykes de microgranite-aplites (Boutrika, 2006, 2019).

Une importante faille N-S passe par le centre du gisement d'In Abeggui et recoupe en deux le massif de gabbros-diorite. Cette faille, décrochant, aurait rejoué à plusieurs reprises et représente vraisemblablement la structure tectonique principale qui contrôle la mise en place des minéralisations du gisement d'In Abeggui (Alexandrov et al, 1972). Ce dernier est représenté par un système de filons de quartz à tourmaline d'orientation NNE-SSO et NE-SO et des zones d'altérations hydrothermales bien développées (Boutrika, 2006, 2019).

De nombreux dykes de roches mafiques et felsiques recouperont le pluton de granite à biotite du massif de gabbro-diorite, ainsi que la zone de cisail-

lement N10°. Les dykes felsiques sont constitués de granites et de microgranites à grain fin, des pegmatites roses et d'aplitites.

Les directions des veines sont cohérentes avec le modèle de contrainte régional, les directions N10° et N50° étant interprétées comme des cisaillements conjugués et les directions N30° étant interprétées comme des fentes de tension (Boutrika, 2006; 2019; Boutrika et al. 2019).

## Gitologie

Le gisement d'In Abeggui est représenté par un système des filons de quartz à tourmaline et de zones d'altérations hydrothermales étendu sur une superficie de 2.5 Km<sup>2</sup> environ, et recoupant les formations du Néo-protérozoïque, encaissés dans un massif gabbroïque, lui-même cerné par une formation volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur. Ce massif de gabbro présente une certaine zonalité: la partie centrale est un gabbro à olivine, tandis que la périphérie est un gabbro-diorite. De nombreux dykes de composition diverse (aplitites, microgranites, diabases) recoupent sous différentes directions ce massif.

Les roches les plus anciennes qui forment les structures géologiques dans la partie NE du gisement, sont celles de la série volcano-sédimentaire d'âge Néo-protérozoïque. Ce sont des séricito-schistes porphyriques métamorphisés dans le faciès des schistes verts.

La position du gisement sur le plan structural est influencée essentiellement par les grands accidents subméridiens qui ont joué un rôle important dans la mise en place des filons d'aplitites.

Les mouvements tectoniques ont favorisés la formation de plusieurs blocs et failles diagonales (40-45° par rapport aux failles principales). Celles-ci représentent les éléments structuraux essentiels qui renferment les minéralisations de ce gisement. Elles montrent aussi que le champ minier du gisement est caractérisé par une structure tectonique en blocs dont l'unité la plus élevée est celle du NO.

Les traits caractéristiques des accidents tectoniques consistent dans leur orientation essentiellement subméridienne et leur nature de failles décrochantes. Par exemple, la zone faillée qui passe par le centre de la

région d'In Abeggui recoupe en deux le massif de gabbro-diorites. Cette faille décrochante ayant joué à plusieurs reprises, représente vraisemblablement une structure qui contrôle la mise en place des minéralisations du champ minier d'In Abeggui.

Des fentes de tension en liaison avec les grands cisaillements décrochants sont également le siège de minéralisations.

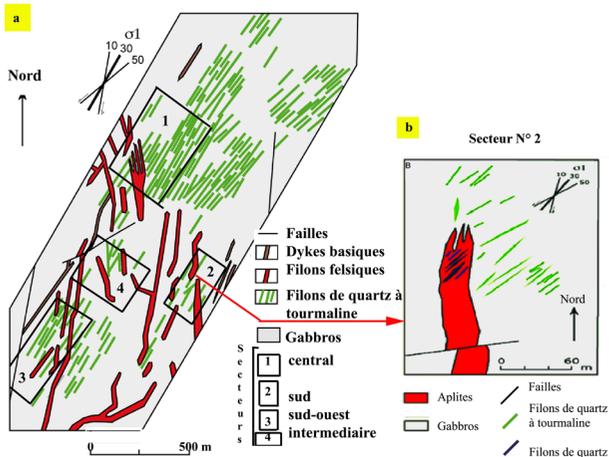
Ces filons de microgranites et d'aplitites localisés dans une zone subméridienne de 2 Km de longueur et 30 m de puissance, présentent une morphologie très complexe et très variable, avec de nombreuses courbures et ramifications. Les roches sont de couleur blanche ou rosâtre, à grain fin et sont très compactes. Elles présentent une composition minéralogique typiquement granitique avec une texture souvent aplitique. Cependant, on note la présence de la muscovite.

Le gisement d'In Abeggui est situé dans un contexte d'un grand bassin volcano-sédimentaire d'âge néo-protérozoïque, dans lequel s'installe un massif de gabbros-diorite. Ce dernier est ensuite recoupé par un batholite granitique. Tardivement, on note la mise en place d'un cortège d'aplitites, de microgranites et de pegmatites.

La minéralisation aurifère est surtout concentrée sur la bordure nord du massif de gabbros-diorites là, où la fracturation et les altérations hydrothermales sont particulièrement intenses marquées sur une superficie de 2,5 km<sup>2</sup>. Elle est représentée par des filons de quartz à tourmaline à dominante N30° (veines 1) de première génération (i) et sous forme d'un Stockwerk et veinules de quartz (veines 2), encaissées dans des dykes d'aplitites recouvrant le système filonien 1, ces veines de quartz remplissent des fentes de tension (N30° E) de deuxième génération (ii).

Les aplites se transformant en un assemblage quartz-tourmaline-muscovite-pyrite (greisen). La topaze, la cassitérite, la molybdénite et la wolframite sont souvent présentes dans le greisen ainsi que dans les filons de quartz.

La partie sud de ce massif est très peu minéralisée (Fig. 3). Les grands filons, et lentilles de quartz minéralisé (une centaine) qui constituent le gisement, sont répartis en relais selon une direction moyenne NE-SO. Parfois, ils apparaissent selon une direction méridienne.



**Figure 3.**— a: Carte géologique schématisée des secteurs d'études d'In-Abeggui b: Détail qui montre que les veinules de quartz aurifère encaissées dans les dykes (ou filons felsiques) recoupent les filons de quartz aurifère (Boutrika, 2019).

Les filons présentent des pendages assez accusés ( $70-85^\circ$  NO). Les longueurs des filons encaissés dans les gabbros-diorites varient de quelques mètres à une centaine de mètres et leurs puissances varient de quelques centimètres (10 cm) à quelques mètres (6m). Les épontes sont nettes. La caisse filonienne montre un remplissage massif à quartz et tourmaline où à quartz-tourmaline et sulfures.

Le minéral le plus important est l'or natif qui est accumulé dans des agrégats de pyrite, de quartz et de tourmaline remplissant de petites fissures. D'autres minéraux importants représentés dans ces minerais, sont ceux de bismuth et de bore (tourmaline). C'est à teneur moyenne de 6.2 g/t Au les réserves du gisement sont estimés à 10-12 tonnes.

L'observation de terrain montre une tendance à un regroupement de filons en secteurs. C'est ainsi que plusieurs secteurs ont été définis (Alexandrov et al., 1972; Kalabachkine et al., 1993; Kalabachkine et al., 1994) à savoir le secteur central, le secteur sud, le secteur sud-ouest et le secteur intermédiaire. Les secteurs les plus intéressants qui montrent de bons affleurements sont le secteur central et le secteur intermédiaire (Fig. 3).

### Le secteur central

Ce secteur (600x370 m) occupe essentiellement la partie NE du massif de gabbros. Il comprend la plupart des zones étudiées en détail par l'O.R.G.M

est représenté par un système de filons de quartz à tourmaline recoupant les formations d'âge Néo-protérozoïque (Alexandrov et al., 1972; Boutrika, 2006; 2019; Boutrika et al. 2019) (Fig. 4).

Les filons du quartz à tourmaline, en nombre de quelques centaines, qui constituent le corps du minerai (Fig. 3), sont répartis en relais dont la direction essentielle NE-SO ou parfois subméridienne. Leur pendage est vers le NO ( $70^\circ-90^\circ$ ), la longueur varie de quelques mètres à une centaine, la puissance de 1-3 cm à 5-6 m. Souvent les filons resserrés se groupent par zones longues de 500-600 m et larges de quelques dizaines de mètres.

La morphologie et la répartition des corps du minerai d'une part sont très complexes. Généralement ils sont influencés par les structures tectoniques, zones faillées subméridiennes et fissures diagonales en particulier. D'autre part, dans certains cas, il se manifeste également un contrôle lithologique dû vraisemblablement à l'existence des roches aux propriétés physico-chimiques différentes, à savoir le recoupement des filons par les dykes d'aplite (Boutrika, et al 2018).

### Secteur Intermédiaire

Ce secteur situé entre le secteur Central et le secteur Sud-ouest, est représenté par un filon d'aplite orienté N  $150^\circ$ , avec une longueur de  $\sim 300$  m et une puissance variant de 02 à 13 m. En surface, le filon d'aplite a été étudié par trois tranchées (N° 49, 51 et 2), la teneur moyenne de l'or est de 3 g/t sur une épaisseur de 13 m. Dans la partie central du filon d'aplite, la teneur atteint 8.9 g/t sur une épaisseur de 11 m (Fig. 5a).

En profondeur (70 m), le sondage S12 a confirmé la présence de la minéralisation (6.9 g/t sur 2 m) (Fig. 5b).

L'observation de terrain montre la présence d'un faciès plus clair qui contraste avec un complexe d'affleurement de couleur sombre (Fig. 6). Il s'agit d'un corps sous forme de filon orienté N  $150^\circ$ , avec un pendage sub-vertical à  $85^\circ$  O et d'épaisseur métrique.

L'étude macroscopique des échantillons prélevés au niveau du ce faciès (Fig. 7) montre qu'il correspond à une roche de couleur blanchâtre ou rosâtre, compacte et à grain fin, dépourvue de minéralisation,

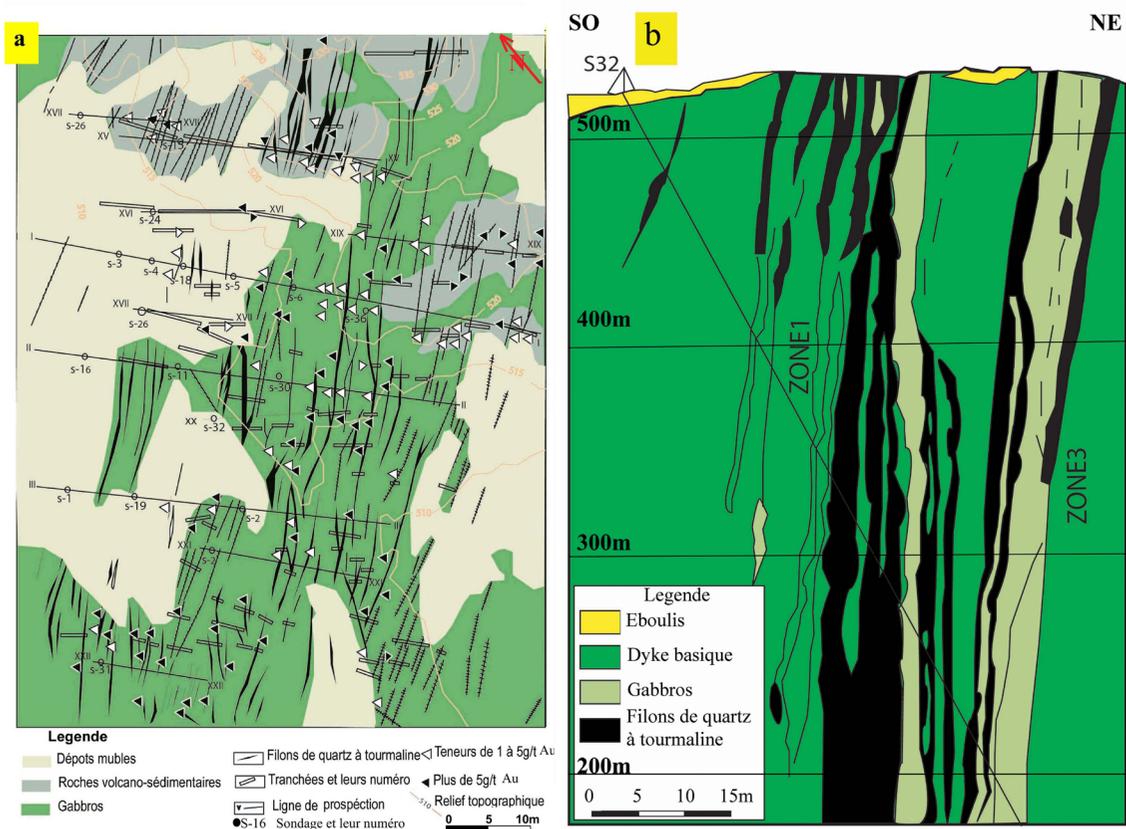


Figure 4.— a: Carte géologique du secteur central du gisement d'In-Abegui, b: Coupe géologique dans les zones N°1 et 3 (Secteur Central) (Alexandrov, et al 1972; Boutrika, 2019).

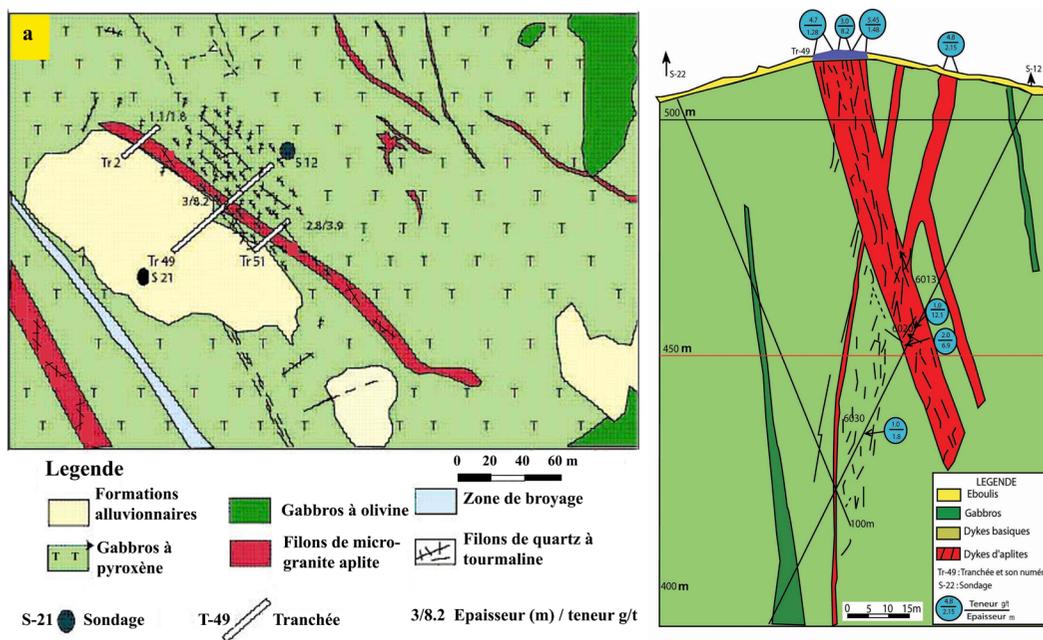


Figure 5.— a: Carte géologique du secteur Intermédiaire, b: Coupe géologique passant par le filon d'apélite (Secteur Intermédiaire) (Alexandrov, et al 1972; Boutrika, 2019)



Figure 6.—Flanc nord du filon (secteur Intermédiaire)



Figure 7.— Stokwerk de veinules de quartz à tourmaline dans le filon d'aplite (Boutrika, 2019).

elle est constituée essentiellement de quartz blanc vitreux et de feldspaths blanc laiteux. Le quartz se présente sous forme d'individus bien de cristaux de taille millimétrique, avec de formes particulières, généralement allongées, rappelant une texture microgrenue.

### Minéralisation

Le minerai est caractérisé par l'association minéralogique suivante:

- a) Minéraux de gangue: Quartz – tourmaline – barytine

Les minéraux de gangue sont essentiellement le quartz et la tourmaline. La tourmaline semble nettement dominer dans les

filons encaissés dans les formations volcano-sédimentaires du Néo-protérozoïque.

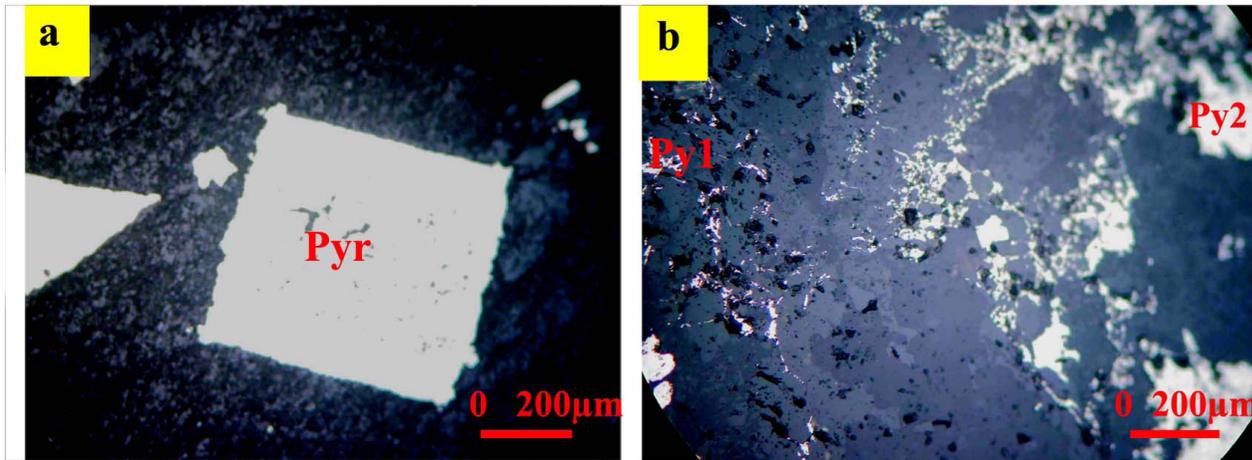
- Le quartz est représenté par des agrégats à grain fin à moyen, et de texture granulaire, se présentant souvent en puzzle.
  - La tourmaline forme de petits agrégats (3-5 mm) ou des cristaux idiomorphes individualisés, en lames minces. La tourmaline est d'habitude de couleur vert-brunâtre, incolore ou brunâtre. La tourmaline plus foncée se rencontre dans les filons de quartz aux contacts extérieurs des gabbros.
- b) Les minéraux métallifères sont représentés par des sulfures (pyrite – arsénopyrite – pyrrotite – chalcopryrite – galène – sphalérite), de l'or, du bismuth et du bismuth natif.

### Pyrite ( $FeS_2$ )

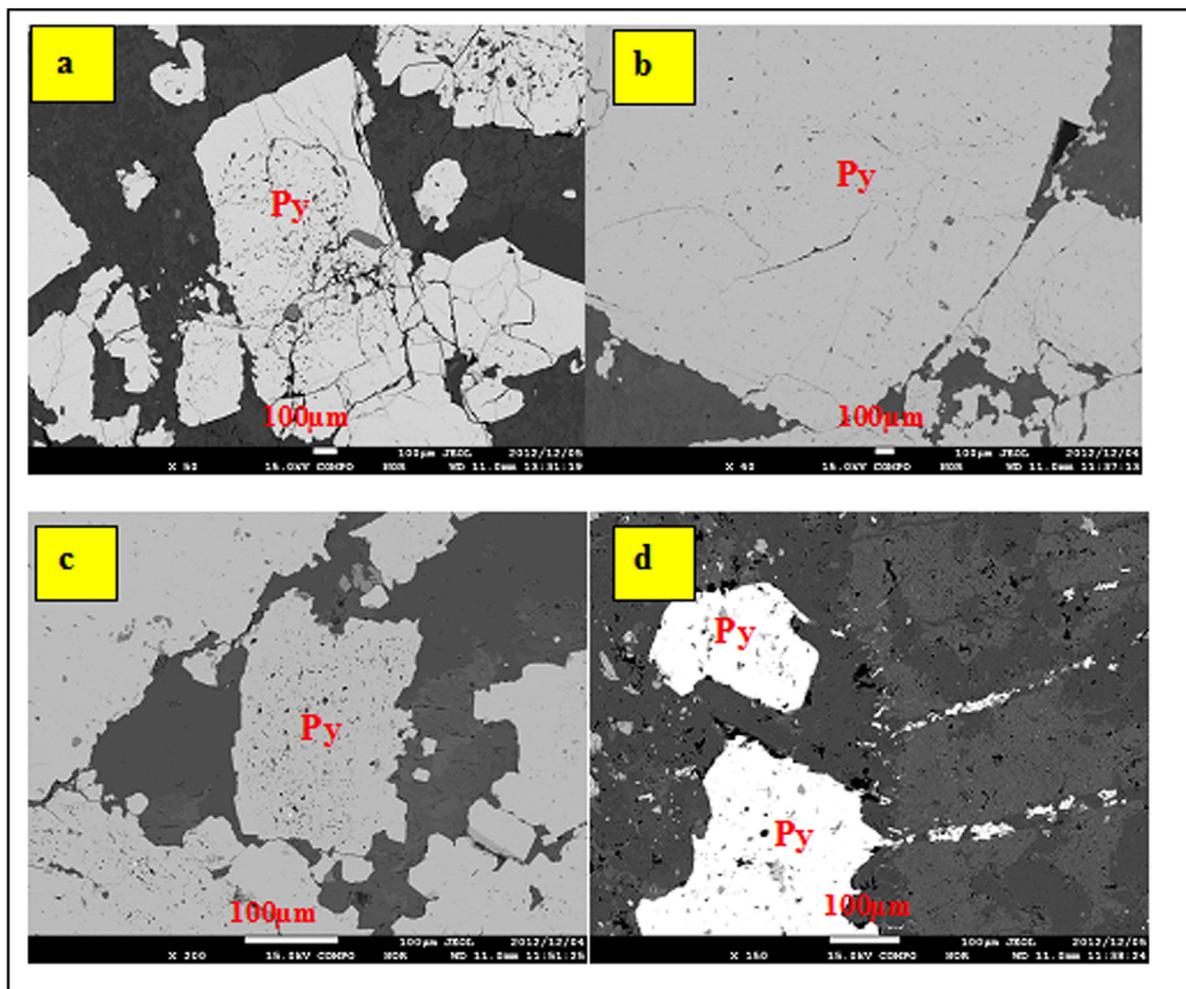
La pyrite représente un minéral essentiel des filons de quartz à tourmaline (5 à 30 %). On note la présence de deux types de pyrite. Pour le premier, les formes de pyrite les plus caractéristiques sont cubiques, de taille de 1-3 mm à 1-2 cm. La pyrite de deuxième type est xénomorphe. Ses grains ont des contours sinueux, irréguliers, et ils contiennent beaucoup d'inclusions de quartz et de tourmaline. Par endroit, on observe des veinules de pyrite d'épaisseur de 2 cm, qui recoupent les grains de la pyrite de première génération (Figures 8, 9 et 10) (Tableaux 1, 1 suite et 2).



Figure 8.— Les minéraux de pyrite (Py) disséminés dans les gabbros (Secteur Central)



**Figure 9.**— **Photo a.** Pyrite (Py) cristaux automorphes de grands cristaux LN GX5. Éch. 25/13. **Photo b.** Deux générations de pyrite (Py1 et Py2) plus jaune brunâtre tardives. LN GX5. Éch. 25/2 (Boutrika, 2019).



**Figure 10.**— **a-d:** Cristaux de Pyrite étudiés par la microsonde électronique (EPMA; JEOL Jxa-8530f) (Université de Kyushu - Fukuoka Japon) Echantillon S25/5 (Analyses 261-283), S25/8 (Analyses 146-211) et S25/11 (Analyses 156-170).

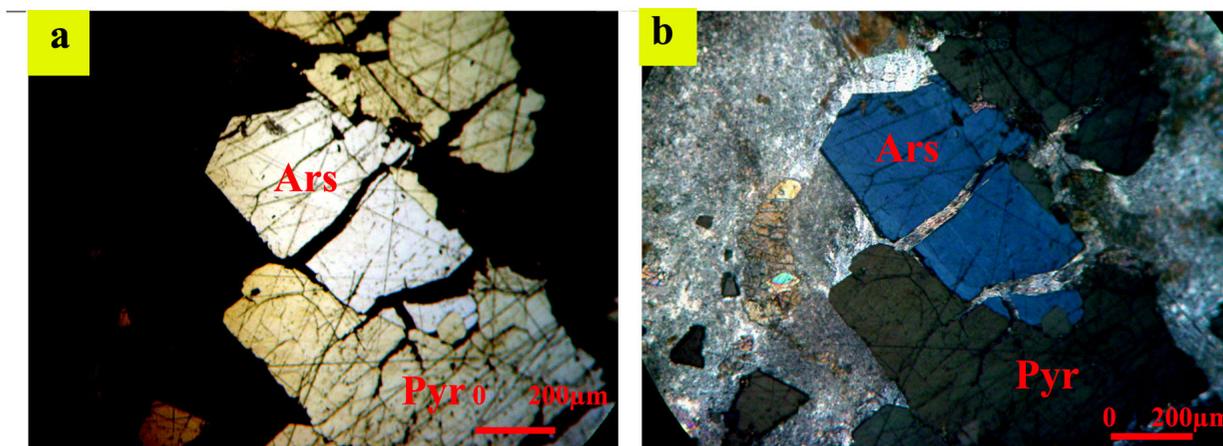




Tableau 1 (Suite).— Résultats des analyses microsondes de la pyrite (S25/8 Analyses 196-211).

Echantillons analyses No.	s25_8	s25_8	s25_8	s25_8															
Lester %	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211			
S	51,49	51,94	52,58	51,82	53,02	51,84	51,88	52,34	52,40	52,36	52,42	52,78	52,12	52,51	52,92	52,90			
Fe	48,12	48,36	48,11	47,79	48,32	48,50	48,54	48,62	48,72	48,37	48,52	48,27	47,79	48,62	48,14	48,79			
Co	0,11	0,08	0,07	0,04	0,09	0,06	0,12	0,11	0,05	0,05	0,14	0,06	0,10	0,10	0,04	0,03			
Ni	0,01	0,04	0,01	-	-	-	0,03	0,01	0,01	0,10	-	-	-	0,03	0,03	0,02			
Cu	0,06	-	0,05	-	0,06	0,05	-	0,08	0,05	0,05	0,03	0,01	-	-	-	0,07			
Zn	0,11	0,10	-	0,05	-	-	-	-	0,05	-	0,03	-	0,02	-	-	-			
As	0,30	0,17	0,28	0,21	0,24	0,27	0,08	0,31	0,13	0,28	0,33	0,24	0,25	0,27	0,29	0,16			
Ag	-	0,02	-	0,01	0,01	-	0,03	-	0,04	-	-	-	0,03	-	-	-			
Sb	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	0,01	-			
Sn	-	-	-	-	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
W	-	-	-	-	0,01	-	0,02	0,03	0,03	-	-	0,04	0,04	-	-	-			
Au	0,08	0,10	-	0,01	0,05	0,03	-	0,02	-	0,07	0,04	-	0,03	-	0,10	0,04			
Hg	0,63	0,60	0,72	0,61	0,73	0,76	0,67	0,79	0,75	0,71	0,63	0,52	0,55	0,62	0,63	0,80			
Pb	0,39	0,46	0,70	0,50	0,58	0,38	0,52	0,60	0,48	0,50	0,49	0,60	0,56	0,68	0,64	0,52			
Total	101,31	101,88	102,52	101,04	103,11	101,90	101,88	102,91	102,70	102,49	102,62	102,52	101,49	102,84	102,81	103,35			
Atome %																			
S	64,71	64,86	65,23	65,13	65,33	64,77	64,81	64,84	64,92	65,00	64,96	65,32	65,22	64,98	65,38	65,10			
Fe	34,72	34,67	34,26	34,47	34,18	34,78	34,81	34,58	34,65	34,47	34,51	34,29	34,33	34,54	34,14	34,47			
Co	0,08	0,06	0,04	0,03	0,06	0,04	0,08	0,08	0,04	0,03	0,10	0,04	0,07	0,07	0,03	0,02			
Ni	0,01	0,03	0,01	-	-	-	0,02	0,01	0,00	0,07	-	-	-	0,02	0,02	0,01			
Cu	0,04	-	0,03	-	0,04	0,03	-	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00	-	-	-	0,04			
Zn	0,07	0,06	-	0,03	-	-	-	-	0,03	-	0,02	-	0,01	-	-	-			
As	0,16	0,09	0,15	0,11	0,13	0,15	0,04	0,16	0,07	0,15	0,18	0,13	0,14	0,14	0,16	0,08			
Ag	-	0,01	-	0,00	0,00	-	0,01	-	0,01	-	-	-	0,01	-	-	-			
Sb	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	0,00	-			
Sn	-	0,00	-	-	0,01	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
W	-	-	-	-	0,00	-	0,00	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	-	-	0,01			
Au	0,02	0,02	-	0,00	0,01	0,01	-	0,00	-	0,01	0,01	-	0,01	-	0,02	0,01			
Hg	0,13	0,12	0,14	0,12	0,14	0,15	0,13	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10	0,11	0,12	0,12	0,16			
Pb	0,08	0,09	0,13	0,10	0,11	0,07	0,10	0,12	0,09	0,10	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,10			
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00			
minéral	Pyrite																		





**Figure 11.— a:** Observation d'inclusion d'arsénopyrite dans des grand cristaux de pyrite (LN) GX5; **b:** Observation d'inclusion d'arsénopyrite dans des grand cristaux de pyrite (LPA) GX5.

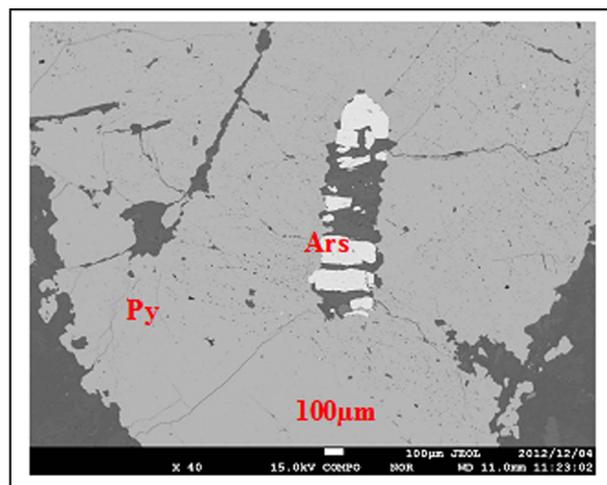
### Arsénopyrite ( $FeAsS$ )

La concentration de l'arsénopyrite dans les concentrés artificiels variée de 1 à 20 par rapport au volume de la fraction lourde, soit de 20 % de la quantité de pyrite.

Dans la zone d'oxydation formée dans les conditions de la région d'In Abeggui l'arsénopyrite n'est pas persistante et pour cela elle n'est pas décelée dans les concentrés artificiels. L'étude microscopique montre que l'arsénopyrite (Figs. 11 et 12), se présente sous forme d'inclusions automorphes de taille millimétrique à l'intérieur des grandes plages de pyrite (Tableaux 3 et 3 suites).

### Pyrrhotite: $[(Fe_{3+})_7 S_8-Fe_{2+}S]$

La pyrrhotite est assez répandue dans les minerais frais. Dans les concentrés artificiels, son pourcentage varie de 10 à 80% de la fraction magnétique dont le reste est constitué par de la magnétite, soit 20% par rapport à la concentration de pyrite. Les cristaux xénomorphes remplissent des fissures et des interstices de l'ordre du dixième de mm. Ce minéral lui aussi, n'est pas stable dans la zone d'oxydation. La pyrrhotite se rencontre dans des cristaux du quartz; elle est assez abondante, en petites plages xénomorphes associées à la pyrite, dont elle la recoupe. Comme on la trouve aussi isolée, sa taille n'atteint pas 60 µm.



**Figure 12.—** L'arsénopyrite à l'intérieur de la Pyrite déterminés par la microsonde électronique (EPMA; JEOL Jxa-8530f) (Université de Kyushu - Fukuoka Japon) Echantillon S S25/8 (Analyse 119-145)

### Chalcopyrite: ( $CuFeS_2$ )

La chalcopyrite est très peu abondante, se présente rarement en cristaux automorphes, sa taille avoisine les 6-12 µm; elle est dispersée dans le quartz.

### Bismuthinite ( $Bi_2S_3$ ) et bismuth natif (Bi)

L'étude à la microsonde électronique indique que la bismuthinite ( $Bi_2S_3$ ) et le bismuth natif (Bi) apparaissent comme des inclusions à l'intérieur de pyrite (Figs. 13 et 14) (Tableau 4).

Tableau 3.— Résultats des analyses microsondes de l'arsénoopyrite (S25/8 Analyses 119-133).

Echantillons analyses No.	s25_8_119	s25_8_120	s25_8_121	s25_8_122	s25_8_123	s25_8_124	s25_8_125	s25_8_126	s25_8_127	s25_8_128	s25_8_129	s25_8_130	s25_8_131	s25_8_132	s25_8_133
Lester %															
S	21,42	21,81	22,88	22,49	21,63	23,15	21,13	21,34	22,78	21,06	21,26	21,40	21,24	22,73	21,92
Fe	37,49	37,11	37,92	37,98	37,39	38,72	37,61	36,77	38,63	37,44	37,13	37,07	36,93	37,07	37,48
Co	0,02	0,09	0,05	-	0,07	0,13	0,04	0,04	0,02	0,05	0,05	0,02	0,04	0,02	0,11
Ni	-	0,03	0,04	-	0,01	-	0,04	0,04	-	-	-	-	0,03	0,06	0,00
Cu	0,06	0,02	-	-	0,04	-	-	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-
Zn	0,08	0,05	0,06	-	0,06	0,05	-	0,04	-	0,01	-	-	0,02	-	-
As	41,01	41,53	39,90	40,93	41,73	39,71	42,08	41,71	40,20	42,79	42,07	42,14	41,54	39,85	41,14
Ag	-	-	-	0,03	-	0,04	0,01	-	0,05	0,02	0,01	0,02	-	-	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-
W	-	0,11	-	-	-	0,02	-	-	0,06	-	0,07	0,06	-	-	0,03
Au	-	0,15	0,04	0,09	-	0,13	-	0,04	0,11	0,07	0,05	-	0,02	-	0,01
Hg	0,28	0,24	0,31	0,31	0,30	0,35	0,29	0,13	0,28	0,32	0,33	0,36	0,31	0,29	0,09
Pb	0,12	0,26	0,25	0,30	0,16	0,23	0,24	0,16	0,25	0,19	0,30	0,22	0,27	0,27	0,15
Total	100,47	101,39	101,45	102,13	101,38	102,53	101,43	100,29	102,45	101,94	101,26	101,29	100,39	100,28	100,92
Atome%															
S	35,33	35,70	36,97	36,32	35,39	36,99	34,72	35,31	36,55	34,52	35,01	35,18	35,19	37,15	35,84
Fe	35,49	34,86	35,17	35,21	35,12	35,51	35,48	34,93	35,59	35,24	35,09	34,98	35,13	34,77	35,19
Co	0,01	0,08	0,05	-	0,06	0,11	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,09
Ni	-	0,02	0,04	-	0,01	-	0,04	0,03	-	-	-	-	0,02	0,05	0,00
Cu	0,05	0,01	-	-	0,03	-	-	0,03	0,01	0,00	-	-	-	-	-
Zn	0,06	0,04	0,05	-	0,05	0,04	-	0,03	-	0,01	-	-	0,02	-	-
As	28,95	29,09	27,58	28,28	29,22	27,15	29,59	29,54	27,61	30,03	29,65	29,64	29,46	27,87	28,80
Ag	-	-	-	0,01	-	0,02	0,00	-	0,02	0,01	0,00	0,01	-	-	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-
W	-	0,03	-	-	-	0,01	-	-	0,02	-	0,02	0,02	-	-	0,01
Au	-	0,04	0,01	0,02	-	0,03	-	0,01	0,03	0,02	0,01	-	0,01	-	0,00
Hg	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,04	0,07	0,08	0,09	0,10	0,08	0,08	0,02
Pb	0,03	0,07	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07	0,07	0,04
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
minéral	Arsénoopyrite														

**Tableau 3 (Suite).— Résultats des analyses microsondes de l'arsénopyrite (S25/8 Analyses 134-145).**

Echantillons analyses No.	s25_8_134	s25_8_135	s25_8_136	s25_8_137	s25_8_138	s25_8_139	s25_8_140	s25_8_141	s25_8_142	s25_8_143	s25_8_144	s25_8_145
Lester %												
S	21,92	22,17	21,90	21,62	21,35	21,26	22,33	21,22	21,12	21,73	22,05	20,74
Fe	37,67	38,02	38,18	38,04	38,01	37,39	37,92	37,80	37,74	38,17	37,63	37,15
Co	0,07	0,06	0,01	0,06	0,07	0,09	0,11	0,09	0,02	0,02	0,03	0,07
Ni	-	0,01	0,02	0,03	0,02	-	0,03	-	-	-	0,07	0,01
Cu	0,03	-	0,01	-	0,03	-	-	0,11	-	-	-	0,06
Zn	0,05	-	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	0,03	-
As	41,12	40,78	41,08	41,16	42,30	42,32	40,24	42,07	42,32	40,72	40,69	42,31
Ag	-	0,01	-	-	0,01	-	0,03	0,05	0,01	-	0,02	0,07
Sb	-	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	0,05	-	-	0,00	-	-	-	-
W	-	0,03	0,09	-	0,04	-	0,05	0,03	0,05	0,00	-	0,01
Au	0,08	0,08	0,06	0,16	-	0,14	0,08	0,01	-	-	-	-
Hg	0,35	0,25	0,23	0,16	0,32	0,44	0,30	0,37	0,44	0,14	0,25	0,26
Pb	0,15	0,33	0,18	0,23	0,23	0,33	0,20	0,23	0,17	0,23	0,32	0,19
Total	101,43	101,75	101,75	101,46	102,43	101,98	101,29	102,00	101,88	101,02	101,09	100,87
Atome %												
S	35,75	35,99	35,60	35,32	34,74	34,84	36,31	34,70	34,62	35,53	36,02	34,38
Fe	35,27	35,43	35,64	35,68	35,51	35,17	35,40	35,48	35,51	35,84	35,28	35,34
Co	0,06	0,05	0,01	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,01	0,01	0,03	0,07
Ni	-	0,01	0,01	0,03	0,01	-	0,03	-	-	-	0,06	0,01
Cu	0,02	-	0,01	-	0,02	-	-	0,09	-	-	-	0,05
Zn	0,04	-	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	0,02	-
As	28,70	28,33	28,58	28,78	29,46	29,67	28,00	29,44	29,68	28,50	28,43	30,01
Ag	-	0,00	-	-	0,00	-	0,01	0,02	0,00	-	0,01	0,03
Sb	-	-	-	0,00	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	0,02	-	-	0,00	-	-	-	-
W	-	0,01	0,02	-	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,00	-	0,00
Au	0,02	0,02	0,02	0,04	-	0,04	0,02	0,00	-	-	-	-
Hg	0,09	0,07	0,06	0,04	0,08	0,12	0,08	0,10	0,11	0,04	0,06	0,07
Pb	0,04	0,08	0,05	0,06	0,06	0,08	0,05	0,06	0,04	0,06	0,08	0,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
minéral	Arsénopyrite											

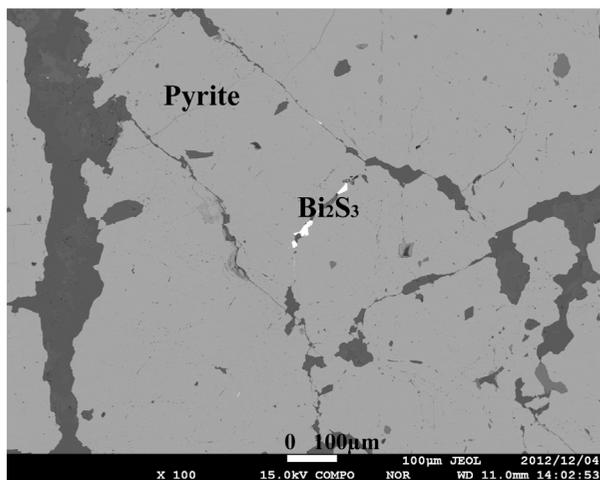


Figure 13.— Image par électrons rétrodiffusés montrant la bismuthinite et le bismuth natif (Bi), en inclusion dans la pyrite (Boutrika, 2019).

**Galène (PbS) et Sphalérite (ZnS)**

La galène et la sphalérite sont assez abondantes dans les cristaux de quartz (47,06 - 49,90 % Pb) pour la galène et (37,79 - 44,61 % Zn) pour la sphalérite, dans de petites zones xénomorphes associées à la pyrite et chalcoppyrite (Tableaux. 5 et 6).

**Or natif**

L'or natif représente le composant principal des minerais en question. Dans les concentrés de broyage des minerais frais, l'or est extrêmement rare (seulement par 1-2 grains dans 6 échantillons et ceci dans les échantillons qui ne sont pas les plus riches). Les études des lames polies montrent que la majorité ab-

Tableau. 4.— Résultats des analyses microsondes de Bismuth métal (S25/8 Analyses 257-259)

Echantillons	s25_8	s25_8	s25_8
analyses No.	257	258	259
Lester %			
S	0,02	0,23	17,48
Fe	0,87	1,92	2,32
Co	-	-	0,07
Ni	-	-	0,13
Cu	-	0,06	0,03
Zn	-	-	-
As	-	0,05	-
Ag	0,00	-	0,04
Sb	-	-	-
Sn	-	0,00	-
W	-	-	-
Au	0,01	-	-
Hg	-	-	-
Pb	-	-	0,40
Total	0,90	2,27	20,47
Atome %			
S	4,46	16,57	91,94
Fe	95,26	79,53	7,02
Co	-	-	0,21
Ni	-	-	0,36
Cu	-	2,26	0,08
Zn	-	-	-
As	-	1,57	-
Ag	0,12	-	0,06
Sb	-	-	-
Sn	-	0,08	-
W	-	-	-
Au	0,17	-	-
Hg	-	-	-
Pb	-	-	0,32
Total	100,00	100,00	100,00
Minéral	Bismuth métal		BiS2

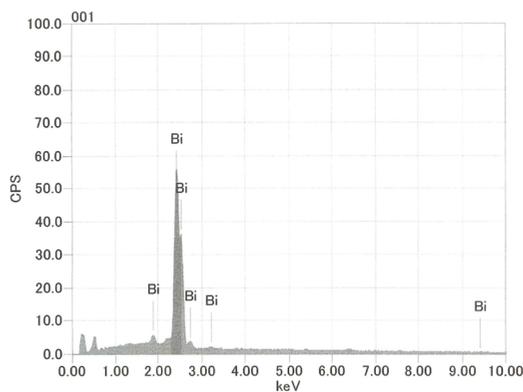
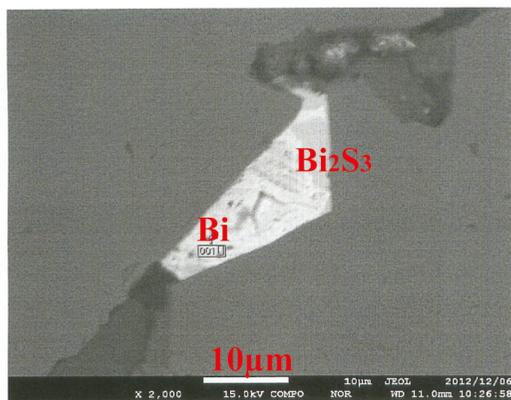


Figure 14.— Le bismuth natif (Bi) et le bismuthinite (Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) en inclusions dans la pyrite. (Image par électrons rétrodiffusés (Boutrika, 2019).

**Tableau 5.**— Résultats des analyses microsondes de la galène (S25/9 Analyses 41-54).

Echantillons analyses No.	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9	25-9
analyses No.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Lester %														
S	13,34	13,36	13,06	13,60	13,64	13,42	13,25	13,30	13,61	13,36	13,58	13,07	13,27	13,32
Fe	0,12	-	0,04	0,08	0,16	0,05	-	-	0,05	0,07	-	-	-	0,12
Co	-	-	0,05	0,11	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,12
Ni	-	0,09	-	-	0,05	-	0,01	-	0,07	-	-	-	0,01	0,02
Cu	0,08	-	-	0,11	0,01	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,18
Zn	1,13	0,19	0,08	2,02	1,30	1,71	1,05	0,12	0,06	0,32	1,20	0,25	0,16	0,89
As	0,06	-	0,01	-	0,04	-	-	0,03	-	0,06	-	-	0,00	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,00
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	-	0,09	0,01	0,06	-	0,05	0,02	0,02	0,01	0,03	-	-	-	-
Au	-	-	-	-	-	0,05	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Hg	0,15	-	0,23	0,17	-	0,03	0,08	-	-	-	-	-	-	0,04
Pb	85,89	85,66	84,69	84,94	84,27	84,61	85,42	84,77	85,20	84,75	84,64	84,94	84,78	85,04
Total	100,77	99,39	98,17	101,09	99,48	99,95	99,83	98,24	99,00	98,59	99,50	98,26	98,22	99,73
Atome %														
S	48,79	49,91	49,67	48,69	49,67	48,94	49,07	50,19	50,61	50,03	49,72	49,63	50,14	49,06
Fe	0,24	-	0,10	0,17	0,34	0,11	-	-	0,10	0,16	-	-	-	0,25
Co	-	-	0,10	0,21	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,23
Ni	-	0,17	-	-	0,11	-	0,02	-	0,15	-	-	-	0,01	0,05
Cu	0,15	-	-	0,19	0,01	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,32
Zn	2,03	0,35	0,15	3,55	2,33	3,06	1,91	0,22	0,10	0,59	2,15	0,47	0,29	1,61
As	0,09	-	0,01	-	0,07	-	-	0,05	-	0,10	-	-	0,00	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,00
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	-	0,06	0,01	0,04	-	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	-	-	-	-
Au	-	-	-	-	-	0,03	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Hg	0,09	-	0,14	0,10	-	0,01	0,05	-	-	-	-	-	-	0,03
Pb	48,61	49,50	49,83	47,06	47,48	47,75	48,94	49,52	49,03	49,12	47,97	49,90	49,56	48,46
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Minéral	Galène													

solue des micro-paillettes d'or présente des dimensions très petites (de 0,1 mm; rarement 0.5-1 mm). On note parfois des regroupements des micro-paillettes en nids. On note aussi une liaison assez intime entre l'or et le bismuth natif. En outre, l'or remplit les microfissures dans le quartz, tourmaline et surtout pyrite. En outre l'or entoure les surfaces des grains de sulfures.

Le comportement de l'or dans les minerais oxydés est particulier. L'or s'accumule en agrégats plus gros que ceux des minerais frais, ce qui permet facilement de le déceler dans les concentrés artificiels.

Dans ce cas les grains d'or ont des formes irrégulières capricieuses, ils sont souvent dendritiques, tuberculés, réniformes ou cristallines.

Dans les minerais s'observent un peu partout de faibles traces de minéraux accessoires: zircon, monazite, apatite et rutile, ce dernier est en partie substitué par le leucoxène.

L'étude macroscopique de quelques échantillons prélevés dans les sondages a été réalisée dans la zone n°1 (Fig. 15). Elle montre une roche de couleur sombre (noire) compacte. Il s'agit d'un gabbro recoupé par un filonnet de quartz à tourmaline avec des cristaux et veinules de pyrite qui remplit les fissures de quartz à tourmaline et une plage d'or natif visible à l'œil nu.

Les grains et flocons de l'or natif sont visibles à l'œil nu à la surface de quelques échantillons. L'étude microscopique montre que la majorité des





**Figure 15.**— Filonnet de quartz à tourmaline avec une plage d'or natif visible à l'œil nu et cristaux d'or natif disséminés (Boutrika, 2019).

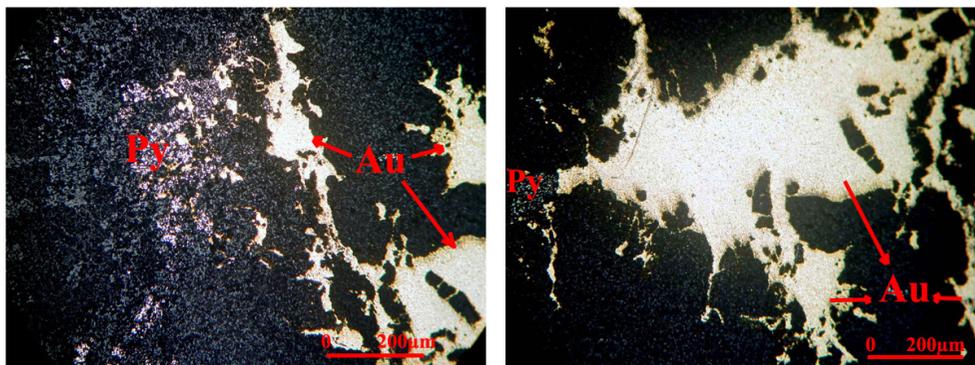
micro-paillettes d'or ont des dimensions visuelles de 0,1 mm, rarement 0,5-1 mm. L'or natif remplit les microfissures dans les filons de quartz à tourmaline et surtout la pyrite (Fig. 16).

#### *Topaze, wolframite, molybdénite*

Il s'agit de rares minéraux rencontrés dans des zones intensément greisenisées, au sein des veinules encaissées dans les dykes de microgranites-aplites, c'est le résultat de transformation des aplites en un assemblage quartz-tourmaline-muscovite-pyrite. La topaze, la cassitérite, la molybdénite et la wolframite sont souvent présentes dans le greisen ainsi que dans les filons de quartz.

#### *Oxydes, oxydes de fer et hydroxydes de fer*

Les minéraux métallifères sont accompagnés avec les oxydes (rutile, ilménite), oxydes de fer (hématite) et hydroxydes de fer (goéthite et limonite).



**Figure 16.**— L'or natif (plages et micro-veinules) à l'intérieur des filons de quartz dans un échantillon de gabbros (secteur central) LPA GX5 (Boutrika, 2019).

Les études microscopiques nous ont permis d'établir une succession paragenétique minérale résumée dans le tableau 7.

#### *Altération hydrothermale*

Les formations géologiques du gisement d'In Abeggui sont affectées par une altération hydrothermale caractérisée par la séricite-quartz à tourmaline et carbonates.

L'altération qui se développe le plus souvent aux dépens des minéraux silicatés est caractérisée par l'association: séricite – chlorite.

La calcite apparaît dans de nombreux indices minéralisés encaissés dans des métagrès, leptynites, pelites, diorites et méta-volcanites, soit sous forme de remplissage de veinules, soit sous forme de cristaux interstitiels. L'altération in situ de certains minéraux (plagioclases, amphiboles, pyroxènes) donne de la calcite associée généralement à de l'épidote, de la chlorite, du quartz et des minéraux opaques.

L'altération phyllique la plus fréquente sur le terrain, est caractérisée par: Tourmaline + séricite + quartz + pyrite ( $\pm$  chalcoppyrite). Cette altération est fréquente dans les dépôts sulfurés.

Les plagioclases sont les minéraux qui se transforment le plus souvent en séricite.

#### **Conclusion**

Dans le gisement d'In-Abeggui les minéralisations aurifères se sont déposées pendant la phase tardive de l'orogénèse panafricaine (Aïssa et al. 2005), dans les mêmes conditions que les gisements aurifères de la ceinture NE de Sérido (Brésil) et la ceinture

**Tableau 7.**— Paragenèse mineral du gisement d'In-Abeggui (Boutrika, 2019)

Minéralogie	Étapes	Stade de greisen	Stade d'Or	Stade Supergène
Quartz		██████	██████	
Tourmaline		██████	██████	
Muscovite		██████		
Topaze		████		
Wolframite		—		
Molybdénite		—		
Pyrite		██████		
Arsénopyrite		████		
Pyrrhotite		████		
Chalcopyrite		████		
Bismuthinite			—	
Bismuth native			—	
Galène			████	
Sphalérite			████	
Or native			████	
Oxydes et hydroxydes de fer				██████

panafricaine de la plaque arabe) (Arau'jo et al., 2002). En général les minéralisations aurifères exprimées dans le terrane de Laouni (Hoggar central) sont différentes des autres types du reste du Hoggar; elles ne sont pas liées aux grands accidents lithosphériques subméridien. Mais elles sont localisées sur les marges de terranes.

Les minéralisations aurifères d'In Abeggui s'expriment dans des filons de quartz à tourmaline et dans des zones d'altérations hydrothermales, qui se manifestent le long des fractures de cisaillement orientées préférentiellement NNE. Elles se situent surtout à la bordure nord du massif de gabbro, là, où la fracturation et les altérations hydrothermales sont particulièrement marquées sur une superficie de 2.5 Km<sup>2</sup>.

La longueur des zones minéralisées varie de quelques mètres à des centaines de mètres, leurs puissances varient entre 0,1 et 6 m. Souvent les filons se regroupent sur de petites superficies (500 à 600 m<sup>2</sup>).

Il existe deux générations de veines de quartz aurifères du gisement d'In Abeggui.

- Filons de quartz à tourmaline à dominante N30° encaissés dans le massif de gabbro = veines 1.

- Stokwerk et veinules de quartz = veines 2, encaissées dans des dykes felsiques recouvrant le système filonien 1; ces veines de quartz remplissent des fentes de tension (N30° E) et sont associées à une forte altération encaissante, les aplites se transformant en un assemblage quartz-tourmaline-muscovite-pyrite (greisen). La topaze ± la cassitérite ± la molybdénite ± le wolframite sont souvent présentes dans le greisen ainsi que dans les filons de quartz.

Ces veines se distinguent par des paragenèses minérales qui sont plus variées et complexes.

En effet, en plus des minéraux de bismuth (bismuth natif et bismuthinite), on rencontre une association minérale typique des greisen (topaze, cassitérite, molybdénite, wolframite); ainsi qu'une abondance particulière du rutile.

Les veines aurifères encaissées dans les dykes d'aplites du secteur Intermédiaire d'In Abeggui centré sur une intrusion réduite sont tardives des veines aurifères encaissés dans les filons de quartz à tourmaline du central d'In Abeggui. Le gisement d'In Abeggui apparaît ainsi comme le chaînon manquant qui permet d'associer au sein d'un même quartier deux types de gisements apparemment déconnectés:

(1) W-greissens, peu acide et moins – développé et (2) gisement d'or réduits (Marcoux, et al 2015).

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Professeur émérite Michel Jébrak du Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal (UQÀM), pour ses corrections, amélioration et enrichissement du manuscrit initial. Je remercie également le deuxième examinateur anonyme pour ses commentaires importants.

Je tiens à remercier l'ORGM (Office National des Mines et Géologie de l'Algérie) pour l'autorisation d'accès sur le gisement d'In Abeggui ainsi que l'utilisation des données géologiques.

Je remercie aussi à l'encontre des Professeurs Y. Osanai, K. Watanabe, et Docteur Yonezu (Université Kyusyu, Japon, Faculté de la Technologie), pour leur aide dans les analyses des échantillons.

## Références

- Aïssa, D. E., Talbi, M., Lazouni, A., & Kesraoui, M. (2002). Les minéralisations aurifères du Hoggar (Sud Algérien) et leurs relations avec les zones de cisaillements lithosphériques. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 13(2), 93-115.
- Aïssa, D. E., Kesraoui, M., Marignac, C. H., & Semiani, A. (2005). Des minéralisations en or «orogénique» et en métaux rares du Hoggar. 1er Séminaire Internationale de Géologie et de Métallogénie du Hoggar et des Eglab, Tamanrasset, 8-9.
- Aïssa, D. E., Marignac, C. H., Kesraoui, M., Nedjari, S., Boutrika, R. & Guessoum, N. (2006). Relations entre les minéralisations aurifères et à métaux rares éo-cambriennes du Hoggar. Fourth meeting of IG-CP485-USTHB, Alger, Algeria.
- Aïssa, D. E., Boutrika, R., Guessoum, N., & Marignac, C. H. (2012). Late Pan-African Gold Mineralization in the Laouni Terrane (Central Hoggar, Algeria): Is It linked to Late Felsic Magmatism [Conference presentation]. GEOFLUIDS VII - International Conference, Rueil-Malmaison, France.
- Aïssa, D.E., & Marignac, C. H. (2017). Controls on gold deposits in Hoggar, Tuareg Shield (Southern Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 127, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.002>
- Alexandrov, V. & Mirochniko, L. (1972). Rapport sur les résultats des recherches géologiques menées sur le gisement d'In-Abeggui et dans sa région [Unpublished report]. SONAREM.
- Alexandrov, V., & Bryzgalov, A. (1973). Rapport sur les travaux de prospection et de reconnaissance exécutés sur le gisement d'In Abeggui et dans sa région [Unpublished report]. SONAREM.
- Araújo, M. N. C., Alves da Silva, F. C., Jardim de Sá, E. F. & Holcombe, R. J. (2002). Geometry and structural control of gold vein mineralizations in the Seridó Belt, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 337-348. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00040-8)
- Black, R., Latouche, L., Liégeois, J. P., Caby, R. & Bertrand, J. M. L. (1994). Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*, 22, 641-644. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0641:PADTIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0641:PADTIT>2.3.CO;2)
- Boutrika, R. (2006). Contribution à l'étude des minéralisations aurifères liées aux aplites et microgranites de la région d'In-Abeggui et aux rhyolites d'Afra Héouhine (Hoggar Central) [Master Thesis]. Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumedièn, Alger.
- Boutrika, R., Kolli, O., Aïssa, D. E. & Adachi, T. (2018). Particularités morphologiques et mineralogiques du gisement aurifère d'In Abeggui (Hoggar Central, Sud Algérien). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 28(1-2), 17-42.
- Boutrika, R., Ducrot, D., & Aïssa, D. E. (2019). Contribution of remote sensing to mapping In-Abeggui gold deposit (Central Hoggar, South Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 23, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4201-3>
- Boutrika, R. (2019) Gîtologie des filons aurifères liés aux gabbros et des veinules liées aux microgranites-aplites de la région d'In-Abeggui, terrane de Laouni (Hoggar) [Doctoral Thesis]. Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumedièn, Alger.
- Caby, R. (1996). A review of the in Ouzal granulitic terrane (Tuareg shield, Algeria): its significance within the Pan-African Trans-Saharan belt. *Journal of Metamorphic Geology*, 14, 659e666. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1996.00048.x>
- Ferkous, K. (1995). Filons de quartz aurifères dans une zone de cisaillement lithosphérique panafricaine (Amesmess-Tirek, Hoggar ouest, Algérie) [Doctoral Thesis]. Université Montpellier II, France.
- Ferkous, K., Monie, P. (2002) Neoproterozoic shearing and auriferous hydrothermalism along the lithospheric N-S East In Ouzal shear zone (Western Hoggar, Algeria, North Africa). *Journal of African Earth Science*, 35(3), 399-415. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00146-X)
- Henry, B., Bayou, B., Derder, M. E. M., Djellit, H., Ouabadi, A., Khaldi, A. & Hemmi, A. (2007). Late Panafrican evolution of the main Hoggar fault zones: Implications of magnetic fabric

- study in the In Telloukh pluton (Tin Serririne basin, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 49, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.09.004>
- Kalabachkine, S. & Boutrika, R. (1993). Rapport sur la prospection détaillée sur le champ d'In Abeggui (Feuille In Abeggui) [Unpublished report]. Office National de la Recherches Géologiques et Minières.
- Kalabachkine, S., Saadi, A. A. & Moulay, L. (1994). Rapport sur la prospection détaillée sur le champ d'In Abeggui (Feuille In Abeggui) [Unpublished report]. Office National de la Recherches Géologiques et Minières.
- Liégeois, J. P., Latouche, L., Boughrara, M., Navez, J. & Guiraud, M. (2003). The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg Shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of Earth Sciences*, 37, 161-190. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2003.05.004>
- Liégeois, J. P., Abdelsalam, M. G., Ennih, N. & Ouabadi, A. (2013). Metacraton: nature, genesis and behavior. *Gondwana Research*, 23, 220e237. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.02.016>
- Marcoux, É., Nerci, Kh., Branquet, Y., Ramboz, C., Ruffet, G., Peucat, J. J., Stevenson, R. & Jébrak, M. (2015). Late-Hercynian intrusion-related gold deposits: An integrated model on the Tighza polymetallic district, central Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 107, 65-88. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.01.011>
- Marignac, C. H., Fourcade, S., Boiron, M. C., Joron, J. L., Kienast, J. R. & Peucat, J. J. (1996). Metallogensis of the late Pan-African gold East In Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria). *Metamorphic Geology*, 14, 783-801. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1996.00056.x>
- Marignac, C. H., Aïssa, D. E., Bouabsa, L., Kesraoui, M. & Nedjari, S. (2016). The Hoggar Gold and Rare Metals Metallogenic Province of the Pan-African Tuareg Shield (Central Sahara, South Algeria): An Early Cambrian Echo of the Late Ediacaran Murzukian Event? In M. Bouabdellah & J. F. Slack (Eds.), *Mineral Deposits of North Africa*, Mineral Resource Reviews series (pp. 371-404). Springer International Publishing Switzerland 2016. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31733-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31733-5_15)