

Contribution à l'étude géologique du gisement à Cu, Zn, Pb et Ag-Au d'Amensif (District minier d'Amizmiz, Haut Atlas occidental, Maroc)

[Contribution to geological study of Amensif Cu, Zn, Pb & Ag-Au deposit (Amizmiz mining district, Western High Atlas, Morocco)

Said ILMEN¹, Abdelkhalek ALANSARI¹, Amine BAJDDI², Aomar ENNACIRI², and Lhou MAACHA²

¹Department de Géologie,
Faculté des Sciences-Semlalia, Université Cadi Ayyad,
Boulevard Prince My Abdellah, B.P. 2390, 40000 Marrakech, Maroc

²Holding Minier de Managem,
Twin Center, Casablanca, Maroc

ABSTRACT: The geological, magnetic and mineralogical studies have uncovered a polymetallic mineralization deposit at Amensif in the Amizmiz mining district (western High Atlas, Morocco). The Cu, Pb, Zn, Ag and Au mineralizations are hosted in the Lower Cambrian volcano-carbonate formations. These formations are structurally controlled by Hercynian faults (NE-SW, ENE-WSW, E-W and NW-SE). These Hercynian faults were facilitated the circulation of hydrothermal fluid that responsible for the implementation of the economically mineralization. The hydrothermal alterations having affected the Lower Cambrian volcano-carbonate formations of Amensif are in mutual relations with the genesis of the Cu, Pb, Zn, Ag and Au polymetallic mineralizations. Mineralogical study of this deposit reveals the presence of a particular and characteristic mineral assemblages composed of chalcopyrite, sphalerite, galena, arsenopyrite, pyrite, grey copper, minor amount of silver, gold and bismuth. Microtextural relationship between the sulphides indicates sulphureted these mineralizations result from two distinct stages paragenetic: (I) an arseno-ferrous stage and (II) a polymetallic stage. The estimated reserves based on the analyses of samples collected from 25 drill cores established in the sector go back to 568 110 Tons of ore with 3.79% Zn, 0.69% Pb, 1.02% Cu, 98.30ppm Ag and 0.48 ppm Au. The geological setting, lithofacies, mineral assemblages, geochemical analyses and a mode of hydrothermal alteration remind those described in certain "High-temperature polymetallic Carbonate Replacement Deposits" type worldwide.

KEYWORDS: Polymetallic mineralization, veins, Carbonate Replacement deposit, textures, Cambrian, Amensif, western High Atlas, Morocco

RESUME: Les études géologiques, magnétiques et minéralogiques ont permis de découvrir un gisement à minéralisation polymétallique dans le district minier d'Amizmiz (Haut Atlas occidental). Il s'agit du gisement d'Amensif à Cu, Zn, Pb, Ag et Au encaissé dans les formations volcano-carbonatées d'âge Cambrien inférieur. Ces formations sont structurellement contrôlées par des failles hercyniennes (NE-SW, ENE-WSW, E-W et NW-SE) qui ont facilité la circulation des fluides hydrothermaux responsables de la mise en place de cette minéralisation à intérêt économique. Les altérations hydrothermales ayant affectées les formations volcano-carbonatées du Cambrien inférieur d'Amensif (Haut Atlas occidental) sont en relations mutuelles avec la genèse des minéralisations polymétalliques à Cu, Pb, Zn, Ag et Au. L'étude minéralogique de ce gisement révèle la présence d'une paragenèse particulière et caractéristique composée de chalcopyrite, sphalérite, galène, arsénopyrite, pyrite, cuivre gris, minéraux d'argent et or. Les relations microtexturales entre les phases sulfurées mettent indiquent que ces minéralisations résultent de deux stades paragénétiques distincts ; (i) un stade arséno-ferrique ; et (ii) un stade polymétallique. Les réserves estimées à ce stade en se basant sur les données de 25 sondages carottés implantés dans le secteur remontent à 568 110 Tonnes de minerai à 3.79 % Zn ; 0.69 % Pb ; 1.02 % Cu avec 98.30 ppm Ag et 0.48 ppm Au. Le

contexte géologique, les lithofaciès, la paragenèse minérale, les analyses géochimiques et le mode d'altération rappellent ceux décrits dans certains gisements de type « High-temperature polymetallic Carbonate Replacement Deposits » à travers le monde.

MOTS-CLEFS: Minéralisations polymétalliques, veines, Carbonate Replacement deposit, textures, Cambrien, Amensif, Haut Atlas Occidental, Maroc

1 INTRODUCTION

La région d'Amezmiz localisée à 60 km au sud-ouest de la ville de Marrakech est connue par son potentiel minier, attesté par de nombreux gisements métallifères qu'elle abrite dans son territoire (Azegour, Erdouz, Assif El Mal, Tiquit, Amensif, Talat n'Imjjad, etc.). Ces gisements découverts depuis les années vingt du 20^{ème} siècle ont permis de bien étudier la géologie de la région. La mine d'Azegour est une exception dans la région et même dans la géologie du Maroc. Cette mine polymétallique est restée comme référence en minéralogie, gîtologie et métallogénie des skarns. Elle extrayait, au départ, le molybdène et le tungstène avant de passer au cuivre.

Le district minier d'Amizmiz est localisé dans le massif ancien du Haut Atlas est caractérisée par son socle paléozoïque, qui a fait l'objet de nombreuses études académiques ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]). Récemment, la région connaîtra une importante concurrence entre les compagnies minières nationales et internationales en vue d'obtention des permis miniers pour une éventuelle exploitation des gisements déjà découverts ou en mettant des programmes de recherche et d'exploration minière pour les nouveaux gisements.

Le district minier d'Amezmiz couvert d'une superficie de 500 km² renferme plusieurs gisements (Fig. 1). L'ancienne mine d'Azegour a été le siège d'une exploitation entre 1921 et 1971 d'une minéralisation polymétallique à Cu, Mo et W. Cette minéralisation encaissée dans les barres dolomitiques du Cambrien inférieur qui sont métasomatisées au contact du granite d'âge Permien d'Azegour. Cette mine polymétallique est restée comme référence en minéralogie, gîtologie et métallogénie des skarns. La mine d'Erdouz a fait objet d'une exploitation de zinc, plomb, argent et de cuivre. Les premiers travaux ont commencé en 1925 et continueront jusqu'à l'année de sa fermeture en 1972. Dans la partie NW du district se trouve l'ancienne mine d'Assif El Mal. Cette mine découverte en 1923 a fait l'objet d'une exploitation du minerai à Pb-Zn jusqu'à l'année de sa clôture en 1959. Dans la partie NE du district se localise la mine de Tighardine à Cu-Pb-Zn-(Ag et Au). Cette mine est en cours d'exploitation et présente les mêmes caractéristiques gîtologiques et minéralogiques que celles du gisement d'Amensif objet de cette étude.

La présente étude s'intéresse au gisement polymétallique d'Amensif. Il se localise à 5 km à vol d'oiseau au sud de la mine d'Azegour (GPS : N 31°06'20" et W08°17'54"). La minéralisation à Cu, Pb, Zn est encaissée dans les barres dolomitiques du Cambrien inférieur. Ce gisement nouvellement découvert ([19], [20]) est caractérisé par son contexte géologique, sa paragenèse minéralogique, son alteration hydrothermale et ses relations géométriques très étroites établies entre la minéralisation et la tectonique. Cette étude se base sur l'étude de trois aspects : (1) lithologique ; (2) structural et (3) relation entre la minéralisation et le fluide magmatique.

2 CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Le massif ancien du Haut Atlas occidental est un vaste domaine formé de terrains précambriens et paléozoïques structurés pendant l'orogénèse hercynienne. Ces terrains sont compris dans une large shear zone dextre de direction N70° ([13], [21]) et limitée au sud par l'accident de Tizi-n-Test de direction N70°E et qui se prolonge vers le massif hercynien des Jebilet selon une direction NNE-SSW ([13]) et au Nord par l'accident d'Imi-n'Tanout de direction N70°E. Au Cambrien, le massif ancien correspondrait à une vaste plate-forme subsidente où s'est accumulée de puissantes séries sédimentaires intercalées de puissantes coulées volcaniques et produits pyroclastiques. Les formations paléozoïques du Haut Atlas ont été affectées par une déformation ductile dans un climat métamorphique anchi à épizonal. La déformation hercynienne se traduit principalement par des plissements et une schistosité de plan axial de direction NNE-SSW ([8], [9], [17]). Trois événements tectoniques ont structuré cette région ; la phase (D1) est associée à un métamorphisme épizonal ([22], [23], [24]). Elle correspond à une déformation plicative générant des plis isoclinaux d'axes N60° à N80°E. La schistosité de flux S₁ (schistosité du plan axial) est sub-parallèle à la stratification S₀. La seconde phase (D2) engendre des plis métriques à hectométriques à axes sub-méridiens et déversés globalement vers l'Est. Au niveau des plans axiaux se développe une schistosité de fracture avec ou sans crénulation selon le comportement rhéologique de la roche. Cette déformation hercynienne est d'âge Namuro-Wéstphalien ([4], [8]). La troisième phase (D3) est une déformation péri-plutonique liée à la

mise en place des plutons granitiques de Tichka et d'Azegour ([23], [24], [26]). Ce magmatisme hercynien est d'affinité calco-alcaline ([6], [15]) ou alcaline ([27]).

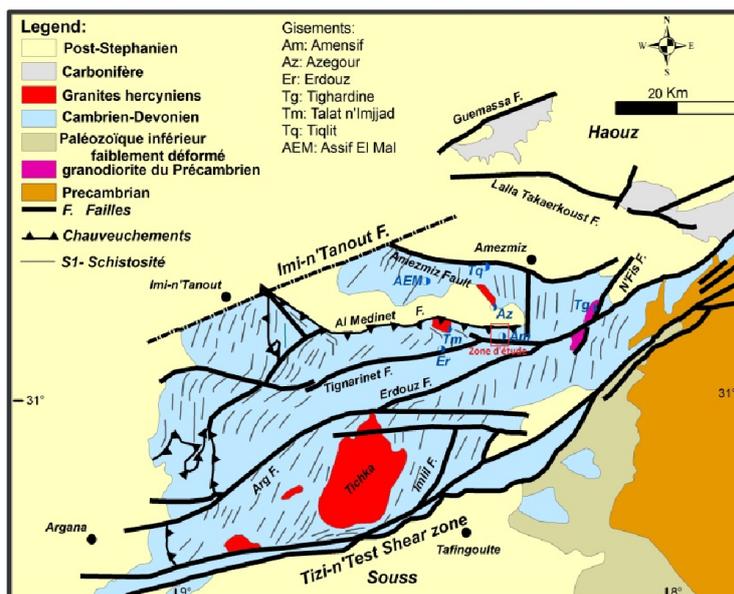


Fig. 1. Carte structurale du Haut Atlas occidental et localisation des principaux gisements du district minier d'Amizmiz (d'après [8])

Pendant l'orogénèse hercynienne, La zone d'étude est comprise dans un grand couloir de cisaillement de direction ENE-WSW limité par deux principaux décrochements dextres. Au nord, la faille d'Imi n'Tanout constitue la limite septentrionale du bloc paléozoïque du Haut Atlas. Tandis qu'au Sud le décrochement de Tizi-N-Test sépare le Haut Atlas de l'Anti-Atlas (Fig.1). Dans ce couloir, le modèle structural est assez complexe. Les grands cisaillements dextres représentent les principales caractéristiques de la chaîne hercynienne marocaine ([9], [13], [17], [20], [21], [28]).

La zone d'étude est affectée par un faisceau de failles et cisaillements de direction NE-SW à ENE-WSW formant un système conjugué avec les failles WNW-ESE à E-W.

3 MATERIELS ET METHODES

L'étude de ce gisement commence par l'établissement d'une carte géologique à 1000^{ème} qui a permis de cartographier les différents faciès lithologiques, les structures tectoniques, les structures minéralisées et de décrire les différents types d'altération hydrothermale. Douze sondages carottés ont été étudiés pour la description en aval des faciès lithologiques et des structures minéralisées. Ces travaux de terrain ont été effectués en collaboration avec la compagnie minière de Guemassa. Les observations pétrographiques des minéraux métalliques et du cortège d'altération sont basées sur l'observation de 20 sections polies et 25 lames minces effectuées aux microscopes métallographique et optique au Laboratoire DLGR de l'Université Cadi Ayyad, Marrakech.

La prospection géophysique a été desservie par la méthode magnétique qui constitue la principale méthode d'exploration utilisée dans le Haut Atlas occidental pour la recherche des minéralisations sulfurées. La couverture magnétique au sol au niveau du gisement a été réalisée suivant un réseau de profils WSW-ESE espacés aux 100 mètres avec un point de mesure tous les 50 mètres.

L'étude des minéraux d'altération hydrothermale est effectuée par le microscope optique et complétée par une diffraction des rayons X. Les analyses ont été effectuées par le diffractomètre aux rayons X, type Philips, au centre de recherche et d'exploration « Reminex » de Marrakech.

Trente-huit analyses géochimiques ciblées (Fe, Cu, Pb, Zn, As, Ag et Au) ont été réalisées en utilisant la Spectrométrie d'Emission Atomique source Plasma à Couplage Inductif (ICP AES) type Ultima 2c au centre de recherche et d'exploration « Reminex » de Marrakech.

4 RESULTATS

4.1 OBSERVATIONS DU TERRAIN

Les nombreuses observations de terrain et l'examen des sondages effectués dans la zone d'Amensif révèlent une séquence lithostratigraphique qui s'organise en une succession de deux grandes unités lithologiques distinctes. La compilation des données de cartographie et les données extraites des sondages carottés ont permis d'établir un log synthétique de la zone d'étude (Fig. 3).

- L'unité basale, caractérisée par des dépôts carbonatés marqués par des barres dolomitiques massives séparées par des laves essentiellement trachytiques et des produits pyroclastiques (grauwackes). Une intense activité hydrothermale a affectée ces carbonates en les transformant en carbonates hydrothermales avec localement développement des minéraux de skarns. Ces dolomies constituent le niveau porteur de la minéralisation à intérêt économique. Par analogie de faciès, cet ensemble est attribué au Cambrien inférieur ([1], [8], [20], [26], [30], [31]).
- L'unité sommitale est constituée de dépôts silteux-gréseux correspondant à un épisode de sédimentation détritique fine qui a caractérisé le Cambrien Moyen du Haut Atlas occidental. Ces faciès sont intercalés de quelques niveaux grauwackeux. L'ensemble a été schistosé et métamorphisé sous le climat épizonal [20].
- Ces formations sont intrudées par un essaim de filons rhyolitiques de direction N-S (Fig. 2).

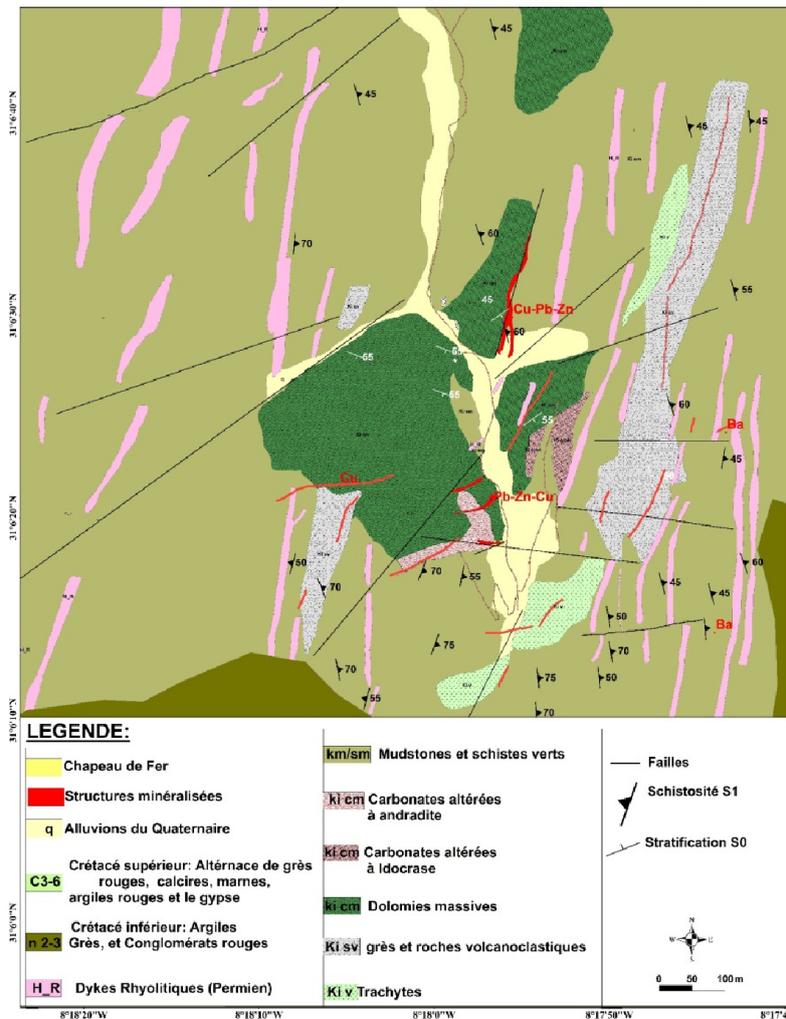


Fig.2. Carte géologique de la zone d'étude (d'après [20])

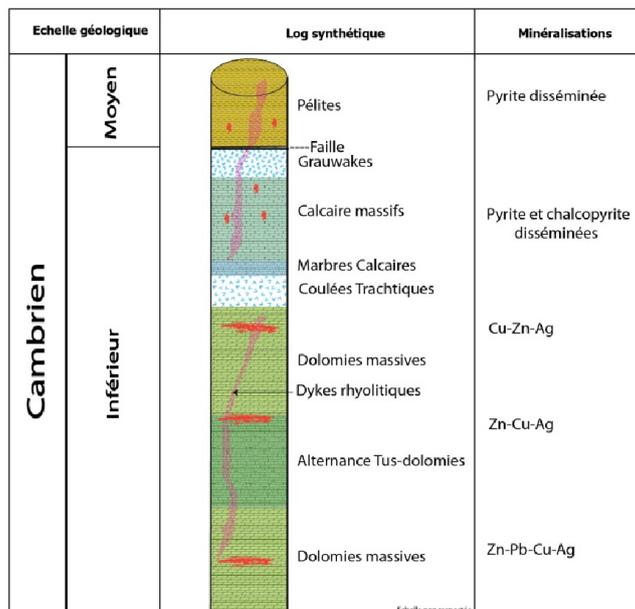


Fig.3. Log lithostratigraphique synthétique d'Amensif [20]

L'étude structural du gisement a permis de mettre en évidence que les formations cambriennes d'Amensif sont affectées par un réseau de failles qui s'organisent selon deux grandes familles : NNE-SSW à NE-SW et NW-SE (Fig. 2) ([19], [20]). Ces failles sont liées au fonctionnement du système conjugué formé par deux grands accidents d'Erdouz (ENE-WSW) et celui d'Al Medinet (NW-SE) ([17]). Ce système conjugué sera le moteur qui contrôle la circulation de fluides hydrothermaux émanant de l'activité magmatique du granite d'Azegour.

A l'affleurement, les éléments géométriques, morphologiques, minéralogiques, et texturaux permettent de définir deux types de minéralisations polymétalliques : (i) une minéralisation cuprifère de type filonien; et (ii) une minéralisation polymétallique à Zn-Pb-Cu-Ag-Au de type « carbonate replacement deposit ».

4.2 OBSERVATIONS PETROGRAPHIQUES

Les observations pétrographiques des lames minces confectionnées à partir de plusieurs échantillons collectés de surface et des sondages carottés ont permis d'identifier les faciès suivant :

- Les dolomies

Les dolomies saines sont composées de dolomite, calcite et d'une fraction gréseuse. La texture dolomitique originelle est bien préservée (Fig. 5C). Dans les zones minéralisées, les dolomies ont subi une alteration hydrothermale manifestée essentiellement par une forte silicification et marmorisation permettant de transformer les dolomies en marbres dolomitiques. Localement, les dolomies ont subi une skarnification permettant de produire des minéraux de skarn de haute température (grenat et idocrase) (Fig. 5E).

- Les grauwackes

Au microscope, le quartz et les feldspaths constituent la phase dominante des grauwackes (Fig. 5A) Le quartz se présente sous en micrograins de taille variable, de forme arrondie ou anguleuse isolé ou en agrégats à une faible extinction roulante. Les feldspaths sont souvent altérés en séricite. Les biotites sont présentes en quantités faibles, souvent altérées en chlorite et forment des lits orientés sombres (phyllites). La calcite est également présente mais son aspect est tardif. La roche est affectée par une déformation cisailante permettant la formation de lits clairs où baignent les minéraux clairs de quartz et feldspaths et des lits sombres caractérisés par la présence des minéraux de biotite et de chlorite.

- Les trachytes

Les trachytes présentent une texture microlitique porphyrique à plagioclase, feldspath, quartz et biotite. Les plagioclases sont partiellement ou totalement séricitisés tandis qu'une chloritisation affecte les biotites. Localement, Les trachytes ont été affectés par des cisaillements qui ont transformé la roche initiale en une roche mylonitique (Fig. 5 B).

- *Les micaschistes*

Les micaschistes sont formés essentiellement de quartz, biotite et muscovite. La roche présente une foliation s’exprimant par une alternance de lits plus au moins sombres riches en micas et des lits clairs à quartz. La déformation de ces micaschistes se fait sous le métamorphisme de faible degré type schiste-vert.

- *Les porphyres rhyolitiques*

La composition minéralogique de ces porphyres rhyolitiques est composée de quartz (rhyolitique) présentant des golfes de corrosion, de feldspath potassique, de plagioclase, de biotite et des opaques. La séricite se développe au détriment des plagioclases et la chlorite remplace les biotites. La roche présente une texture microlitique porphyrique (Figs. 2, 5A).

4.3 DONNEES MAGNETIQUES

Les données magnétiques aéroportées d’Amensif sont présentées sous forme d’une carte de contours qui montre que ce secteur est caractérisé par un relief magnétique très agité et de formes peu elliptiques (Fig. 4). Ces formes elliptiques sont souvent étirées suivant des directions des failles et des structures minéralisées. Cette carte d’anomalie magnétique a été superposée à celle de la géologie du secteur d’Amensif. Cette superposition a rendu compte que les structures minéralisées explorées représentent des zones à fortes anomalies magnétiques caractérisées par la présence des minéraux à haut signal magnétique. Malgré la quasi-absence de la pyrrhotine (minéral à fort signal magnétique), la zone d’étude se caractérise par une forte réponse magnétique justifiée par la présence des sulfures tels que la pyrite, l’arsénopyrite, la galène et la chalcoppyrite. Les valeurs du champ magnétique total observées à l’échelle de cette zone dépassent les trente Nano Tesla. Les amplitudes varient entre 10 et 400 nT.

La combinaison des données géologiques et les anomalies magnétiques ont permis d’orienter les travaux d’exploration des structures minéralisées en aval (Figs. 3 et 4). La présence d’une forte anomalie au sud d’Amensif est due probablement à la présence d’un volcanisme bien développé durant le Cambrien inférieur caractérisé par des produits pyroclastiques et des laves andésitiques et trachytiques. Ces produits volcaniques sont caractérisés par la présence des minéraux ferromagnésiens qui peuvent avoir une réponse magnétique très élevée.

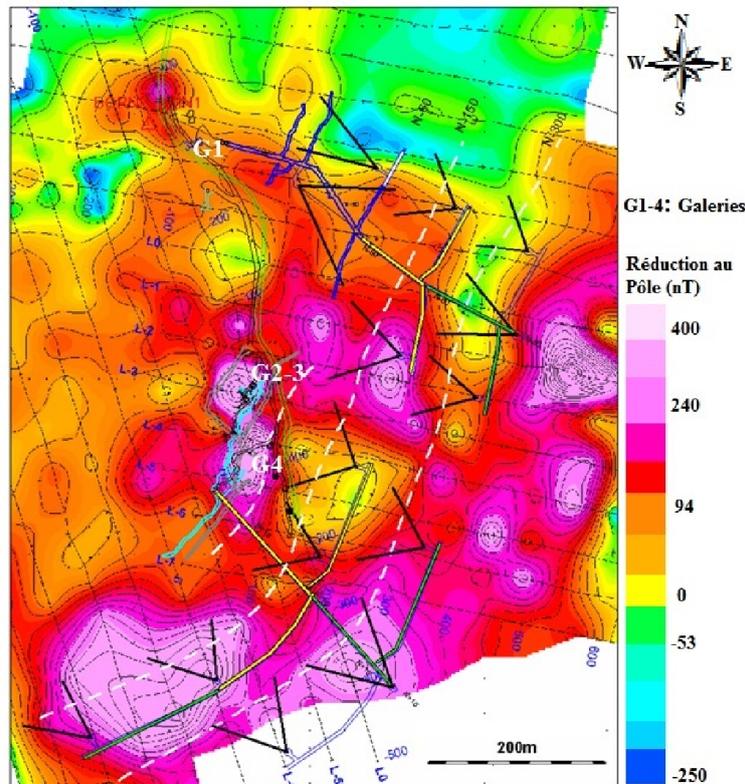


Fig. 4. Superposition des travaux prévisionnels d’exploration sur la carte de chargeabilité réalisée dans le secteur d’Amensif

4.4 GEOMETRIE DES STRUCTURES

Quatre types de minerai ont été distingués selon l'ordre d'importance décroissante : minerai massif, minerai fissural, minerai disséminé, minerai type stockwerk, et minerai très peu rubané. Ces minéralisations sont liées à une intense altération hydrothermale.

Les observations de terrain ainsi que l'analyse détaillée des sondages carottés ont permis de révéler des variations importantes aussi bien de la géométrie des structures minéralisées, les relations minerai-gangue, les textures, les paragenèses métalliques et la typologie du minerai.

La minéralisation se présente sous forme de lentilles, des micro-veines (Fig. 5D), des imprégnations, de remplacement de carbonates (Fig. 5F) et en petits amas.

Les éléments morphologiques, minéralogiques, texturaux et géochimiques ont permis de distinguer deux types de minéralisations polymétalliques organisées selon l'abondance de la substance économique la plus dominante.

- i) Structure cuprifère (Structure nord) (Fig. 2): cette structure de direction majeure NNE-SSW, est constituée essentiellement de minerai de cuivre. Le minerai est composé par ordre de prédominance décroissant de la chalcoppyrite, la galène, la sphalérite, la pyrite, l'arsénopyrite et accessoirement la tetraedrite. La structure cuprifère jalonne la faille N20° à pendage de 45°E. La géométrie lenticulaire de la structure, la morphologie du minerai et les relations texturales entre les minéraux plaident en faveur d'un remplissage filonien de la caisse quartzreuse.
- ii) Structures polymétalliques (Structure sud et structure ouest): ces structures subéquatoriales sont constituées de minerai de plomb, cuivre, zinc et fer. Ces minéralisations sont associées à une forte activité hydrothermale responsable de la transformation des carbonates en marbres dolomitiques, dolomies hydrothermales et carbonates métamorphiques à minéraux de skarns (andradite, idocrase, épidote, trémolite) (Fig.5E). Ces structures sont de direction NE-SW à EW (Figs. 2 & 6), de puissance variables qui peuvent atteindre 2 m et sont en général marquées en surface par un chapeau de fer ou par des trainées noirâtres liées à la minéralisation plombo-zincifère.

Un chapeau de fer a été observé dans la zone. La minéralisation sulfurée a subi une forte oxydation en surface (zone d'oxydation) (Fig. 5B & 5F) permettant de développer une paragenèse secondaire marquée par la limonite, la malachite, l'azurite et la covellite.

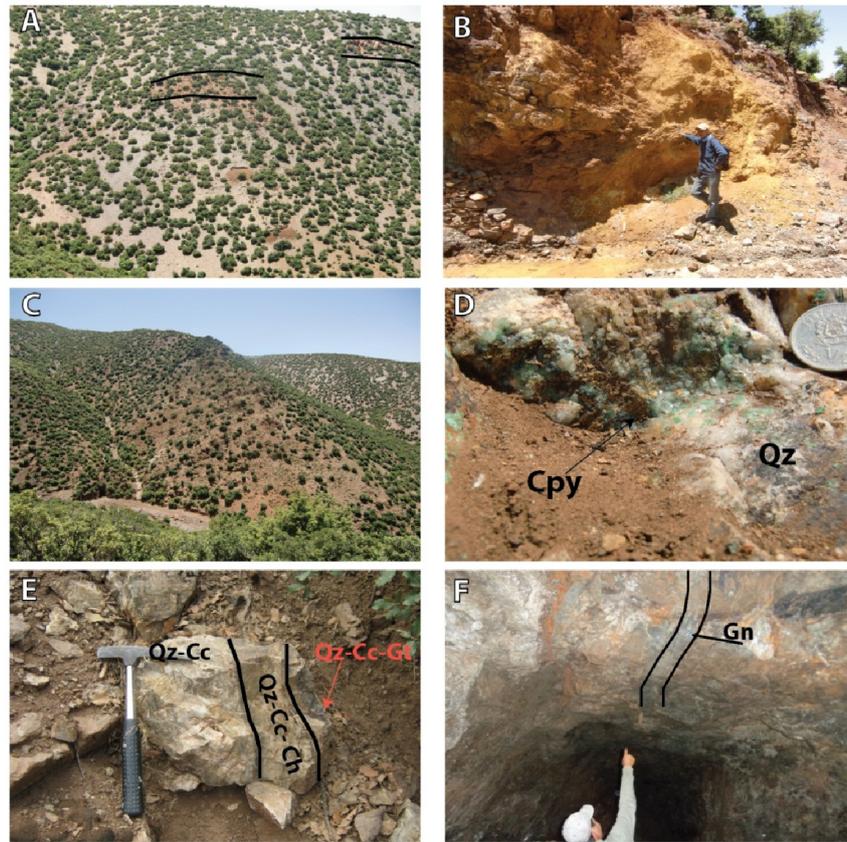


Fig. 5. (A) Photographie montrant les dykes rhyolitiques roses et des tranchées d'exploration. (B) Photographie montrant l'importance du chapeau de fer. (C) Vue panoramique du massif carbonaté du gisement. (D) Photographie d'une veine de quartz (Qz) à chalcopryrite (Cpy). (E) Photographie montrant une zonalité d'altération hydrothermale. (F) Photographie montrant une veine à galène (Gn) dans la galerie 3.

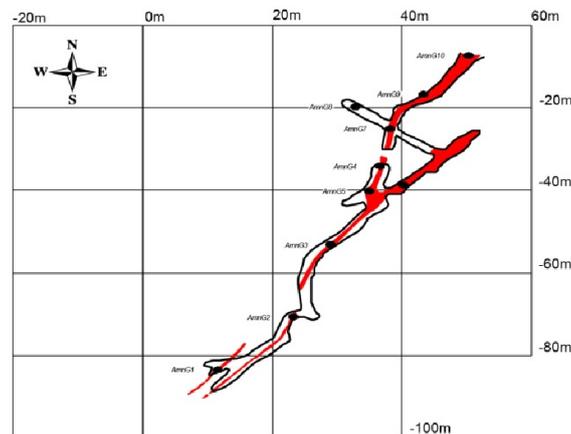


Fig. 6. Levé gîtologique des galeries 2 et 3 d'Amensif

4.5 DONNEES MINERALOGIQUES

Dans ce qui suit, nous présentons l'inventaire des observations métallographiques des espèces présentes dans la zone :

La *Chalcopyrite* ($CuFeS_2$) est le minéral abondant à Amensif (Fig. 7). Elle se présente sous forme de grandes plages de taille millimétrique à centimétrique (Fig. 5D). Elle est contrôlée par un système de fracturation permettant de former des textures en microstockwerk ou de remplissage en colmatant les microfissures de la pyrite (Fig. 7E).

La *sphalérite* (ZnS) présente de belles plages et de cristaux extrêmement variables. Les plages de la sphalérite contiennent des inclusions parfois orientées de la chalcopyrite rappelant la texture de la chalcopyrite disease (Fig. 7A) ([31],

[32]). La sphalérite est souvent associée à la chalcoppyrite, galène et pyrite. Des textures de remplacement entre ces minéraux ont été observées (Fig. 7C).

La pyrite (FeS_2) se présente en deux générations (Figs 7 E et F). La première génération est dominante et caractérisée par des agrégats de grandes tailles allotriomorphes associés parfois à l'arsénopyrite au niveau des épontes des rubans. La pyrite est corrodée parfois par d'autres minéraux. La seconde génération est formée par des cristaux de petites tailles. L'association pyrite-arsénopyrite montre des caractères synchrones avec une légère antériorité de la pyrite. La pyrite est associée également à la sphalérite, chalcoppyrite et galène. L'observation microscopique montre une bréchification hydraulique de la première génération (Fig. 7E). Dans d'autres observations, la pyrite est remplacée par la chalcoppyrite.

L'arsénopyrite ($FeAsS$) se présente elle aussi en deux formes : en agrégats de grandes tailles et en petits cristaux automorphes montrant des formes losangiques ou carrées (Fig. 7B). Les relations texturales entre l'arsénopyrite et la pyrite montrent le caractère synchrone de leur dépôt.

La galène (PbS) accompagne la chalcoppyrite et la sphalérite et se présente en cristaux automorphes à xénomorphes (Figs. 7C et F).

Le cuivre gris se présente sous forme de cristaux xénomorphes (Fig. 7B) associés à la chalcoppyrite, galène et pyrite. Le cuivre gris (Tennantite-tetraedrite) représente le minéral porteur de l'argent.

L'or n'est pas observé microscopiquement. Il a été détecté uniquement par les analyses géochimiques.

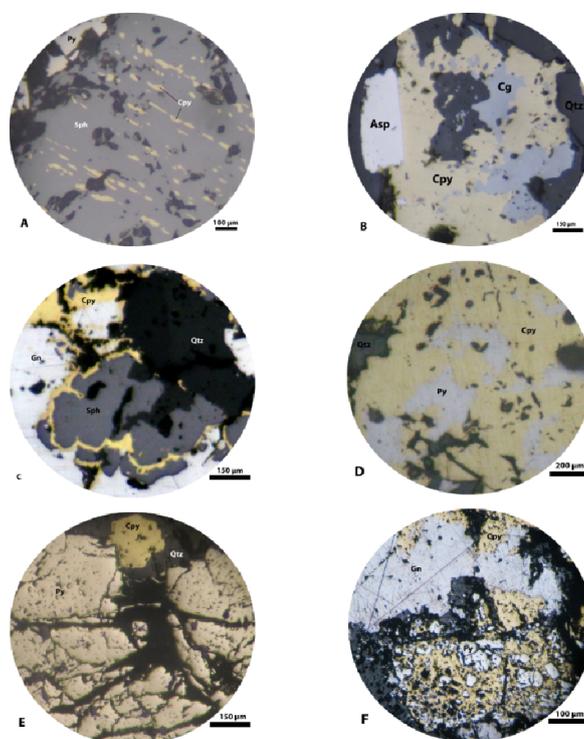


Fig. 7. Microphotographies montrant les relations micro-texturales entre les minéraux métalliques [20]. (A) sphalérite (Sph) à inclusion orientée de chalcoppyrite (Cpy) (chalcoppyrite disease). (B) Association de chalcoppyrite (Cpy), arsénopyrite (Asp) et cuivre gris (Cg). (C) Texture de remplacement entre sphalérite, galène (Gn) et chalcoppyrite. (D) Remplacement de pyrite (Py) par chalcoppyrite. (E & F) Bréchification hydraulique de la pyrite et remplissage des fissures par chalcoppyrite et galène.

4.6 ALTERATION HYDROTHERMALE

L'encaissant de ces minéralisations est constitué de dolomies et de marbres dolomitiques. Ces formations ont subi une intense altération hydrothermale et localement pyrométasomatique. Ces altérations se manifestent par une silicification, skarnification, chloritisation, et dolomitisation. Le remplacement des minéraux carbonatés par les minéraux d'altération hydrothermale est un mode d'altération remarquable dans ce site ([19]).

La silicification est le type d'altération le plus répandu. Elle consiste en une imprégnation par la silice d'une partie des roches calcaires (Fig. 5E). Ces roches silicifiées sont riches en minéralisations massives en Cu-Pb-Zn-Fe, avec des rubanements plus minces de chalcopryrite et d'arsénopyrite. On peut ainsi conclure que ces minéralisations peuvent être résultantes d'un liquide siliceux qui a silicifié l'encaissant carbonaté tout en l'imprégnant de minéralisation et en y déposant des minéralisations massives.

La skarnification est localement manifestée par la transformation pyrométasomatique des carbonates en silicates calciques. Ces roches skarnifiées sont caractérisées par la présence de minéraux de skarns à savoir l'andratite (Fig. 8C), l'idocrase (Fig. 8D), l'épidote et la trémolite (Fig. 8F). Ces minéraux ont été identifiés et appuyés par la diffractométrie des rayons X.

La chloritisation (Fig.8E) se développe aussi bien dans les carbonates que dans les métapélites. La chloritisation s'accompagne d'une minéralisation à pyrite et chalcopryrite.

La séricitisation se développe au détriment des plagioclases dans trachytes (Fig. 8 A et B) et des rhyolites. La séricite est un minéral hydrothermal très abondant dans les faciès magmatiques et très peu dans les carbonates. La séricite est souvent associée au chlorite. La séricitisation est associée en règle générale à la cristallisation du quartz, de la pyrite, et de la chalcopryrite.

La dolomitisation se manifeste par l'apparition de la dolomite, de la calcite et très peu de l'ankérite.

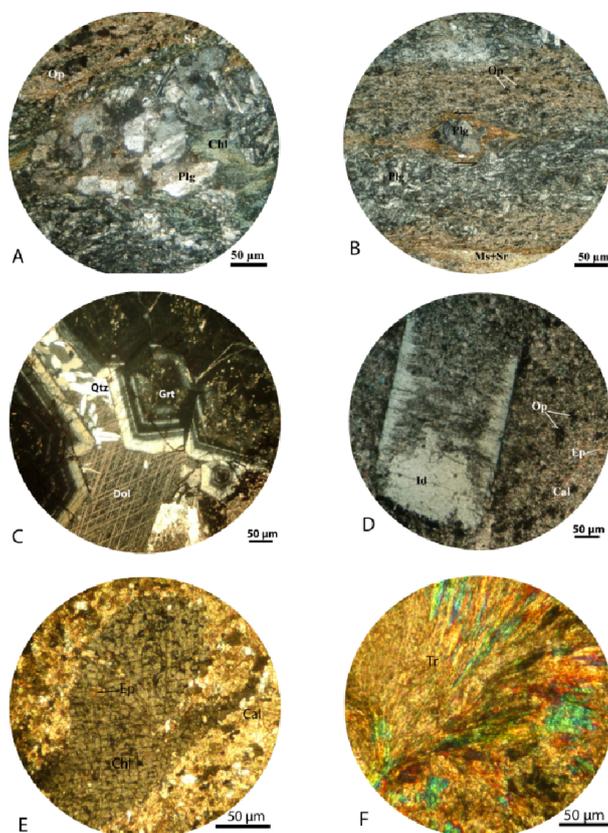


Fig. 8. Microphotographies des minéraux d'altération hydrothermale. (A & B) Photos d'un trachyte altéré et cisailé. (C) Microphotographie d'un grenat (Grt) type andradite. (D) minéral d'idocrase (Id) dans un calcaire métamorphique. (E) Mineral de chlorite. (F) Mineral fibroradié d'une trémolite

4.7 RESULTATS GEOCHIMIQUES

Le gisement d'Amensif montrent souvent des teneurs élevées (Pb + Zn=25%) avec des teneurs élevées en cuivre et des teneurs encourageantes en or et en argent. Les analyses géochimiques des éléments Fe, Cu, Pb, Zn, As, Ag et Au des échantillons récoltés des sondages carottés et de la surface montrent un enrichissement en métaux de base. Les teneurs sont de l'ordre de 2 à 3% Cu, 11% Pb, 16% Zn, 4% As, 400 ppm Ag et 4ppm Au (Tableau. 1).

Le total des ressources délimitées au niveau de la structure sud d'Amensif (Fig. 2) s'élève à 568 110 Ttv à 3,79%Zn ; 0,69% Pb ; 1,02%Cu avec 98,30 ppm Ag et 0,48 ppm Au. Les premiers essais de traitement à l'Usine de traitement du site de Hajjar (Compagnie minière de Guemassa) seront de l'ordre de 569 814 Ttv à 3,21%Zn ; 0,58% Pb ; 0,86%Cu avec 83,30 ppm Ag et 0,41 ppm Au en fin de Juin 2012, en appliquant une dilution de 18% et une récupération de 85% (Tableau. 2).

D'autres structures furent objet de travaux d'exploration par tranchées, sondages carottés et traçage par galeries. Ce qui permettra d'augmenter les ressources dans ce site dans le futur.

Tableau 1. Résultats des analyses géochimiques des éléments ciblés

Samples	Fe (%)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	As (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppm)
AMS 1	2,13	0,0102	0,0076	0,0727	1162	1	0,05
AMS 2	3,55	0,0264	0,0109	0,15	1218	3	0,05
AMS 3	5,18	0,0188	0,0153	0,11	2724	2	0,05
AMS 4	5,58	0,0111	0,0147	0,13	757	3	0,05
AMS 5	23,91	0,2	0,0756	10,72	3050	21	0,05
AMS 6	15,14	0,083	0,0705	6,96	5256	15	0,11
AMS 7	5,31	0,0325	0,0197	0,93	1313	8	0,15
AMS 8	3,18	0,0161	0,0077	0,33	30	3	0,05
AMS 9	3,98	0,0152	0,0076	0,45	30	3	0,05
AMS 10	12,59	0,23	0,0393	0,96	12403	24	0,93
AMS 11	0,8414	1,66	3,81	0,9	8900	443	2,32
AMS 12	7,68	0,78	11,25	13,91	2000	251	0,47
AMS 13	1,92	0,18	0,15	0,89	30	13	0,11
AMS 14	8,23	0,83	1,17	3,44	9700	104	0,83
AMS 15	12,76	0,92	0,61	1,25	8300	76	0,44
AMS 16	17,94	2,36	2,43	5,75	19500	189	1,27
AMS 17	14,24	2,01	0,94	4,55	11700	153	16
AMS 18	12,38	1,11	0,24	1,16	16800	103	3,06
AMS 19	5,08	2,28	0,11	0,46	1900	146	0,18
AMS 20	4,77	0,35	0,0901	0,41	2545	36	0,06
AMS 21	4,95	2,68	0,0589	4,67	782	99	0,06
AMS 22	4,37	0,24	0,0736	0,8	1120	17	0,05
AMS 23	2,91	0,0228	0,0262	0,18	120	3	0,05
AMS 24	2,74	0,11	0,0299	0,17	59	10	0,05
AMS 25	5,48	0,54	0,11	7,64	400	73	0,07
AMS 26	4,11	0,12	0,018	0,6	0,003	1	0,11
AMS 27	2,02	0,31	0,0263	0,49	0,0404	16	<0,05
AMS 28	2,92	0,68	0,13	12,51	0,04	73	<0,05
AMS 29	2,29	0,11	0,0263	0,22	0,003	13	0,31
AMS 30	2,66	0,46	0,15	3,57	0,11	42	0,05
AMS 31	2,72	0,006	0,003	0,078	0,0204	2	0,09
AMS 32	3,45	0,0016	0,0116	0,0203	0,1936	1	0,18
AMS 33	1,13	0,0036	0,0316	0,0938	0,003	3	0,05
AMS 34	1,93	0,0036	0,0101	0,0404	0,003	3	0,05
AMS 35	1,86	0,0032	0,0046	0,0376	0,003	1	0,05
AMS 36	1,91	0,0088	0,0139	0,31	0,003	1	0,05
AMS 37	1,03	0,32	0,0999	1,21	0,003	16	0,05
AMS 38	1,43	0,12	0,0277	6,71	0,003	2	0,05

Tableau 2. Calcul des ressources géologique ([31])

Ressources	Tonnage (t)	Fe (%)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	Au (ppm)
Res_2012	568 110,72	6,65	1,02	0,69	3,79	98,36	0,48

Les fortes teneurs détectées dans le site d'Amensif sont comparables avec celles qui caractérisent les gisements type « Carbonate Replacement Deposits (CRD) » dans le monde ([34], [35], [36], [37], [38]). La majorité des gisements type CRD contiennent des teneurs élevées en Pb, Zn, Cu, Ag, Au, As, Mo, Bi et Sb.

5 DISCUSSION

5.1 SEQUENCE PARAGENETIQUE

En se basant sur les relations microtexturales entre les phases minérales, nous avons distingués entre trois stades paragenétiques (Fig. 9) :

- **Stade I :** ce stade se caractérise par le dépôt synchrone de la pyrite I, l'arsénopyrite I et le quartz (Fig. 7E). Localement, la pyrite présente parfois un caractère antérieur par rapport à l'arsénopyrite. Elle montre rarement, des inclusions microscopique de la magnétite. L'arsénopyrite se présente sous forme de cristaux automorphes contemporaine de la cristallisation du quartz. Elle renferme quelques rares inclusions de la pyrrhotite. Ce stade se termine par une intense bréchification hydraulique séparant les stades paragenétiques I et II.
- **Stade II :** Les sulfures de ce stade sont présents en grosso-modo en plages équigranulaires jointives et non déformées. Ce stade est subdivisé en 3 étapes ; la première est caractérisée par un fort remplacement de la paragenèse antérieure du stade (I) par une paragenèse fortement Cupro-ferrifère composée de la pyrite (II), l'arsénopyrite (II) et de la chalcoppyrite (I). La seconde étape est cupro-zincifère marquée par la formation de la sphalérite à chalcoppyrite disease (Fig. 7A), et enfin la troisième étape plombo-cuprifère est caractérisée par la cristallisation de la galène, de la chalcoppyrite (II) et du cuivre gris en grandes plages. Cette paragenèse sulfurée montre de belles textures de remplace aussi bien dans la gangue et /ou entre les sulfures.
- **Stade supergène :** La séquence paragenétique est complétée par une paragenèse d'alteration supergène. Cette paragenèse se compose de la magnétite, la goéthite, Azurite, malachite et de la covellite.

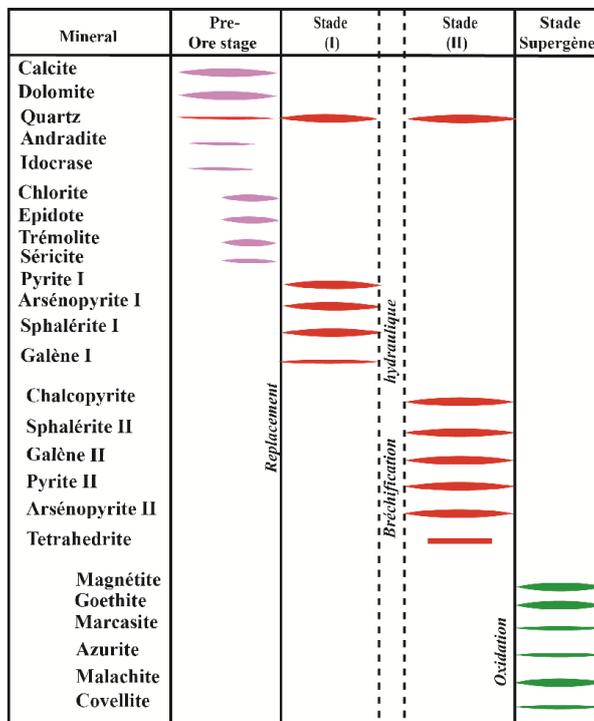


Fig. 9. Séquence paragenétique d'Amensif [20]

5.2 INTERPRETATION TYPOLOGIQUE

En se basant sur les arguments lithologiques, structuraux, gîtologiques et minéralogiques, nous attribuons la minéralisation à Cu, Zn, Pb, Ag et Au d'Amensif au type « Carbonate Replacement Deposits » ([20], [32], [33], [34][36], [37], [38], [39],[40], [41], [42],[43], [44], [45], [46], [47], [48]).

Les arguments litho-structuraux, minéralogiques, et texturaux en faveur de cette classification sont marqués par la présence d'un fort contraste rhéologique des roches hôtes de la minéralisation. Les dolomies massives à fort comportement rhéologique représentent l'encaissant idéal de la dite minéralisation. Alors que les schistes à faible comportement rhéologique ne répondent pas aux conditions suggérées pour l'hébergement de la minéralisation en question. Ces formations sont affectées par une forte activité tectonique (failles et cisaillements) favorisant l'ouverture des fractures, fentes et veines. Ces fractures serviront de chemin et canaux de drainage des fluides minéralisateurs qui seront piégés dans les formations carbonatées. La minéralogie et les relations texturales entre les minéraux métalliques de la structure nord caractérisent le type filonien.

Les formations carbonatées ont subi deux types de transformations ou de remplacements : les altérations hydrothermales et localement les transformations pyrométasomatiques. Le phénomène de la transformation pyrométasomatique ou simplement la skarnification se traduit par le remplacement des roches mères carbonatées par des roches métasomatiques (marbre dolomitique, calcaire métamorphique, grenatite). La minéralogie de ces roches transformées est caractérisée par l'apparition locale des minéraux indicateurs de skarns à savoir l'andradite, l'idocrase, la trémolite et l'épidote. Le second phénomène est caractérisé par le développement d'une forte altération hydrothermale accompagnée d'une mise en place d'une minéralisation à Fe-Cu-Pb-Zn. Les minéraux caractéristiques de ces altérations sont la chlorite, la séricite, la calcite, l'épidote et les oxydes de fer.

Le lien intime entre les minéralisations et les altérations démontre un lien génétique entre la formation de minéraux d'altération et la mise en place de sulfures. Les sulfures sont directement associés aux zones d'altération hydrothermale.

La paragenèse minéralogique est constituée de chalcopryrite, pyrite, arsénopyrite, sphalérite, galène et cuivre gris. Des relations texturales entre ces minéraux permettent de caractériser les textures existantes (rubanée, massive, disséminée, en microstockwerk, remplacement, chalcopryrite disease). La présence de ces textures plaide en faveur d'un remplacement de carbonates. La présence des minéraux de skarn (andradite et idocrase) et la sphalérite à chalcopryrite disease peuvent expliquer la présence du fluide hydrothermal caractérisé par une assez forte température (350-400°C) et une solution hydrothermal à forte fugacité du soufre ([32], [49], [50], [51], [52], [53]).

6 CONCLUSION

Les approches sédimentologiques, structurales, minéralogiques et géochimiques montrent que ce gisement représente un cas particulier dans la métallogénie régionale du Haut Atlas occidental. Les formations carbonatées du Cambrien inférieur constituent le siège d'un ensemble de transformations d'ordre thermiques et chimiques. Ces transformations témoignent de la néoformation des minéraux typiques des transformations pyrométasomatiques et métamorphiques (trémolite, andradite, épidote et idocrase) et de la recristallisation de ces carbonates. Le flux des fluides hydrothermaux est facilité par le fonctionnement des failles hercyniennes. Ces failles exercent un contrôle important sur l'ouverture des veines et fractures suivant le comportement rhéologique de la roche encaissante. Ces veines et fractures représentent des conduits propices pour le drainage et la circulation des fluides minéralisateurs.

La nature des altérations hydrothermales, les données minéralogiques et les analyses géochimiques (fortes teneurs en métaux de base) présentent d'importantes similarités avec les gisements polymétalliques de type « Carbonate Replacement Deposits ».

Dans les perspectives futures, la proximité de l'intrusion granitique d'Azegour est un facteur intéressant à prendre en compte dans l'hypothèse d'un contrôle direct ou indirect du magmatisme Permien dans ce type de minéralisation. L'inventaire des autres indices minéralisés encaissés dans les carbonates du Cambrien inférieur dans le district d'Amizmiz (Tnirt, Anamerou et Tameksaout) plaide en faveur du contrôle lithologique probable dans ce type de minéralisation qu'il faudra tenir en considération.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien financier et logistique de la compagnie minière de Guemassa, les auteurs veulent adresser leurs remerciements à toute personne qui a contribué à l'élaboration de ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] L. Neltner, "Etudes géologiques dans le Sud marocain (Haut Atlas, Anti-Atlas)," *Notes et Mémoires Service Géologique du Maroc*, N° 42, 258 p., 1938.
- [2] F. Permingeat, "Le gisement de molybdène, tungstène et cuivre d'Azegour (Haut-Atlas). Etude pétrographique et métallogénique," *Notes et Mémoires Service Géologique du Maroc*, 141, p. 271, 1957.
- [3] M. Mattauer, P. Tapponnier, F. Proust, "Sur le mécanisme de formation des chaînes intracontinentales, l'exemple des chaînes atlasiques du Maroc," *Bulletin de la société géologique de la France*, Série XIX, pp. 521–526, 1977.
- [4] F. Proust, J. P. Petit and P. Tapponnier, "L'accident de Tizi-n-Test et le rôle des décrochements dans la tectonique du Haut-Atlas occidental (Maroc)," *Bulletin de la Société géologique de la France*, vol. 19, pp. 541-551, 1977.
- [5] J. L. Lagarde, *Les plutons granitiques hercyniens marqueurs de la déformation crustale : l'exemple de la meseta marocaine*. Thèse doctorat d'Etat, Université de Rennes, France, 1987.
- [6] E. I. El Amrani, *Contribution à l'étude pétrologique, minéralogique, métallogénique et de pétrologie structurale des formations de la région d'Azegour (Haut Atlas occidental, Maroc)*, Thèse 3ème cycle, Nancy I, 210 p., 1984.
- [7] Z. Mrini, *Age et origine des granitoïdes hercyniens du Maroc: apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique (Sr, Nd, Pb)*, Thèse d'Université Clermont Ferrand, France, 156 p., 1985.
- [8] J. J. Cornée, J. Ferrandini, J. Muller, and B. Simon, "Le Haut Atlas occidental paléozoïque: un graben cambrien moyen entre deux décrochements dextres N60°E hercyniens (Maroc)," *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, série II, vol. 305, pp. 499-503, 1987.
- [9] N. Ait Ayyad, *Etude des relations entre déformation et intrusion granitique. L'exemple du granite hercynien d'Azegour (Haut Atlas de Marrakech)*, Thèse. 3e Cycle, Université Cadi Ayyad Marrakech, 148 p., 1987.
- [10] Y. Zerhouni, *Contribution à l'étude géologique de la région d'Azegour et des minéralisations en Mo, W, Cu et Fe. Haut-Atlas de Marrakech-Maroc*, Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 185 p., 1988.
- [11] M. Bouabdellah, *Etude pétrographique et métallogénique du district polymétallique à Pb-Zn-Cu-Ba-Fe et Sn d'Assif El Mal- Bouzouga (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc)*, Thèse de 3 ème cycle, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 321 p., 1988.
- [12] A. El Archi, *Evolution tectono-sédimentaire et métamorphique d'un ségment paléozoïque du Haut-Atlas occidental (Région Bouzouga et Maghoussa)*. Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 134 p., 1989.
- [13] H. Ouanaïmi and J. P. Petit, "La limite de la chaîne hercynienne dans le Haut Atlas marocain : reconstitution d'un saillant non déformé," *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163, pp. 63-72.
- [14] L. Badra, *Les minéralisations polymétalliques (Pb, Zn, Cu, Ba) du Haut Atlas occidental marocain et de ses confins dans leur cadre géodynamique*, Thèse d'Université d'Orléans, 415 p., 1993.
- [15] M. Amenou and L. Badra, "Les granites d'Azegour et de Brikiné (Maroc) : implication génétique d'après la typologie des zircons." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 323, pp. 213-220, 1996.
- [16] S. Berrada, M. Hajjaji and A. Belkabar, "Mineralogical and geochemical features of the wollastonite deposit of Azegour, Haut-Atlas (Morocco)," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 60, pp. 247-252, 2011.
- [17] R. Dias, M. Hadani, I. Leal Machado, N. Adnane, Y. Hendaq, K. Madih and C. Matos, "Variscan structural evolution of the western High Atlas and the Haouz plain (Morocco)," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 39, pp. 311-318, 2011.
- [18] A. El khalile, A. Touil, M. Hibti and E. Bilal, "Metasomatic zoning, mineralizations and genesis of Cu, Zn and Mo Azegour skarns (western High Atlas, Morocco)," *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 21-32, 2014.
- [19] S. Ilmen, *Contribution à l'étude géologique du gîte à Cu-Zn-Pb-Ag-Au d'Amensif (Région d'Azegour- Haut Atlas occidental)*, Mémoire de Master de l'Université Cadi Ayyad, Marrakech, 90 p., 2011.
- [20] S. Ilmen, A. Alansari, A. Bajddi, A. Ennaciri, L. Maacha, "Mineralogical and geochemical characteristics of the Amensif Cu, Pb, Zn, (Ag, Au) ore deposit, Western High Atlas, Morocco", *Journal of Tethys*, Vol. 2, No. 2, 118-136, 2014.
- [21] H. Ouanaïmi, *Evolution sédimentaire et tectonique de la partie orientale du massif ancien du Haut Atlas Maroc*, Thèse d'Université, Montpellier, 402 p., 1989.
- [22] J. J. Cornée, *Le Haut Atlas occidental paléozoïque : un reflet de l'histoire hercynienne du Maroc occidental, stratigraphie sédimentaire et tectonique*, Thèse Es-Sciences Université Saint-Jérôme, Marseille, France, 357 p., 1989.

- [23] A. Prost, L. Badra, and H. El Hasnaoui, "Superposition de trois déformations ductiles hercyniennes dans le Haut Atlas (région d'Azegour-Erdouz, Maroc), " *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, série 309, no. II, pp. 627-632, 1989.
- [24] A. Pouclet, H. Ouazzani and A. Fekkak, "The Cambrian volcano-sedimentary formations of the westernmost High Atlas Morocco): their place in the geodynamic evolution of the West African Paleo-Gondwana northern margin," *Geological Society of London*, vol. 97, pp. 303-327, 2008.
- [25] D. Gasquet, J. Leterrier, Z. Mrini, and Ph. Vidal, "Petrogenesis of the Hercynian Tichka Plutonic Complex (Western High Atlas, Morocco): Trace element and Rb-Sr and Sm-Nd isotopic constraints," *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 108, pp. 29-44, 1992.
- [26] Z. Mrini, A. Rafi, J. L. Duthou and Ph. Vidal, "Chronologie Rb-Sr des granitoïdes hercyniens du Maroc. Conséquences," *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 163, no. 3, pp. 281-291, 1992.
- [27] N. Ait Ayyad, M. L. Reibero, A. R. Sola, M. E. Moreira, R. Dias and M. Bouabdelli, H. Ezzouhairi and A. Charif, "Le granite d'Azegour (Maroc) : cartographie géochimique et interprétation géodynamique," *Communication Instituto Geológico e Mineiro*, Portugal, vol. 87, pp. 155-164, 2000.
- [28] M. Labriki, "Carte géologique au 1/100 000 d'Amizmiz," *Notes et Mémoires Service Géologique du Maroc*, N° 372, 1996.
- [29] J. P. Schaer, *Evolution and structure of High Atlas*, in the anatomy of Mountain Ranges, Princeton University, pp. 107-127, 1987.
- [30] H. Ouazzani, A. Pouclet, L. Badra and A. Prost, "Le Volcanisme d'arc du massif ancien de l'ouest du Haut Atlas occidental (Maroc), un témoin de la convergence de la branche occidentale de l'océan panafricain," *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 172, pp. 587-602, 2001.
- [31] Anonymes, *Rapport inédit*, Compagnie minière de Guemassa, Holding minier de Managem, Marrakech, 2011.
- [32] P. B. Barton and P. M. Bethke, "Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology," *American Mineralogist*, vol. 72, pp. 451-467, 1987.
- [33] P. B. Barton, "Ore textures: problems and opportunities," *Mineralogical Magazine*, vol. pp. 55, 303-315, 1991.
- [34] D. P. Cox *Descriptive model of polymetallic veins*. In: Cox D.P. and Singer D.A, eds. Mineral deposits models: U.S. Geological Survey Bulletin, 1693, pp. 125, 1986.
- [35] L. D. Meinert, "Skarns and skarn deposits," *Journal of the Geological Association of Canada*, vol. 19, pp. 145-162, 1992.
- [36] G. S. Plumlee, M. Montour, C. D. Taylor, A. R. Wallace and D. P. Klein, *Polymetallic vein and replacement deposits*. In du Bray, E.A., ed., 1995, Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models. U.S. Geological Survey Open-File Report 95-831, pp. 121-129, 1995.
- [37] P. G. Vikre, "Intrusion related polymetallic Carbonate replacement Deposits in the Eureka district, Eureka county, Nevada," Nevada Bureau of mines and Geology Bulletin, 110, p. 56, 1998.
- [38] P. Voudouris, V. Melfos, P. G. Spry, T. A. Bonsall, M. Tarkian and Ch. Solomos, "Carbonate-replacement Pb-Zn-Ag±Au mineralization in the Kamariza area, Lavrion, Greece: Mineralogy and thermochemical conditions of formation," *Mineralogy and Petrology*, vol. 94, pp. 85-109, 2008.
- [39] M. T. Einaudi and D. M. Burt, "Introduction terminology, classification and composition of skarn deposits," *Economic Geology*, 77, 745-754.
- [40] H. T. Morris, *Descriptive model of polymetallic replacement deposits*, In: Cox D. P. and Singer D. A., eds. Mineral deposit models. U.S. Geological Survey Bulletin, 1693, 99-100.
- [41] C. S. Eldridge, W. L. Bourcier, H. Ohmoto and H. L. Barnes, "Hydrothermal inoculation and incubation of the chalcopyrite disease in sphalerite," *Economic Geology*, vol. 83, pp. 978-99, 1988.
- [42] P. K. M. Megaw, *Carbonate-hosted Pb-Zn-Ag-Cu-Au replacement deposits: an exploration perspective*. In: Lentz, D, R. (ED.), Mineralized intrusion skarn systems, *Mineralogical Association of Canada, Short course*, vol. 26, pp. 337-413, 1998.
- [43] K. C. Misra, *Understanding mineral deposits*. Kluwer Academic Dordrecht, 2000.
- [44] L. D. Meinert, J. W. Hedenquist, H. Satoh and Y. Matsuhisa, "Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids," *Economic Geology*, vol. 98, pp. 147-156, 2003.
- [45] C. L. Ciobanu and N. J. Cook, "Skarn textures and a case study: the Ocna de Fier-Dognecea orefield, Banat, Romania," *Ore Geology Reviews*, vol. 24, pp. 315-370, 2004
- [46] A. F. Kamona and G. H. Friedrich, "Geology, mineralogy and stable isotope geochemistry of the Kabwe carbonate-hosted Pb-Zn deposit, Central Zambia," *Ore Geology Reviews*, vol. 30, pp. 217-243, 2007.
- [47] M. Jebrak and E. Marcoux, *Géologie des ressources minérales*. Ressources naturelles et Faune (ed) Québec, 2008

- [48] A. Alansari, A. Bajddi and M. Zouhair, "Mise en évidence d'une évolution verticale dans la minéralogie et la typologie des minéralisations à Cu-Zn-Pb-Ag-Ba de Tighardine : Apport à l'exploration minière dans le Haut Atlas occidental (Maroc)," *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, N° 530, pp. 31-44, 2009.
- [49] P. Ramdhor, *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press. Oxford (Ed), vol. 2, 1955.
- [50] V. Marmo, "On the sulphide and sulphide-graphite schists of Finland," *Bulletin de la Commission Géologique de Finlande*, no. 190, pp. 1-180, 1960.
- [51] C. S. Eldridge, P. B. Barton and H. Ohmoto, "Mineral textures and their bearing on the formation of the Kuroko orebodies," *Economic Geology Monographs*, vol. 5, pp. 241–281, 1983.
- [52] K. Bente and T. Doering, "Experimental studies on the solid state diffusion of Cu + In in ZnS and on 'Disease', DIS (Diffusion Induced Segregations), in sphalerite and their geological applications," *Mineralogy and Petrology*, vol. 53, pp. 285-305, 1995.
- [53] T. Nagase and S. Kojima, "An SEM examination of the chalcopyrite disease texture and its genetic implications," *Mineralogical Magazine*, vol. 61, pp. 89-97, 1997.