

Contribution de la géochimie des chapeaux de fer à la prospection des amas sulfurés volcanogènes : Cas du gisement polymétallique de Draa Sfar, Jebilets centrales, Maroc

[Contribution of the geochemistry of gossan to the prospection of volcanogenic sulphide deposits : Case of the polymetallic deposit of Draa Sfar, Central Jebilets, Morocco]

Fouad Lotfi¹ and S. Brunet²

¹Exploration et Gestion des Ressources Naturelles et Environnementale, Université Ibn Zohr, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Maroc

²Managen, Casablanca, Maroc

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The central Jebilets located to the southwest of the Moroccan meseta represent a massive VMS province whose Draa sfar deposit is one of them. The latter predominantly pyrrhotite, contains minerals of the base metals, enclosed in the Saghlef series attributed to the higher visean. The area of Draa sfar is materialized on the surface by the development of gossan with oxides and hydroxides of iron (hematite, goethite, limonite, malachite ...), and shows an orientation NS in the direction of the ore body. The analyzed elements such as Ag, As, Bi, Sn and Te in addition to the desired base metals, made it possible to identify the gossan directly linked to the Draa sfar deposit, and to clearly identify its location. They can be used as a guide to prospecting for gossan and these results can be applied to all gossan around the Draa Sfar area in the central Jebilets and its extrapolation to all Hercynian terrains.

KEYWORDS: Central Jebilets, Draa Sfar, Gossan, exploration, base metal.

RÉSUMÉ: Les Jebilets centrales situées au sud-ouest de la meseta marocaine représentent une province métallifère à amas sulfurés massifs dont le gisement de Draa sfar en fait partie. Ce dernier à prédominance de pyrrhotite, renferme des minéraux des métaux de base, est encaissé dans la série de Saghlef attribué au viséen supérieur. Le secteur de Draa sfar est matérialisé en surface par le développement d'un chapeau de fer à oxydes et hydroxydes de fer (hématite, goethite, limonite, malachite...), et montre une orientation NS selon la direction du corps minéralisé en profondeur. Les éléments analysés tel que Ag, As, Bi, Sn et Te en plus des métaux de base recherchés, ont permis de bien identifier les chapeaux de fer liés directement au gisement de Draa sfar, et de bien cerner son emplacement. Ils peuvent être employé comme guide de prospection des chapeaux de fer et ces résultats peuvent être appliqués sur l'ensemble des indices ferrugineux avoisinant le secteur de Draa Sfar dans les Jebilets centrales voir son extrapolation vers l'ensemble des terrains hercyniens.

MOTS-CLEFS: Jebilets centrales, Draa Sfar, chapeau de fer, exploration, métaux de base.

1 INTRODUCTION

Exploitées depuis plusieurs décennies, la province métallogénique des Jebilets centrales à amas sulfurés n'a sans aucun doute pas encore livrée toutes ses richesses comme le prouvent les récentes découvertes des gisements tel que celui de

Koudiat Aïcha et le gîte de *Lachach* plus au nord. Cependant, dans un tel district minier aussi bien connu, de nouvelles découvertes nécessitent des analyses et des interprétations de plus en plus poussées, pour lesquelles les informations de surface combinées avec celles des forages permettent d'avoir une information ponctuelle extrêmement précise, la géochimie permet une vision plus large avec une couverture importante, une résolution fine et la possibilité de détecter des cibles potentielles. Avant d'effectuer de coûteux levés géophysiques, et des sondages carottés par la suite, il est important de savoir en exploration minérale si les différentes lithologies présentent des données géochimiques intéressantes et discriminatoires que l'on pourra par la suite exploiter pour choisir les méthodes géophysiques qui conviennent le mieux à notre cas d'étude. L'application d'une telle méthodologie devrait permettre 1) de développer une technique d'exploration géochimique, 2) de fournir une approche logique d'un traitement géostatistique pour l'interprétation des résultats de données géochimiques, applicable à d'autres environnements similaires dans la même province métallogénique.

2 GÉOLOGIE RÉGIONALE

2.1 SITUATION ET SUBDIVISION DU MAROC

Le Maroc, est situé à l'extrémité nord-occidentale de la plateforme saharienne de l'Afrique. Il est entouré par les plaques mobiles de la mer méditerranée au Nord et l'océan atlantique à l'Ouest (Fig. 1a). Sa position de charnière, entre les continents africain, européen et américain..., plusieurs cycles orogéniques se sont succédés, contribuant chacun, par son contexte géodynamique et son ampleur, à façonner ses grands domaines structuraux. En conséquence, du Sud au Nord, s'individualise le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien vers le Sud, le domaine atlasique et mesetien et le domaine rifain. Ces trois domaines sont séparés, d'une part, par l'accident sud-atlasique entre les domaines méridional et central et d'autre part, par le front des nappes de charriage (rifaines) tertiaires entre les deux domaines central et septentrional.

Le domaine anti-atlasique et saharien ont été façonné principalement par des orogénèses précambriennes [1] et, d'une manière subordonnée, par des orogénèses paléozoïques (calédonienne et hercynienne). Cependant les domaines rifains, atlasique et mesetien ont été surtout affectés par les orogénèses hercynienne et alpine [2].

Le domaine mesetien est caractérisé de point de vue géologique, par :

- un socle paléozoïque déformé par l'orogénèse hercynienne ou varisque et qui apparaît dans des « boutonnières »: massif hercynien central, Rehamna, *Jebilets*, Midelt, Debdou, Mekkam, Jerada, Beni Snassène [1].
- Une couverture méso-cénozoïque restée quasi horizontale et qui correspond aux plaines et plateaux : Chaouïa, Doukkala, Plateaux des Phosphates, des Ganntour, Bahira, Hauts Plateaux [2].

2.2 CADRE GÉOLOGIQUE DU MASSIF DES JEBILETS

Le massif hercynien des *Jebilets* appartient à la Meseta marocaine, forme un ensemble de collines et de plaines rocheuses de terrains paléozoïques, plissés et métamorphisés. Il est caractérisé par rapport aux autres massifs hercyniens de la meseta marocaine par l'intensité de l'activité magmatique pré à syn-orogénique qu'a connue cette région vers la fin du Carbonifère [3].

Le massif des *Jebilets* parallèle au Haut Atlas de Marrakech, d'une direction générale est-ouest, s'étend dans la moitié occidentale du Maroc, et plonge sous la plaine de la Bahira au nord et la plaine du Haouz au Sud, d'âge Miopliocène et Quaternaire. C'est un ensemble de petites collines formant un chaînon perpendiculaire à la direction des structures hercynienne, de 170 km de longueur et de 7 à 40 km de largeur (Fig. 1b) [3]. Il est limité à l'est par les montagnes du Haut Atlas de Beni-Mellal et à l'ouest par les collines de Jurassico-Crétacé des Mouissat. Au sein de ce domaine s'individualisent des petits pointements du socle paléozoïque orientés N-S à NNE-SSW au sein d'une couverture mio-pliocène et quaternaire.

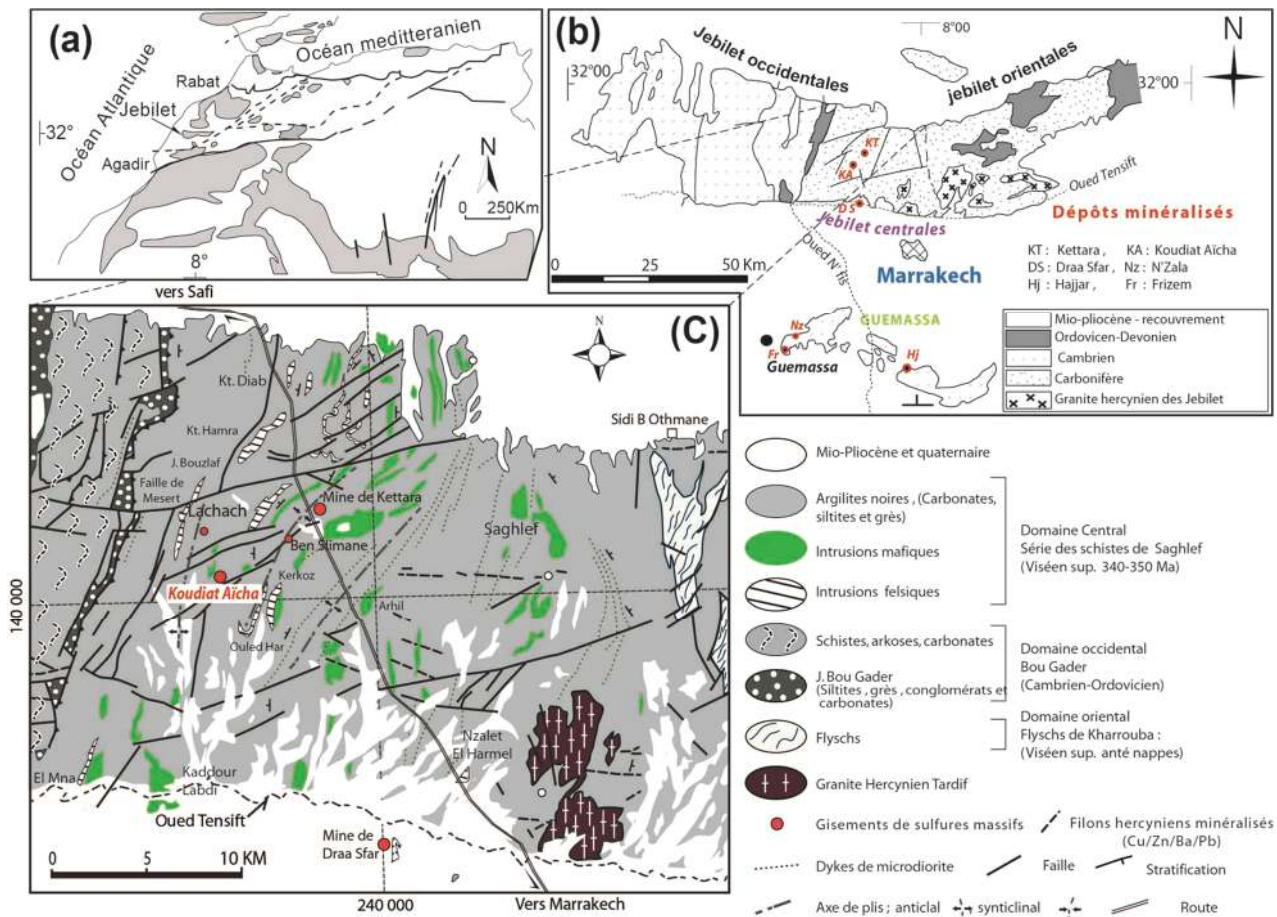


Fig. 1. a) Localisation géographique du massif des Jebilets et des affleurements hercyniens du nord-Afrique (en gris), b) Carte géologique simplifiée et localisations des principaux gisements sulfurés des massifs hercyniens des Jebilets et des Guemassa (Huvelin, 1977), c) Carte géologique des Jebilets Centrales et situation géographique du secteur de Draa Sfar.

2.3 ZONATION STRUCTURALE

Le massif des Jebilets orienté de l'Est vers l'Ouest, est composé de la juxtaposition de trois ensembles distincts: les Jebilets orientales, occidentales et centrales (Fig. 1b). C'est cette partie centrale qui intéresse la présente étude, puisque c'est là, dans les formations volcano-sédimentaires dévono-dinantiennes que se trouvent les amas sulfurés minéralisés exploités à Kettara, Draa Sfar, etc,... (Fig. 1c). Les contacts entre les différentes unités composant les Jebilets (orientales, centrales, occidentales) sont de nature tectonique, chevauchement, faille de décrochement respectivement [3] :

- La zone orientale (ou *flyschs de Kharrouba*) correspondant à des terrains allochtones constitué de métasédiments datés de Viséen supérieur et caractérisés par la présence d'olistrostromes et de séries ordovico-dévonienne [3], [4] mises en place par des phénomènes de glissements gravitaires pendant les phases précoces de l'orogénèse hercynienne au sein d'un bassin Viséen [3], [5].
- La zone centrale (ou *schistes de Sarhlef*), datés du Viséen-Namurien par *Posidonomya becheri* Bronn, bivalve pélagique [3], se présente sous forme d'une bande de 25 km de large, limitée au nord par la plaine de Bahira et s'enneie au Sud sous la couverture quaternaire du Haouz (Fig. 1c). Ils sont déformés métamorphisés dans des conditions anchi à épizonales.
- La zone occidentale, est dite de «*Bou Gader* » formée de séries cambro-ordoviciennes [3], [6], faiblement plissées (direction sub-méridienne) et peu ou pas métamorphisées.

2.4 STRATIGRAPHIE DES JEBILETS CENTRALES: SÉRIE DE SARHLEF

La série des schistes de saghlef qui est la composante stratigraphique principale des Jebilets centrale, d'âge Viséen-Namurien couvre une grande surface et constitue l'unité centrale des Jebilets [3] [7]. Elle s'agit d'une sédimentation d'argilite

de plate-forme anoxique [8], intercalée essentiellement de bancs gréseux. Cette série est marquée par l'apparition d'une sédimentation calcaire au sommet formant la base de la série de Teksim [9].

L'extension orientale de la série de Saghlef s'arrête à un cisaillement ductil hercynien NNW-SSE dans le secteur de Sidi Bou Othmane [10]. Ce cisaillement met en contact la série des schistes de Saghlef à l'ouest et les flyschs de Kharrouba à l'Est. Cette formation renferme des tufs acides et basiques ainsi que des volcanites acido-basiques (gabbros, andésite, dacite et rhyolite). Elle passe verticalement à la série transgressive de Teksim formée de schistes, de calcaires bioclastiques et de grès. De nombreux amas sulfurés d'importance économiques (Kettara, Ben Slimane, Koudiat Aïcha, Jebel Hadid, Bouhane, Nzalet El Harmel et Draa Sfar etc.) sont présents dans cette série notamment entre le complexe formé de roches volcanique et volcanoclastique et la base du complexe supérieur calcaireux.

Les travaux de Bordonaro [11] ont permis de décomposer cette formation en trois complexes :

- le complexe inférieur de Jebel Rhira, constitué principalement de quartzites et de roches quartzo-pélitiques ;
- le complexe volcanosédimentaire de Jebel Sarhlef est formé de deux membres :
 - ✓ le membre inférieur à volcanisme acido-basique, constitué essentiellement de (ultramafites, gabbros, dacites, rhyodacites et rhyolites),
 - ✓ le membre supérieur à quartz-kératophyres, brèches d'explosion, tufs agglomératiques et laves
- le complexe supérieur de Teksim à calcaires microconglomératiques et bioclastiques à la base et de pélites gréseuses à son sommet.

2.5 TECTONIQUE, MÉTAMORPHISME ET MAGMATISME

Sous l'effet des déformations hercyniennes polyphasées, les terrains carbonifères (schistes de Sarhlef) et les roches associées sont affectés par une intense déformation hercynienne et post hercynienne. Ces terrains ont subi un plissement très serré accompagné d'une schistosité de flux S1 subméridienne omniprésente, et originelles (stratification, polarité, etc...). Ils sont d'abord affectés par une phase de plissement synschisteuse (subméridienne), associée à un métamorphisme épizonal d'âge post-Viséen supérieur [12], suivie ensuite par des cisaillements sub-parallèles à la schistosité de flux (S1), eux mêmes repris par un plissement associé à une schistosité de crénulation (S2) avec parfois une transposition des phyllites de la schistosité S1. La tectonique cassante se matérialise essentiellement par des failles N70 à N90, des décrochements senestres N160 et de grandes failles subméridiennes associées aux fossés stéphano-permiens [13].

Deux types de métamorphismes ont été identifiés dans les Jebilets centrales:

- Le métamorphisme de contact est marqué par l'apparition autour de certaines intrusions, telles que les granites d'une auréole de métamorphisme,
- Le métamorphisme régional affectant les matériaux à l'échelle du district est faible. Les paragenèses minérales mise en évidence est essentiellement à séricite + chlorite [3] et l'indice de cristallinité de l'illite [11], [14] confirment qu'il s'agit bien d'un métamorphisme épizonal.

Une intense activité magmatique est connue dans les Jebilets centrales à la fin du Carbonifère. Ce magmatisme est préorogénique mais postérieur au viséen moyen-supérieur [15]. Il s'est manifesté dans un contexte géodynamique distensif, sous forme de filons, de dykes, de coulées ou de sills intrusif, dans les schistes de Saghlef. Les roches magmatiques basiques et acides, dérivées d'un magma parent [15] sont représentées par des gabbros des dolérites, des trondhjémites, des rhyolites, des quartz kératophyrique... Un stock granitique de tendance calco-alcaline est décrit dans la région. Le tout est recoupé par un faisceau de microdiorite à la phase tardi-hercynienne.

2.6 GÉOLOGIE DES JEBILETS CENTRALES

La zone des Jebilets centrale a témoigné au cours des temps par sa forte contenance en indices à minéralisations sulfurées de type amas sulfurés volcanogènes VMS. Cependant seules les deux formations géologiques de Saghlef et de Teksim présentent un intérêt métallogénique important pour ces amas sulfurés stratiformes. Ces minéralisations sulfurées déformées et pré-tectoniques, semblent spatialement liées aux sills magmatiques mafiques (Kettara, Koudiat Aïcha) ou felsiques (Draa Sfar). Elles se répartissent le long de trois axes sub-parallèles de direction méridienne :

- L'alignement oriental est constitué par le gisement de Draa Sfar et l'indice des schistes limonitisés de Nzalet El Harmel.

- L'alignement central renferme le gisement de Kettara, de Ben Slimane et l'indice de Kerkoz.
- L'alignement occidental est formé par le gisement de Koudiat Aïcha, de Laachach, de Bouhane et de Jebel Hadid.

Ces corps minéralisés montrent un enracinement en profondeur, traduisent en affleurement une altération supergène marquée par le développement de chapeaux de fer constitués essentiellement d'oxydes et hydroxydes de fer (hématite et de goethite) [16], [17] [18], [19], dont la profondeur peut atteindre 1500 m [20], [21], [22], [23].

3 GÉOLOGIE LOCALE DU DISTRICT MINIER DU SECTEUR DU GISEMENT DRAA SFAR

3.1 PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ EXPLOITANTE

Le secteur de Draa Sfar relève de la commune rurale Harbil de la subdivision de Marrakech (Caïdat BOUR), dans la région de Marrakech-Safi. La compagnie minière des Guemassa "CMG" est une filiale de Managem Holding de l'*Omnium Nord Africain* "ONA" détient les permis d'exploitation du secteur de Draa Sfar et celui de Koudiat Aïcha cédé par l'Office National des Hydrocarbures et des Mines "ONHYM". Elle développe actuellement les travaux de la mine de Koudiat Aïcha et exploite le gisement polymétallique de la mine de Draa Sfar (Tazakourt et Sidi Mbarek) plus au sud dans les Jebilets centrales et la mine Hajjar dans le massif des Guemassa. Elle est la plus importante compagnie minière au Maroc, et exploite actuellement des minerais de Plomb, Cuivre et de Zinc, et produit la moitié de la production du Maroc en métaux de base non ferreux.

3.2 HISTORIQUE DE DÉCOUVERTE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

Les travaux divers ont débuté dans le massif des Jebilets centrales par la découverte et l'exploitation des chapeaux de fer et des filons plombo-zincifère suivi par des études géophysiques au sol. Une seconde étape des travaux démarre par l'exploitation et l'intensification des recherches des secteurs avoisinant l'ancienne mine de pyrrhotine de Kettra (Fe, Cu 0,7 %) visant une augmentation des ressources minérales et une minéralisation polymétallique (Cu, Pb, Zn).

En 1953, fut découvert du chapeau de fer de Draa Sfar Nord par le SEGM (Service d'Etudes des Gîtes Minéraux), ce qui a permis de renforcer de la production en métaux de base par le fonctionnement de la mine de Draa Sfar Nord rapidement abandonnée. Parallèlement, des études se sont multipliées ayant aboutis en 1962 à la mise en évidence d'une anomalie de Koudiat Tazakourt (Draa Sfar Sud), et la découverte en 1966 par sondages carottés d'un amas sulfuré à pyrrhotine et métaux de base sur Draa Sfar Sud. Depuis, des travaux de recherche d'amas sulfurés dans les massifs des Jebilets et des Guemassa ont été entrepris par divers organismes nationaux et étrangers (ministère de l'énergie et des mines BRPM –BRGM, REMINEX). Dans ce cadre que le gisement de Hajjar fut découvert dans le massif de Guemassa grâce à un levé magnétique aéroporté, ce qui a permis le déclenchement des études géologiques et gîtologues approfondies visant les amas sulfurés du district des Jebilets Centrales. C'est en 2004, et pour renforcer et soutenir la production du site minier de Hajjar, que la compagnie minière CMG a lancé l'exploitation du gisement polymétallique de Draa Sfar Sud (Pb, Zn, Cu), ainsi que le gisement polymétallique de Tighardine en 2007, situé à 70 km au sud-est de la mine de Hajjar.

3.3 CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DU SECTEUR DU GISEMENT DRAA SFAR

Le district minier de Draa Sfar constitue la terminaison sud du chaînon hercynien des Jebilets centrales à cheval sur la bordure nord de la plaine du Haouz. Il est situé à 13 Km au NW de la ville de Marrakech, dans le compartiment tectonique majeur méridional de l'unité centrale des Jebilets. L'accès est assuré par deux routes longeant le massif au Nord et au Sud, celle joignant la ville de Marrakech à la ville de Safi et celle allant de Marrakech vers le village de Souihla par une piste goudronnée d'environ 5Km partant du point kilométrique 10.

Le district du gisement de Draa Sfar est formé par une structure minéralisée lenticulaire à fort pendage, formant un alignement méridien sub-vertical, actuellement exploité par la C.M.G/Draa Sfar [25], [26]. A l'affleurement la minéralisation s'exprime en surface par son chapeau de fer de couleur jaunâtre (hydroxyde de fer "limonite"), à l'origine du nom de l'endroit ("bras jaune" en arabe). A la suite de ces affleurements à chapeaux de fer, le secteur de Draa Sfar est subdivisé en deux sous-domaines, localisés sur les deux rives nord et sud de l'Oued Tensift (Fig. 2):

- **Draa Sfar Nord** ou gisement de *Sidi Mbarek* "ou harbill tensift", localisé sur la rive nord de l'oued Tensift à quelques centaines de mètres au nord de Koudiat Tazakourt (Draa Sfar sud). Il est représenté par un pointement de socle hercynien de dimension modeste orienté NS (300m) où affleure un chapeau de fer bien développé sur des faciès sédimentaires dominés par des pélites carbonatée. L'ensemble de la formation constitue la continuité latérale nord de Draa Sfar Sud [14].

- **Draa Sfar Sud** ou gisement de *Koudiat Tazakourt*, est occupée par de des petites collines isolées du reste des Jebilets dont l'ensemble couvre une superficie de 3km². Ce secteur présente un chapeau de fer moins développé par rapport à celui de Draa Sfar Nord, ainsi que l'essentiel des corps volcaniques acides et les pyroclastites associées intersratifiés dans la série de schiste de Saghlef, apparaît au Sud de l'Oued Tensift, sous forme d'un pointement beaucoup plus grand que le précédent, émergeant de la couverture mio-pliocène et quaternaire [14], [26].

3.4 STRATIGRAPHIE, LITHOFACIÈS ET MINÉRALISATIONS

Le secteur de Draa Sfar est formé par un ensemble de roches sédimentaires (70%) et magmatiques (30%). Les unités sédimentaires affleurant à Draa Sfar sont affectées par un métamorphisme de type schiste vert à mica blanc, chlorite, quartz et épidote. Ces formations présentent des schistes chloriteux parfois rubéfiés renferment des lambeaux de chapeaux de fer. La stratigraphie locale est partiellement oblitérée sous l'effet conjoint de la déformation et du métamorphisme à tendance générale des roches en une succession homoclinale de direction généralement NS à fort pendage vers l'Est.

Plusieurs sondages ont intercepté un horizon minéralisé en sulfures, en plus des unités lithologiques reconnues à l'affleurement. La succession lithostratigraphique du site est comme suit [25], [26]:

- *Formation de mur*, est principalement constituée par des Tufs et des métapélites massives très déformées, transformées en schistes à grains fins à séricite-chlorite-quartz-actinote.
- *Formation de toit* est constituée par des métapélites carbonatées avec des intercalations des calcaires gréseux au Sud et par les métapélites carbonatées au Nord.
- *Formation intermédiaire* formée par la minéralisation polymétallique massive à prédominance de pyrrhotite suivie par la sphalérite, la chalcopryrite, la galène l'arsénopyrite et les oxydes et hydroxydes de fer. La mise en place de cette minéralisation a développé un halo d'altération hydrothermal bien développé.

4 CHAPEAUX DE FER DE DRAA SFAR

4.1 DISPERSION, ET TEXTURE DES CHAPEAUX DE FER

A l'affleurement, les chapeaux de fer du secteur de Draa Sfar sont présents en deux zones bien distinctes :

- **Draa Sfar Nord : Sidi Mbarek**

Le gisement *Draa Sfar Nord*, affleurant au nord de l'oued Tensift sous forme d'un gîte minéralisé allongé N-S et de dimension relativement modeste (20 à 70 m de large et plus de 350 m de long). Il est caractérisé par un chapeau de fer bien développé sur des faciès sédimentaires dominés par des métapélites carbonatées rubéfiées et blanchies intensément altérées, intercalées par des sills magmatiques, souvent masqués par des alluvions Plio-Quaternaires. Dans ce gossan, la texture bréchique du minerai est la plus fréquente, cependant un caractère massif bien marqué apparaissant de façon circonscrite. La brèche est formée d'éléments de quartz, de taille millimétrique à centimétrique, en majorité anguleux emballés dans une matrice ferrugineuse [14], [26].

- **Draa sfar Sud : Koudiat Tazakourt**

Les chapeaux de fer identifiés au niveau du secteur de Draa Sfar Sud sont moins développés que ceux de Sidi Mbarek [14], [24], [25]. Ils se répartissent à Est et Ouest de Koudiat Tazakourt, et sont essentiellement concentrés dans les zones rubéfiées des roches volcaniques acides et au sein des schistes rubéfiés proches du contact. Ces chapeaux de fer sont plus prépondérants au niveau de la partie Est de Koudiat Tazakourt dont la largeur varie du 1 à quelques mètres [14], présentent un allongement de direction méridienne ou NNW-SSE. Leurs limites ne sont pas toujours nettes, et se perdent souvent dans les zones rubéfiées. La texture du minerais est massive, collomorphe ou géodique dont une nette prédominance de l'hématite sur la goethite et l'omniprésence de quartz [14].

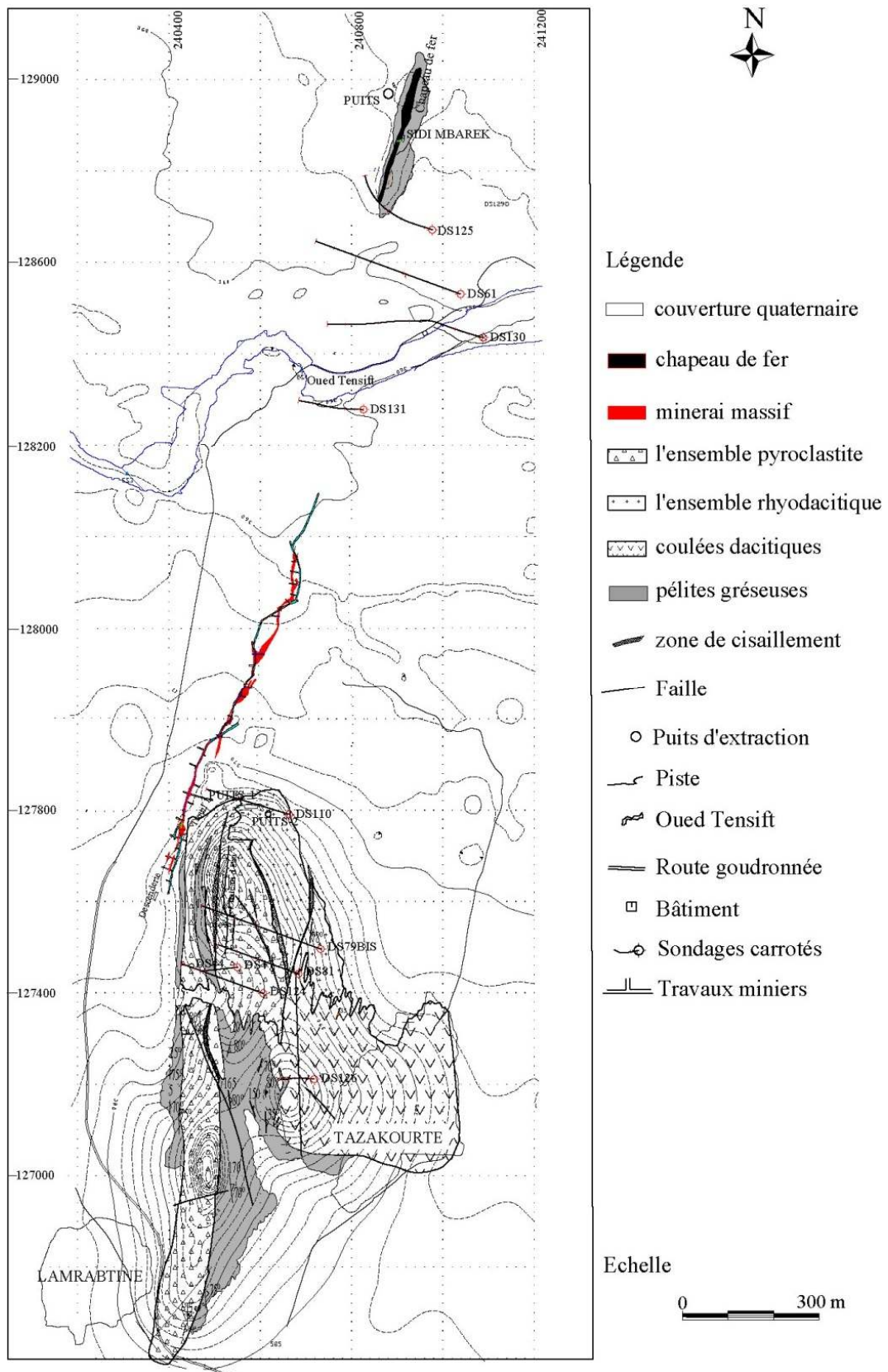


Fig. 2. Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (document modifié de CMG/ Draa Sfar)

4.2 MINÉRALOGIE DES CHAPEAUX DE FER

A l'œil nu, les faciès de chapeau de fer montrent une absence totale de sulfures primaires [14]. Dans ces faciès, la pyrrhotite qui constitue la principale composante du protore de la minéralisation de Draa Sfar s'est en totalité désulfurée. Elle s'est transformée en oxydes et hydroxydes de fer (ocre) accompagnée par la migration de divers éléments chimiques mis en solution dans un milieu acide vers la profondeur (zone de cimentation). La paragenèse minérale est formée principalement par l'hématite et la goethite.

Comme dans d'autres "chapeaux de fer" des Jebilets centrales, des poches de goethite (prédominante) de dimensions variables sont isolées dans une masse d'hématite brune s'observant sur les parois d'anciens grattages [14]. L'observation microscopique a permis de constater que l'hématite constitue la phase dominante sous forme de plages xénomorphes qui se transforment depuis les bordures en goethite avec une texture en concrétion. Les minéraux résiduels peu abondants, sont présentés surtout par le quartz et plus rarement par la muscovite. L'établissement d'un ordre chronologique permet d'attribuer les oxydes et hydroxydes de fer à une transformation secondaire des sulfures primaires (altération chimique). La pyrrhotite s'est transformée en premier lieu en pyrite, en hématite en second lieu arrivant à la goethite et rarement en minéraux argileux en phase finale [14].

5 RÉSULTAT

5.1 TRAITEMENT STATISTIQUES DES DONNÉES

Ce travail porte sur dizaine d'analyses de quelques éléments chimiques ne peut se mener sans traitements statistiques. Pour les traitements de données qui vont suivre, nous n'avons d'aucune façon filtré les données brutes pour éliminer telle ou telle valeur erratique ou corriger les valeurs brutes empruntés depuis les anciens travaux [14]. En tout temps, nous nous sommes servis des données brutes, cependant les éléments chimiques dont les valeurs sont au-dessus de la limite de détection ont été ramenés à une valeur nulle pour faciliter les traitements statistiques.

Ainsi pour une bonne description géochimique de l'ensemble des échantillons, les méthodes statistiques usuelles de traitement univariés et à plusieurs variables ont été utilisées.

5.2 STATISTIQUES ÉLÉMENTAIRES

Le but des analyses chimiques des échantillons de chapeau de fer était en plus de déterminer les teneurs de chaque éléments, de définir par la suite les seuils de bruit de fond et celui de l'anomalie pour chaque élément analysé et, s'il y a lieu, de circonscrire des concentrations anormales pour certains éléments qui pourraient servir de guide pour la prospection minière.

Cette étude s'est fondée sur un total de 32 échantillons à 367 analyses récupérées. Dans ce cas des amas sulfurés, les éléments majeurs n'ont pas été pris en compte, de même pour tous les éléments mineurs, du fait que leur contenu était sous la limite de détection suite à l'intense lessivage sous l'action météorique et la probabilité de sa présence dans la minéralisation primaire. En somme, cette approche permettra de minimiser le nombre des éléments chimiques à analyser visons une approche des moyens facilement accessible pour toute opération de prospection minière sur place (Spectromètre de FX (XRF) portatif). Les éléments analysés sont: Ag, As, Ba, Bi, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sn, Te et Zn.

Le tableau 1 présente quelques statistiques élémentaires pour les éléments analysés. Les résultats de ces éléments renferment des valeurs maximum relativement aux valeurs moyennes correspondantes pour chaque élément et pour chaque site minier du district minier de Draa Sfar. Un calcul de l'indice de polymétallisme a été réalisé faisant ressortir la différenciation chimique de deux sites bien distincts géographiquement (Tab. 2). Le site de Sidi Mbarek marque une nette différenciation (1,3) par rapport à celui de Koudiat Tazakourt. Cette différenciation traduit que les éléments chimiques au niveau du site de Sidi Mbarek reflètent la nature polymétallique du protore et qu'ils ont beaucoup été retenus que dans le site de Koudiat Tazakourt traduisant leur pauvreté dans les faciès encaissantes à la suite du degré élevé d'acidité du milieu.

Les éléments tels que l'As, Ba, Bi, et Cu présentent des étendues de plage de données assez important, témoignent de leur fort degré de rétention. Ces éléments dont les valeurs extrêmes auront un impact sur l'interprétation des résultats obtenus par les méthodes classiques en se basant sur les valeurs moyennes. Les autres éléments notamment dans le cas du Zn, Pb, présentent des valeurs minimum avec de faibles étendues et des écarts-type petits qui peuvent être attribué au degré de mobilité des éléments et au lessivage lors des actions météoriques.

Les histogrammes de fréquence des différents éléments chimiques analysés sont illustrés par la figure 3. Ils montrent le caractère unimodal homogène des résultats formés par une seule population. Ce caractère unimodal traduit la mise en place des minéralisations à la suite du même événement minéralisateur et à partir de la même source de fluide.

Tableau 1. Statistique élémentaire des éléments traces analysés des chapeaux de fer du secteur de Draa Sfar

| Site | Elém. | Ag | As | Ba | Bi | Co | Cu | Mo | Ni | Pb | Sn | Te | Zn |
|-------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Sidi Mbarek | Max | 160,00 | 2540,00 | 600,00 | 380,00 | 136,00 | 23400,00 | 52,00 | 35,00 | 460,00 | 99,00 | 98,00 | 315,00 |
| | Min | 0,00 | 141,00 | 28,00 | 0,00 | 36,00 | 52,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Moy | 43,61 | 1193,75 | 173,00 | 127,50 | 77,33 | 3329,77 | 19,86 | 11,69 | 66,00 | 27,29 | 32,75 | 75,00 |
| | Ecartype | 69,48 | 1010,48 | 219,30 | 172,41 | 52,20 | 6281,36 | 17,82 | 13,50 | 130,08 | 35,74 | 44,51 | 93,08 |
| Tazakourt | Max | 56,00 | 309,00 | 1545,00 | 86,00 | 170,00 | 4033,00 | 14,00 | 127,00 | 74,00 | 15,00 | 7,00 | 240,00 |
| | Min | 0,00 | 0,00 | 51,00 | 0,00 | 32,00 | 52,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 |
| | Moy | 17,00 | 104,75 | 485,00 | 21,50 | 98,00 | 1114,85 | 6,63 | 18,62 | 26,54 | 4,57 | 1,75 | 90,85 |
| | Ecartype | 23,09 | 145,71 | 617,81 | 43,00 | 69,20 | 1270,68 | 5,97 | 34,74 | 23,58 | 6,16 | 3,50 | 74,87 |
| Draa Sfar | Moy | 30,3 | 649,3 | 329,0 | 74,5 | 87,7 | 2222,3 | 12,8 | 15,2 | 46,3 | 15,9 | 17,3 | 82,9 |

Tableau 2. Indice de polymétallisme de Sidi Mbarek et Koudiat Tazakourt

| | Ag | As | Ba | Bi | Co | Cu | Mo | Ni | Pb | Sn | Te | Zn | Indice de Poly-métallisme |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
| Sidi Mbarek | 1,4 | 1,8 | 0,5 | 1,7 | 0,9 | 1,5 | 1,6 | 0,8 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 0,9 | 1,3 |
| Tazakourt | 0,6 | 0,2 | 1,5 | 0,3 | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 1,1 | 0,7 |

5.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Une première interprétation des résultats des analyses des chapeaux de fer a été basée sur l'utilisation des courbes gaussiennes logarithmiques permettant de réduire l'asymétrie de la distribution des populations de données brutes. Il est généralement reconnu que les éléments traces possèdent une distribution naturelle lognormale. Sur un papier à échelle gaussienne logarithmique, une telle distribution sera représentée par une droite brisée de trois segments de droite marquée par des points d'inflexions produites par le changement de pente de leur graphisme faisant ressortir trois domaines (bruit de fond, zone de transition et zone anomale). L'exemple de ce type de distribution est représenté à la figure 4 pour l'ensemble des éléments chimiques analysés. Les résultats d'interprétation de distribution ont été reportés dans le tableau 3. Ces résultats serviront par la suite lors de l'interprétation des données de même à la réalisation cartes isovaleurs géochimiques.

Les corrélations entre les éléments de notre étude ont été réalisées afin de saisir des liens possibles entre eux. De plus, de fortes corrélations nous permettraient peut-être de réduire le nombre d'éléments à analyser pour les prochaines études ou encore de renforcer une anomalie en considérant l'effet conjoint de ces éléments. Les résultats de cette étude sont donnés sur un tableau combiné des corrélations (Tabl. 4). Dans notre cas nous n'avons retenu que la valeur absolue des coefficients de corrélation supérieurs à 0,7. Avant de voir en détail, les principales corrélations, il serait bon, de remarquer que les corrélations observées sont en fait la combinaison de corrélations reliées à la composition chimique du fluide minéralisateur responsable de la mise en place des minéralisations du secteur de Draa Sfar et les faits de l'altération chimique. Les corrélations entre ces éléments mineurs sont en grande partie presque toutes positives et peu généralisées. On peut cependant noter l'existence de deux familles d'affinité préférentielle présente le constat : As-Bi-Te et Pb-Cu. Cette constatation a été prouvée également par la méthode d'ACP (Fig. 5).

Le tableau 5 résume l'ensemble des anomalies de la présence étudiée. On note une nette association de l'ensemble d'anomalies dans le site de Sidi Mbarek. L'anomalie d'Ag et celle du Pb prouvent la présence d'une galène argentifère dans le protore. Les anomalies de Cu, As, Bi, Sn, Te sont attribuées à la présence de la chalcopryrite, la stannite, et l'arsénopyrite. La présence de ces minéraux témoigne leur mise en place à une haute température traduisant la proximité de la zone nouricière "stockwerk".

Tableau 3. Limite de détection des anomalies du chapeau de fer de Draa Sfar

| | Ag | As | Ba | Bi | Co | Cu | Mo | Ni | Pb | Sn | Te | Zn |
|---------------------------|--------|----------|---------|--------|-------|-----------|-------|-------|---------|-------|------|--------|
| Bruit de fond | < 58 | < 850 | < 600 | < 85 | < 55 | < 5000 | < 18 | < 30 | < 100 | < 18 | < 25 | < 90 |
| Zone de transition | 58-120 | 850-1200 | 600-900 | 85-150 | 55-90 | 5000-8500 | 18-32 | 30-40 | 100-180 | 18-50 | <25 | 90-200 |
| Zone anormale | >120 | >1200 | >900 | >220 | >90 | >8500 | >32 | >40 | >180 | >50 | | >200 |

Tableau 4. Matrice de corrélation des éléments traces analysés des chapeaux de fer de Draa Sfar

| Variables | Ag | As | Ba | Bi | Co | Cu | Mo | Ni | Pb | Sn | Te | Zn |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ag | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| As | 0,00 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Ba | 0,00 | 0,00 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Bi | 0,00 | 0,85 | 0,00 | 1,00 | | | | | | | | |
| Co | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | | | | | | | |
| Cu | 0,42 | 0,18 | 0,03 | 0,20 | 0,42 | 1,00 | | | | | | |
| Mo | 0,29 | 0,29 | -0,01 | 0,24 | -0,22 | -0,16 | 1,00 | | | | | |
| Ni | -0,02 | -0,09 | 0,74 | -0,15 | 0,12 | 0,23 | -0,03 | 1,00 | | | | |
| Pb | 0,48 | 0,30 | 0,03 | 0,36 | 0,34 | 0,94 | -0,13 | 0,03 | 1,00 | | | |
| Sn | -0,02 | 0,44 | 0,00 | 0,46 | 0,13 | 0,19 | 0,20 | -0,10 | 0,22 | 1,00 | | |
| Te | 0,00 | 0,95 | 0,00 | 0,94 | 0,00 | 0,21 | 0,26 | -0,10 | 0,36 | 0,33 | 1,00 | |
| Zn | 0,09 | 0,03 | 0,41 | 0,09 | 0,18 | 0,30 | 0,05 | 0,29 | 0,30 | 0,50 | -0,01 | 1,00 |

Tableau 5. Anomalie des éléments chimiques de chapeau de fer du district de Draa Sfar

| Elément | Ag | As | Ba | Bi | Co | Cu | Mo | Ni | Pb | Sn | Te | Zn |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Sidi Mbarek | ** | ** | * | ** | * | * | * | * | * | ** | ** | ** |
| Koudiat Tazakourt | | | ** | | ** | | | * | | | | * |

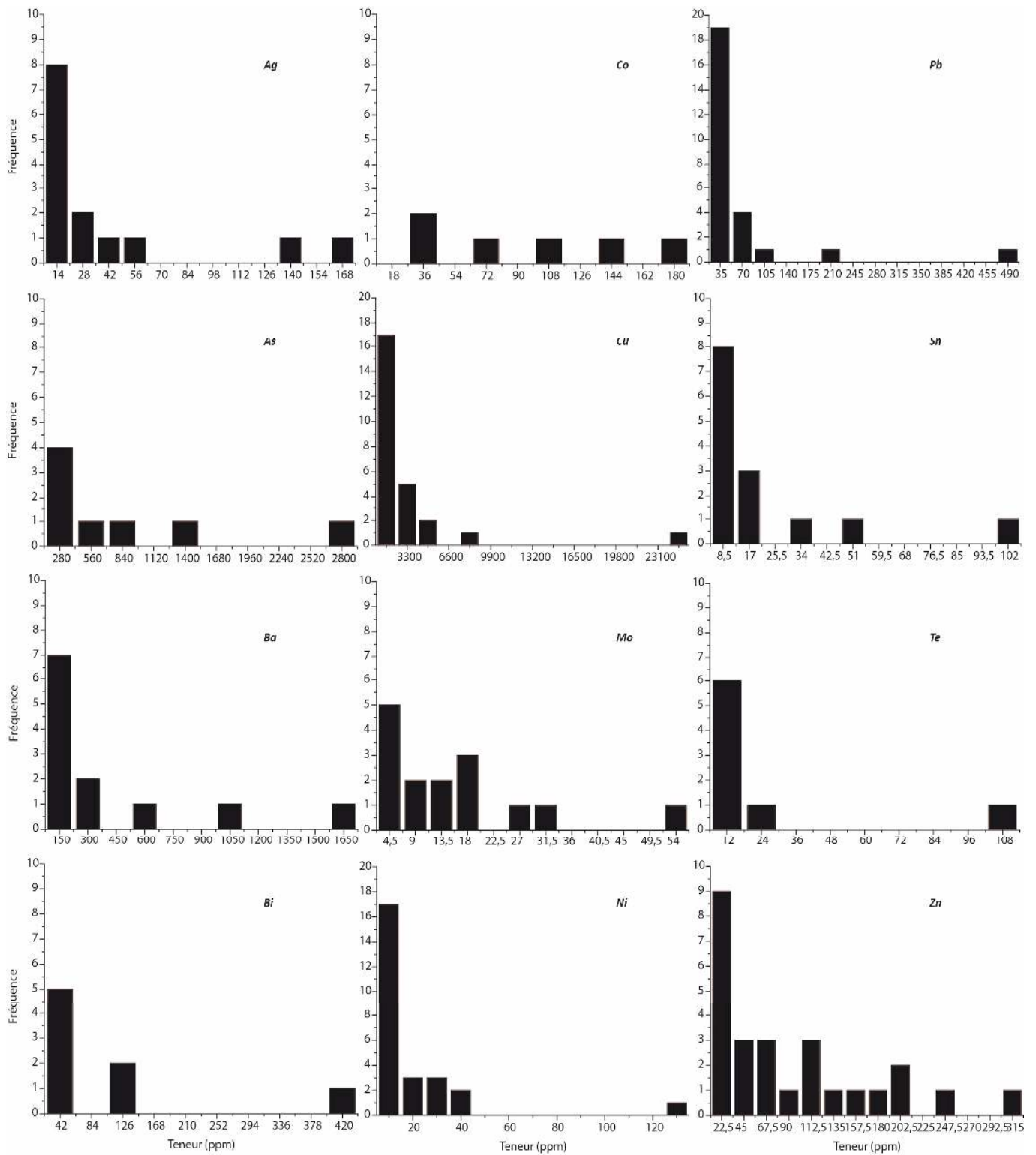


Fig. 3. Histogramme de fréquence des éléments traces du chapeau de fer du secteur de Draa Sfar

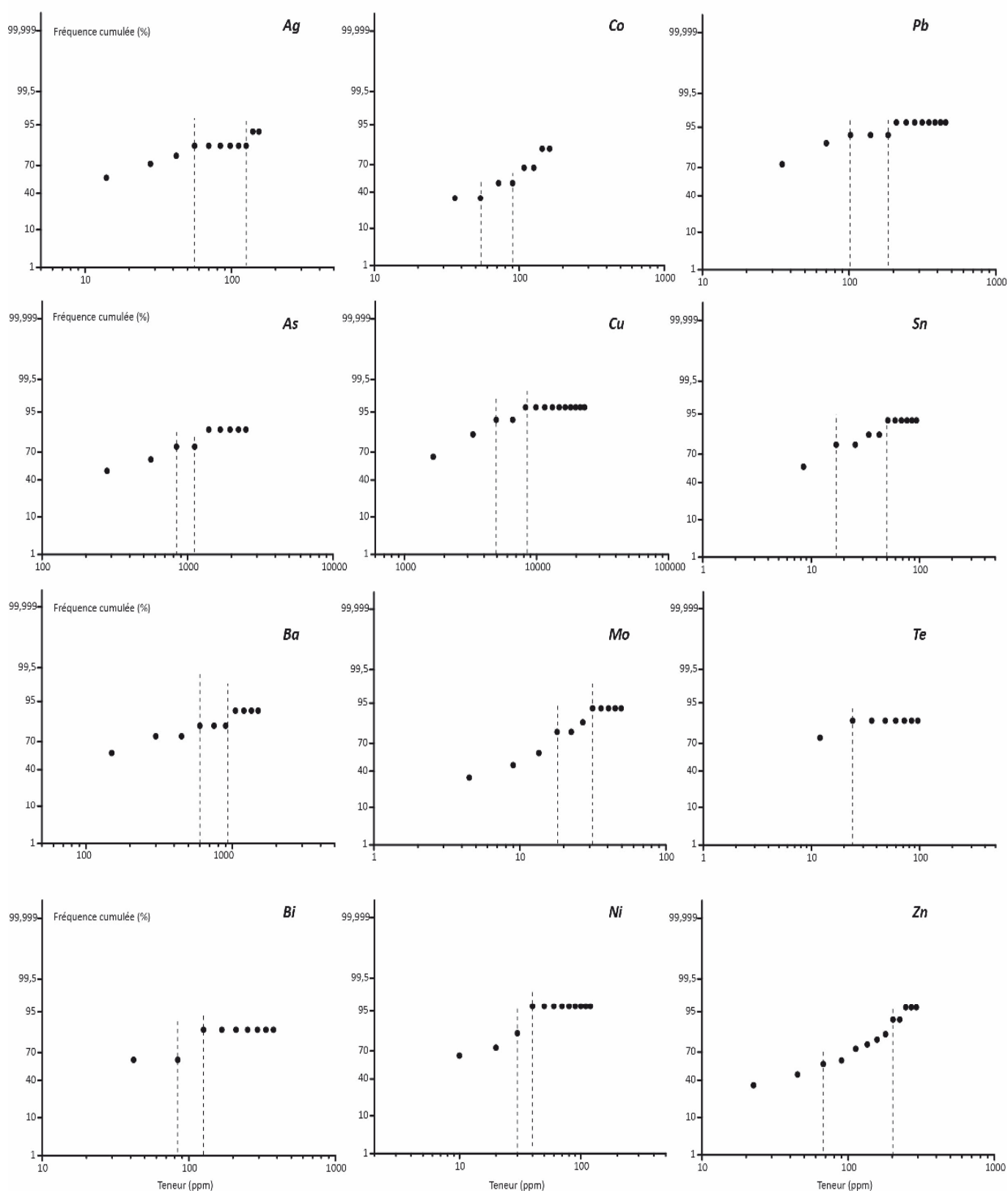


Fig. 4. Représentation graphique des fréquences cumulées des éléments du chapeau de fer en fonction de leurs teneurs

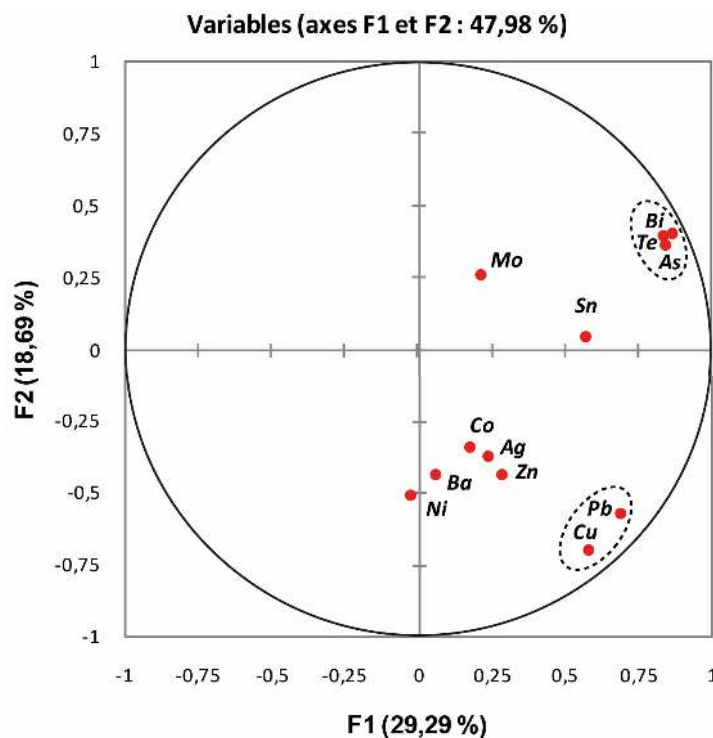


Fig. 5. Analyse des composantes principales des analyses des chapeaux de fer de Draa Sfar

6 DISCUSSION

Cette étude constitue une des applications de la géochimie des chapeaux de fer à l'évaluation du potentiel minéral du secteur de Draa Sfar. Le fait de concentrer l'échantillonnage dans le secteur du district minier de Draa Sfar est intéressant pour dégager quelques guides de prospection locale eau voisinage et au contact immédiat de l'emplacement du gisement, et d'étendre les résultats sur l'ensemble des Jebilet Centrales.

Au niveau du secteur de Draa Sfar, la minéralisation sulfurée est marquée à affleurement par le développement de chapeaux de fer bien individualisé au niveau de Sidi Mbarek et mon évolué dans le secteur de Tazakourt. Les conclusions tirées de la statistique classique et celles déduites des variogrammes concordent assez bien. Le caractère unimodal homogène pour l'ensemble des éléments traduit l'appartenance à la même population et par conséquent au même cycle minéralisateur. Il suffit d'analyser les échantillons de chapeau de fer du même contexte pour l'élément recherché en association avec quelques minéraux indicateurs dont le but d'optimiser les coûts inhérents à l'amont pour un tel projet par la diminution du nombre d'éléments à analyser et d'augmenter le nombre d'échantillons suffisants pour obtenir une confiance statistique valable.

Les résultats des éléments analysés du chapeau de fer du secteur du gisement de Draa Sfar ont servi de déterminer les seuils pour chaque élément chimique pour un éventuel traçage des cartes de symboles gradués des différents éléments en tenant compte avec les valeurs locales du bruit de fond et anomalique pour chaque élément analysé. Les valeurs élevées du bruit de fond des chapeaux de fer dans le secteur ont été attribuées au caractère minéralisé de la roche mère formant le protore encaissé dans les roches sédimentaires du gisement de Draa Sfar, ainsi qu'au caractère mobile de certains éléments chimiques (Cu) et à la présence de roches carbonatées actives formant un piège naturel des éléments mis en solution.

L'interprétation des données de Draa Sfar fait ressortir deux sites bien distincts : celui de Sidi Mbarek polymétallique bien évolué et celui de Kouadiat Tazakourt moins métallique et peu évolué. Elle a cependant montré que les chapeaux de fer associés site de Sidi Mbarek sont liés directement aux lentilles minéralisées situées en profondeur [26]. Cependant les chapeaux de fer de Kouadiat Tazakourt ne coiffent pas directement le corps minéralisé situé plus à ouest des affleurements. Cette constatation a été renforcée ultérieurement par les méthodes géophysiques (magnétiques, gravimétriques) et confirmé par les sondages carottés ayant intercepté en plus des unités lithologiques connues à l'affleurement le corps minéralisé en profondeur exploité actuellement et plus polymétallique [25].

En dépit de l'abondance très basse des éléments de Ag, As, Bi, Sn et Te dans les chapeaux de fer du Sidi Mbarek, ces éléments pourraient être employés comme étant de bons éléments localisées à la proximité de la minéralisation

polymétallique au cours de l'exploration des minéralisations sulfurées similaires dans les Jebilets centrales et Guemassa, voir son extrapolation vers l'ensemble des terrains hercynien.

7 CONCLUSION

Cette approche d'exploration est basée sur la géochimie des chapeaux de fer, a montré son importance et sa grande utilité dans le but de cibler et de localiser les potentialités métallifères comme dans le prospect de Draa Sfar du grand secteur de Kettara. L'étude a cependant montré que les éléments chimiques tels que le Ag, As, Bi, Sn et Te peuvent être de bon indicateur de la proximité de la minéralisation sulfurée polymétallique en profondeur. Cette constatation a été renforcée par les méthodes géophysiques (magnétiques, gravimétriques) et confirmé par les sondages carottés ayant intercepté en plus des unités lithologiques connues à l'affleurement le corps minéralisé en profondeur. Cependant, l'anomalie de Bi illustre bien la zone nourricière et d'échange au-dessous du corps minéralisé, et pourraient refléter l'appartenance des veines au même système hydrothermal ayant déposé le gisement.

On conclut et à partir des résultats obtenus que les éléments tels que l'Ag, As, Bi, Sn et Te sont les éléments indicateurs les plus favorables à localiser un dépôt de sulfures polymétallique dans ce contexte des Jebilets Centrales.

REFERENCES

- [1] A. Michard, "Eléments de géologie marocaine," Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, n° 252, 420 p., 1976.
- [2] A. Piqué, "Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale". Presses Universitaires Maghrébines Edition, 284 p. Marrakech, 1994.
- [3] P. Huvelin, "Etude géologique et gîtologique du massif Hercynien des Jebilets (Maroc Occidental)," Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, N° 232 bis, 307 p., 1977.
- [4] F. Permingeat, "Sur visées des Jebilets orientales au sud de l'oued Tensift," Notes et mem. Serv. Géol. Maroc. 121, 17-22, 1954.
- [5] H. Bamoumen, "Les déformations superposées contemporaines de la mise en place des nappes gravitaires des Jebilets orientales (Maroc)," Thèse de 3ème cycle, Marrakech, 189p., 1988.
- [6] M. Gigout, "Etude géologique sur la meseta marocaine occidentale (arrière-pays de CasaBlanca, Mazagan et Safi)," Trav. Inst. Cher. Rabat. 3. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 86 : 507 p., 1951.
- [7] J. "Beauchamp, Le Carbonifère inférieur des Jebilets et de l'Atlas de Marrakech (Maroc) : Migration et comblement d'un bassin marin," Bulletin Société Géologique de France 7-XXVI-6, 1025-1032, 1984.
- [8] J. Beauchamp, A. Izart, & A. Piqué, "Les bassins d'avant-pays de la chaîne hercynienne au Carbonifère inférieur," Canadian Journal of Earth Sciences 28, 2024-2041, 1991.
- [9] J.L. Gaillet, "Sur les relations entre les schistes du saghlef et le flysh de Kharrouba dans le massif hercynien des jebilets (Maroc)," C.R. Acad. Sci. Paris, 288, pp. 791-794, 1979.
- [10] J.L. Lagarde & P. Choukroune, "Cisaillement ductile et granitoïdes syntectoniques: l'exemple du massif hercynien des Jebilets (Maroc)," Bulletin de la Société Géologique de France, XXIV2, 299-307, 1982.
- [11] M. Bordonaro, "Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotine de Kettara (Paléozoïque des Jebilets, Maroc)". Thèse de 3ème cycle Université Louis Pasteur de Strasbourg, 132pp, 1983.
- [12] M. Bordonaro, J.L. Gaillet & A. Michard, "Le géosynclinal carbonifère sud-mésétien dans les Jebilets (Maroc) ; une corrélation avec la province pyriteuse du sud de l'Espagne," CR Acad Sci Paris 288-D, 1371-1374, 1979.
- [13] Cl. Le Corre, & J. Bouloton, "Un modèle de «structures en fleur» associant décrochement et convergence: Les Jebilets centro-occidentales (Maroc hercynien)," Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 304, série II: 751-755, 1987.
- [14] A.T. Souaré, "Contribution à l'étude des amas sulfurés du district des Jebilets centrales et de leurs altérations supergènes (chapeau de fer). Comparaison avec les minéralisations sulfurées d'Agouim (Haut Atlas, Maroc)," Thèse 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 273 p., 1988.
- [15] El.M. Aarab, "Mise en place du caractère cogénétique des roches magmatiques basiques et acides dans la série volcanosédimentaire de Saghlef (Jebilets, Maroc hercynien) ", Thèse Doctorat de 3ème cycle, Univ. Nancy I 145 p. 1984.
- [16] S. Brunet F. Lotfi & A. Belkadir, "Les gisements de sulfures massifs hercyniens du Maroc : Exemple du gîte polymétallique de Koudiat Aïcha, Jebilets Centrales. Actes du congrès The 3rd Conference of the Association of African Women Geoscientists 6-8 Mai 2005, El Jadida – Maroc, 2006.
- [17] A. Belkadir, H. Gibson, E. Marcoux, D. Lentz, & S. Rziqi, "Geology and Wall-Rock Alteration at the Hercynian Draa Sfar Zn-Pb-Cu deposit, Morocco," Ore Geology Reviews 658, 33. 3-4, 280-306, 2008.

- [18] L. Ben Aissi, "Contribution à l'étude géologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et de Koudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Slimane et de Kettara (Jebilets centrales, Maroc hercynien)," Thèse de doctorat, Uni Cadi Ayyad, Marrakech, 333 p, 2008.
- [19] E. Marcoux, A. Belkabar, H. Gibson, & D. Lentz, " The Draa Sfar ore deposit (Jebilets, Morocco): an example of pyrrhotite dominant-polymetallic VHMS in Hercynian terranes, " *Ore Geology*, 658. 33. 3-4, 304-328, 2008.
- [20] F. Lotfi, A. Belkabar; A.C. Brown, E. Marcoux, & S. "Brunet, *Geology and mineralogy of the Hercynian Koudiat Aïcha polymetallic (Zn, Pb, Cu) massive sulfide deposit, Central Jebilets, Morocco*, " *Exploration and Mining Geology*, 17, Nos. 3-4 : 45-162, 2008.
- [21] F. Lotfi, "Utilisation de la géochimie des minéraux d'altération hydrothermale comme guide de prospection des massifs sulfurés volcanogènes (VMS) polymétalliques : cas du gisement de Koudiat Aïcha (Pb, Zn, Cu), Jebilets Centrales – Maroc," Actes des journées géologiques, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Rabat, 2016.
- [22] F. Lotfi, "Contexte géologique et minéralisation à sulfures massifs (Zn, Pb, Cu) du gisement hercynien de Koudiat Aïcha, Jebilets Centrales, Maroc, " PhD Thésis, Université Cadi Ayyad Marrakech, 180 pp, 2009.
- [23] F. Lotfi, "Utilisation des chapeaux de fer comme guide de prospection des amas sulfurés : cas du gisement polymétallique de Koudiat Aïcha, Jebilets Centrales Maroc," In: recueil des résumés, Actes du Colloque international 3MA Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisations Associées, 9ème édition Taroudant – Agadir, le 02 au 04 avril, 2015.
- [24] S. Rziqi, A. Alansari, E. M. Mouguina, J. Simard., M. Zouhair & L. Maacha, "Apport du modèle géologique et géophysique 3D dans le développement du gisement polymétallique de Draa Sfar (Massif Hercynien des Jebilets centrales, Maroc)," *Estudios Geologicos*; 10.3989/egeol.40366.138, 2011.
- [25] S. Rziqi, "Environnement géologique et modèle 3D du gisement polymétallique de Draa Sfar (Massif hercynien des Jebilets, Maroc) : Implications et perspectives de développement," Thèse présenté à la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. Maroc, 2012.
- [26] I. Messrar, "Contribution à l'étude structurale, géologique et métallogénique du gisement de Draa Sfar Nord (Jebilets centrale, Maroc)," Master F.S.T, Fès, Univ. Sidi Mohammed Ben Abdellah, 2016.