

Les anomalies magnétiques de la province métallogénique des Jebilets – Guemassa (Maroc hercynien) : Etat des connaissances et problématique liée à l'exploration minière

[Magnetic anomalies of Jebilets-Guemassa metallogenic province (Hercynian Morocco) State of knowledge and problem related to mineral exploration]

Abdelmajid JARNI¹, Mohammed JAFFAL², El Mostafa MOUGUINA¹, Lhou MAACHA³, Aomar EN-ACIRI³, Mohamed OUTHOUNJITE³, Abdelmalek OUADJOU³, Mohamed ZOUHAIR³, Ahmed RADNAOUI³, and Omar SADDIQI⁴

¹Laboratoire dynamique de la lithosphère et genèse de ressources minérales et énergétiques,
Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia,
Av Abdelkrim Khattabi, B.P. 511 – 40000, Marrakech, Maroc

²Equipe de recherche « Génie civil et Géo-ingénierie (E2G) »,
Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques,
Av Abdelkrim Khattabi, BP549, Guéliz – Marrakech, Maroc

³Groupe Managem,
Twin Center, A BP5199, Casablanca, Maroc

⁴Laboratoire «Géosciences »,
Faculté des Sciences, Université Hassan II,
BP 5366, Maârif, Casablanca, Maroc

Copyright © 2015 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 Jebilets and Guemassa hercynian massives constitute one of the most important metallogenic provinces of Morocco. In this province, mining exploration is focused on the research of massive sulphide mineralization in a volcano-sedimentary setting. It makes extensive use of geophysical methods performed on both ground airborne surveys. Magnetometry is one of the most employed techniques which show that magnetic anomalies are associated with pyrrhotite-rich massive sulphide. Indeed, the effectiveness of this method is proven by the discovery of the Hajar deposit through airborne magnetic survey. However, its use is handicapped by the abundance of basic and ultrabasic rocks that generate the same anomalies than massive sulphide ore bodies. This article is concerned with the magnetic prospecting difficulties related to mining exploration in the Jebilet-Guemassa metallogenic province. It clarifies the origin of magnetic anomalies related to basic and ultrabasic rocks enriched in iron-titanic minerals and suggests an alternative approach to bring response elements to this problem. This result may guide the mining exploration for the detection and characterization of anomalies associated with massive sulphide deposits in the geological and mining setting of Jebilets-Guemassa.

KEYWORDS: Geophysical anomalies; magnetic prospecting; massive sulphide; mafic and ultramafic rocks; Jebilets-Guemassa; Morocco.

RESUME: Les massifs hercyniens des Jebilets et des Guemassa constituent l'une des plus importantes provinces métallogénique du Maroc. L'exploration minière dans cette province est axée sur la recherche de minéralisations sulfurées

massives dans un contexte volcanosédimentaire. Elle fait souvent appel aux méthodes géophysiques aussi bien au sol qu'aéroportées. La magnétométrie est l'une des méthodes les plus utilisées qui fait part de l'association d'anomalies magnétiques aux amas sulfurés riches en pyrrhotite. En effet, cette méthode a montré son efficacité dans la découverte de la mine de Hajar grâce à un levé magnétique aéroporté. Cependant, son utilisation se heurte à un problème majeur lié à l'abondance de corps magmatiques basiques et ultrabasiques qui engendrent des signatures magnétiques similaires à celles des amas sulfurés reconnus dans cette province. Cet article dresse un état des lieux des connaissances des anomalies géophysiques et aborde la problématique liée à l'exploration minière dans la province métallogénique des Jebilets-Guemassa. Il apporte des précisions sur l'origine des anomalies magnétiques liées aux roches basiques et ultrabasiques riches en minéraux ferrotitanés tout en proposant des solutions à cette problématique. Ce résultat est susceptible d'orienter les travaux d'exploration pour la détection et la caractérisation d'anomalies liées à des amas sulfurés dans le contexte géologique et minier des Jebilets-Guemassa.

MOTS-CLEFS: Anomalies géophysiques ; prospection magnétique ; amas sulfurés ; roches basiques et ultrabasiques ; Jebilets-Guemassa ; Maroc.

1 INTRODUCTION

Les contrastes notables de propriétés physiques qui caractérisent généralement les amas sulfurés par rapport à leur encaissant font des méthodes géophysiques une composante intégrante de tout programme d'exploration de ces amas. Ces contrastes sont principalement liés à la composition minéralogique et chimique. Ils dépendent aussi d'autres phénomènes géologiques comme le degré d'altération, la fracturation, le métamorphisme, etc. [1], [2].

La magnétométrie, par exemple, est l'une des méthodes dont l'efficacité dans l'exploration minière est conditionnée par la présence de minéraux magnétiques (magnétite, pyrrhotite, etc.) [3], [4]. En effet, certains gisements de sulfures massifs polymétalliques, riches en pyrrhotite, peuvent être détectés par un simple levé magnétique, compte tenu de la forte susceptibilité de ce minéral. Au Maroc, le cas de Hajjar constitue l'exemple le plus concret de ce type de gisement VMS (Volcanogenic Massive Sulphide) dont la découverte a été principalement basée sur la prospection magnétique [5], [6], [7]. A l'image de Hajjar, les gisements miniers (Dra Sfar, Kettara, Koudiate Aïcha, Laachach, Khwadra, etc.) de la province métallogénique des Jebilets-Guemassa sont caractérisés par des teneurs importantes en pyrrhotite et sont, par conséquent, soulignés par des anomalies magnétiques [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10]. Cependant, la prospection magnétique des sulfures massifs volcanogène se heurte à un problème majeur lié à l'abondance de corps géologiques qui engendrent des signatures magnétiques similaires à celles des amas sulfurés reconnus dans cette province [4]. En effet, le levé aéromagnétique de haute résolution, couvrant la totalité du massif des Jebilets centrales, réalisé par le service géologique de la Finlande, dans le cadre d'une convention de coopération entre l'Office National des Hydrocarbures et des Mines « Onhym » et le groupe Managem, montrent clairement que les corps magmatiques basiques et ultrabasiques sont systématiquement associés à des anomalies magnétiques.

Par ailleurs, dans le cadre du programme d'exploration minière mené par Managem ou l'Onhym, plusieurs sondages de contrôle d'anomalies magnétiques ont recoupé des roches magmatiques basiques. Nous pouvons citer à ce propos, le cas des sondages réalisés par l'Onhym en 2003 dans le secteur de Tekna. L'un de ces sondages qui visait la zone de superposition d'anomalies magnétique et gravimétrique, avait recoupé une intrusion gabbodioritique et un niveau peu épais de sulfures.

Le présent article aborde la problématique de l'application des méthodes géophysiques en général et de la magnétométrie en particulier à l'exploration minière dans la province des Jebilets-Guemassa. Il dresse un état des lieux des connaissances des anomalies magnétiques dans cette province en évoquant les problèmes qui pénalisent la prospection magnétique tout en proposant une approche alternative pour tenter de s'affranchir de ces difficultés.

2 CADRE GÉOLOGIQUE

La province métallogénique des Jebilets-Guemassa est constituée de deux grands ensembles miniers. Le district minier de Guemassa et celui des Jebilets. Ces derniers se situent respectivement au Sud-ouest et au Nord de Marrakech dans la meséta occidentale marocaine (fig.1).

La zone des Jebilets Centrales est caractérisée par un continuum du cycle hercynien [8], [11]. Durant ce cycle, cette zone a connu une altération hydrothermale intense [15], [16] et une forte activité magmatique [8], [11], [12], [13], [14]. Ainsi, les

intrusions acides et basiques qui forment le plutonisme bimodal subcontemporain de cette zone [15], se présentent sous forme de corps épais de plusieurs centaines de mètres, organisés en linéaments subméridiens à NNE, parallèles aux structures hercyniennes [15], [16]. Ces intrusions contiennent des métallotectes visibles en surface sous forme de chapeaux de fer répartis en trois grands axes (fig. 2). Autour des corps magmatiques, la déformation régionale et le métamorphisme de contact sont développés [8], [11], [17], ce qui a profondément altéré les structures primaires de ces indices et des gisements qui leurs sont associés.

Le massif de Guemassa est composé d'un ensemble de blocs tectoniques qui percent la couverture plioquaternaire. Il est formé de terrains sédimentaires et volcanosédimentaires d'âge viséen supérieur-namurien [6], [19], [22]. Son socle hercynien est recouvert de sédiments tabulaires plioquaternaires rattachés au groupe de demi-horst nord-atlasique [18]. La série volcanique acide est bien développée avec des chapeaux de fer [6]. Il renferme des tufs distaux puis proximaux ainsi que des coulées de laves [19], [20].

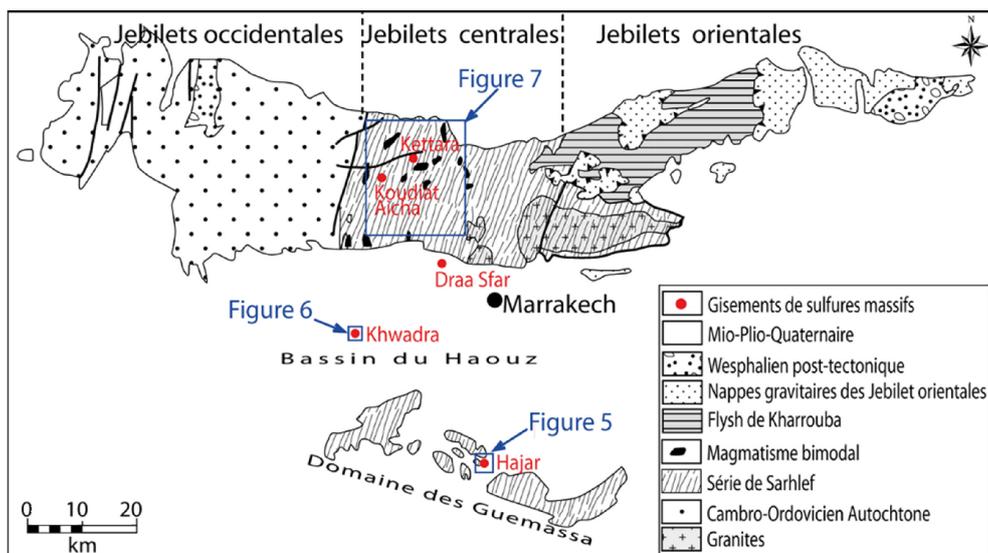


Fig. 1. : Localisation générale de la zone étudiée

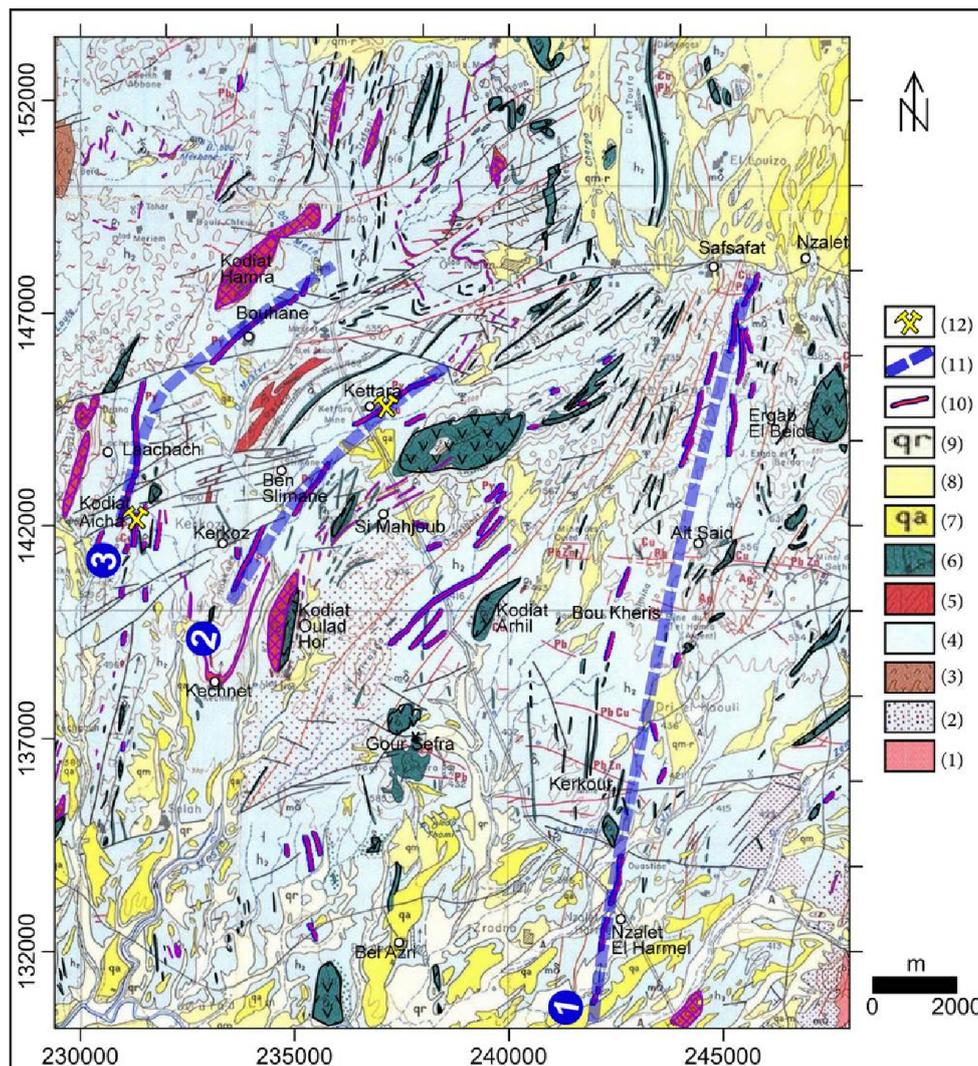


Fig. 2- Extrait de la carte géologique des Jebilet Centrales [8]. (1) granite hercynien ; (2) métamorphisme de contact ; (3) terrains anté-viséens autochtones ; (4) schistes de Sarhlef ; (5) volcanite acide ; (6) volcanite basique ; (7) conglomérats, cailloutis et limons du Plio-Villafranchien et Pléistocène ancien ; (8) alluvions du Pléistocène moyen ; (9) alluvions quaternaires récents ; (10) chapeau de fer ; (11) alignement de chapeaux de fer ; (12) gisement de sulfures massifs.

3 GÎTOLOGIE

La province métallogénique des Jebilet-Guemassa renferme de nombreux indices miniers et des minéralisations variées. En se basant sur leurs caractéristiques spatiotemporelles au niveau du socle hercynien et sa couverture sédimentaire, [8], a réparti les gîtes des Jebilet en trois catégories principales. Il distingua les gites préhercyniens ou hercyniens, qui sont stratiformes dans le Viséen supérieur, les gîtes liés au granite hercynien et les gîtes de type filoniens. [11], divisa ces gisements en quatre types. Il nota les gisements « stratiformes » liés au volcanisme acide antétectonique, ceux liés au décrochement et cisaillement de la phase de déformation D2, les gisements liés à la mise en place du granite (syn. à tardi D3) et finalement ceux liés à une fracturation dépendant des décrochements N°70 (D4) ou liés aux mouvements pré-atlasiques ou atlasiques.

Cette province est connue spécialement par sa richesse en amas sulfurés à Zn, Pb, Cu, Ag et Au [6]. Ces gisements sont associés aux formations volcaniques, volcanosédimentaires et détritiques du Carbonifère [6], [22]. L'ensemble des études qui ont été réalisées confirment leurs caractères volcanogènes de type VMS. En se basant sur leur typologie et leur relation avec le volcanisme basique et le volcanisme acide matérialisée par des dômes de rhyolites et les tufs qui leur sont associés, nous pouvons distinguer trois types de gisements :

- Les gisements à Zn, Pb, Cu et Ag, qui sont situés au toit immédiat des dômes de rhyolites (Hajjar, Draa Sfar et Khwadra). Ils se concentrent dans la partie sud de la province et sont de loin les plus économiques.
- Les gisements à Zn, Pb, Cu et Ag qui ne présentent pas de relation spatiale évidente avec les dômes rhyolitiques. Il s'agit notamment de Koudiate Aïcha et Laachach qui se particularisent aussi par l'abondance relative de la pyrite par rapport au premier type, où la pyrrhotite est quasi exclusive. Ces caractéristiques, combinées à la présence d'halos d'altération très réduits, nous incitent à leur attribuer un caractère distal.
- Le troisième type correspond à des amas de pyrrhotite à cuivre et or. C'est le cas de Kettara et de Benslimane mis en place dans un environnement dominé par un volcanisme basique et ultrabasique.

Notons finalement qu'à l'échelle régionale, les VMS de la province métallogénique des Jebilet-Guemassa constituent le prolongement sud à ceux de la ceinture pyriteuse sud ibérique [11].

3.1 GISEMENT DE HAJJAR

L'analyse des données géologiques et gîtologiques de la mine de Hajjar (fig. 3) montrent que celui-ci est un gisement polymétallique de type VMS qui possède des ressources de l'ordre de 18 millions de tonnes à 4-10% de zinc ; 2-4% de plomb ; 0,4-0,8% de cuivre et 60 ppm d'argent. L'amas sulfuré possède une texture grenue à pyrrhotite dominante (90 à 95%) minéralisée en sphalérite, chalcopryrite, cuivre natif et galène argentifère. Ce corps minéralisé se présente sous forme d'un ensemble d'amas allongés NNW-SSE avec une extension longitudinale N-S de 250 à 500 mètres, une extension latérale E-W de 50 à 250 mètres et une puissance de 40 à 70 mètres.

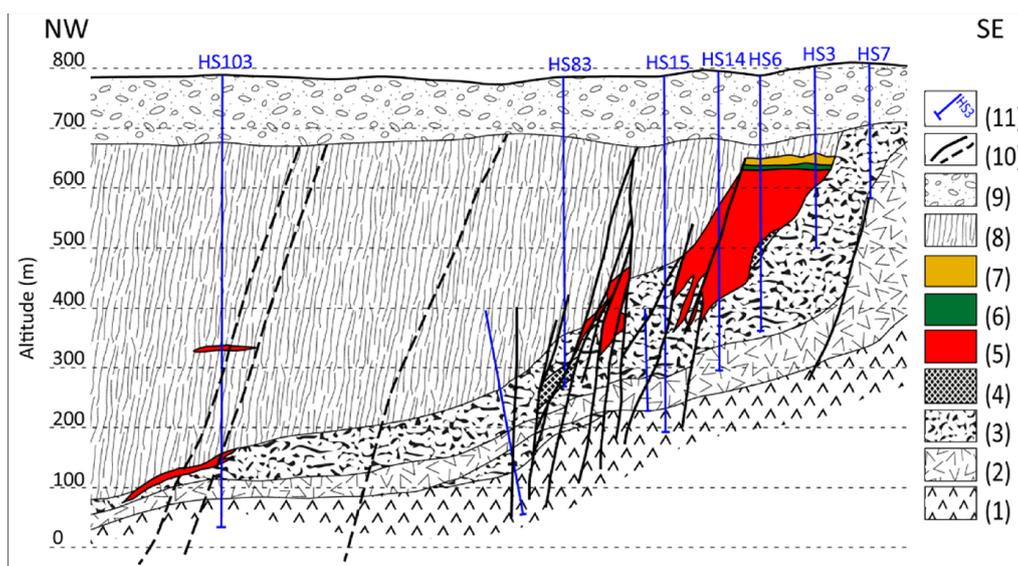


Fig. 3- Coupe à travers le gisement polymétallique de Hajjar. (1) rhyolites ; (2) laves à bulles ; (3) complexe volcanosédimentaire ; (4) stockwerk ; (5) minéralisation sulfurée massive ; (6) zone de cimentation ; (7) chapeau de fer ; (8) pélites noires ; (9) couverture plioquaternaire ; (10) faille ; (11) sondage ;

La minéralisation est encaissée dans des formations volcaniques, volcanosédimentaires et détritiques du carbonifère. Elle est située immédiatement au toit du dôme rhyolitique avec des zones d'altération bien visibles. Le corps minéralisé est surmonté par un chapeau de fer qui possède une zone de cimentation très riche en cuivre natif (40%) et en plomb avec une pellicule de 10 à 20 cm de galène argentifère.

3.2 GISEMENT DE KHWADRA

Le gisement de Khwadra se présente sous forme d'une lentille de sulfures massifs encaissée dans un substratum paléozoïque masqué par une couverture plioquaternaire de 180 mètres d'épaisseur environ. Les informations géologiques et gîtologiques dont on dispose sur ce gisement proviennent exclusivement des forages dont il a fait l'objet afin de contrôler l'anomalie magnétique qui était à l'origine de sa découverte. Le log stratigraphique synthétique (fig. 4) et la coupe

transversale (fig. 4) de ce gisement montrent trois unités géologiques qui encaissent une minéralisation sulfurée stratiforme polymétallique à cuivre, zinc et plomb, riche en pyrrhotite.

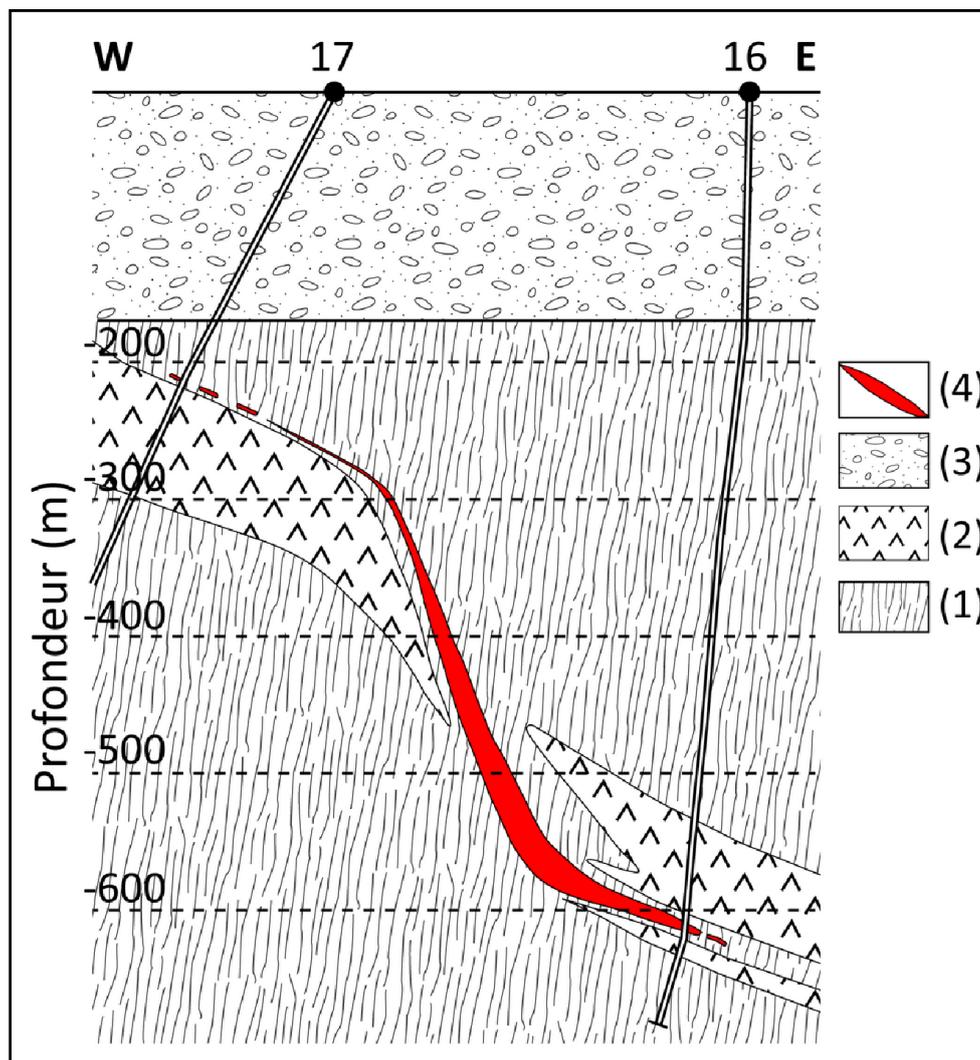


Fig. 4- Coupe à travers le gisement de Khwadra.
(1) schistes noirs ; (2) rhyolites ; (3) recouvrement plioquaternaire ; (4) minéralisation sulfurée.

L'unité sommitale est formée de pélites noires silteuses recoupées de microveinules de quartz fracturé à placage de pyrite. L'étude en lame mince montre que ces pélites sont constituées d'une alternance de lits sombres riches en micas et de lits claires riches en quartz contenus dans une matrice argilo-ferrugineuse. L'unité médiane, essentiellement volcanique et volcanosédimentaire, est constituée à sa base de rhyolite à texture bréchique microlithique porphyrique à phénocristaux de plagioclase. Elle est suivie de tufs silicifiés et chloritisés à pyrite avec apparition de niveaux silteux riches en slymps. L'unité basale est formée des mêmes faciès pélitiques que l'unité sommitale. Elle se distingue par une légère abondance d'horizons gréseux à son sommet. L'ensemble de ces unités est intrudé de dykes de nature dioritique. L'altération est constituée principalement d'une séricitisation au toit et une chloritisation au mur de la minéralisation.

4 DONNÉES MAGNÉTIQUES

Les données magnétiques analysées dans le cadre de la présente étude ont été mises à notre disposition par la compagnie minière de Guemassa (CMG). Elles ont été acquises dans le cadre des programmes d'exploration minière menée par cette dernière dans la région de Marrakech en partenariat avec l'ONHYM. Il s'agit des données aéromagnétiques du massif des Jebilets Centrales, des cartes magnétiques au sol des gisements de Hajar et de Khwadra.

Dans les zones d'affleurement du socle hercynien tel que le massif des Jebilets Centrales, les programmes, de recherche minière, précités ciblent prioritairement les chapeaux de fer, vu l'abondance de ces derniers qui constituent un métallotect des amas sulfurés. Ailleurs, en contexte de recouvrement, on fait principalement appel à des couvertures géophysiques systématiques, parfois aéroportées, afin d'identifier les zones anormales susceptibles de présenter un intérêt minier. Les gisements de Hajar et de Khwadra masqués respectivement par 120 m et 180 m de couverture plioquaternaire, constituent les exemples les plus concrets de ce type de contexte. L'analyse des données géophysiques recueillies dans la région de Marrakech montre l'intérêt de la magnétométrie pour la recherche des amas sulfurés à l'échelle de cette région, avec la découverte des gisements de Hajar et Khwadra dont les anomalies sont présentées à titre d'exemples. Les données aéromagnétiques des Jebilets Centrales sont examinées dans la perspective de mettre en relief les problèmes qui handicapent l'utilisation de cette technique de prospection au niveau de la province métallogénique des Jebilets-Guemassa.

5 DISCUSSION

Depuis longtemps, la magnétométrie est reconnue en tant que technique de reconnaissance incontournable en exploration minière. Sa simplicité, sa rapidité de mise en œuvre et la quantité d'informations qu'elle peut fournir en font un outil de cartographie géomagnétique par excellence. L'utilisation de cette méthode dans la province métallogénique des Jebilets-Guemassa revêt un intérêt particulier depuis la découverte du gisement de Hajar. Cette découverte survenue vers la fin des années 1980 est l'un des meilleurs cas de succès de la prospection magnétique appliquée à la recherche minière au Maroc. En effet, ce gisement de type VMS, encaissé dans des terrains d'âge viséen et situé sous 120 mètres de recouvrement, a été mis en évidence pour la première fois grâce à un levé aéromagnétique réalisé par la société GEOTERREX en 1968. L'anomalie aéromagnétique de Hajar, décelée par cet ancien levé, n'a été sérieusement prise en considération qu'au début des années 1980. Le premier sondage réalisé en 1984 par le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM - France) en collaboration avec le Bureau de Recherche et de Participation Minière (BRPM - Maroc) avait intercepté plus de 118 mètres de sulfures massifs [6], [7]. Le levé de détail au sol réalisé ultérieurement, selon une maille de 25 m x 100 m a permis de définir une anomalie qui s'étend sur un kilomètre et dont l'amplitude avoisine les 1000 nT (fig. 5). Les travaux d'exploitation menés depuis à Hajar font état d'un important gisement de sulfures massifs polymétalliques riches en pyrrhotite. C'est ce qui explique l'ampleur de l'anomalie magnétique qui lui est associée et qui n'est pas passée inaperçue au levé aéromagnétique de 1968, malgré des lignes de vol largement espacées. La morphologie du gisement mise en évidence par ces travaux permet d'expliquer les caractéristiques de cette anomalie en particulier :

- Sa forme plus ou moins ovale qui s'étend en direction E-W sur plus d'un kilomètre en épousant parfaitement le corps minéralisé.
- Son aspect bipolaire typique des latitudes du Maroc avec une légère asymétrie qui se manifeste par un lobe positif légèrement plus développé que le négatif en raison du pendage vers le nord du gisement.
- La différence d'amplitude entre le positif de l'anomalie et son négatif qui plaide en faveur d'un pendage vers le nord de la source magnétique, confirmé par les travaux d'exploitation (Fig. 3).

La magnétométrie a contribué à la découverte de nouveaux gisements de type VMS, dans le cadre des travaux d'exploration minière conduits ultérieurement dans la province métallogénique des Jebilets-Guemassa, notamment au cours des deux dernières décennies. Il s'agit notamment du gisement de Khwadra. Ce dernier a été mis à jour par un levé aéromagnétique de haute résolution mené dans les années 2000 par le service géologique de la Finlande pour le compte de la Compagnie Minière de Guemassa en partenariat avec l'Onhym. Le levé au sol réalisé par la suite pour préciser et caractériser l'anomalie de Khwadra a permis d'établir la carte du champ total présentée sur la figure 6. Sur cette carte, l'anomalie de Khwadra apparaît sous forme plus ou moins circulaire à l'image de celle de Hajar, dont elle diffère par son amplitude et son extension latérale nettement plus faibles. Cette anomalie se situe dans une zone où le socle hercynien est masqué sous 180 m environ de recouvrement plioquaternaire du bassin du Haouz (fig. 1). Les sondages de reconnaissance réalisés pour contrôler l'anomalie magnétique de Khwadra ont révélé l'existence de sulfures massifs contenant de la pyrrhotite sous forme d'un amas lenticulaire allongé en direction Nord-sud et présentant un fort pendage vers l'Est (fig. 7).

Par ailleurs, en raison de son potentiel en minéralisation sulfurée massive, le massif des Jebilets Centrales a fait l'objet d'une couverture aéromagnétique qui a permis l'acquisition d'une importante base de données. La figure 8 montre une représentation de ces données sous forme d'une carte du champ total, à laquelle ont été superposés certains éléments de la géologie locale pour tenter de déterminer l'origine des variations observées. Il s'agit particulièrement des limites d'affleurement des roches magmatiques et des chapeaux de fer avec la localisation des gisements connus.

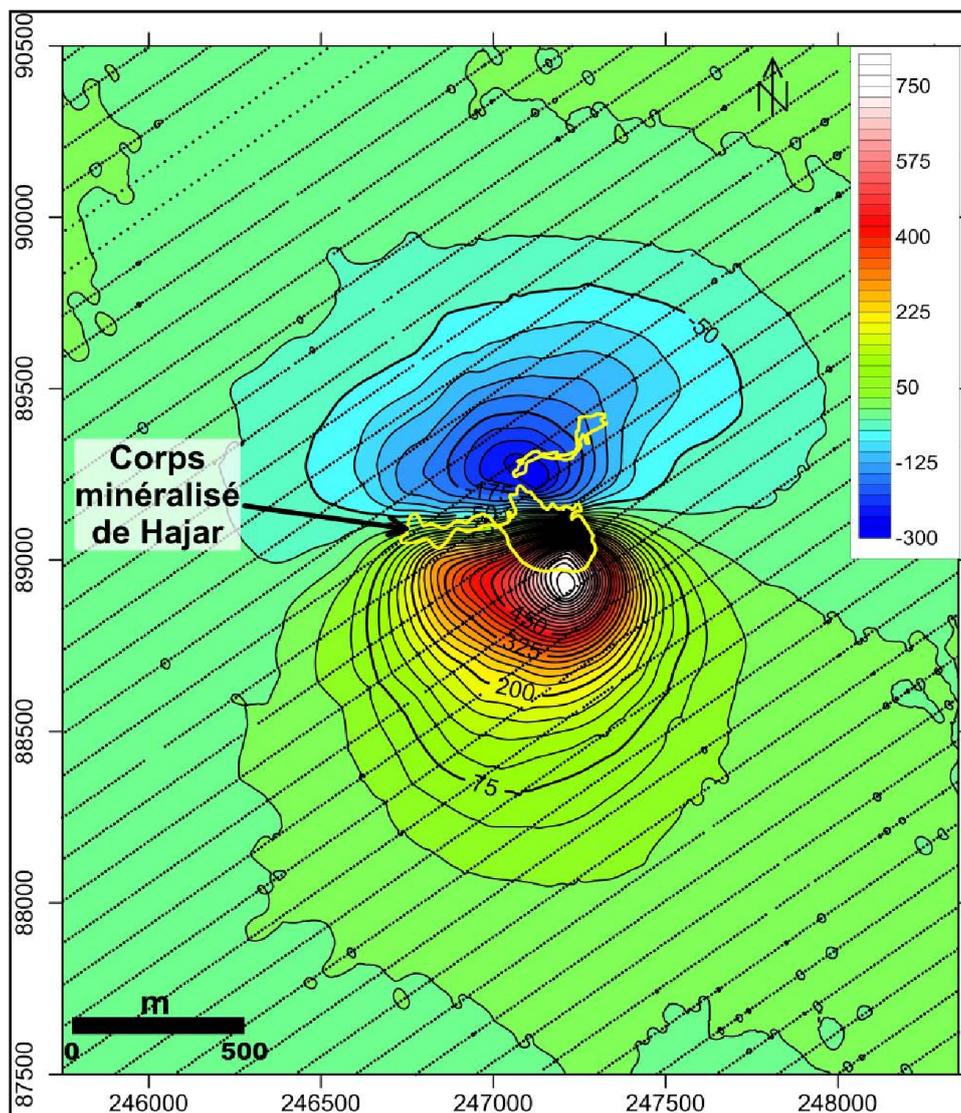


Fig. 5- Carte magnétique du gisement de Hajar en isocontours des valeurs du champ total après soustraction d'un niveau de base de 40000 nT.

L'examen de la carte du champ magnétique résiduel, obtenue par soustraction du champ géomagnétique de référence international (IGRF), montre la signature magnétique globale du massif des Jebilet Centrales (fig. 7). Une première analyse de cette carte permet de constater l'existence de plusieurs anomalies bipolaires de différentes amplitudes par rapport à un niveau de fond moyen de l'ordre de 20 à 30 nT. Leurs allongements préférentiels reflètent clairement la structuration générale du massif et leurs tailles renseignent sur les dimensions et les profondeurs des sources magnétiques. Les anomalies magnétiques précitées semblent décrire trois types de formations géologiques : il s'agit principalement des roches basiques et ultrabasiques riches en ferromagnésiens et des minéralisations sulfurées à pyrrhotite marquées en surface par les chapeaux de fer, généralement alignés sous forme d'axes subméridiens. Des formations carbonatées à fortes dissémination de pyrrhotite peuvent localement engendrer des anomalies comme c'est cas au sud-ouest de la mine de Koudiat Aicha. On peut aussi remarquer que les chapeaux de fer ne sont pas tous associés à des anomalies, ce qui signifie qu'ils ne coiffent pas systématiquement des concentrations de minéraux magnétiques (fig. 7). La carte du champ magnétique réduit au pôle, limitée au district de Koudiat Aicha-Kettara, en raison de son potentiel minier, montre que plusieurs anomalies sont associées aux roches basiques et ultrabasiques qui affleurent sous forme de massifs et de filons (fig. 8). Ces faciès ne présentent pas partout la même signature. En effet, le massif de Kettara, par exemple, n'est que partiellement magnétique : seule son extrémité occidentale est soulignée par des valeurs élevées en réduction au pôle. Cependant, celui de Koudiat Arhil est au contraire presque totalement magnétique. Les roches magmatiques acides ne sont pas magnétiques comme en témoigne le massif de Koudiat Hamra et le filon plissé au nord du village de Kechnet (fig.8).

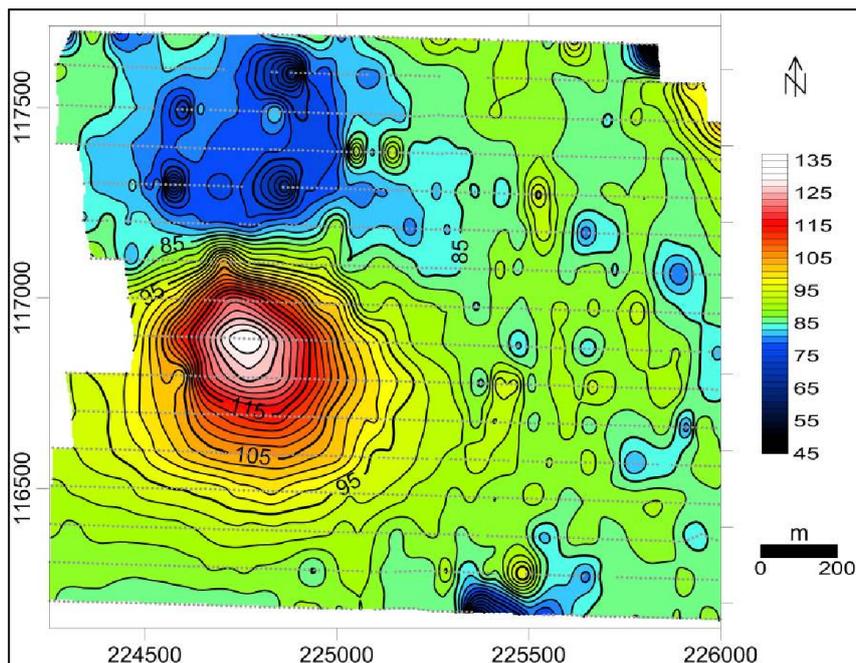


Fig. 6- Carte magnétique du gisement de Khwadra en isocontours des valeurs du champ total après soustraction d'un niveau de base de 40400 nT.

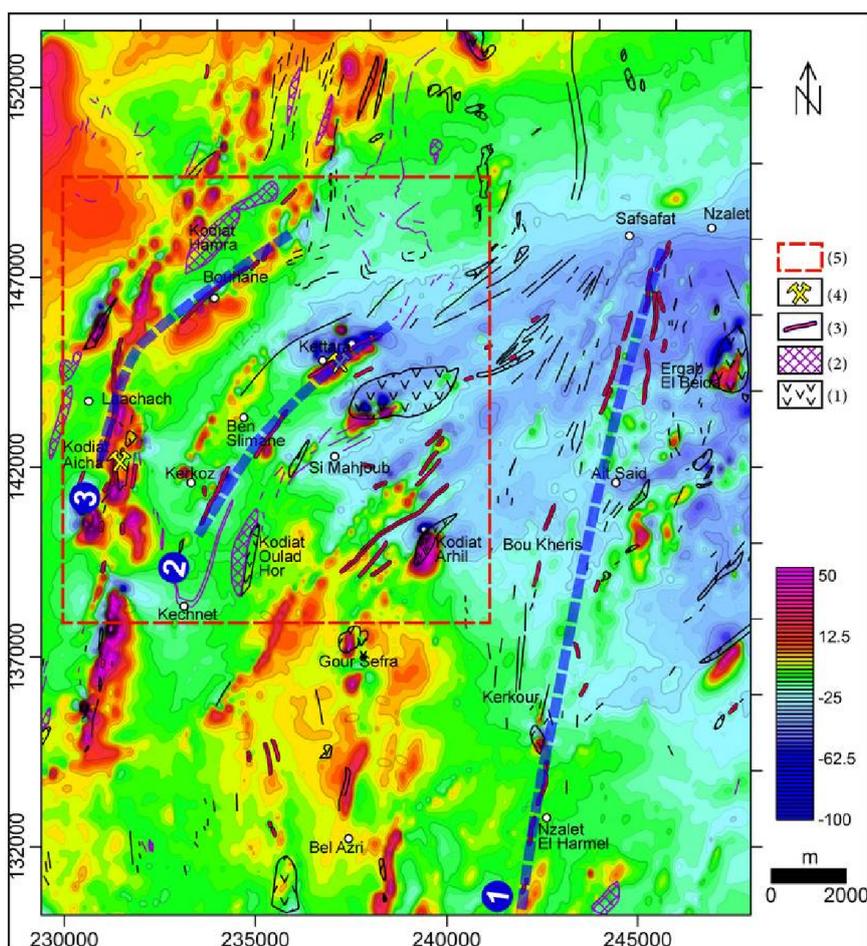


Fig. 7- Carte du champ magnétique résiduel du massif des Jebilet Centrales.

(1) volcanite basique ; (2) volcanite acide ; (3) chapeau de fer ; (4) gisement de sulfures massifs ; (5) emplacement et limites de la figure 8.

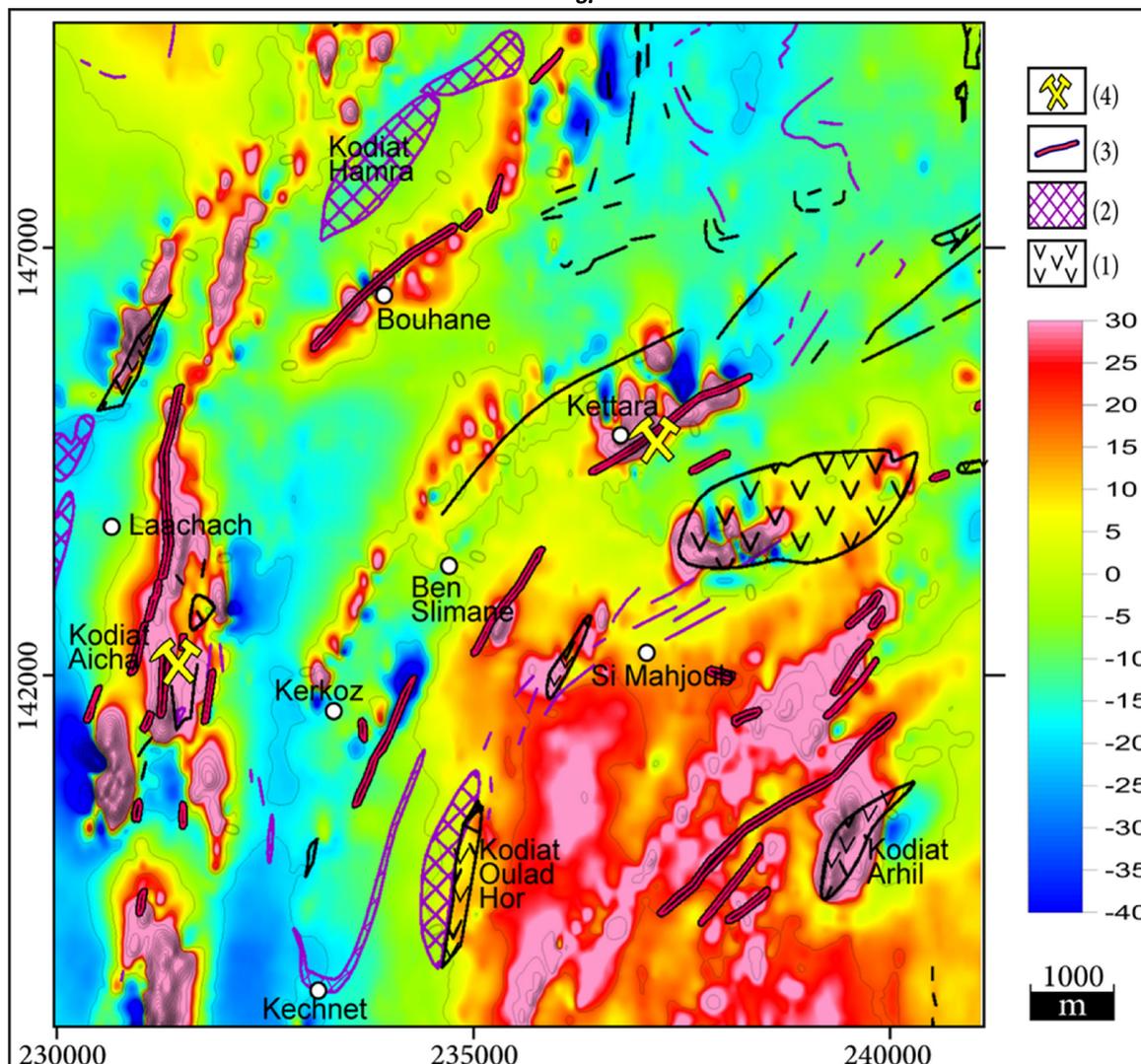


Fig. 8- Carte du champ magnétique réduit au pôle du district minier Koudiate Aicha-Kettara. (1) volcanite basique ; (2) volcanite acide ; (3) chapeau de fer ; (4) gisement de sulfures massifs.

Ces observations illustrent clairement le problème auquel s’oppose l’application de la magnétométrie à l’exploration minière dans la province métallogénique des Jebilets-Guemassa. Bien entendu, la première solution à cette problématique est à rechercher dans l’application de méthodes géophysiques complémentaires à la prospection magnétique, tels que l’électromagnétisme ou la gravimétrie. Jusqu’à présent, les tentatives de discriminations entre les anomalies magnétiques associées à des roches basiques et celles liées à des sulfures magnétiques, en adoptant cette approche, n’ont pas été très concluantes. C’est pourquoi, on propose d’explorer une seconde voie basée sur une étude géologique approfondie des zones à anomalies géophysiques, en mettant l’accent sur l’analyse minéralogique et géochimique des faciès qui y affleurent. Les premiers résultats de l’application de cette démarche montrent que l’anomalie magnétique reconnue dans le secteur de Koudiat Aïcha englobe à la fois l’effet du gabbro et celui de l’amas sulfuré magnétique (Photo 1). En ce qui concerne les massifs de gabbro de Kettara et de Koudiat Arhil, les observations faites jusqu’à présent montrent que les anomalies sont associées à des wehrlites plagiifères (Photos 2). Les observations microscopiques de ce faciès en lumière réfléchie révèlent l’existence d’inclusions dendritiques dans les olivines serpentinisées. Ces inclusions sont principalement formées de la magnétite et du spinelle chromifère bordé de gros cristaux d’ilménite titanifère. Des observations similaires en lumière polarisée analysée font état de l’existence de clinopyroxène à texture pœcilitique, recouvert d’oxydes noirs disposés le long des clivages (Photo 3).

D'une façon générale, la province métallogénique des Jebilets-Guemassa qui constitue le prolongement sud de la province sud-ibérique est caractérisée par de nombreuses anomalies magnétiques qu'on peut subdiviser en plusieurs groupes en fonction de l'état des connaissances actuelles de leurs origines :

- les anomalies associées aux affleurements des roches basiques et ultrabasiques liées au magmatisme pré-tectonique dont la différenciation a été mise en évidence par de nombreuses études [12], [13], [14]. Nous portons un intérêt particulier à ce type d'anomalies car l'association de sulfures massifs à ces roches basiques n'est pas exclue. C'est donc à ce niveau que l'étude géologique approfondie peut guider l'exploration minière.
- les anomalies magnétiques associées aux amas sulfurés encaissés dans le socle paléozoïque des Jebilets Centrales. Qu'il s'agisse d'anomalies engendrées par des gisements connus comme Kettara et Koudiat Aïcha ou liées à des chapeaux de fer à des stades de reconnaissance plus ou moins avancés tels que Laachach, Bouhane, Benslimane, etc. [4]. Ce type de gisement est en général facile à localiser de part son indice de surface. La magnétométrie peut contribuer à mieux caractériser la source magnétique moyennant une modélisation en trois dimensions guidée par des mesures de susceptibilités magnétiques des roches et des sulfures quand ils existent.
- les anomalies magnétiques superposées aux amas sulfurés masqués par une importante couverture sédimentaire plioquaternaire, c'est le cas de Hajjar et Khwadra. Dans ce genre de contexte où la géologie de surface est complètement aveugle, la prospection magnétique constitue un outil d'exploration incontournable. Néanmoins, nous recommandons de la combiner avec la gravimétrie et des méthodes électromagnétiques à grande portée d'investigation.

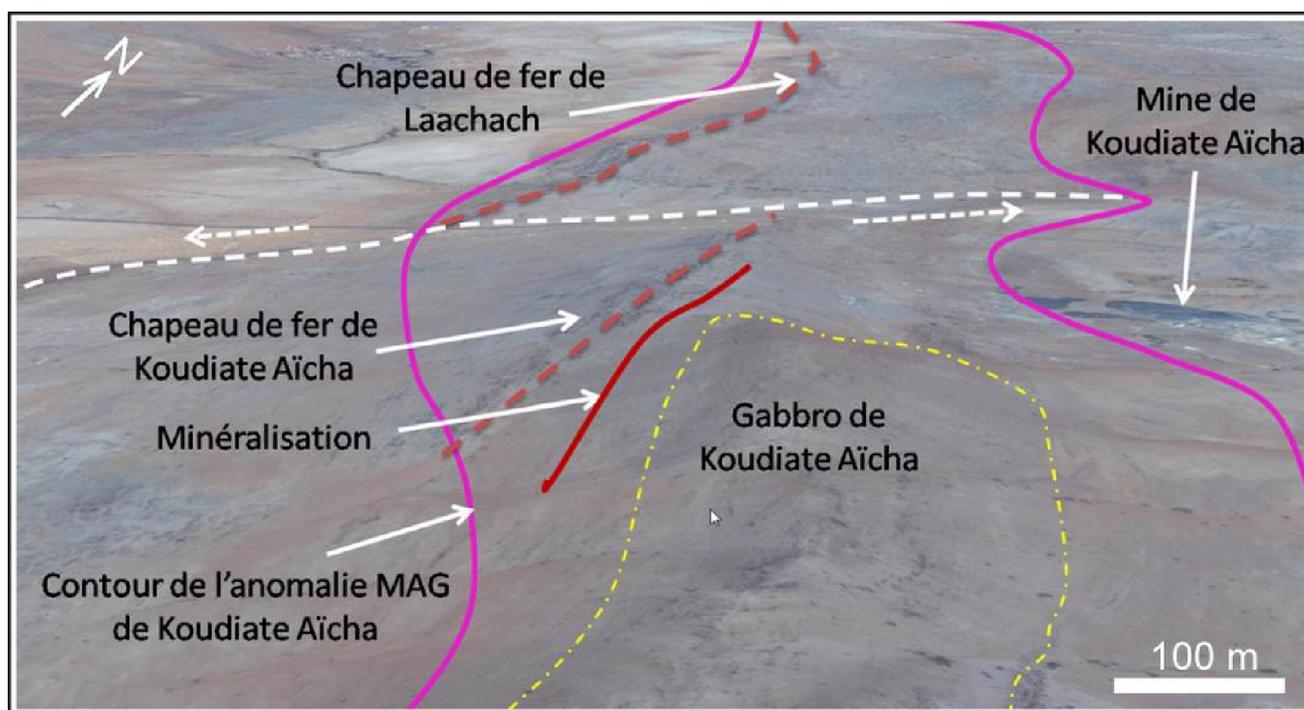


Photo 1- Vue panoramique montrant la juxtaposition d'un gabbro et d'un chapeau de fer qui contribue tous les deux à l'anomalie magnétique de Koudiate Aïcha. L'image montre une importante faille décrochante dextre qui décale l'alignement de chapeaux de fer 3.

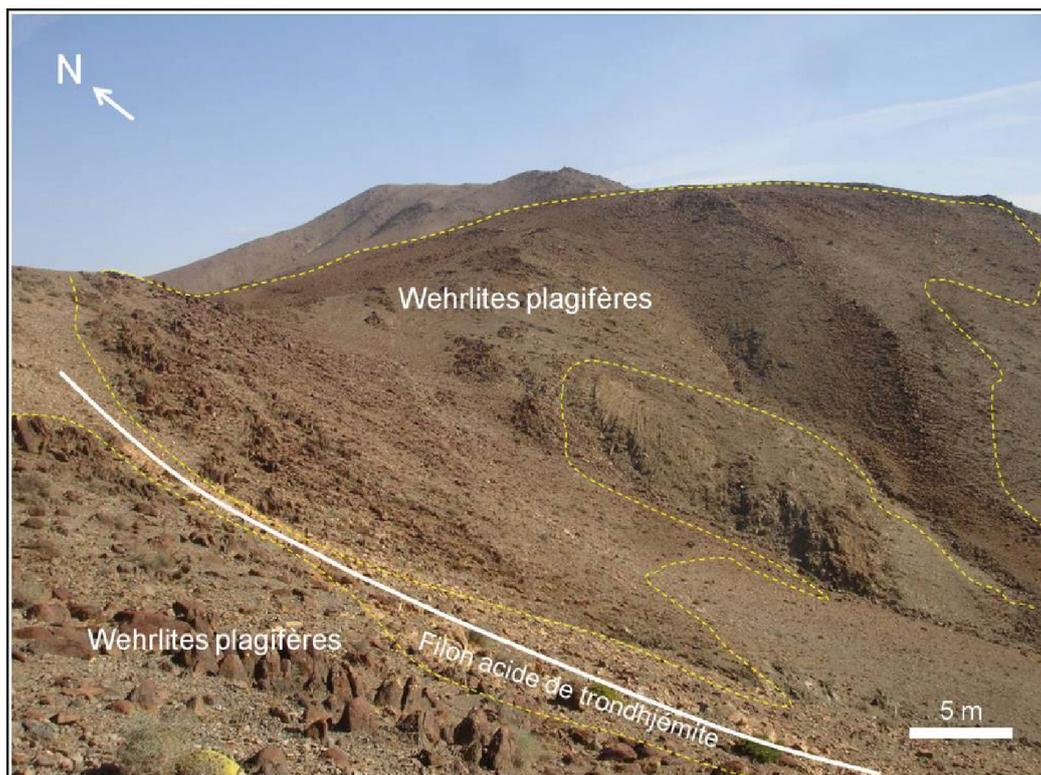


Photo 2- Photo d'un affleurement des Wehrlites plagifères à l'origine de l'anomalie magnétique observée au niveau de la terminaison sud-ouest du massif gabbroïque de de Kettara

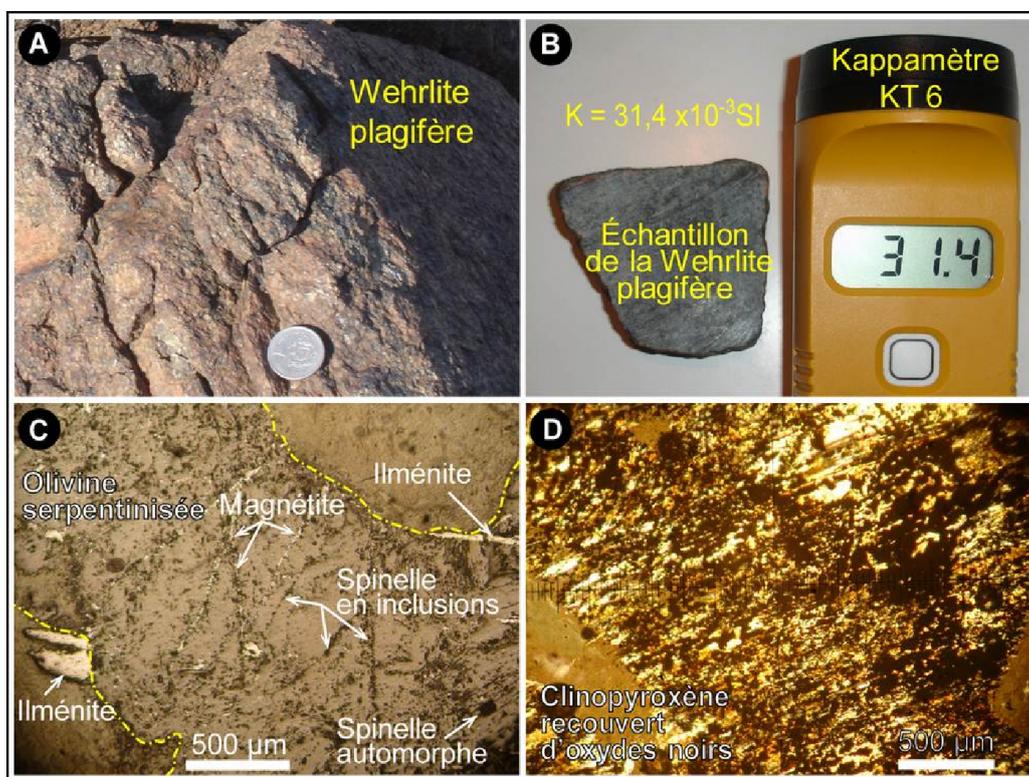


Photo 3- (A) Aspect macroscopique de la wehrlite plagifère du massif de Kettara ; (B) Mesure de la susceptibilité magnétique (K) sur un échantillon de la wehrlite plagifère. (C) Vue microscopique en lumière réfléchie montrant des inclusions dendritiques de magnétite et de spinelle chromifère avec de gros cristaux d'ilménite titanifère dans une olivine serpentinisée. (D) Vue microscopique en lumière polarisée analysée montrant un clinopyroxène à texture pœcilitique, recouvert d'oxydes noirs.

6 CONCLUSION

La province métallogénique des Jebilets-Guemassa recèle un important potentiel minier attesté par les nombreux gisements de métaux de base et des métaux précieux qu'elle abrite. La magnétométrie a contribué de façon significative à la découverte de certains de ces gisements. Elle constitue un outil de reconnaissance incontournable en particulier dans les zones où le socle hercynien, qui encaisse la minéralisation, est masqué par une importante épaisseur de recouvrement plioquaternaire. Les gisements de Hajar et de Khwadra enfouis respectivement 120 m et 180 m de sédiments récents engendrent des anomalies facilement décelables même par des levés aéroportés.

L'analyse de la carte magnétique du massif des Jebilets centrales montre que l'utilisation de la magnétométrie est fortement handicapée par l'existence de faciès magnétiques représentés par les roches magmatiques basiques et ultrabasiques. Les observations géologiques effectuées dans ce massif montrent que des anomalies peuvent résulter de l'effet conjoint de ce type de roches et des amas sulfurés magnétiques. D'où l'intérêt de mener une étude géologique approfondie des zones à anomalie géophysique de la province métallogénique des Jebilets-Guemassa. Des mesures des propriétés physiques des roches aux affleurements et dans les sondages sont vivement recommandées pour aiguiller les modélisations mathématiques prévisionnelles.

REMERCIEMENTS

Cette étude a eu lieu dans le cadre de la préparation d'une thèse de doctorat en collaboration entre l'Université Cadi Ayyad et le groupe MANAGEM. Les auteurs tiennent à remercier la Compagnie Minière de Guemassa (CMG) pour les données mise à leur disposition.

REFERENCES

- [1] M.D. Thomas, J.A. Walker, P. Keating, R. Shives, F. Kiss & W.D. Goodfellow, Geophysical atlas of massive sulphide signatures, Bathurst mining camp, New Brunswick: *Geological Survey of Canada Open File 3887*, 105 p, 2000.
- [2] L.A. Morgan, Geophysical characteristics of volcanogenic massive sulfide deposits in volcanogenic massive sulfide occurrence model: *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070 –C, chap. 7, 16 p*, 2012.
- [3] F. Lotfi, Contexte géologique et minéralisation a sulfures massifs (Zn, Pb, Cu) du gisement hercynien de Koudiat Aïcha, Jebilet centrales, Maroc. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad. 180 pp., 2009.
- [4] M. Jaffal, N. El Goumi, M. Hibti, A. Adama Dairou, A. Kchikach et A. Manar, Interprétation des données magnétiques du chapeau de fer de Laachach (Jebilets centrales, Maroc) : Implications minières, *Estudios Geológicos, 66(2) julio-diciembre 2010, 171-180 ISSN: 0367-0449 doi:10.3989/egeol.40123.092*, 2010.
- [5] J. Félnec, M. Alji, A. Bellot, M. Fournier, & M. Hmeurras, Découverte d'un amas sulfuré caché à pyrrhotite et métaux de base à Hajar (Massif des Guemassa, Maroc). *Chronique de Recherche Minière 478*, pp : 61-66, 1985.
- [6] M. Hathouti, Etude gravimétrique et magnétique des amas sulfurés viséens de la région de Marrakech. PhD Thesis, Université des sciences et techniques du Languedoc, Centre géologique et géophysique, Montpellier, France, 206p, 1990.
- [7] A. Bellot, J. Coppel and R. Millon, Contribution of magnetic modelling to the discovery of hidden massive sulfide body at Hajar, Morocco. *Geophysics, Vol; 56, No 7 983-991*, 1991.
- [8] P. Huvelin, Etude géologique et géochimique du massif hercynien des Jebilets (Maroc occidental). Note et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 232 bis, 307 pp., 1977.
- [9] A. Bellot, La cartographie géophysique au Maroc : Bilan et perspective. Deuxième Colloque de Géophysique Appliquée (CGA2), 20 et 21 mai 2004, Marrakech, Maroc ; pp : 157-163, 2004.
- [10] S. Rziqi, Le gisement polymétallique de Draa Sfar : Compilation et modélisation tridimensionnelle des données géologique et géophysique et perspectives de développement (Massif hercynien Jebilets Centrales, Maroc). Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad, 293 pp., 2004.
- [11] M. Bordonaro, Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotite de Kettara (paléozoïque des Jebilet, Maroc). Thèse 3ème cycle, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 132 pp., 1983.

- [12] E.M. Aarab, Mise en évidence du caractère cogénétique des roches magmatiques basiques et acides dans la série volcanosédimentaire de Sarhlef (Jebilet, Maroc hercynien). Thèse de 3ème cycle, Univ. Nancy, 1984.
- [13] E.M. Aarab, Genèse et différenciation d'un magma tholéiitique en domaine extensif intracontinental : l'exemple du magmatisme pré-orogénique des Jebilet (Maroc, Hercynien). Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad Marrakech, 253 pp., 1995.
- [14] M. Jadid, Etude des processus de différenciation des roches magmatiques pré orogéniques des Jebilet centrales sur l'exemple du massif stratiforme de Koudiat Kettara (Maroc hercynien). Thèse de 3ème cycle, Marrakech, Maroc, 1989.
- [15] A. Essaifi, Relations entre magmatisme, déformation et altération hydrothermale, l'exemple des Jebilet Centrales (Hercynien, Maroc). Mémoires Géosciences Rennes, 66 : 340 pp., 1995.
- [16] L. Ben Aissi, Contribution à l'étude gîtologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et de Koudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Sliman et de Kettara (Jebilets centrales, Maroc hercynien). Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech. 353 pp., 2008.
- [17] M. Zaïm, Etude pétrographique, structurale et métamorphique de dôme thermique de Migoura (Jebilet centrales, Maroc hercynien). Thèse de 3ème cycle, Uni. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, p 148., 1990.
- [18] Zouhry S., Etude métallogénique d'un amas sulfuré viséen à Zn-Pb-Cu : Cas de Hajar, Guemassa, Maroc. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada ; 318 pp., 1998.
- [19] M. Hibti, L'amas sulfuré de Hajjar : contexte géologique de mise en place et déformations superposées (Haouz de Marrakech, Meseta sud-occidentale, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, Maroc ; 197 p., 1993.
- [20] M. Hibti, Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud Occidentale, Maroc) : Témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mésétien. Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 301 pp., 2001.
- [21] J. Hamaïr, Lithostratigraphie, géochimie et métallogénie de l'environnement volcanosédimentaire de l'amas sulfuré de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1997-1998, n° 21, pp. 15-30., 1998.
- [22] A-D. Haddar, & P. Huvelin, Résultats d'une étude géophysique aéroportée par le modèle électromagnétique input barringer sur trois zones du district à pyrrhotine des Jebilets (Maroc). Mines et géologie, Rabat n° 29, 1969 ; pp : 13-24, 1969.