

Lithostratigraphie, géochimie et métallogénie de l'environnement volcano-sédimentaire de l'amas sulfuré de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc)

Jamila HAÏMEUR

Mots-clés : Maroc, Meseta, Guemassa, Carbonifère, Viséen, géochimie, volcano-sédimentaire, exhalite, protrusion, pyrrhotite, sphalérite.

جميلة حيمر

التركيب الصخري – طبقي – والجيوكيماوي – والمعدني للمحيط الرسوبي – بركاني للكتلة الكبريتية لدوار الحجر (كماسة – المغرب). تنتمي الكتلة الكبريتية الغنية بالبيريت والسفاليريت لدوار الحجر إلى السلسلة الرسوبية – بركانية الطفيفة التحول للزمن الفيزي والتي تم قطعها بواسطة جس استطلاعي. تضم السلسلة البركانية الحامضية رمادا بركانيا (طف) بعيد وقريب وكذلك دفقا لافيا، الكل تم قطعه بمندس لزوجي تفتت عند وصوله لقعر بحري. السوائل الحر – مائية (اماء – حارية) المنبعثة من المندس أدت إلى تحولات بداخل الفولكانتات (الثيريت) وكذلك إلى تراكم الكبريتات والرواسب الاندفاعية (أو الاكساليتيفية) (كلوريتيت، سيرستيت). التركيبة الكبريتية لدوار الحجر تتميز باحتوائها على بيروتين شبه خالص وسفاليريت خال من الحديد ومع وجود نسبة ضئيلة من الكالكوبيريت والكالين. وجود معدن الكرافيت يشير إلى أن التمدن الأولي مرتبط بلا شك بسوائل ماء حارية جد مختزلة. من جهة اخرى، نظائر الكبريت تبين أن هذا المعدن الاخير وكذلك سائر المعادن الاخرى منحدره من القاعدة الصخرية.

RESUME

L'amas sulfuré massif à pyrrhotite-sphalérite de Douar Lahjar s'inscrit dans une série volcano-sédimentaire viséenne épimétamorphique recoupée par sondages. La série volcanique acide renferme des tufs distaux puis proximaux et des coulées de laves. L'ensemble est traversé par une protrusion visqueuse s'émiettant en arrivant sur un fond marin. Les circulations hydrothermales associées à cette protrusion développent des altérations dans les volcanites (alterites) ainsi que le dépôt de sulfures et de sédiments exhalatifs (chloritites, séricitites...). La paragenèse sulfurée de Douar Lahjar est assez particulière par sa composition à pyrrhotite presque pure et sphalérite pauvre en fer avec chalcopyrite et galène subordonnées. La présence de graphite indique que la minéralisation primaire est vraisemblablement déposée par des fluides très réducteurs. Les isotopes du soufre montrent que cet élément et les métaux sont originaires du substratum.

ABSTRACT

Lithostratigraphiy, geochemistry and metallogeny of the volcanoclastic environment of the sulfide deposit of Douar Lahjar (Guemassa, Morocco). The massive sulfide deposit with pyrrhotite-sphalerite of Douar Lahjar is enclosed within a Viséan epimetamorphic volcanic series crosscut by core drilling. The acid volcanic series contains distal tuffs, then proximal tuffs and lava flows. The unit is intruded by a viscous protrusion crumbled while arriving on sea-bed. Hydrothermal circulations, associated with the protrusion, develop alterations in the pyroclastic rocks (alterite) as well as the deposit of sulfide and exhalative sediments (chloritites, sericitites...). The sulfide paragenesis of Douar Lahjar is particular by its composition, with almost pure pyrrhotite and iron-poor sphalerite, with subordinated chalcopyrite and galena. The presence of graphite indicates that primary mineralisation is probably deposited by very reducing fluids. The sulphur isotopes show that this element and metals originated from substratum.

INTRODUCTION

L'histoire minière de la région de Douar Lahjar a commencé au début des années soixante avec la mise en évidence d'une importante anomalie magnétique sur les indices ferrugineux des localités de Frisem et N'Zala (HUVELIN & SNOEP, 1965). Depuis, de nombreux travaux géologiques, géophysiques et miniers ont été entrepris par la Direction de la géologie du Ministère de l'énergie et des mines en collaboration avec le BRPM et le BRGM, suite

auxquels un premier sondage carotté (HS1) a été réalisé en 1984. Ce dernier a recoupé à 158 m de la surface, 118 m de sulfures massifs. Cette découverte très intéressante mettait en évidence une importante réserve potentielle en métaux de base et surtout en soufre, substance très recherchée et en grande partie importée par le Maroc pour la valorisation du phosphate.

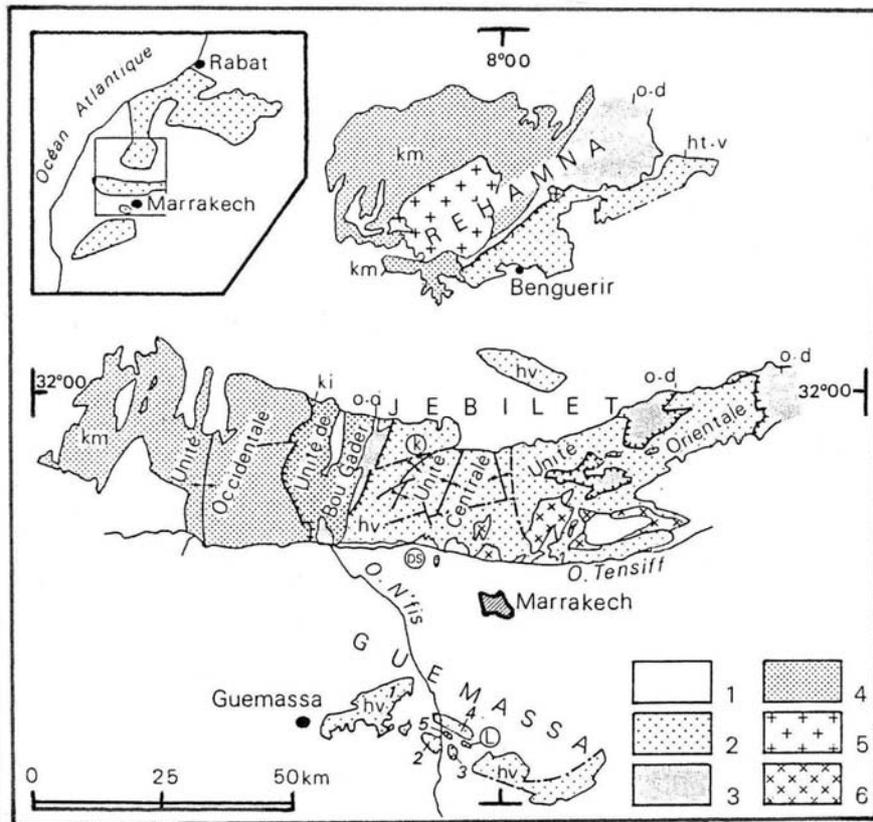


Figure 1: Situation géographique et géologique des massifs paléozoïques des Rehamna, Jebilet et Guemassa (HUVELIN, 1977). 1, couverture ; 2, Carbonifère ; 3, Ordovicien-Dévonien ; 4, Cambrien ; 5 et 6, granites hercyniens des Rehamna et Jebilet.

A partir de cette date, les travaux sur la région de Douar Lahjar se sont multipliés et intensifiés dans le but de comprendre le contexte géologique général, de cerner la géométrie du corps minéralisé et de préciser sa composition et ses réserves (MAÏER & EL HAKKOUR, 1984 ; BERNARD, 1985 ; GROS & *al.*, 1986...).

La présente note est une synthèse sur l'environnement de la minéralisation de Douar Lahjar qui vise à préciser la lithostratigraphie de la pile volcano-sédimentaire, la nature du volcanisme, la relation entre volcanisme et minéralisation et le type d'altération hydrothermale. Notre approche a été basée sur l'observation et la description détaillée des carottes des sondages effectués par le BRPM et le dépouillement et l'interprétation d'un nombre important d'analyses géochimiques réalisées sur les roches totales (traces, terres rares et isotopes stables) et sur les principales phases silicatées et métalliques (analyses ponctuelles à la microsonde électronique Camebax).

CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Le gisement polymétallique de Douar Lahjar est situé sous la couverture plio-quadernaire de la plaine du Haouz occidental, à environ 35 km au SW de la ville de Marrakech (Fig. 1) et exactement à 2 km au SSW de la localité de Douar Lahjar (Fig. 2).

Du point de vue géologique, le gisement étudié appartient au massif hercynien des Guemassa. Ce dernier est composé d'un ensemble de blocs tectoniques qui percent la couverture mio-pliocène et forment un jalon entre les grands massifs mésétiens au nord et ceux du Haut-Atlas au sud (Fig. 2). Il est constitué de terrains sédimentaires et volcanosédimentaires d'âge viséen supérieur-namurien (ROCH, 1950). Deux domaines y sont distingués :

- le domaine des Guemassa (s.s) ou Guemassa occidentales, qui comporte une série schisteuse de type flysch caractérisée par des intercalations de roches acides sous forme de lames et/ou sills

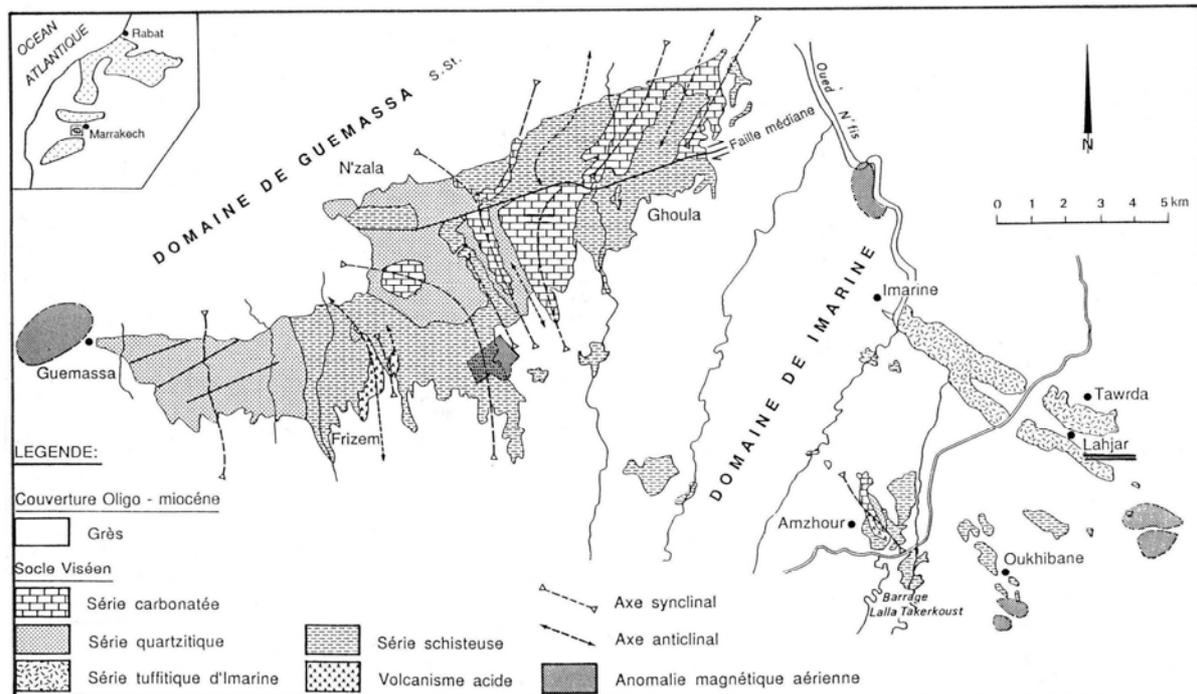


Figure 2 : Esquisse géologique du massif paléozoïque de Guemassa. Localisation de Douar Lahjar à l'extrémité orientale du massif (MAIER & *al.*, 1986).

(volcanisme effusif et fissural), rarement sous forme de tufs et tuffites acides (MAIER & *al.*, 1986 ; GROS & *al.*, 1986) ;

– *le domaine d'Imarine* ou Guemassa orientales, où s'inscrit l'amas sulfuré de Douar Lahjar, qui est constitué d'une série tuffitique mise en place par écoulement turbiditique au pied d'un talus ; le volcanisme s'y présente sous la forme de roches d'épanchements acides (laves, dômes et "débris-flows"), mises en place dans des sédiments plus ou moins lithifiés (GROS & *al.*, 1986).

Dans les deux domaines, le magmatisme basique est représenté par des sills et des dykes de gabbrodiorite (GROS & *al.*, 1986). EL AOULI (1989) précise que ce volcanisme comporte des laves spilitiques dont les caractéristiques géochimiques sont celles des séries alcalines intraplaques et des intrusions de diabases et de gabbros à signature tholéiitique intraplaque.

Du point de vue tectonique, le massif des Guemassa est structuré par la phase hercynienne majeure post-viséenne, qui se caractérise par des décrochements dextres N70-80. Cette phase est responsable du découpage du bâti hercynien en blocs et de la virgation de ses structures plicatives qui passent globalement d'une orientation NW-SE dans les Guemassa orientales vers une orientation N-S dans les Guemassa occidentales. Cette tectonique

s'observe à l'échelle de toute la Meseta occidentale (BORDONARO, 1983 ; LAGARDE, 1985) et témoigne d'un raccourcissement NW-SE, lié à la phase compressive d'âge post-viséen (LAGARDE, 1985 ; GAILLET, 1986 ; PIQUE, 1994).

LITHOSTRATIGRAPHIE

Les nombreuses observations faites sur les sondages effectués dans la région de Douar Lahjar révèlent une lithologie qui s'organise en une succession de trois formations (F1, F2, F3) qui ont été corrélées entre les différents logs de sondage. Ainsi, un log synthétique a été établi (Fig. 3).

LES FORMATIONS LITHOLOGIQUES

La formation de base (F1)

La lithologie de cette formation se caractérise par l'association de tufs et tuffites acides avec des manifestations volcaniques plus ou moins proximales, représentées par des brèches et des coulées pyroclastiques. Deux membres peuvent être distingués : (i) un membre inférieur tuffacé, composé essentiellement de tufs pyroclastiques plus au moins altérés qui s'associent ou passent latéralement à des tuffites et/ou des tufs cendreaux ;

et (ii) un membre supérieur volcanique, qui comporte des brèches volcaniques bien développées au NW du secteur, des tufs pyroclastiques à texture flammée ou vitroclastique et des tufs supérieurs.

La formation médiane (F2)

Elle est composée d'un amas sulfuré massif et d'une enveloppe immédiate assez spécifique à cette formation. L'amas sulfuré correspond à une minéralisation massive et rubanée, à pyrrhotite dominante et métaux de base (Zn, Pb, Cu). L'enveloppe est composée principalement de séricitites, chloritites et de rares biotitites (HAÏMEUR, 1988) ainsi que de grenatites (HIBTI, 1993). L'ensemble du corps minéralisé est globale-

ment concordant avec son encaissant et montre des figures de "slumping" ainsi que des brèches témoignant de glissements lors de sa mise en place et sa consolidation.

La formation du sommet (F3)

Elle est constituée de dépôts silto-gréseux tuffacés correspondant à un épisode de sédimentation détritique fine. Cette formation renferme au nord et au nord-ouest quelques intercalations de calcaires bioclastiques plus ou moins recristallisés indiquant un milieu de sédimentation sous une faible tranche d'eau. Certains échantillons renferment une fine poussière opaque de pyrite pulvérisée et de fins cristaux de graphite.

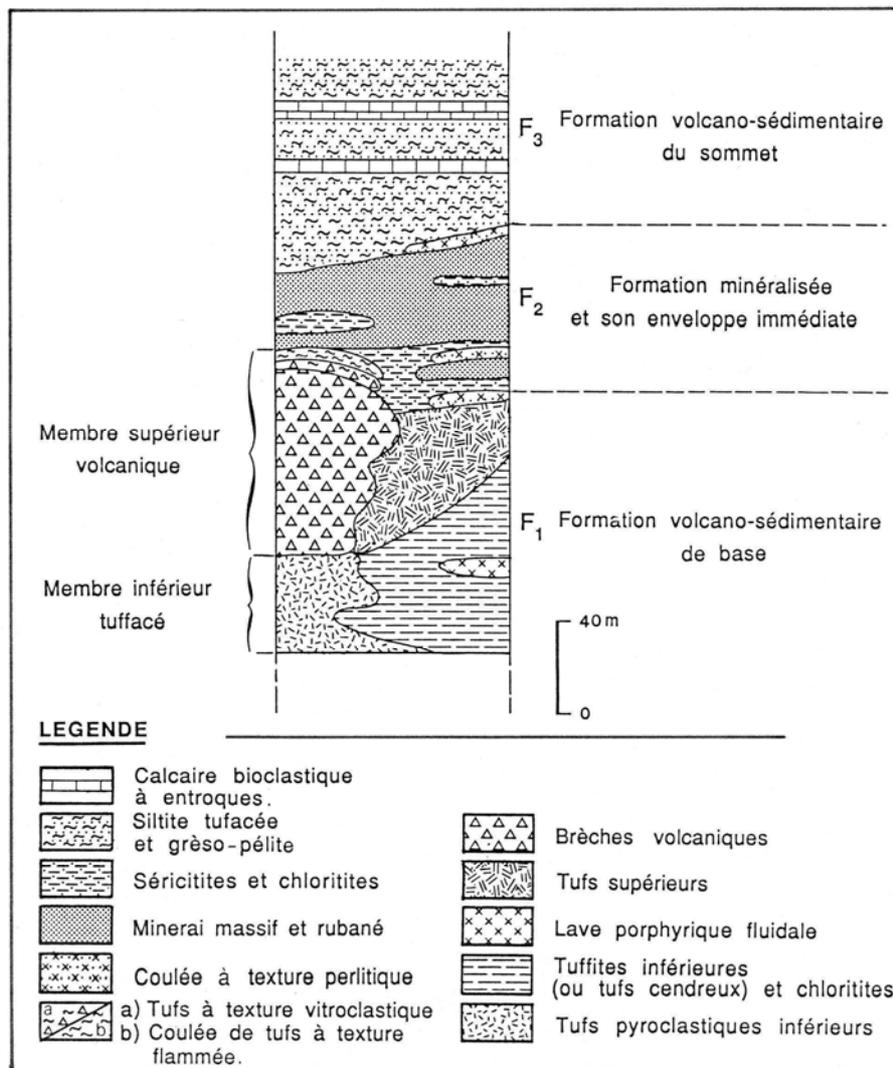


Figure 3 : Colonne synthétique de la série volcanique de Douar Lahjar (HAÏMEUR, 1988).

LA SEQUENCE VOLCANIQUE

Les faciès volcaniques de Douar Lahjar s'observent dans la formation de base (F1). Une description pétrographique détaillée de ces volcanites a été réalisée en tenant compte des associations verticales et latérales des différents faciès (HAÏMEUR, 1988). Le but est de déduire le mode et le dynamisme éruptifs de leur mise en place. L'ensemble de la formation est composé de deux membres : un membre inférieur tuffacé et un membre supérieur volcanique.

Le membre inférieur tuffacé

Épais de 30 à 200 m environ, il est constitué d'un ensemble de tufs pyroclastiques, cristallins, vitroclastiques et cendreux qui passent latéralement à des tuffites chloriteuses et des chloritites.

– *Les tufs pyroclastiques cristallins* montrent une texture porphyrique et sont constitués par des phénocristaux (20 à 25%) non orientés d'albite (Ab>98%). Cette dernière se présente en cristaux entiers ou fragmentés, isolés ou associés en agrégats et souvent transformés en un assemblage quartz-chloriteux. Ces phénocristaux baignent dans une matrice microgrenue constituée essentiellement de quartz et de chlorite ferrique (ripidolite) entourant des clastes inframillimétriques de quartz et de feldspaths qui proviendraient de la pulvérisation des phénocristaux. L'absence de textures d'écoulement dans ces volcanites nous amène à admettre qu'il s'agit vraisemblablement de produits de retombée d'éruption volcanique.

– *Les tufs vitroclastiques* sont de répartition sporadique et constituent l'équivalent latéral des tufs précédents. Ils sont formés par des vitroclastes d'aspect ovale ou à extrémités effilochées. La texture vitroclastique à échardes de verre en "y", en "c" et en "v" est souvent masquée par la chloritisation et la recristallisation épimétamorphique.

– *Les tufs cendreux et/ou tuffites* s'observent soit en intercalations soit en niveaux passant latéralement aux tufs pyroclastiques. C'est un dépôt très fin (moins de 0,01 à 0,2 mm) formé d'un assemblage à proportions variables de quartz, chlorite, séricite et feldspath potassique (97,55% Or). Malgré leur aspect monotone, deux sous-faciès y ont été distingués : (i) des tuffites à rubans clairs, concordantes avec la stratification et formées de gros cristaux de quartz, muscovite, fantômes de feldspaths, épidote et apatite ; et (ii) des tuffites à rythmes formées par l'alternance de lamines claires quartzo-feldspathiques et de lamines sombres chloriteuses (plus de 80% de

chlorite). Des tests de radiolaires ont été repérés dans ces tufs cendreux, ce qui témoigne d'un dépôt en milieu sous-marin. Ces roches sont souvent traversées par un réseau de fractures qui s'organisent en stockwork à remplissage de pyrrhotite.

Le membre supérieur volcanique

Épais de 120 à 180 m, ce membre représente le principal épisode volcanique acide de la zone étudiée. Il comporte des brèches volcaniques, des tufs pyroclastiques flammés et vitroclastiques qui passent latéralement à des tufs silicifiés.

– *Les brèches volcaniques* s'observent sur une extension assez réduite mais sur une puissance hectométrique. Elles sont plus ou moins massives, parfois schistosées et comportant des éléments clastiques non orientés, de couleur vert foncé et de nature chloriteuse. Ces derniers baignent dans une matrice claire composée d'une grande proportion de quartz en fins cristaux polygonaux, de sphérules de chlorites ainsi que d'anciennes vésicules écrasées de composition vitreuse. La masse des éléments chloriteux renferme des plagioclases souvent altérés, des quartz rhyolitiques à golfes de corrosion et surcroissances, des cristaux abondants de zircon et d'apatite. Cette minéralogie correspond bien à celle d'un matériau volcanique acide ultérieurement chloritisé. L'étude géochimique fine réalisée sur ces fragments chloriteux (HAÏMEUR, 1988) révèle une composition comparable à celle des roches altérées d'origine acide observées dans d'autres districts miniers tels que ceux des Jebilet (BERNARD & al., 1988) et de Huelva (mine de San-Miguel ; SOLER, 1980). Par ailleurs, la grande puissance de ces roches, le caractère anguleux des fragments bréchiques et l'allure non sédimentée de l'ensemble de cette formation, excluent l'hypothèse d'un quelconque écoulement pyroclastique ; il s'agirait plutôt de l'autobréchification d'une masse de lave extrêmement visqueuse (protrusion). Toutefois, le caractère localement orienté des éléments chloriteux à extrémités effilochées et déchiquetées suggère l'individualisation au sein de cette masse d'un sous-ensemble renfermant une fraction gazeuse. Cette dernière serait libérée à la faveur d'un cisaillement intramagmatique, en cours d'ascension et de mise en place de la masse visqueuse qui continue à s'étirer jusqu'à la rupture.

– *Les tufs pyroclastiques flammés et vitroclastiques* sont très localisés (NW du secteur), d'une faible puissance (quelques mètres) et surmontent systématiquement et en contact direct les brèches

volcaniques. Ces tufs montrent les caractéristiques texturales de roches magmatiques à refroidissement rapide : texture en flocon de neige (*snow flakes*) avec présence de fragments de ponces recristallisés et texture en coup d'ongle, en tourbillon ou localement perlitique, témoignant d'une dévitrification ou d'une rétraction thermique. Ces caractéristiques, jointes à l'association étroite avec les brèches, nous a conduit à interpréter ces tufs comme le produit d'un émiettement de la bordure vitreuse du magma de la protrusion trempé lors de sa mise en place sur un fond marin ; il s'agit d'hyaloclastites acides selon la nomenclature de RITTMANN (1963). Ce type de faciès a déjà été décrit dans la zone de Paymogo au nord de la province d'Huelva (SALPETEUR, 1976).

– *Les tufs lithiques supérieurs* s'observent sur 1 à 20 m de puissance au-dessus des brèches volcaniques et sont composés de fragments de tufs. Leur altération (silicification et chloritisation) très poussée oblitère en grande partie leur texture et leur composition originale, ce qui ne permet pas de reconnaître s'il s'agit de tufs de retombée ou de roches provenant, au moins en partie, du remaniement des faciès volcaniques précédents.

– *Les coulées porphyriques fluidales* s'observent en intercalations au sein de la formation volcano-sédimentaire de base. La roche apparaît massive, de couleur grisâtre et mouchetée de cristaux blanchâtres (30 à 40% en volume) de plagioclase albitique (98% Ab). Ce dernier se présente en lattes rectangulaires (0,5 à 4 mm), souvent maclés polysynthétique et montrant fréquemment une altération spectaculaire en lanière ou en motte (le minéral apparaît en fragments de petits cristaux à contours ondulés et cimentés par une matrice initialement vitreuse). Cette figure d'altération des albites est interprétée en termes de corrosion due à un déséquilibre entre le cristal déjà formé et le magma qui l'englobe, ce qui revient à admettre une rupture à chaud au cours de l'écoulement. Ce phénomène est couramment décrit dans les écoulements laviques présentant des frictions internes (MILESI, 1976).

MODE DE MISE EN PLACE

La distribution et l'agencement spatial des faciès des différentes formations de Douar Lahjar, appuyée par l'analyse pétrographique et minéralogique, nous a permis de dégager une relation génétique logique qui lie la nature et l'organisation des dépôts volcano-sédimentaires, d'une part et l'aspect et la distribution des minéralisations, d'autre part (HAÏMEUR, 1988). Le modèle présenté ci-dessous (Fig. 4) schématise les quatre principales étapes permettant d'expliquer la mise en place et l'agencement des principaux

faciès volcano-sédimentaires et la minéralisation de Douar Lahjar.

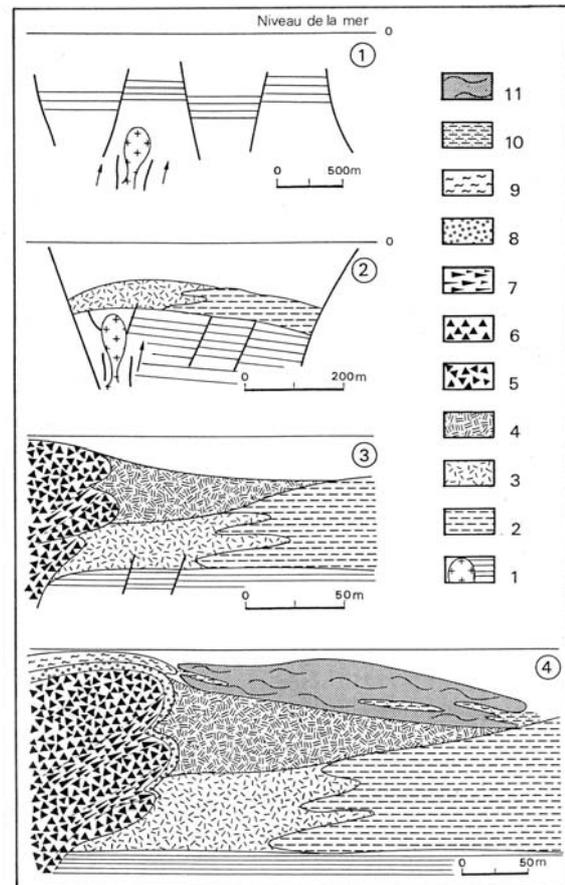


Figure 4 : Modèle montrant les étapes (1 à 4) d'évolution dynamique de la mise en place des volcanites et de la minéralisation sulfurée de Douar Lahjar (HAÏMEUR, 1988). Figurés : 1, substratum de la série de Douar Lahjar traversé par la protrusion acide ; 2, tuffites inférieures et tufs cendreux ; 3, tufs pyroclastiques inférieurs ; 4, tufs supérieurs ; 5, brèches volcaniques non orientées ; 6, brèches volcaniques à aspect entrecroisé ; 7, brèches volcaniques orientées ; 8, hyaloclastites ; 9, coulées de tufs à texture perlitique ; 10, séricitites et chloritites ; 11, amas sulfuré "slumpé".

Le corps minéralisé de Douar Lahjar s'observe au sommet d'une pile volcanique de composition acide sans aucune manifestation basique ou intermédiaire. L'événement volcanique majeur correspond à la montée progressive et sans doute lente d'une masse protrusive acide très visqueuse (1). Cette montée est annoncée par l'émission explosive d'une grande

quantité de tufs pyroclastiques (tufs inférieurs et supérieurs), qui soustraient l'essentiel de la fraction gazeuse de cette masse. Ces tufs ont dû se mélanger à la sédimentation ambiante pour donner des tuffites (2). La protrusion se met en place en s'autobréchifiant d'une manière hétérogène suivant l'importance locale du reliquat gazeux (3). L'émiettement de la partie supérieure de ce dôme en hyaloclastites témoigne de son arrivée sur un fond marin. Dans ces conditions, l'altération par les fluides magmatiques et l'eau de mer apparaît très intense, ce qui est logique dans un tel contexte (4). C'est à la fin de cet épisode que se déposent les sulfures qui glissent sur le flanc oriental de la zone haute déterminée par la protrusion. D'une manière générale, la distribution des faciès pyroclastiques proximaux à l'ouest et distaux à l'est, montre clairement la polarité sédimentologique de l'ensemble. L'existence vers l'ouest de dépôts sommitaux de calcarénites à entroques, indique une zone haute de plate-forme carbonatée.

GEOCHIMIE ET CONTEXTE GEODYNAMIQUE

COMPOSITION CHIMIQUE

L'étude pétrographique des volcanites de Douar Lahjar a montré leur caractère généralement pyroclastique, leur origine acide et leur intense altération hydrothermale à laquelle se surimpose un métamorphisme régional épizonal. Ainsi, la composition chimique initiale de ces volcanites s'avère très difficile à restituer. Par analogie avec des volcanites équivalentes, deux types de compositions peuvent être envisagées : dacite-rhyodacite ou kératophyre, en se basant sur la paragenèse généralement observée (albite + quartz + chlorite ± séricite + accessoires) et sur le fait que l'albite est le seul feldspath présent sous forme de phénocristaux d'origine primaire (corrosion magmatique, fracturation à chaud). Ces caractères, joints à l'assemblage quartzo-chloriteux, suggèrent une origine plutôt kératophyrique à quartz-kératophyrique par comparaison avec les roches volcaniques acides connues à l'échelle régionale : quartz-kératophyres et kératophyres des Jebilet (HUVELIN, 1977 ; BORDONARO, 1983) et kératophyres d'Amzhour (BERNARD & HAÏMEUR, 1986 ; HAÏMEUR, 1988).

Le recours aux terres rares, réputées par leur stabilité au cours des processus d'altération et du métamorphisme (par ex. LAVAL, 1992 ; ROLLINSON, 1993) s'avère utile pour approcher la composition originale du magma. Les spectres de

terres rares (TR) des différentes volcanites de Douar Lahjar (Fig. 5), montrent des teneurs variables mais une homogénéité remarquable entre les différents types pétrographiques (tufs, laves et coulées pyroclastiques), ce qui suggère leur origine commune. Par ailleurs, le parallélisme de ces profils avec ceux des laves d'Amzhour appuie l'hypothèse de leur nature kératophyrique.

Tableau I : Teneurs en SiO₂, totaux et rapports des Terres Rares (TR) d'échantillons de différents faciès volcano-sédimentaires de Douar Lahjar provenant des sondages (HS_n). R59 et R245a : roches volcaniques felsiques respectivement saine et altérée (CONDIE & MCCRINK, 1982). MC : moyenne de la croûte continentale (1) calco-alcaline (2) (TAYLOR & MC LENNAN, 1981).

Echantillons	SiO ₂ %	Σ T.R	La _N /Sm _N	La _N /Yb _N
HS ₁ - 322,50	48,55	177,68	3,85	12,75
HS ₃ - 279,60	62,41	170,79	3,06	5,45
HS ₄ - 310,20	44,75	279,14	2,80	4,60
HS ₄ - 324,00	52,53	301,90	3,26	6,03
HS ₈ - 304,40	49,04	223,00	2,98	4,02
HS ₁₁ -425,20	57,49	165,90	3,15	6,80
HS ₁₄ -225,00	40,92	206,04	3,39	5,84
HS ₁₉ -324,70	63,60	143,89	6,76	6,76
HS ₂₀ -501,35	65,31	34,38	1,82	1,86
HS ₂₀ -434,00	62,65	35,77	1,57	1,41
R59	76,6	-	4,3	7,74
R245a	70,4	-	4,0	4,97
MC1	-	139,9	3,14	6,8
MC2	-	-	-	6,3

Ajoutons également que par leur teneur en SiO₂ et TR (Tabl. I), notamment leur rapports (La_N/Sm_N) et (La_N/Yb_N), les volcanites de Douar Lahjar peuvent être comparées aux roches volcaniques acides calco-alcalines, récentes ou actuelles (TAYLOR, 1964 ; CONDIE, 1981 ; TAYLOR & MC LENNAN, 1981 ; CONDIE & MC CRINK, 1982).

Ce diagnostic, joint à la nature rhyodacitique et/ou kératophyrique, conduit à envisager pour les volcanites de Douar Lahjar une origine par anatexie crustale. Cette hypothèse rejoint celle proposée par différents auteurs (ROCCI, 1978 ; SOLER, 1980 ; IKEN, 1986, et N'JEL, 1988) pour expliquer la genèse des volcanites acides spilitiques. L'allure voisine des spectres de TR de ces volcanites de Douar Lahjar (Fig. 5) avec le profil correspondant à la moyenne de la croûte continentale (TAYLOR, 1964) appuie cette dernière hypothèse.

CONTEXTE GEODYNAMIQUE

L'ensemble des données lithostratigraphiques, pétrographiques et chimiques nous amène à admettre les faits suivants :

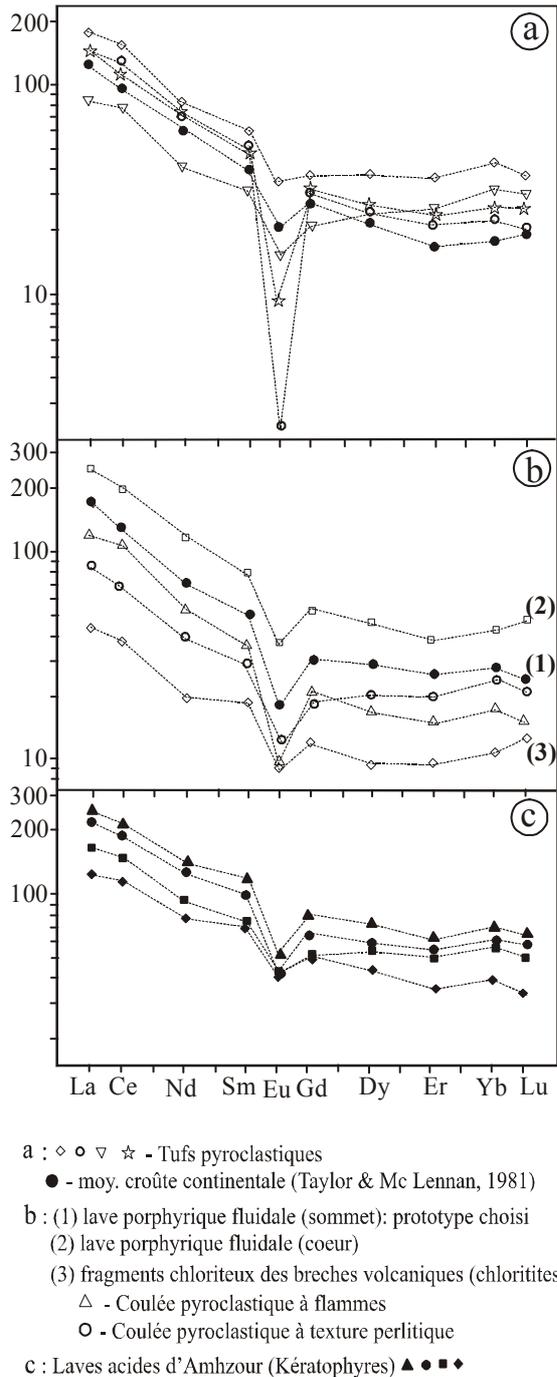


Figure 5 : Spectres de Terres Rares normalisées par rapport aux chondrites des principaux faciès volcano-sédimentaires de Douar Lahjar (HAÏMEUR, 1988). a, tuf pyroclastique ; b – 1/ lave fluidale du sommet ; 2/ lave fluidale du cœur ; 3/ fragment de brèche (chlorite) ; c – lave acide d'Amhזור (kératophyres). Rond plein : moyenne de la croûte continentale (d'après TAYLOR & McLENNAN, 1981).

- le secteur de Douar Lahjar correspondrait à un bassin comportant des dépôts de type proximal à l'ouest et distal à l'est, ce qui montre ainsi un approfondissement du bassin vers l'est ;
- les nombreux "slumps" montrent l'abaissement de certaines parties du secteur ;
- la mise en place d'un volcanisme généralement explosif (pyroclastites) sans roches basiques ou intermédiaires associées (dans la série traversée par les sondages).

Ces constatations, jointes à l'hypothèse de l'anatexie crustale précédemment émise, laissent admettre l'expression du volcanisme de Douar Lahjar dans un contexte de volcanisme distensif intraplaque. Ce volcanisme serait soit de type rift intracontinental par référence à la région de Jebilet (BORDONARO, 1983) soit de type bassin d'arrière-arc, toujours par référence à cette même région (BERNARD, 1985 ; BERNARD & *al.*, 1988) soit d'arrière-cordillère par comparaison avec la Meseta nord-occidentale (KHARBOUCH, 1982).

ALTERATION HYDROTHERMALE

Lors de leur mise en place, les volcanoclastites acides de Douar Lahjar ont subi deux types d'altération très spécifiques :

- une altération précoce tardi-magmatique contemporaine de la mise en place des volcanites ; elle se traduit par un lessivage des alcalins et le développement d'abondantes ripidolites ferrifères conduisant à des chloritites tuffacées ; celles-ci sont constituées principalement de chlorite et quartz avec des clastes de verre et de feldspath ; il s'agit de chloritites de type altérites ;
- une altération hydrothermale tardive accompagnant le dépôt des sulfures ; elle se caractérise par l'apparition de roches phylliteuses quasi monominérales, qui sont exemptes de toutes reliques feldspathiques ou phénoclastes volcaniques et relativement riches en minéraux de titane ; il s'agit d'une formation d'origine exhalative ou exhalite.

COMPOSITION DES EXHALITES

Les exhalites de Douar Lahjar présentent un intérêt particulier du fait qu'elles sont intimement liées à la minéralisation et peuvent être utilisées comme guide de prospection minière. Selon la nature du minéral composant ces exhalites, trois types ont été distingués : chloritites, séricitites et biotitites (HAÏMEUR, 1988). HIBTI (1993) a signalé l'existence d'un quatrième type, la grenatite. Les

chloritites sont de loin les plus abondantes et les plus intéressantes sur le plan minéralogique et métallogénique.

Les chloritites

Elles forment des passées de faible puissance au sein et au mur de la minéralisation. Elles sont parfois schisteuses, d'aspect satiné et présentent une structure finement grenue et litée. Leur couleur varie du gris verdâtre au noir selon l'abondance des chlorites et des opaques. La roche est composée de 85 à 95% de chlorite en feutrage autour des grains détritiques de quartz. Les opaques (pyrrhotite et sphalérite) sont souvent dispersés en très fins cristaux dans la trame chlorito-quartzreuse. Précisons que seule une analyse pétrographique fine permet de distinguer ces chloritites exhalatives de celles de type altérites.

L'étude effectuée à la base d'une analyse fine à la microsonde électronique des chlorites des différentes formations de la région a montré des

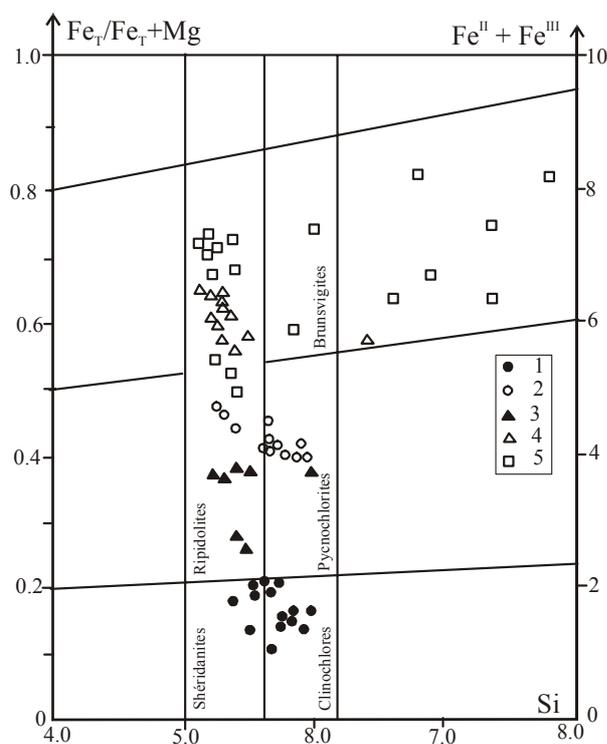


Figure 6 : Répartition des compositions des chlorites des principaux faciès volcano-sédimentaires de Douar Lahjar dans le diagramme de HEY (1954). 1 et 2, chloritite de type exhalite respectivement proche et lointaine du minerai ; 3 et 4, chloritite tuffacée, respectivement proche et lointaine du minerai ; 5, laves et tufs chloritisés.

compositions assez étalées dans le diagramme de HEY (1954) (Fig. 6). Les chlorites des exhalites sont particulièrement riches en magnésium et ont une composition de clinochlore, selon les nomenclatures de FOSTER (1962) et BAYLIS (1975). Par ailleurs, les chlorites des différentes roches (exhalites et altérites) montrent une augmentation de leurs teneurs en magnésium à l'approche de la minéralisation. Toutefois, à distance égale du minerai, les chlorites des exhalites paraissent plus magnésiennes et relativement plus siliceuses que celles des altérites.

L'évolution du chimisme des chlorites en fonction de la distance par rapport au minerai présente un grand intérêt en prospection minière. Ainsi, nous avons essayé de caractériser cette évolution en suivant la variation du rapport $[Mg/(Mg+Fe+Mn)]$ des chlorites le long d'une coupe de sondage (Fig. 7). Ceci a montré effectivement que les chlorites, notamment celles des exhalites, deviennent de plus en plus magnésiennes à l'approche du minerai qui est très ferrifère (pyrrhotite ± pyrite ± oxydes de fer). Ce même phénomène a été décrit par BELLOTO (1983) à Saint-Bel (France). Les nombreux travaux menés sur le chimisme des chlorites associées aux amas sulfurés montrent que la variation de Mg dans ces silicates est fortement contrôlée par fS_2 (MC LEON & STANTON, 1984) mais aussi par fO_2 , l'association sulfures-oxydes-Fe-Ti ainsi que par la présence de graphite et de carbonate (BRYNDZIA & SCOTT, 1987).

Les séricitites / biotitites et grenatites

Les séricitites sont constituées de 80 à 95% de séricites et de quelques grains détritiques de quartz et de minéraux opaques (pyrrhotite, sphalérite et pyrite). Ces roches sont étroitement liées à la zone minéralisée et on constate qu'en s'approchant du minerai la teneur de la séricite augmente progressivement aux dépens de la chlorite. Chimiquement, elles se caractérisent par un rapport $Si/Al < 3$ et $Fe/Fe+Mg = 0,17$.

Les biotitites sont rares et s'observent localement en petits passées centimétriques assez souvent au dessus de la minéralisation. Dans les exhalites, les biotitites des biotitites sont magnésiennes ($Fe/Fe+Mg = 0,15$) au même titre que les chlorites avec lesquelles elles sont associées, tandis qu'elles sont ferrifères dans les altérites ($Fe/Fe+Mg = 0,63$).

Les grenatites sont de répartition très localisée et se rencontrent à la base de la minéralisation sous forme de lentilles centimétriques. La composition

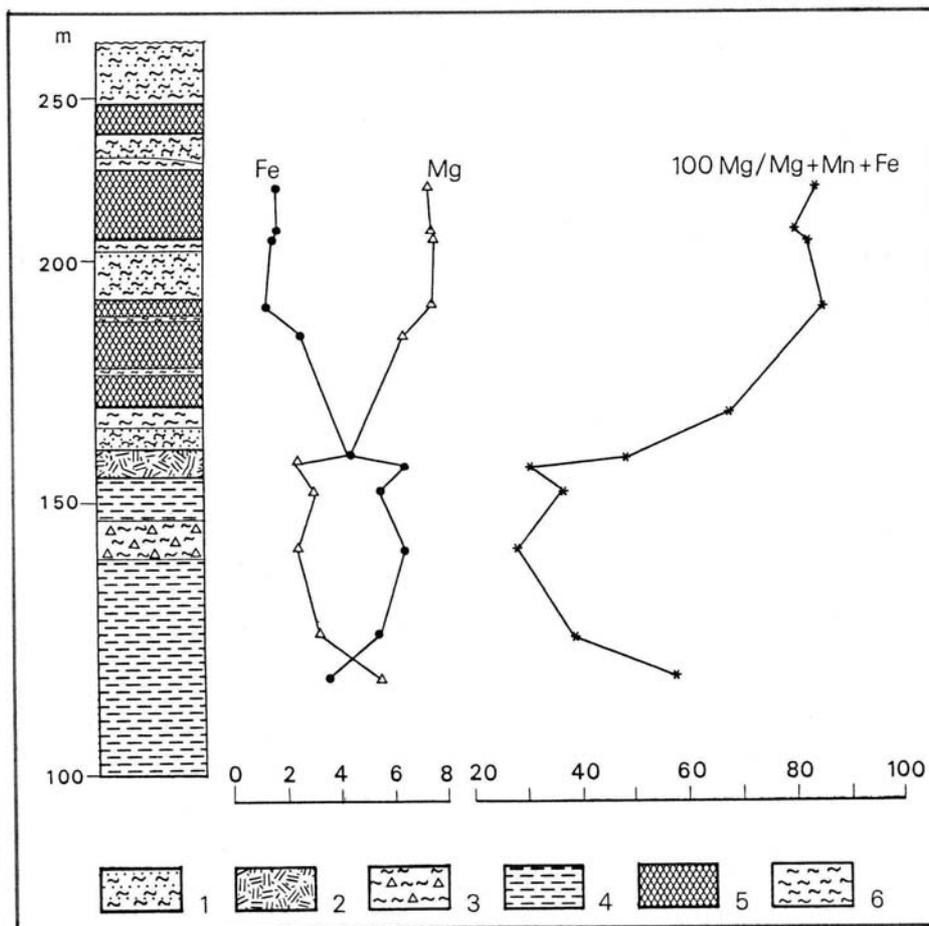


Figure 7 : Evolution des teneurs en Fe, Mg et du rapport $Mg/(Mg+Mn+Fe)$ des chlorites, le long d'une coupe de sondage, selon leur position par rapport au minerai (HAÏMEUR, 1988). 1, siltites gréseuses ; 2, tufs pyroclastiques ; 3, coulées pyroclastiques ; 4, tuffites chloritisées ; 5, minerai à pyrrhotite + sphalérite ; 6, chloritite.

chimique des grenats révèle une richesse en composant almandin et spessartite (HIBTI, 1993).

BILAN DE L'ALTERATION

Tenant compte de la répartition spatiale des produits d'altération, les solutions hydrothermales ont été tout d'abord riches en Mg mais surtout en Fe (chloritisation généralisée) et elles ont évolué ensuite vers des compositions plus potassiques (séricitisation intense au niveau de l'enveloppe du minerai). On est donc en présence d'une zonalité d'altération. Les travaux de BISCHOFF & *al.* (1975) ont montré que la capacité d'échanges de cations des minéraux argileux était considérablement augmentée en environnement anoxique marin ; de ce fait, les teneurs en Mg des phyllites augmentent alors que l'eau interstitielle s'enrichit en fer, ce qui entraîne la formation de sulfures de fer (pyrrhotite et/ou pyrite). Ainsi, la

présence de chlorites magnésiennes (clinocllore, sheridanite) apparaît comme un excellent indicateur de proximité de milieux marins anoxiques et porteurs d'amas sulfurés. Par ailleurs, les températures de formation et/ou de recristallisation des chlorites étudiées ont été estimées en utilisant le géothermomètre proposé par CATHELINÉAU (1987), basé sur la variation du Al^{IV} en site tétraédrique ; la gamme de variation de cette température serait de l'ordre de 250 à 350°C (Fig. 8). Ainsi, la composition de ces paragenèses silicatées résulte en premier lieu de la nature du substratum de la série et des conditions de son lessivage par des circuits convectifs. Les caractéristiques chimiques de détail apparaissent, quant à elles, liées aux conditions syngénétiques de leur dépôt mais sans doute aussi à d'inévitables réorganisations et transformations diagénétiques plus tardives.

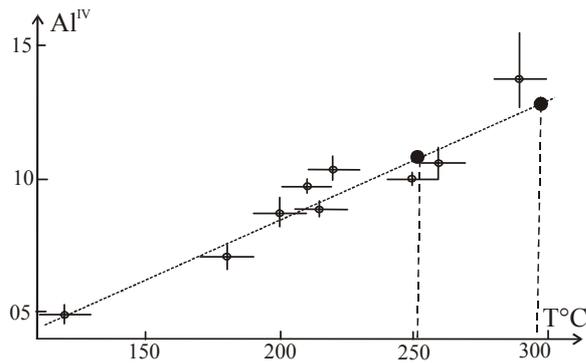


Figure 8 : Estimation de la température de cristallisation des chlorites de Douar Lahjar d'après le diagramme Al^{IV} vs T(°C) de CATHELINÉAU (1987).

MINÉRALISATION

MORPHOLOGIE ET ORGANISATION

Dans cette partie il n'est pas question de préciser la géométrie exacte du corps minéralisé ; de nombreux travaux miniers, basés sur l'ensemble des observations de sondages et de la géophysiques, ont été menés dans ce sens par le BRPM (par ex. MAIER & *al.*, 1986).

Il serait juste question à ce niveau d'apporter quelques précisions, tirées à partir de l'analyse des sondages carottés, sur la morphologie et l'organisation de l'amas sulfuré de Douar Lahjar. Cet amas, loin d'être homogène, apparaît : (i) concordant en direction et en orientation avec la série encaissante ; (ii) assez fortement plissé par l'orogénèse hercynienne ; et (iii) tronqué à l'est et au nord par de grands accidents tectoniques qui entraînent son découpage en blocs. Ses limites inférieures et supérieures ainsi que les variations latérales de sa puissance permettent de lui attribuer une forme lenticulaire simple, morphologie qui est assez commune dans de nombreux gisements de même type : Neves-Corvos (Portugal) et Lomero Payatos (Espagne).

L'analyse détaillée des carottes de sondage a révélé des variations importantes aussi bien de la morphologie que de la composition et la répartition spatiale de la minéralisation. Ainsi, quatre types principaux de minerai ont été distingués selon leur ordre d'importance décroissante : minerai massif plus ou moins rubané, minerai de type stockwork, minerai oxydé, et minerai pulvérulent.

Minerai massif plus ou moins rubané

C'est le minerai dominant de Douar Lahjar et qui est économiquement le plus intéressant. Il comporte, outre la pyrrhotite omniprésente et prédominante sur

la sphalérite, de la chalcopryrite et la galène. Le minerai est massif et présente parfois une succession de rubans sulfurés, parallèles à la stratification (S₀) de la roche encaissante, à dominante pyrrhotitique, en alternance avec des rubans à dominante sphaléritique. Ce minerai montre également des figures de glissement "slump" et des bréchifications. Dans les rubans à pyrrhotite dominante, la minéralisation se présente en agrégats de gros cristaux de monosulfures de fer engrenés (500 à 800 μm), orientés dans la direction de la schistosité et qui sont parfois bordés de sphalérite, chalcopryrite et minéraux de gangue. Dans les rubans à sphalérite dominante, cette dernière se présente en plages arrondies, parfois orientées et entre lesquelles s'observent des cristaux de pyrrhotite et de chalcopryrite. Signalons enfin qu'à la base de cet amas s'observe un niveau d'environ 2 m de puissance, riche en très fins cristaux de chalcopryrite associés à la galène (BERNARD & *al.*, 1988).

Minerai de type stockwork

Il apparaît en imprégnation autour de fissures qui s'organisent en réseau de veinules plus ou moins anastomosées et remplies de pyrrhotite et/ou de sphalérite. Les épontes des veinules du stockwork montrent un important enrichissement en chlorite, sidérite et quartz. L'ensemble montre une recristallisation durant le métamorphisme et une schistosité fruste et localement concordante avec S₀, ce qui indiquerait l'antériorité du remplissage du stockwork. Sur le plan composition, on note que vers le sommet de la série, le stockwork à pyrrhotite passe progressivement à un stockwork à sphalérite et ceci immédiatement en dessous de l'amas sulfuré massif. L'évaluation faite par MAIER & *al.* (1986) a montré que cette minéralisation de type stockwork serait d'une grande importance économique.

Minerai oxydé

La partie supérieure du gisement montre une zone d'oxydation d'une dizaine de mètres de puissance et qui comporte deux niveaux, l'un ocre rouge et l'autre ocre jaune. La concentration des métaux de base s'observe dans la zone de transition ou à la base de l'ensemble. Il s'agit en fait d'un minerai qui provient de l'oxydation de la minéralisation primaire, quand celle-ci se trouve à proximité d'un niveau hydrostatique. Dans ces conditions, la pyrrhotite s'oxyde en pyrite et magnétite, ensuite la pyrite se transforme en goéthite alors que la magnétite s'oxyde en hématite, processus assez communs dans les chapeaux de fer.

Minerai pulvérulent

Il s'observe sur une faible puissance près de la discontinuité plio-quatenaire (BERNARD & *al.*, 1988). Il s'agit d'un minerai gris pulvérulent qui se compose de chalcocite, covellite, bornite ainsi que de reliques de pyrrhotite, pyrite, sphalérite et chalcopyrite. Cette partie supérieure du gisement correspondrait, selon sa concentration en métaux de base, sa paragenèse et sa composition minéralogique et chimique, à une zone de cémentation.

A côté de ces quatre types principaux de minerai, il existe d'autres types : minéralisation sulfurée bréchique à quartz anguleux ; minéralisation disséminée à pyrrhotite transformée et qui s'observe au mur et au toit du gisement ; et minéralisation filonienne essentiellement à pyrite qui recoupe le corps minéralisé et serait par conséquent secondaire et tardive par rapport à la minéralisation primaire. Toutefois, ces derniers types de minéralisation restent très faiblement développés et sans intérêt économique par rapport aux précédents.

Signalons également que le gisement de Douar Lahjar est coiffé par une formation siliceuse limonitique d'aspect jaspeux bréchique qui a été interprété comme une exhalaison siliceuse tardive par analogie avec l'horizon de "Tetsuskei" des Kurokos japonais (BERNARD & *al.*, 1988) et au jaspe ferrugineux du Huelva (SOLER, 1980).

Enfin, nous retenons de cette étude que l'amas sulfuré de Douar Lahjar se présente en corps lenticulaire plissé et découpé par la tectonique régionale. Le minerai est principalement massif, plus ou moins rubané et se compose essentiellement de pyrrhotite et de sphalérite auxquelles s'ajoutent des quantités variables de chalcopyrite, galène et arsénopyrite. Ajoutons que les structures internes du minerai (caractère stratiforme, rubanement concordant avec S_0 , figures de glissement, bréchification...) appuient l'hypothèse d'une mise en place sédimentaire des sulfures, c'est à dire syngénétique, et de leur glissement avant lithification

(HAÏMEUR, 1988).

PARAGENESES METALLIQUES

L'étude métallographique menée sur les sections polies confectionnées à partir des carottes de sondage ont montré une population d'espèces métalliques riche et variée (Tabl. II). Dans ce qui suit nous présentons l'inventaire des espèces observées au niveau du protore c'est à dire du minerai massif qui est le type de minerai le plus fréquent, le plus abondant et économiquement le plus intéressant.

Deux paragenèses métalliques principales ont été distinguées au niveau du protore de Douar Lahjar ; une paragenèse primaire et une secondaire.

Paragenèse primaire

Elle se compose de pyrrhotite, sphalérite, chalcopyrite, galène et arsénopyrite.

La *pyrrhotite* est la phase métallique principale de l'amas sulfuré de Douar Lahjar puisqu'elle représente approximativement 75 à 95% du minerai. Elle se présente en plages polycristallines souvent fissurées et colmatées par de la chalcopyrite et montrant fréquemment une structure orientée. Des inclusions diverses (chalcopyrite, galène, arsénopyrite, costibine, bismuth...) y sont rencontrées. L'analyse à la microsonde de cette pyrrhotite a montré son remarquable homogénéité et une composition moyenne [$X_{Fe} = 46,06\%$; $X_S = 53,87\%$ $\rightarrow F_{1-x} S = Fe_{0,855} S$], ce qui la qualifie selon la nomenclature de KISSIN & SCOTT (1982) d'un mélange "pyrrhotite monoclinique (4c) + pyrite" très riche en pyrrhotite (4c) fortement ferro-magnétique (BERNARD & HAÏMEUR, 1986). Une telle composition explique l'importante anomalie magnétique manifestée en surface. Signalons en outre, la coexistence au sein de ces sulfures de Douar Lahjar de deux polymorphes, monoclinique et hexagonal, de pyrrhotite qui indiquerait des conditions de cristallisation de haute température.

Tableau II : Principales espèces minérales métalliques et silicatées rencontrées dans le gîte de Douar Lahjar (HAÏMEUR, 1988).

Eléments natifs	Bismuth, cuivre, graphite.
Sulfures	Pyrite, pyrrhotite, sphalérite, argent rouge, arsénopyrite, bismuthinite, chalcopyrite, costibine, cubanite, freibergite, galène, glaucodote, mackinawite, molybdénite, owyheeite.
Oxydes	Hématite, ilménite, magnétite, leucoxène, rutile.
Min. de gangue	Chlorite, micas, quartz, sidérite.

La sphalérite est très fréquente et représente 30 à 10% de l'ensemble du minerai alors qu'elle forme 60 à 80% dans les lits zincifères. Elle se distingue par des teintes sombres et des réflexions internes brun-rouge indiquant sa richesse en fer. La composition chimique moyenne révélée par la microsonde est : $X_{Fe} = 6,29$; $X_{Zn} = 42,74$; $X_S = 50,43$, soit 9,87 moles % de FeS dans ZnS. Précisons, là aussi, que la présence assez fréquente d'exsolutions de chalcopryrite dans la sphalérite indiquerait sa cristallisation à haute température.

La chalcopryrite est ubiquiste et représente environ 10 à 6% de la masse minérale. Elle apparaît en cristaux à macles polysynthétiques souvent associés à la sphalérite au niveau des interstices aménagées par les cristaux de pyrrhotite. L'analyse de cette phase montre une parfaite homogénéité et une composition moyenne égale à ($X_{Cu} = 24,56$; $X_{Fe} = 24,6\%$; $X_S = 50,77$). Notons enfin que la présence de macles polysynthétiques ainsi que de lamelles de cubanite en exsolution traduisent la cristallisation de cette chalcopryrite à des températures élevées (BARNES & KULLERUD, 1961).

La galène est peu fréquente et on constate qu'elle a tendance à se développer davantage au niveau du toit de la minéralisation. Elle apparaît soit en cristaux bien individualisés entre les cristaux de pyrrhotite, sphalérite et chalcopryrite, soit en inclusions dans ces mêmes phases.

L'arséno-pyrite est très rare et se présente en sections losangiques avec des textures rappelant sa recristallisation épimétamorphique. Parfois, elle apparaît en fins cristaux dans les autres sulfures, notamment la pyrrhotite.

Paragenèse secondaire

La paragenèse sulfurée primaire de Douar Lahjar a dû subir une oxydation partielle, suite à une ouverture du système. Ceci a conduit à l'apparition d'une paragenèse secondaire composée principalement de pyrite, marcassite, magnétite, et d'oxydes ferro-titanés.

La pyrite apparaît soit en cristaux cubiques dépassant parfois le millimètre, soit en petites plages étroitement associées à la magnétite. Dans ce dernier cas, elle proviendrait de l'oxydation de la pyrrhotite selon la réaction classique : $6FeS + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 3FeS_2$.

La marcassite est souvent associée à la pyrite en cristaux à macles lamellaires. Elle apparaît exclusivement dans les zones de circulation de fluides hydrothermaux et présente tous les caractères d'une recristallisation à partir de la pyrrhotite.

Les oxydes ferro-titanés sont principalement représentés par la magnétite, l'hématite, l'ilménite et le rutile et se rencontrent dans les zones fracturées et affectées par les fluides hydrothermaux. La magnétite se trouve, soit en forme de "myrmékites" associés à la pyrite, caractéristique d'une transformation hypogène de la pyrrhotite soit en produit de remplissage de veinules. L'hématite semble provenir directement de l'oxydation de la pyrrhotite ou comme produit de la transformation de la magnétite suite à des changements des conditions d'oxydo-réduction. L'ilménite est sporadique et se présente essentiellement en exsolution dans l'hématite et/ou associée à la magnétite. Le rutile est fréquent et se trouve associé aux minéraux de la gangue.

GENESE ET ORIGINE DES METAUX

Conditions de dépôt du minerai

L'analyse des informations fournies par les paragenèses, à la lumière des résultats des travaux expérimentaux, nous a permis d'approcher les conditions physico-chimiques de dépôt de la minéralisation de Douar Lahjar.

Partant des travaux expérimentaux de BARTON & SKINNER (1979) sur les champs de stabilité des sulfures, nous admettons que la fraction molaire en pyrrhotite dans la sphalérite (X_{FeS}) est étroitement liée à la fO_2 et la température. Ces mêmes travaux précisent que X_{FeS} de la sphalérite est égale à $20,5 \pm 0,5$ moles % lorsque cette sphalérite coexiste avec l'association pyrrhotite-pyrite et ne peut prendre de valeurs inférieures ou supérieures qu'en l'absence respectivement de pyrrhotite ou de pyrite.

Les mesures des fractions molaires de pyrrhotite effectuées dans les sphalérites de Douar Lahjar ont montré des valeurs très faibles (6 à 9 moles %), ce qui indique leur cristallisation sous des conditions fO_2 -T qui les placent dans le champ de stabilité de la pyrite. Ceci apparaît incompatible avec la réalité qui montre que l'amas sulfuré de Douar Lahjar est à pyrrhotite.

Pour expliquer cela, nous avons envisagé de comparer les paragenèses de la minéralisation de Douar Lahjar avec celles de minéralisations similaires, notamment celle de Sierra Cartagena (Espagne) (ARNOLD, 1986) et celle de Cuale (Jalisco, Mexique) (ARNOLD & PARTIDA, 1987). Ceci nous a amené à admettre l'hypothèse ci-après.

La paragenèse primaire de Douar Lahjar serait à pyrrhotite dominante et sphalérite de haute

température et de nature ferrifère ($X_{\text{FeS}} > 20,5$ moles %). Les conditions de dépôt de ces premiers sulfures étant très réductrices ($f\text{O}_2$ de l'ordre de 10^{-35} atm et FS_2 de l'ordre de $10^{-11,8}$ atm) ; ce qui est attesté par la présence de graphite aussi bien au sein de la minéralisation que dans les schistes noirs du substratum. Lors du métamorphisme épizonal, l'ensemble de l'environnement volcano-sédimentaire ainsi que la minéralisation ont été portés à une température uniforme de l'ordre de 250 à 300°C (faciès schistes verts). Sous ces nouvelles conditions, les oxydes de fer et de titane sont réactivés et entraînent une augmentation de la $f\text{O}_2$ du milieu qui devient de plus en plus oxydant. Ainsi, la pyrrhotite se déstabilise en s'oxydant partiellement pour donner pyrite + ilménite + magnétite, tandis que la sphalérite se rééquilibre pour devenir relativement plus pauvre en fer ($X_{\text{FeS}} = 9$ à 6 moles %).

Origine du soufre et des métaux

La détermination de l'origine du soufre ainsi que celle des métaux (magmatique, eau de mer, remobilisation à partir du substratum) est une question intéressante mais extrêmement délicate. Une tentative a été faite dans ce sens en faisant appel aux isotopes du soufre (OUGIR, 1987 ; HAÏMEUR, 1988).

Des analyses isotopiques de $\delta^{34}\text{S}$ ont été ainsi entreprises sur différents échantillons de Douar Lahjar (roche et minerai). Les mesures faites sur la pyrrhotite du minerai massif ont indiqué des $\delta^{34}\text{S}_{\text{pyr}} = 1,28 \pm 0,2\%$. Celles effectuées sur la sphalérite ont donné des $\delta^{34}\text{S}_{\text{sph}} = 2,15 \pm 0,2\%$, alors que les analyses du soufre total des shales du substratum ont révélé des $\delta^{34}\text{S}_{\text{ST}} = 1,87 \pm 0,07\%$. Ces gammes de compositions indiquent que le soufre et les métaux composant l'amas sulfuré de Douar Lahjar ne pourraient être d'origine mantellique et encore moins d'origine marine. L'hypothèse la plus vraisemblable serait celle d'une remobilisation de l'essentiel des éléments (S, Cu, Fe, Zn, Pb...) à partir du substratum volcano-sédimentaire. La richesse relative de ce dernier en ces éléments métalliques ainsi que les différents processus métamorphiques et hydrothermaux qui l'ont affecté sont en faveur de cette hypothèse.

CONCLUSIONS

L'analyse lithologique et pétrologique menée sur plusieurs sondages carottés a permis d'élucider l'histoire géologique complexe de l'environnement volcano-sédimentaire de l'amas sulfuré polymétallique de Douar Lahjar et par conséquent de

comprendre le mode de genèse et d'évolution de la minéralisation sulfurée.

LA SERIE VOLCANO-SEDIMENTAIRE

Les volcanites de Douar Lahjar, de nature acide et d'origine probablement kéraatophyrique et/ou rhyodacitique, renferment des tufs distaux puis proximaux et des coulées de laves. L'ensemble a été traversé par une protrusion visqueuse qui a dû s'émettre en arrivant sur un fond marin. Suite à cet épisode, se déposent des sulfures massifs en glissant sur le flanc oriental de la protrusion.

L'ALTERATION HYDROTHERMALE

Les volcanites de Douar Lahjar ont subi une double altération : une altération précoce se traduisant par le lessivage des alcalins et le développement d'abondantes ripidolites ferrifères (altérites), et une altération hydrothermale tardive, accompagnant le dépôt des sulfures, qui se caractérise par le développement accru de chlorites magnésiennes (exhalites).

LA MINERALISATION

La paragenèse sulfurée de Douar Lahjar se distingue par rapport à celle des autres provinces sulfurées par une composition à pyrrhotite presque pure et à sphalérite ferrifère avec chalcopryrite et galène subordonnées. La présence de graphites parmi ces sulfures indique des conditions très réductrices du milieu de dépôt de la minéralisation. Enfin, les mesures isotopiques montrent que le soufre ainsi que les métaux de base (Pb, Zn, Cu...) proviendraient vraisemblablement par lessivage du substratum.

L'ensemble de ces informations montre clairement que le gisement de Douar Lahjar correspond à l'aboutissement logique d'un cycle éruptif acide. Les arguments géochimiques et structuraux suggèrent que le magmatisme correspondant serait lié à une fusion anatectique de la croûte sialique. Quoi qu'il en soit, les anomalies thermiques qui en sont liées auraient déclenché des circulations de fluides chauds selon un système comparable à ceux des gisements de Kurukos (Japan) ou de la province sud-Ibérique. Ce mode de genèse dans un tel environnement nous amène à considérer que le gîte de Douar Lahjar correspond à un gisement exhalatif-sédimentaire, tel qu'il a été défini par SCHNEIDERHOHN (1941).

Cette vision synthétique de l'environnement volcano-sédimentaire de Douar Lahjar pourra être utilement exploitée pour orienter positivement et efficacement les travaux de prospection de nouveaux amas sulfurés dans la région de Guemassa ainsi que dans d'autres régions du Maroc.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un contrat entre le BRPM et l'INPL-ENSG (Nancy). Ce travail est dédié à la mémoire du Professeur A. BERNARD (ENSG) et de M. TIJANI du BRPM.

Mes remerciements s'adressent à M. le Professeur DAGUALLIER et aux deux lecteurs pour leurs remarques et suggestions constructives.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNOLD, M. (1986). Sierra de Cartagena : conditions physico-chimiques de dépôts, compositions isotopiques des sulfures et origine du soufre. Rapport interne BRPM, inédit.
- ARNOLD, M. & PARTIDA, E.G. (1987). Le système hydrothermal actuel de Los Humeros (Mexique) : état du système SO₄-H₂O à 300°C, origine du soufre et phénomène d'oxydation associés à l'ébullition du fluide ascendant. *Min. Deposita*, 22, pp. 90-98.
- BARNES, H.L. & KULLERUD, G. (1961). Equilibria in sulfur containing aqueous solution in the system Fe-S-O, and their correlation during ore deposition. *Econ. Geol.*, 56, pp. 548-688.
- BARTON, P.B. & SKINNER, B.J. (1979). Sulfide mineral stabilities. In: BARNES, H.L. (Ed). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2^{ème} Ed. John & Wiley, pp. 278-403.
- BAYLIS, P. (1975). Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can. Mineral.*, 13, pp. 178-180.
- BELLOTO, S. (1983). *Etude de deux manifestations métallifères en environnement volcano-sédimentaires (Paléozoïque NE du Massif Central français). Les amas sulfurés de Saint Bel (Lyonnais) et les indices minéralisés du prospect de Gilly-sur-Loire (Morvan). Essais comparatifs, guide de prospection*. Thèse 3^{ème} cycle, INPL, Nancy, 222 p.
- BERNARD, A.J. (1985). Analyses des carottes minéralisées des sondages de Douar El Hajar en vue de la valorisation des minerais. Mission de A.J. BERNARD (4-11 juin 1985). Rapport BRPM, inédit.
- BERNARD, A.J. & HAÏMEUR, J. (1986). Analyse des carottes minéralisées des sondages de Douar El Hajar. Mission de A.J. BERNARD (4-11 juin 1985). Rapport BRPM, inédit.
- BERNARD, A.J.; MAÏER, O.W. & MELLAL, A. (1988). Aperçu sur les amas sulfurés massifs des Hercynides marocaines. *Min. Deposita*, 23, pp. 104-144.
- BISCHOFF, J.L.; RADIKI, A.S. & ROSENBAUER, R.J. (1981). Hydrothermal alteration of grauwackes by brine and sea water ; roles of alteration and chloride complexing on metal solubilisation at 200°C and 350°C. *Econ. Geol.*, 76, pp. 659-676.
- BORDONARO, M. (1983). *Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotite de Quettara (Paléozoïque des Jebilet, Maroc)*. Thèse 3^{ème} cycle, Strasbourg, 132 p.
- BRYNZIA, L.T. & SCOTT, S.D. (1987). The composition of chlorite as a function of sulfur and oxygen fugacity; an experimental study. *Am. J. Sci.*, 287, pp. 50-76.
- CATHELINEAU, M. (1987). *Les interactions entre fluides et roches : thermométrie et modélisation. Exemple d'un système géothermique actif (Los Azufres, Mexique) et d'altérations fossiles dans la chaîne varisque*. Thèse 3^{ème} cycle INPL, Nancy, 503 p.
- CONDIE, K.C. (1981). *Archean greenstone belts*. Elsevier, Amsterdam, 434 p.
- CONDIE, K.C. & Mc CRINK, T.P. (1982). Geochemistry of Proterozoic volcanic and granitic rocks from the Gold Hill-Wheeler, Peak area, Northern New Mexico. *Precamb. Res.*, 19, pp. 141-166.
- EL AOULI, E (1989). *Contribution à l'étude pétrographique, minéralogique et géochimique du magmatisme dévono-dinantien dans le massif de Guemassa (Méséta marocaine – Haouz de Marrakech)*. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Marrakech, 132 p.
- FOSTER, M.D. (1962). Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *U. S. Geol. Survey*, Prof. Paper, 414-A, pp. 1-33.
- GAILLET, J-L. (1986). La tectonique du Dévono-dinantien du Haouz occidental et l'hypothèse d'une transformante varisque au sud de la Méséta marocaine. *Sci. Géol. Bull.*, 39, 4, pp. 361-370.
- GROS, Y.; MELESI, J-P. & VINCHON, C. (1986). Evolution dynamique de l'ensemble des Guemassa. Recherche de structures précoces pouvant guider les minéralisations sulfurées. Rapport BRPM, inédit.
- HAÏMEUR, J. (1988). *Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire et de la minéralisation de l'amas sulfuré de Douar Lahjar (Guemassa- Maroc). lithostratigraphie, paléovolcanisme, géochimie et métallogénie*. Thèse, de l'INPL, Nancy, 154 p.
- HEY, M.H. (1954). A new review of the chlorites. *Mineral. Mag.*, 30, 277 p.
- HIBTI, M. (1993). *L'amas sulfuré de Hajar. Contexte géologique de mise en place et déformations superposées (Haouz de Marrakech, Méséta sud-occidentale, Maroc)*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Marrakech.
- HUVELIN, P. (1977). Etude géologique et gîtologique du massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*. 232 bis, 308 p.
- HUVELIN, P. & SNOEP, J-P. (1965). Prospection des filons à pyrrhotine dans les Jebilet centrales (Maroc). *Mines et géol.*, Rabat, 23, pp. 21-33.
- IKEN, M. (1986). *Le volcanisme dévono-dinantien du massif du Rabodeau, un témoin de l'évolution orogénique des Vosges du Nord dans l'Europe moyenne varisque*. Thèse Univ. Nancy I, 164 p.

- KHARBOUCH, F. (1982). *Pétrographie et Géochimie des laves dinatiennes de la Méséta nord-occidentale et orientale marocaine*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Strasbourg. 156 p.
- KISSIN, S.A. & SCOTT, S.D. (1982). Phase relationships involving pyrrhotite below 350°C. *Econ. Geol.*, 77, pp. 1739-1754.
- LAGARDE, J-L. (1985). Cisaillements ductiles et plutons granitiques contemporains de la déformation hercynienne post-viséenne de la Méséta marocaine. *Hercynica*, 1, 1, pp. 29-37.
- LAVAL, M. (1992). Les terres rares : gisement et aperçu économique. *Chron. rech. min.*, 507, pp. 27-42.
- MAÏER, O.W. & EL HAKKOUR, A. (1984). Les amas sulfurés volcano-sédimentaires des Jebilet centrales. *Journées Nationales du Soufre*, Rabat 11-12 octobre 1984.
- MAÏER, O.W.; MELLAL, A. & EL HAKKOUR, A. (1986). Le gisement polymétallique hydrothermal sédimentaire de Douar Lahjar, Rapport BRPM, inédit.
- MC LEON, R.L. & STANTON, R.L. (1984). Phyllosilicates and associated minerals in some Paleozoic stratiform sulfide deposits of south-eastern Austria. *Econ. Geol.*, 79, pp. 1-22.
- MILESI, J.P. (1976). *Dynamique des écoulements pyroclastiques du Cantal oriental sur l'exemple de ceux de la vallée de l'Alagnon (Massif central français)*. Thèse Doc. Spéc., Univ. Grenoble, 193 p.
- N'JEL, U.O. (1988). *Contribution à l'étude de l'orogène panafricain. La ceinture volcanosédimentaire de Poli (Nord Cameroun)*. Thèse INPL, Nancy, 220 p.
- OUGUIR, H. (1987). *Etude métallographique, conditions physico-chimiques et géochimie isotopiques du soufre de la minéralisation sulfurée : gîte de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc)*. Mém. DEA, INPL, Nancy, 44 p.
- PIQUE, A. (1994). *Géologie du Maroc; les domaines régionaux et évolution structurale*. Ed. Pumag. 284 p.
- RITTMANN, A. (1963). *Les volcans et leur activité*. (trad. fr. H. Tazieff). Masson Ed., Paris, 462 p.
- ROCCI, G. (1978). Spilites et roches apparentées. *In* GIROD, M. (édit.) : *Les roches volcaniques, pétrologie et cadre structural*. Doin, pp. 210-229.
- ROCH, E. (1950). Histoire stratigraphique du Maroc. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 80, 440 p.
- ROLLINSON, H. (1993). *Using geochemical data : evaluation, presentation, interpretation*. Longman, 352 p.
- SALPETEUR, I. (1976). *Etude structurale et pétrographique de la zone de Paymogo (Nord de la province de Huelva). Métallogénèse des amas sulfurés associés*. Thèse Doct. Ing., Univ. Nancy I, 234 p.
- SCHNEIDERHOHN, H. (1941). *In: Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde*, 1, vol. G. Fisher Edt., Jéna, pp. 742-760.
- SOLER, E. (1980). *Spilites et métallogénie : la province pyrito-cuprifère de Huelva (SW. Espagne)*. Thèse Etat, INPL. Nancy, 350 p publié dans *Mém. Sci. Terre*, Nancy, 39, 461 p.
- TAYLOR, S.R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust : a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, pp. 1273-1285.
- TAYLOR, S.R. & MCLENNAN, S.M. (1981). The composition and evolution of the continental crust : rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A301, pp. 381-399.

Manuscrit déposé le 15 octobre 1997

Version modifiée reçue le 28 octobre 1998

Acceptée le 30 octobre 1998

Adresse de l'auteur

Jamila HAÏMEUR

Département de Géologie
Faculté des Sciences
Université Ibn Toufaïl
B. P. 133
Kénitra