

Origine et mode de mise en place de la barytine du gisement de Bou Ouzzal (Meseta marocaine)

Hasnae EL HNOT & Mohamed ZAHRAOUI

Université Mohammed V – Agdal, Faculté des Sciences, Département de Géologie, UFR Géologie appliquée : Ressources naturelles & Environnement, B.P. 1014, Rabat, Maroc, e-mail : el_hasnae@yahoo.fr; zahraoui@fsr.ac.ma

Résumé. Bou Ouzzal est l'un des plus importants gisements à barytine associée aux oxydes et hydroxydes de fer au Maroc. Cette minéralisation est encaissée dans les schistes et les grès du Cambro-Ordovicien et dans les calcaires du Viséen supérieur. Les filons représentent le type de remplissage le plus répandu. Dans les faciès carbonatés, ils sont associés aux poches karstiques et aux amas ferrugineux. Les filons sont du type extensif à textures massives, rubanées et bréchiques. Ils se sont mis en place au cours d'une phase extensive NW-SE d'âge triasique. Cette mise en place est attribuée à une remontée de fluides profonds lors de l'ouverture du système lessivant les séries schisto-gréseuses et un mélange avec des eaux superficielles à faible température.

Mots clés : Maroc, Massif hercynien central, barytine, filon, fluides minéralisateurs.

Origin and emplacement mode of Bou Ouzzal barite (Moroccan Meseta).

Abstract. Bou Ouzzal is one of the largest barite deposit associated with oxides and iron hydroxides in Morocco. Mineralization occurs in the Cambrian-Ordovician schists and sandstones and Late Viséan limestones. Veins are the most common type of infill. In the carbonated facies, they are associated with karsts and ferruginous accumulations. Veins are extensional and show a massive banded or brecciated structures. They were emplaced during a Triassic NW-SE extension. Precipitation of barite is attributed to mixing of deep warm fluids with surface cold waters.

Key words: Hercynian central massif, Morocco, barite, vein, mineralising fluid.

INTRODUCTION

Le Maroc est l'un des principaux pays producteurs de barytine dans le monde, avec une production moyenne d'environ 300 000 t/an. Du point de vue tonnage, ce minerai occupe la troisième place parmi ceux produits au Maroc, mais son faible cours le situe en quatrième position après les phosphates, le plomb et le zinc (Azza 1998). L'importante activité minière est liée à l'existence d'un grand nombre de gisements exploités répartis sur l'ensemble du territoire marocain tels que Zelmou dans le Haut Atlas oriental, Ighoud dans les Jbilettes occidentales, et Seksaoua dans le Haut Atlas occidental (Huvelin 1980).

Le gisement de Bou Ouzzal, situé à l'extrémité orientale du massif hercynien central marocain, à 7 km au sud de la ville de Khénifra, constitue un gisement à barytine associée aux oxydes et hydroxydes de fer. Cette minéralisation est de type filonien et karstique associée à des amas ferrugineux. Le gisement se distingue par une grande hétérogénéité et une composition qui peut changer sur de faibles distances, ce qui rend difficile de déterminer une teneur ponctuelle. Toutefois, les réserves de Bou Ouzzal ont été évaluées à 27 MT à 42,8% Fe, 9,8% de silice et 14,6% de barytine (Attia & Lakhdari 1962).

Depuis 1922, date de la découverte du gisement, les travaux de recherche et d'exploration se sont poursuivis de manière continue, mais la zone n'a jamais fait l'objet d'une étude détaillée. Cette note décrit la distribution de la barytine dans le système filonien et karstique du gisement de Bou Ouzzal et tente de déterminer ses caractères géochimiques, son origine et ses conditions de mise en place.

CADRE GEOLOGIQUE

Le gisement de Bou Ouzzal, fait partie de la zone structurale de transition ou zone de nappe (Fig. 1) dont les

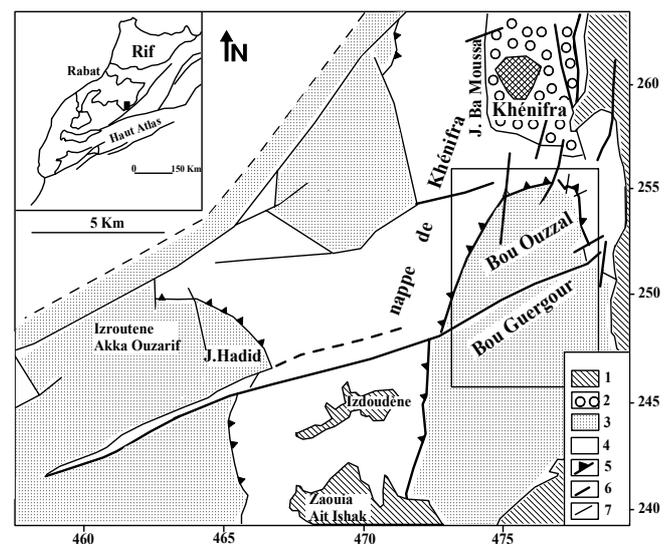


Figure 1. Carte structurale de la région de Khénifra (Allary *et al.* 1976). 1, terrains triasiques; 2, Permien; 3, domaine autochtone; 4, nappe de Khénifra; 5, contact de base de nappe; 6, failles; 7, contours géologiques.

terrains sont représentés par des dépôts autochtones grésoschisteux d'âge cambro-ordovicien, surmontés en discordance par des calcaires transgressifs du Viséen supérieur (Fig. 2). Ces faciès carbonatés fracturés et affectés par la dissolution constituent l'encaissant principal de la minéralisation de Bou Ouzzal. Les dépôts allochtones sont constitués de faciès grésoschisteux d'âge ordovicien supérieur. Ces deux ensembles, plissés et schistosés au cours de l'orogénèse hercynienne, sont surmontés par les terrains autuniens représentés par des dépôts continentaux rouges du bassin de Khénifra, constitués essentiellement de conglomérats à passées

Age	Log	Lithologie	Epaisseur (m)	Minéralisations associées
Trias		Argilites Formations conglomératiques grossières	10	
Permien		Rhyolites andésites et cinérites	150	
		Conglomérats avec les grés et les argilites	350 à 520	
		Faciès grés-conglomératiques à intercalations d'argilites abondantes	250 à 650	
		Formation détritique à conglomérats dominants et à passées argilo-sableuses	500	Filonienne : Ba
Viséen supérieur		Calcaires bioclastiques	20 à 150	Filonienne : Ba, Fe, Qz
		Calcaires ferrugineux à passées dolomitiques	40	Karstique : Ba, Fe Amas ferrugineux : Ge, Hz
		Conglomérats de base	10	Filonienne : Ba
Cambro-Ordovicien		Schistes et quartzites		Filonienne : Ba, Fe

Figure 2. Colonne stratigraphique des terrains de Bou Ouzzal et minéralisations associées (colonne d'échelle variable). Ba, barytine ; Ge, goethite ; He, hématite ; Qz, quartz.

de grès et de siltites (El Wartiti 1990), intercalées de roches volcaniques calco-alcalines synsédimentaires (Youbi *et al.* 1995). Ces terrains sont surmontés par les dépôts triasiques du domaine moyen-atlasique, constitués d'argiles et d'évaporites intercalées de coulées basaltiques (Charroud *et al.* 1996, Ouarhache 2002).

La déformation hercynienne au niveau de Bou Ouzzal est à l'origine d'une structure anticlinale majeure d'axe NNE-SSW (Allary *et al.* 1976). Des chevauchements tardi-schisteux mettent en contact les schistes de l'Ordovicien supérieur sur les calcaires du Viséen supérieur. Enfin, des failles affectent les formations paléozoïques de Bou Ouzzal et se prolongent dans les terrains autuniens. L'étude des structures cassantes au niveau de Bou Ouzzal nous a permis de mettre en évidence le caractère polyphasé de la déformation (El Hnot 2002). Ces accidents pré-existants

jouent essentiellement en failles décrochantes lors des phases compressives s'échelonnant du Westphalien-Stéphanien au Permien, et rejoignent en failles normales lors de l'extension NW-SE d'âge vraisemblablement triasique, marquant l'installation des bassins syn-rift (El Hnot 2002).

MORPHOLOGIE DU CORPS MINERALISE ET RELATION AVEC L'ENCAISSANT

Les minéralisations de Bou Ouzzal sont encaissées essentiellement dans les calcaires du Viséen supérieur, mais aussi dans les schistes et les quartzites du Cambro-Ordovicien (Figs 2 et 3). Les filons représentent le type de remplissage le plus répandu. Ils s'étendent sur plusieurs kilomètres et remplissent les plans de faille de direction N-S à NE-SW. Dans les calcaires, les filons sont d'extension

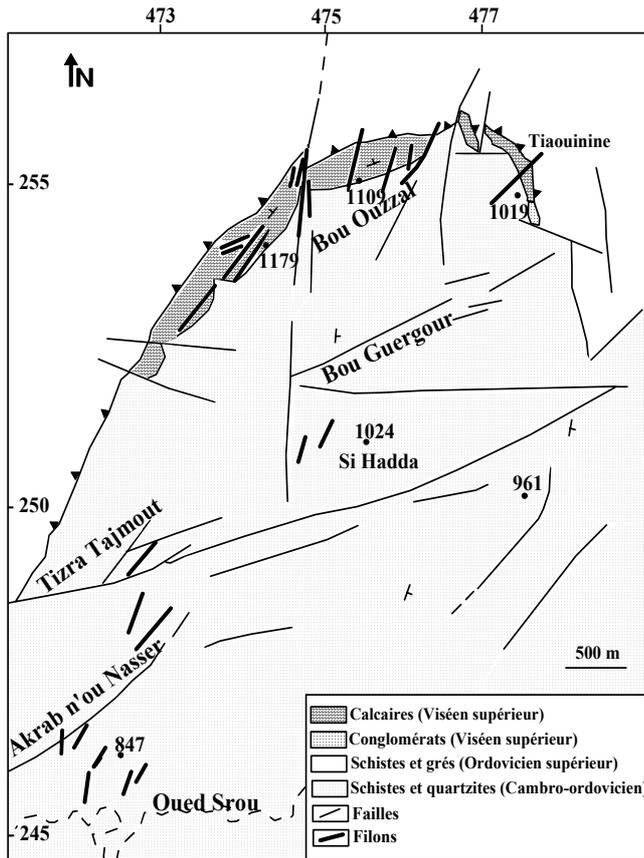


Figure 3. Localisation du système filonien de Bou Ouzzal. Localisation dans la figure 1.

plurimétrique à décimétrique et se subdivisent par endroits en plusieurs filonnets discontinus de puissance inframétrique. Ces filons s'élargissent et forment fréquemment des géodes. Dans ces calcaires, la minéralisation est également localisée dans des poches karstiques de dimensions variant de quelques centimètres à quelques mètres. Ils se développent en bordure des filons inframétriques et traduisent leur relation avec la fracturation et la dissolution.

Outre le remplissage filonien et karstique, des amas ferrugineux résultant de l'oxydation des masses initialement sidéritiques (Attia & Lakhdari 1962) se localisent essentiellement dans les niveaux carbonatés du Viséen supérieur. Ces amas reposent avec un contact franc sur les termes sous-jacents constitués par les schistes et les grès cambro-ordoviciens et les conglomérats de base du Viséen supérieur. Les amas, formés d'oxydes et hydroxydes de fer, présentent des passages argileux fréquents et ne montrent aucune zonalité avec les accumulations barytiques (El Hnot 2002). Leur forme est irrégulière, les contacts sont diffus et le faciès continu de minerai ferrugineux passe aux calcaires encaissants par l'intermédiaire d'un calcaire ferrugineux. Ce minerai ferrugineux est un dépôt primaire dont la remobilisation donne naissance aux dépôts secondaires associés à la barytine aussi bien au niveau des filons que des karsts.

Dans les formations schisteuses et quartzitiques du Cambro-Ordovicien, les filons sont souvent étroits, d'extension

hectométrique, à épontes franches (Fig. 4).

Dans les conglomérats du Permien, à une dizaine de km au nord du gisement, la minéralisation se limite à quelques filonnets d'extension plurimétrique, de direction ENE-WSW à E-W et de puissance décimétrique. Le passage des filons aux faciès conglomératiques est très net.

TYPES DE BARYTINE ET MINÉRAUX ASSOCIÉS

L'examen des occurrences minéralisées montre que la barytine présente différents aspects, couleurs et nuances, liées à l'imprégnation en oxydes de fer, qui ont permis de définir plusieurs types (El Hnot 2002).

Dans les filons et les karsts, la plus répandue est une barytine blanche à cristaux lamellaires, à plans de clivage bien individualisés. Une barytine massive ou faiblement cristallisée de couleur rose y est souvent rencontrée. Au microscope, la barytine massive est en cristaux tabulaires ou arborescents grisâtres à jaunâtres avec de fines inclusions ferrugineuses rougeâtres.

Au niveau des remplissages karstiques et des géodes, une barytine cristallisée en forme de rosettes est fréquente. Une variété mamelonnée rose a été observée au niveau des vides de dissolution. Les cristaux sont de forme arborescente ou en éventails accolés les uns aux autres avec des inclusions ferrugineuses.

De petits cristaux automorphes de barytine grise sont rarement rencontrés au voisinage de certains filons.

Une barytine de substitution est fréquente sous forme de petites plages éparpillées dans les calcaires à limites diffuses. Au microscope, elle montre un groupement de cristaux grisâtres fibreux, de petite taille, et s'entrecoupant entre eux. Ils sont liés à des masses ferrugineuses arrondies rougeâtres.

Enfin, une variété a été distinguée d'une part dans les brèches tectoniques traduisant l'existence d'une phase de fracturation postérieure à la minéralisation, et d'autre part dans des brèches d'effondrement où la barytine est liée au type rubané. Ces brèches d'effondrement témoigneraient d'une ouverture filonienne liée à la dissolution des faciès carbonatés.

L'étude macroscopique et microscopique de la barytine ne permet pas de distinguer entre la barytine filonienne et la barytine karstique.

Les oxydes et les hydroxydes de fer, représentés par l'hématite et la goethite, forment des amas ferrugineux remplissant souvent les fractures tardives affectant la barytine. L'hématite, de couleur brune à rouge cerise, se présente en agrégats, en nodules ou massive. La goethite est brune à noire, à éclat semi-métallique, à surface lisse et se présentant souvent en mamelons, mais aussi en masses à texture massive et à structure fibreuse.

Les carbonates sont représentés par la sidérite et l'ankérite associées à la calcite. La chalcopryrite est intimement liée aux dépôts ferrugineux en petites masses, ou en disséminations dans des veines d'ankérite. Le quartz se présente par endroits aux limites des filons de barytine en petits cristaux millimétriques.

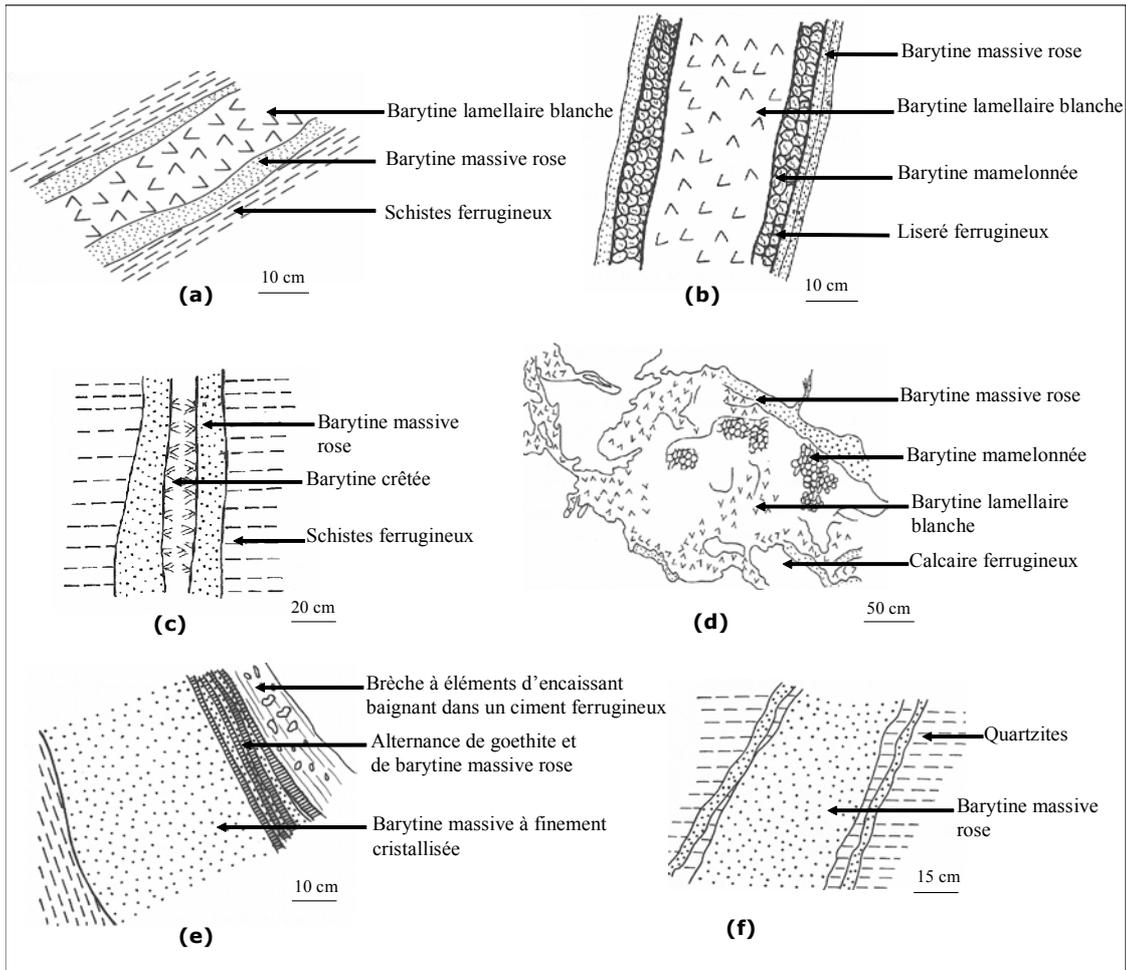


Figure 4. Différents types de remplissage observés dans les filons de Bou Ouzzal (a, b, c, e, f) et dans les cavités karstiques (d).

TEXTURES DU MINÉRAI

Dans les calcaires du Viséen supérieur, les filons montrent souvent une texture rubanée. Cette texture est due essentiellement à plusieurs générations de dépôt où la première est représentée souvent par la barytine massive rose et la deuxième par la barytine blanche en cristaux lamellaires (Fig. 4a), la barytine mamelonée (Fig. 4b) et la barytine crêtée (Fig. 4c). Ces dépôts sont associés à des oxydes et hydroxydes de fer en inclusions ou en liserés marquant le passage d'une génération à une autre.

Comme les filons, les cavités présentent une texture de type rubané. A partir de l'encaissant s'observe une barytine massive rose qui longe le contour de la cavité. Cette variété est suivie par une barytine lamellaire ou en rosette, dont la taille des cristaux augmente vers le centre, et est associée à quelques inclusions ferrugineuses (Fig. 4d).

Dans les schistes et quartzites, la caisse filonienne présente deux aspects distincts : vers les bordures, un dépôt feuilleté à alternance de barytine massive rose et de goéthite fibreuse, et un dépôt de barytine massive et lamellaire au centre du filon (Fig. 4e). Ces rubans de barytine sont séparés par des fissures à remplissage ferrugineux, dans lesquelles baignent des cristaux de barytine. Les épontes du filon portent souvent des stries indiquant un jeu décrochant

dextre. Ce type de remplissage marquerait un rubanement par lamination.

Outre la texture rubanée, apparaît une texture massive, sans rubanement, constituée par une seule génération de dépôt à barytine rose (Fig. 4f). Elle se développe au niveau des filons d'épaisseur centimétrique et d'extension métrique, traversant les faciès schisteux, carbonatés ou conglomératiques.

DONNÉES GEOCHIMIQUES

Le minerai barytique

Les analyses chimiques réalisées ont permis de déterminer la teneur en éléments majeurs et traces de la barytine de Bou Ouzzal (Tab. I). Le choix des échantillons a été basé sur le type de barytine (rose, blanche ou grise) et sur le corps minéralisé (filonien ou karstique) à l'échelle du secteur étudié.

L'ensemble des échantillons montre une teneur assez élevée en baryum (50,81% à 57,68%). Sa distribution ne permet pas de distinguer entre les différents types de barytine.

La barytine grise reflète un enrichissement en solutions ferifères ou manganésifères. Sa teneur en baryum est

Tableau I. Analyses chimiques de la barytine de Bou Ouzzal (B, Barytine lamellaire blanche ; R, Barytine massive rose ; M, barytine mamelonnée ; G, barytine grise).

Type	Ba	Sr	Ca	Fe	Mg	Al	Na	Pb	Ag	Si	Mn	K	F	Zn
1 B	54,87	1,51	0,22	1,11	0,11	0,19	0,29	24	4,4	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 5
2 B	53,77	1,62	0,25	1,6	0,23	0,19	0,21	5	0,5					
4 B	53,94	1,46	0,29	2,36	0,07	0,15	0,15	40	0,5	< 0,05	0,12	< 0,05	< 0,01	< 5
6 B	56,02	1,37	0,21	0,62	0,05	0,14	0,23	40	3,4	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 5
7 B	55,17	1,69	0,22	0,05	0,13	0,19	0,2	5	0,5					
9 B	56,18	1,19	0,22	0,5	0,04	0,14	0,16	24	3	< 0,05	0,02	< 0,05	< 0,01	< 5
11 B	54,34	1,48	0,26	1,13	0,12	0,27	0,16	5	0,5					
14 B	54,76	1,82	0,26	0,11	0,28	0,29	0,19	5	0,5					
3 R	57,19	0,57	0,23	0,08	0,05	0,17	0,19	32	0,5	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 5
5 R	56,65	0,23	0,26	0,04	0,15	0,24	1,04	16	0,5	1,15	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 6
8 R	52,61	0,43	0,22	3,19	0,15	0,32	0,61	5	0,5					
10	55,71	0,83	0,28	0,18	0,45	0,25	0,22	5	0,5					
15 R	54,33	0,47	0,25	0,47	0,05	0,59	0,19	48	0,5	1,39	< 0,01	0,14	< 0,01	< 5
16 R	57,68	0,28	0,22	0,04	0,05	0,15	0,22	20	0,5	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 5
17 R	56,01	0,29	0,22	0,14	0,12	0,31	0,2	5	0,5					
13 M	57,35	0,35	0,24	0,1	0,08	0,15	0,37	20	0,5	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 5
12 G	50,81	1,5	0,24	4,73	0,05	0,22	0,13	28	0,5	0,33	0,37	< 0,05	< 0,01	18

faible, celle en fer et en manganèse est plus élevée qu'au niveau des autres échantillons.

La barytine massive rose encaissée dans la série schisto-gréseuse montre des teneurs élevées en Si, Al et K, qui reflète l'apport de micas et de silice à partir de l'encaissant. Le strontium de la barytine varie de 0,23% à 1,82%. Cet élément permet de distinguer deux sous-populations : l'une à valeurs qui fluctuent entre 0,23% et 0,83% et qui correspond à une barytine rose massive ou faiblement cristallisée en remplissage filonien ou dans les vides de dissolution ; l'autre avec des teneurs qui varient entre 1,19% et 1,82% correspondant à une barytine bien cristallisée, blanche ou grise, filonienne ou karstique.

Sur la base de la teneur en Sr, il n'existe aucune distinction claire entre la barytine filonienne et karstique. Les différences qui apparaissent concernent la structure de la barytine et ne reflètent pas le type de remplissage.

Les roches encaissantes

Les analyses chimiques des roches schisteuses et carbonatées prélevées en dehors des zones minéralisées en vue d'évaluer la teneur initiale de l'encaissant en baryum, ont montré une anomalie importante en baryum, dont les teneurs varient de 1025 à 1692 ppm dans les schistes et de 69 à 125 ppm dans les calcaires (Tab. II). L'encaissant constitue donc une source éventuelle de baryum par lessivage des schistes et en partie des calcaires.

INTERPRETATION DES STRUCTURES OBSERVEES

L'ensemble des données pétrographiques et minéralogiques nous a amenés à distinguer deux formations au niveau de

Bou Ouzzal : une formation ferrugineuse, en amas au sein des calcaires viséens, et une formation à barytine, en remplissage des filons et des karsts qui constituent des pièges structuraux favorables à la précipitation de la barytine, avec une remobilisation des oxydes et hydroxydes de fer et leur dépôt tardif en filonnets ou en inclusions. Ces minéralisations barytiques et ferrugineuses qui ne présentent aucune zonalité apparente pourraient être le résultat de deux ensembles métallogéniques différents mis en place en deux temps.

Les filons sont orientés parallèlement à des failles régionales tardi-hercyniennes, de direction subméridienne à NE-SW. L'analyse de la fracturation au niveau des épontes a permis de mettre en évidence un jeu extensif normal qui a favorisé l'ouverture des fractures, puis leur remplissage par la barytine lors de l'extension NW-SE d'âge syn à post-triasique, voire jurassique (El Hnot 2002).

Les textures intrafiloniennes observées à Bou Ouzzal sont dominées par des rubanements par encroûtement, qui témoigneraient du dépôt de barytine associé à des ouvertures successives selon une distension orientée NW-SE, dans un système à caractère pulsatif. Le faciès laminé témoignerait de minéralisations déposées dans des ouvertures précoces liées à cette extension NW-SE et qui ont enregistré un jeu décrochant dextre postérieur à la mise en place de la minéralisation. La texture massive développée au niveau des filons marque des zones à ouvertures constantes (Jebrak 1984), liées au même système distensif. La présence de brèches d'effondrement intrafiloniennes et la fréquence des géodes traduisent des dépôts dans un contexte distensif. Dans certaines caisses filoniennes, la présence de plans barytiques striés signifie que la mise en place de la minéralisation a été suivie des rejeux pendant la phase post-triasique.

Tableau II. Analyses chimiques des schistes (S1-S4) et des calcaires (C1-C4) de Bou Ouzzal.

	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3	C4
SiO ₂	59.8	61.53	58.8	60.2	6.7	6.3	5.96	4.98
TiO ₂	0.85	0.9	0.79	0.81	0.06	0.02	0.05	0.09
Al ₂ O ₃	17.8	18.2	16.25	17.4	1.86	1.98	1.26	0.99
Fe ₂ O ₃	7.9	7.5	9.8	8.56	1.96	1.8	2.3	1.6
MnO	0.07	0.1	0.12	0.09	0.2	0.14	0.19	0.2
MgO	2.3	2.56	2.35	1.8	18.87	17.6	18.69	16.9
CaO	0.5	0.95	0.7	0.59	26.28	29.6	25.9	30.5
Na ₂ O	2.5	1.57	1.26	2.22	<	<	<	<
K ₂ O	3	3.6	2.8	3.1	0.49	0.3	0.56	0.2
P ₂ O ₅	0.22	0.1	0.23	0.14	<	<	<	<
Ba	1025	1556	1692	692	98	85	125	69
Co	28	35	39	48	9	14	10	13
Cr	103	82	97	111	69	62	75	71
Cu	59	31	35	49	<	<	<	<
Ni	65	45	77	72	<	<	<	<
Pb	30	39	40	24	10	12	9	7
Rb	120	153	98	123	19	19	25	17
Sr	84	65	79	125	85	72	79	95
V	108	129	112	157	<	<	<	<
Zn	96	70	106	88	15	21	19	24

L'analyse détaillée des corps minéralisés permet de mettre en évidence une relation entre les épisodes tectoniques cassants et les épisodes de minéralisations barytiques. L'ordre de dépôt et les événements synchrones seraient les suivants :

- une première venue de barytine massive rose dans un contexte extensif, dans des filons subméridiens à NE-SW ; cette phase est présente dans tout le gisement ;
- une deuxième venue, liée également à la phase extensive, responsable du dépôt de la goethite fibreuse en bandes parallèles ; ces filons sont individualisés au niveau des quartzites et des schistes du Cambro-Ordovicien ;
- une extension responsable de l'ouverture des filons permet un dépôt saccadé formé de barytine crêtée, de barytine mamelonnée et de barytine lamellaire blanche ; ce sont des filons en extension, d'où la présence dans certains filons de brèches d'effondrement ; cette phase permet l'ascension de solutions minéralisatrices vers la couverture par des failles N10 à N60 ;

Des accidents subméridiens, à jeu décrochant, prennent naissance ultérieurement parallèlement à la direction des filons, et sont responsables de la bréchification de la barytine au niveau de certains filons.

La minéralisation de substitution se serait déposée lors de la première venue de barytine massive rose. Elle envahit la roche carbonatée de façon progressive par diffusion de fluides.

La répartition similaire des faciès filoniens et karstiques suggère qu'ils ont été traversés par les mêmes fluides

minéralisateurs. La minéralisation karstique correspond donc au dépôt des différents types de barytine dans des fractures élargies par dissolution. Elle serait contemporaine de la mise en place des filons.

DISCUSSION : ORIGINE ET MISE EN PLACE DE LA MINÉRALISATION

L'établissement d'un modèle de mise en place des minéralisations de Bou Ouzzal nécessiterait de préciser la nature des fluides minéralisateurs, l'origine des éléments, la température de mise en place, les mécanismes favorisant la précipitation du minerai, l'âge de mise en place... Au stade de notre étude, il n'est pas possible de procéder à une telle reconstitution précisant les conditions de dépôt. Par conséquent, le modèle présenté ne tiendra compte que de la structure régionale du gisement de Bou Ouzzal, du contexte géotologique de la minéralisation, de la paléogéographie et des premiers résultats géochimiques obtenus.

La structure du massif de Bou Ouzzal et la morphologie de la minéralisation traduisent un contrôle tectonique du dépôt de la minéralisation par des mouvements en failles normales. Les filons de Bou Ouzzal ont été définis comme des filons en extension mis en place au cours de la phase de distension d'âge probablement triasique. Ainsi, les minéralisations de Bou Ouzzal sont liées à l'évolution tectonique, sédimentaire et paléogéographique du Trias.

Les formations triasiques décrites à proximité de Bou Ouzzal, sont caractérisées par l'arrivée de grandes masses alluviales déposées au pied des reliefs et formant des cônes alluviaux (Charroud *et al.* 1996). Ces derniers évoluent vers

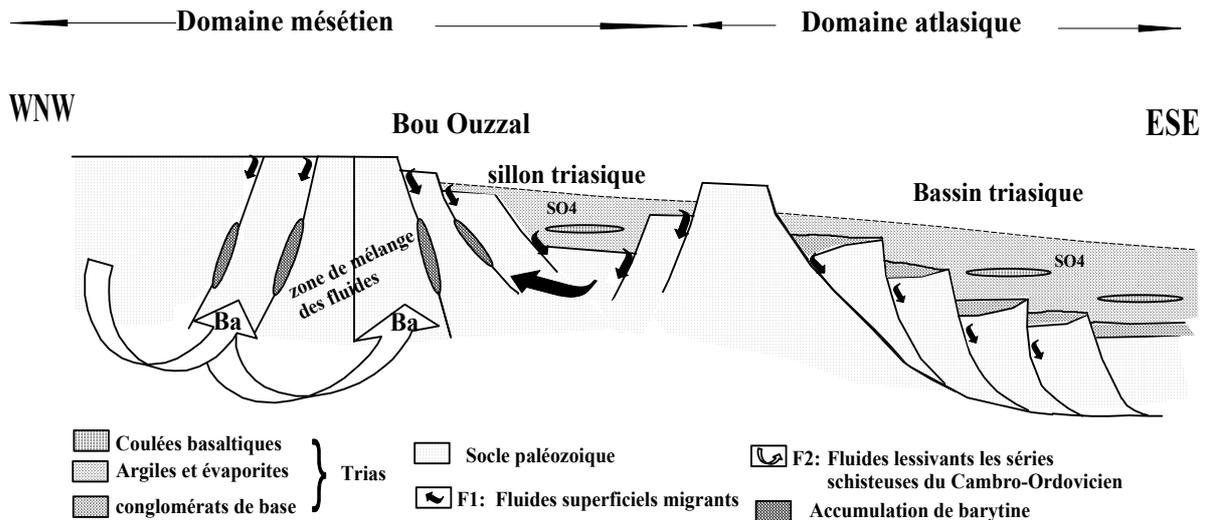


Figure 5. Représentation schématique de la paléogéographie durant le Trias et mode de mise en place des minéralisations barytiques dans les terrains paléozoïques du Bou Ouzzal.

un faciès gréseux fluviatile. Les formations argileuses se déposent ultérieurement. L'ultime stade de dépôt est une sédimentation argileuse salifère, interrompue par des émissions volcaniques tholéitiques. La paléogéographie au Trias indique par ses formations rouges et salifères un milieu marin épicontinental couvrant la région.

La tectonique extensive a contrôlé le dépôt de ces formations triasiques. Au cours de cette extension, les grands chevauchements hercyniens ont joué en failles normales de direction N-S à N45 pentées vers l'est et délimitant des hémigrabens basculés vers l'ouest. Ces blocs basculés sont fossilisés par les coulées basaltiques triasico-liasiques (Ouarhache 2000). Cet ensemble triasique serait limité à l'ouest par un ensemble de failles subméridiennes qui séparent le bassin triasique de la zone mésétienne. Le gisement de Bou Ouzzal se situe sur ces failles en embranchement parallèle à ces grands accidents. A l'échelle régionale, ces directions structurales correspondent à celles de grands cisaillements régionaux atlasiques et mésétiens qui ont joué en failles normales pendant la phase de rifting atlasique.

L'étude géochimique de l'encaissant a montré que la source principale des métaux serait située dans les formations schisteuses du Cambro-Ordovicien et dans les formations carbonatées du Viséen supérieur. Selon Castorina *et al.* (1999), les rapports isotopiques de Sr radiogénique dans la barytine, la calcite, les calcaires et les schistes au niveau des gisements de la Meseta marocaine (jbel Irhoud, Tlata Oulad Dlim, Jbel Hadid, et Aberki), montrent une même origine pour ces quatre types et que Sr est issu de la même source que la barytine. Il proviendrait du lessivage des schistes hercyniens. L'hypothèse émise pour la nature des fluides pour ces gisements propose des eaux superficielles lessivant des schistes hercyniens, surtout que la barytine se dépose généralement par des fluides de basse température (Castorina *et al.* 1999).

La structuration des terrains de Bou Ouzzal, les contacts de chevauchement et les grandes failles qui traversent le massif sont favorables à la circulation des fluides profonds et/ou superficiels, du transport d'éléments et des échanges.

Dans cette optique, nous proposons un modèle de dépôt pour les minéralisations de Bou Ouzzal (Fig. 5) :

- Au stade anté-Trias, la région de Bou Ouzzal est un massif carbonaté découpé par des failles subméridiennes, à jeu décrochant et inverse. Au cours de l'extension triasique, certaines de ces failles rejouent en failles normales.

- Des fluides superficiels s'infiltrent par gravité, et migrent vers les zones de bordure le long des failles et des fractures grâce à leur ouverture progressive. Ces fluides percolent à travers les évaporites triasiques fournissant SO_4^{2-} . Behr & Gerler (1987) montrent pour les minéralisations filoniennes en Allemagne qui ne sont pas liées à une activité magmatique, que les eaux à Na, Ca, Cl... migrent à partir des bassins triasiques vers la zone de culmination de l'orogénèse varisque suivant le gradient géothermique. Les solutions se chargent en métaux lors de leur ascension et déposent la minéralisation dans les surfaces fracturées par les failles et dans les zones de cisaillements.

D'autres fluides d'origine superficielle circulent dans les séries schisto-gréseuses du Cambro-Ordovicien et s'enrichissent en baryum par lessivage de ces faciès. Ces fluides passent le long des failles ouvertes et des contacts de chevauchement. Ces derniers constituent une voie de passage des fluides minéralisateurs en ascension vers la surface en association avec des failles normales à faible pendage. A l'échelle de toute la Meseta marocaine, le gisement de Jbel Ighoud, situé dans le massif des Jebilet occidentales, constitue le gisement qui ressemble le plus au gisement de Bou Ouzzal. La barytine y constitue un remplissage de type filonien et karstique, mis en place à la fin du Trias et début du Jurassique supérieur, dans un faciès carbonaté d'âge cambrien inférieur (Ghaffouli 2002). Ces gisements montrent des analogies au niveau de la nature de l'encaissant, la morphologie des concentrations minérales, la nature de la minéralisation et l'âge de la mise en place. En se basant sur l'étude microthermique des inclusions fluides dans la barytine, Valenza (1999) lie le dépôt de la minéralisation à un mélange entre des fluides superficiels lessivant les évaporites triasiques et des fluides ascendants lessivant les séries schisto-gréseuses cambriennes. Ces

fluides sont impulsés par l'apparition de gradient thermique élevé. En l'absence de sources chaudes, ce gradient peut être créé par le jeu des grandes failles décrochantes et normales. Cet apport de chaleur pourrait être à l'origine de la convection des fluides profonds accumulés dans le socle hercynien. La mobilisation de ces fluides est associée au rifting de l'océan atlantique, qui s'accompagne d'un amincissement crustal et lithosphérique. Dans le gisement de Bou Ouzzal, nous envisageons une origine superficielle pour ces eaux; cependant, en l'absence de données plus précises, l'existence d'eaux d'origine profonde ne peut être écartée. Ces eaux seraient impulsées par le jeu des grandes failles qui traversent le gisement. La remontée de ces fluides entraînerait un lessivage des séries schisto-gréseuses du Cambro-Ordovicien et un enrichissement de ces fluides en baryum.

Dans les zones de fracture, la précipitation du minéral s'effectue par le contact de deux solutions de compositions différentes : l'une sulfatée, issue des eaux épicontinentales peu profondes qui couvrent la région, l'autre riche en baryum. Le mélange avec ces eaux entraîne la précipitation de différents types de barytine dans le faciès filonien et karstique.

CONCLUSION

Le gisement de Bou Ouzzal se caractérise par une paragenèse simple, représentée principalement par la barytine et les oxydes et hydroxydes de fer, hébergés essentiellement par les calcaires du Viséen supérieur, dont la nature carbonatée favorise la dissolution et la fracturation. Cette minéralisation est de type filonien et karstique. Les filons développent des textures variées : massives, rubanées ou bréchiques. Le dépôt de plusieurs générations de barytine s'effectue en étapes successives et continues dans le temps dans un contexte général de distension. Le développement des cavités karstiques à partir des fractures élargies met en évidence le rôle de la fracturation dans les phénomènes de dissolution et le dépôt de la minéralisation dans l'encaissant carbonaté.

Tenant compte de la paléogéographie du Maroc occidental au Trias et de la nature évaporitique des faciès triasiques, la mise en place de la barytine de Bou Ouzzal est attribuée au mélange de fluides sulfatés d'origine évaporitique et de fluides riches en baryum issu du lessivage des séries schisteuses du Cambro-Ordovicien.

Remerciements

Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse de l'un de nous (H.E.H.). Nous remercions M. Addi AZZA (Direction des Mines) et Luc JAILLARD (Mulhouse) pour leurs remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

Références

- Allary A., Lavenu A. & Ribeyrolles M. 1976. Etude tectonique et microtectonique d'un segment de la chaîne hercynienne dans la partie sud-orientale du Maroc Central. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 261, 169 p.
- Attia A. & Lakhdari A. 1962. Etude générale sur les principaux gisements de fer du Maroc non encore exploités. *Mines et Géologie*, 17, 15-40.
- Azza A. 1998. Les minéralisations barytiques du Maroc. *Chron. Rech. Min.*, 531-532, 109-116.
- Behr H.J. & Gerler J. 1987. Inclusions of sedimentary brines in post-Variscan mineralizations in the Federal Republic of Germany - a study by neutron activation analysis. *Chem. Geol.*, 61, 65-77.
- Castorina F., Di Basio E., Masi U. & Tolomeo L. 1999. Strontium isotope evidence for the origin of barite from four mineralization of the Moroccan Meseta. *J. Afr. Earth Sci.*, 29, 619-625.
- Charroud A., Charroud M., Fedan B., Laville E., Rioult M., Piqué A. & Du Dresnay R. 1996. Dynamique sédimentaire des formations triasiques du Moyen Atlas méridional. In : Medina F. (Ed) - Le Permien et le Trias du Maroc: état des connaissances, PUMAG, Marrakech, pp. 269-289.
- El Hnot H. 2002. *La barytine filonienne et karstique de Bou Ouzzal (Massif hercynien central) Contexte métallogénique et géodynamique de mise en place*. Thèse Doctorat, Univ. Mohammed V-Agdal, Fac. Sci. Rabat, 200 p.
- El Wartiti M. 1990. *Le Permien du Maroc Hercynien : étude géologique et implications paléogéographiques*. Thèse d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 500 p.
- Ghaffouli H. 2002. *Etudes géologiques et métallogéniques des minéralisations barytiques de Jbel Ighoud. (Jebilet Occidentales, Maroc)*. Thèse Doctorat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 152 p.
- Huvelin P. 1980. Baryum, in Caia J. & Huvelin P. - Baryum et strontium. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 276, 271-308.
- Jebrak M. 1984. Contribution à l'histoire naturelle des filons (F, Ba) du domaine varisque français et marocain. *Doc. BRGM*, France, 99, 510 p.
- Ouarhache D. 2002. *Sédimentation et volcanismes (effusif et explosif) associés au rifting triasique et infraliasique dans le Moyen Atlas sud-occidental et la Haute Moulouya*. Thèse d'Etat, Univ. Mohammed V-Agdal, Fac. Sci. Rabat, 264 p.
- Valenza K. 1999. *Minéralisations filoniennes et karstiques de barytine dans les Jebilet occidentales (Meseta, Maroc)*. Mém. d'Etudes sup., Université de Genève, 176 p.
- Youbi N., Cabanis B., Chalot-Prat F. & Cailleux Y. 1995. Histoire volcano-tectonique du massif permien de Khénifra (Sud-Est du Maroc Central). *Geodin. Acta*, 8, 3, 158-172.

Manuscrit déposé le 1er mars 2005
Version modifiée acceptée le 20 juillet 2005