

| Nom et prénom         | Etablissement                                  | Grade     | Qualité                |
|-----------------------|------------------------------------------------|-----------|------------------------|
| Pr ESSAIFI Abderrahim | Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech       | PES       | Président              |
| Pr BOUDAD Larbi       | Faculté des Sciences, Rabat                    | PES       | Rapporteur & Examineur |
| Pr ESSALHI Mourad     | Faculté des Sciences et Techniques, Errachidia | PES       | Rapporteur & Examineur |
| Pr ADIL Samira        | Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès       | PES       | Rapporteur & Examineur |
| Pr TEKIOUT Brahim     | Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès       | PES       | Examineur              |
| Pr ZEHNI Addi         | EMGE, Errachidia                               | Directeur | Invité                 |
| Pr BOUSHABA Abdellah  | Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès       | PES       | Invité                 |
| Pr BELKASMI Mohammed  | Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès       | PES       | Directeur de thèse     |



## Résumé :

Les gisements du massif de l'Ougnat, dans l'Anti-Atlas oriental du Maroc, sont caractérisés par un système de veines contenant de la barytine et des sulfures associés. Les veines sont encaissées dans les granodiorites panafricaines du Melaab, les complexes de l'Édiacarien inférieur et supérieur et les terrains sédimentaires de la couverture paléozoïque. Les veines minéralisées se composent principalement de barytine, de quartz, de calcite et de sulfures mineurs, au nombre de plus de 150. Les structures filoniennes minéralisées se présentent sous la forme de lentilles et de veines sigmoïdales, suivant des fractures de tension en escalier qui sont obliques par rapport aux plans de faille. Les structures filoniennes sont orientées dans une direction NW-SE et NE-SW à E-W, avec un pendage notable. La forme et la géométrie de ces structures suggèrent que la cinématique d'ouverture senestre normale s'est produite dans un régime ductile-fragile le long des failles encaissantes. Cela suggère que l'activité tectonique a contrôlé le processus de minéralisation de la barytine. La barytine du massif de l'Ougnat présente des compositions isotopiques du soufre allant de +10,8 à +19,5 ‰, ce qui correspond aux valeurs  $\delta^{34}\text{S}$  de l'eau de mer du Trias tardif au Jurassique, suggérant qu'une partie du  $\text{SO}_4^{2-}$  dans la barytine provient du sulfate de l'eau de mer. En outre, ces valeurs  $\delta^{34}\text{S}$  sont en bon accord avec celles des barytines hydrothermales. Les rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la barytine varient de 0,710772 à 0,710816, ce qui est intermédiaire entre les compositions isotopiques radiogéniques du strontium d'un gisement hydrothermal et la signature isotopique non radiogénique de l'eau de mer du Trias-Jurassique. Les données sur les inclusions fluides indiquent que les fluides responsables de la formation du minerai ont été formés par l'ébullition et le mélange de deux fluides ou plus. L'un des fluides de ce système hydrothermal est profond et chaud, avec une température moyenne de 362,27 °C. Ce fluide a lessivé les complexes granodioritiques et volcaniques-sédimentaires du groupe de Ouarzazate, fournissant la plus grande partie du Ba, du Sr radiogénique et une part du S dissous. Un second fluide est originaire de l'eau de mer du Trias tardif au Jurassique, dont la température moyenne est de 242°C. Des processus génétiques similaires ont été décrits dans les gisements de veines de barytine-fluorite de la ceinture varisque-paléozoïque d'Europe occidentale et centrale. Les veines de barytine du massif de l'Ougnat de l'Anti-Atlas représentent une minéralisation régionale à grande échelle associée à l'ouverture de l'océan Atlantique central.

**Mots clés :** Anti-Atlas, Massif d'Ougnat, Filons de barytine, Régime ductile-fragile, Inclusions fluides, Isotopes de soufre et de strontium.

## BARITE VEIN MINERALIZATION IN THE OUGNAT MASSIF (EASTERN ANTI-ATLAS, MOROCCO) : METALLOGENY, TECTONIC CONTROL AND GEODYNAMIC IMPLICATIONS

### Abstract:

The Ougnat Massif deposits in the eastern Anti-Atlas of Morocco are characterized by a vein system containing barite and associated sulfides. The veins are hosted by the Pan-African Melaab granodiorites, the Lower and Upper Ediacaran complexes, and the sedimentary terrains of the Paleozoic cover. The mineralized veins consist mainly of barite, quartz, calcite, and minor sulfides, numbering over 150. The mineralized vein structures occur as sigmoidal lenses and veins, following stepped tension fractures that are oblique to the fault planes. The vein structures are oriented in a NW-SE and NE-SW to E-W direction, with a noticeable dip. The shape and geometry of these structures suggest that normal sinister opening kinematics occurred in a ductile-fragile regime along the enclosing faults. This suggests that tectonic activity controlled the barite mineralization process. The barite from the Ougnat Massif has sulfur isotopic compositions ranging from +10.8 to +19.5 ‰, which falls within the range of  $\delta^{34}\text{S}$  values of Late Triassic to Jurassic seawater, suggesting that some of the  $\text{SO}_4^{2-}$  in the barite is derived from seawater sulfate. In addition, these  $\delta^{34}\text{S}$  values are in good agreement with those of the hydrothermal barites. Barite  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.710772 to 0.710816, intermediate between the radiogenic strontium isotopic compositions of a hydrothermal deposit and the non-radiogenic isotopic signature of Triassic-Jurassic seawater. Fluid inclusion data indicate that the fluids responsible for ore formation were formed by the boiling and mixing of two or more fluids. One fluid in this hydrothermal system is deep and hot, with a mean temperature of 362.27 °C. This fluid leached granodioritic and volcanic-sedimentary complexes of Ouarzazate group, providing most of Ba, radiogenic Sr and some of dissolved S. A second fluid is derived from Late Triassic to Jurassic sea water with an average temperature of 242°C. Similar genetic processes have been described for barite-fluorite vein deposits in the Variscan-Paleozoic belt of Western and Central Europe. The barite veins in the Ougnat Massif of the Anti-Atlas represent a large-scale regional mineralization event associated with the opening of the Central Atlantic Ocean.

**Keywords:** Anti-Atlas, Ougnat massif, barite veins, Ductile-fragile regime, sulfur isotopic, strontium isotopic, Fluid inclusions.