République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en géologie

Option : Ressources Minérales, Géo-matériaux et Environnement (RMGE)

Thème :

Etude géologique et gîtologique sur la minéralisation de gisement de plomb-zinc-barytine du massif de Sraa Abd El Kader, massif de l'Ouarsenis

Présenté et soutenu publiquement le 29 juin 2025, par :

GUENAOUI Kheira Nesrine

et

ASIEDU Samuel

Devant le jury composé de :

Mme. CHADOULI Kheira Nadia	Présidente	M.C.B. Université d'Oran 2
M. TABELIOUNA Mohammed	Examinateur	Professeur, Université d'Oran 2
M. BENRAMDANE Hocine	Rapporteur	M.A.A. Université d'Oran 2

Année universitaire 2024-2025

Résumé

Le secteur d'étude de Sraa Abdelkader, situé dans la région de Boucaid (massif d'Ouarsenis, Tell méridional algérien) présente des formations jurassiques à crétacés et bien étudiées mais une tectonique et évolution structurale très complexe et peu étudiée. Le massif et le secteur sont riches en minéralisations baryto-polymétallique avec nombreux indices et gîtes à plomb, zinc et barytine essentiellement ; certains déjà exploités. Cette étude vise à contribuer à mieux caractériser les aspects gîtologique, minéralogiques et texturaux de la minéralisation. L'étude des échantillons a permis de proposer une succession des paragenèses reconnues avec des minéraux primaires (galène, sphalérite, barytine) et secondaires de zones d'oxydation (cérusite, smithsonite, hémimorphite, limonite).

La mise en place des minéralisations est liée à des processus tectoniques et karstiques ; elle est de nature hydrothermale épigénétique et puis supergène suivis par des processus d'altération superficielle. L'hypothèse de la genèse et de mise en place s'appuie sur les études récentes sur les inclusions fluides et les isotopes stables, qui confirment l'origine hydrothermale des fluides minéralisateurs type Mississippi Valley Type (MVT) avec suivi d'un enrichissement supergène, ce qui a fait l'objet d'une exploitation au siècle passé.

La comparaison avec les gisements d'El Abed appuie l'attribution de la minéralisation primaire de Boucaid au type Mississippi Valley Type (MVT).

Mots-clés *: Massif Ouarsenis, Sraa Abdelkader, plomb-zinc-barytine, minéralisation hydrothermale, Karstique, Mississipi Valley Type (MVT), altération supergène.*

Abstract

The Sraa Abdelkader study area, located in the Boucaid region (Ouarsenis massif, Tell méridional algérien) presents Jurassic to Cretaceous formations which are well studied and a very complex tectonics and structural evolution. The massif and the study area are rich in baryto-polymetallic mineralization with numerous indices and deposits of lead, zinc and barite mainly; some are already exploited.

This study aims to contribute to better characterizing the gîtological, mineralogical and textural aspects of the mineralization. The study of the samples made it possible to propose a succession of recognized paragenesis with primary minerals (galena, sphalerite, barite) and secondary minerals of oxidation zones (cerussite, smithsonite, hemimorphite, limonite).

The emplacement of mineralizations is linked to tectonic and karstic processes; it is an epigenetic hydrothermal and supergene alteration processes origin. The recent fluid inclusions and stable isotopes studies confirm genesis and emplacement hypothesis, as hydrothermal Mississippi Valley Type (MVT) mineralizing fluids with subsequent supergene enrichment.
The primary Pb-Zn sulphides and supergene ore bodies were exploited in the last century.
Today a barytic ores are exploited. The comparison with El Abed deposits supports the attribution of the primary Boucaid mineralization to the Mississippi Valley Type (MVT).

Keywords*:Ouarsenis Massif, Sraa Abdelkader, lead-zinc-barite, hydrothermal mineralization, karst, Mississippi Valley Type (MVT), supergene alteration.*

ملخص

يعُدّ كتلة ونشريس الواقعة في التل الجنوبي للجزائر من المناطق الجيولوجية الهامة والمعقدة، حيث تحتوي على تكوينات تعود إلى العصر الجوراسي والعصر الكريتاسي، والتي تعُرف بغناها بالتمعدنات المتعددة، خاصةً تلك المرتبطة بالرصاص والزنك والباريتين.

تتركز هذه الدراسة على منطقة صرعى عبد القادر الواقعة شرق القمة (Grand Pic) والتي تتميز بوجود مؤشرات معدنية هامة تدل على تمعدنات من نوع Pb-Zn-Ba. الكبرى

تهدف الدراسة إلى تحليل وفهم الخصائص الجيولوجية والبنيوية والمعدنية لهذه التمعدنات، من خلال معاينة ميدانية وأعمال مخبرية اعتمدت على دراسة العينات في شرائح رقيقة وأقسام مصقولة. وقد سمحت هذه التحاليل بتحديد تسلسل باراجيني معقد يتكوّن من معادن أولية مثل الغالين (PbS) ، السفالرّيت(ZnS) ، والباريتين($BaSO_4$) ، إضافة إلى معادن ثانوية ناتجة عن عمليات التحول السطحي مثل السيروسيت، السميثسونيت، الهيميمورفيت والليمونيت.

تبينّ أن آلية تموضع هذه التمعدنات تعود إلى نشاطات مائية حرارية متأخرة، تلتها مرحلة من التحول السوبرجين نتيجة تأثير المياه السطحية والعوامل الجوية. كما أظهرت دراسة الشوائب السائلة وتحاليل النظائر المستقرة للكربون والأوكسجين ($\delta^{13}C$ و $\delta^{18}O$) أن مصدر السوائل المعدنية يعود إلى أصل مائي حراري، مع مساهمات من مياه جوفية ومطرية.

عند مقارنة خصائص التمعدن في صرعى عبد القادر مع تلك الموجودة في منطقة العابد، تم تسجيل تشابهات واضحة من الناحية المعدنية، مع ملاحظة اختلافات في البنية النسيجية تعكس خصوصية موقع بوقايد.

الكلمات المفتاحية: ونشريس، صرعى عبد القادر، تمعدن رصاص-زنك-باريتين، مائية حرارية، نمط وادي المسيسيبي(MVT).

Sommaire

Résumé

Abstract

ملخص

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction ……. 1

2. Objectif de l'étude …….……1

3. Méthode de travail ……1

4. Historique de travaux ……..…….2

4.1. Etudes anciennes (1950-1990) ……...…….2

4.2. Études récentes (après 1990) ……. …….…….2

4.3. Travaux sur la minéralisation du massif de l'Ouarsenis ……. ...…… 3

5. Cadre géographique de la région ……. ……. ……..…….3

5.1. Aperçu géographique de la région…….…… ……..…….3

5.2. Conditions climatiques et couvert végétal…….…… ……5

6. Cadre géologique ……...……..……..5

7. Lithostratigraphie des monts de l'Ouarsenis occidental……...…….9

7.1. Jurassique …….…….9

7. 2. Crétacé inférieur…….. …….10

8. Cadre structural …….……..…….....11

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE

1. Aperçu géographique du secteur d'étude ……..…….….15

2. Géologie du secteur d'étude … …….……15

3. Aperçu Structural du Secteur d'étude ……..16

CHAPITRE 3 : ETUDE GITOLOGIQUE

1. Introduction ……..……..……19

2. Aperçu Gitologique de la Région. ……..……..……...…19

3. Historique du Gisement de l'Ouarsenis ……..……20

4. Présentation de la Minéralisation du gisement de l'Ouarsenis.……..... 21

   4.1. Chantier Kef Sidi Amar (Grand Pic) …….. ……..……..21

   4.2. Chantier du massif de Sraa Abd El Kader …….……... ……..……..21

   4.3. Indice Kef en N'hal…….. ……..……..……..23

5. L'encaissant de la minéralisation ……..……..…… 25

   5.1. Calcaire oolithique ……..……...…….25

   5.2. Calcaire grainstone à bioclastes ……..……25

6. Etude de la minéralisation ……..…..…… 27

   6.1. Description des textures de la minéralisation ……..……....27 ○ Texture veinulée……... ……..…… 27 ○ Texture massive ……..…… 28 ○ Texture rubanée …….. ……..…… 28 ○ Texture drusique ????????????? ……..……29 ○ Texture bréchique.....……..…… 29 ○ Texture disséminée…….. …….. ……30 ○ Texture Collomorphe ……...……. …… 30 7. Etude Minéralogique…….. …… 31

7.1.Les sulfates. ……..…….…… 31 ○
Barytine ($BaSO_4$)……. …….. …… 31
7.2.Sulfures ……..…….…… 32 ○
Sphalérite (ZnS)……. …… 32 ○
Galène (PbS) ..…….…….……32 ○
Pyrite (FeS_2) ……..……..……..…… 33 ○ o
Chalcopyrite (CuFeS2) . ..……..…….. 34
7.3.Minéraux d'altération (Phase supergène) ……..... 34 ○
Covellite (CuS)… ……...……34
○ Cérusite ($PbCO_3$) …….34 ○
Smithsonite ($ZnCO_3$) ……..35 ○
Hémimorphite [$Zn_4\ Si_2O_7\ (OH)_2$-H_2O] …….. ……35
7.4.Minéraux de gangue. ……36 ○
Calcite ($CaCO_3$) …… …….36 ○
Quartz (SiO_2) …….…….36
7.5.Oxydes et hydroxydes ..…….……..36 ○
Goethite (FeO (OH)) ..……..……. 36 ○
Limonite (FeO (OH) . nH_2O) ..…..…… ……37 ○
Hydrogarthite …..…. ... … ……..…….. 37 ○
Malachite [$Cu_2\ (OH)_2CO_3$] …… …….. 37 ○
Hydrozincite [$Zn_5\ (OH)_6\ (CO_3)_2$] ….……37
8. Succession Paragénétique…….. ……..…….37
○ Phase épigénétique hydrothermale ……37 ○ Phase supergène …… …37
9. Aperçu sur les inclusions fluides & isotopes stables du gisement de Boucaid ……..….38
9.1. Aperçu sur des inclusions fluides ….. ……38
9.2. Les isotopes stables du gisement du Sraa Abdelkader-Boucaid …..…….. 40

9.2.1. Méthode d'analyse isotopique (C-O) …….…….....41

9.2.2. Résultats isotopiques : carbone et oxygène …….……..……..41

9.2.3. Interprétation des signatures isotopiques ……..……... ……..……..41

Conclusion ……..... ……..…….42

CHAPITRE 4 : GISEMENTS ANALOGUES ET COMPARAISONS

1. Introduction ……43

2. gisement El Abed…… ……43

3. Minéralisation du gisement El Abed …….…….. 44

4. Etude comparative entre les gisements d'El Abed et Boucaid ..……46

5. Comparaison avec le secteur du Sraa Abdelkader ……..……47

Conclusion Générale ……..……..48

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

1. **CHAPITRE 1** 2. **INTRODUCTION GENERALE**

1. **Introduction**

Le massif de l'Ouarsenis, situé dans le Tell méridional algérien, constitue une région géologiquement complexe caractérisée par la présence de nombreuses structures tectoniques et formations sédimentaires d'âges jurassique et crétacé. Au sein de ce massif, le secteur de Sraa Abdelkader présente plusieurs indices de minéralisations métallifères, en particulier de plomb, zinc et barytine.

Ce chapitre vise à poser le cadre géologique générale et locale de la zone d'étude, en retraçant l'historique des travaux antérieurs, et en exposant les cadres géographique et géologique et structural de la région. Cette étude est essentielle pour mieux comprendre les conditions de mise en place des minéralisations ainsi que les caractéristiques structurales du gisement étudié.

2. **Objectif de l'étude**

Dans le cadre de ce travail de recherche, notre objectif principal est d'étudier les caractéristiques géologiques et minéralogiques de la minéralisation en plomb-zinc et barytine du sein du massif de Sraa Abdelkader. Cette étude vise à identifier les différents minéraux primaires et secondaires et autres minéraux associés, les textures de minerai, comprendre la genèse, ainsi que les conditions de formation ayant favorisé leur mise en place. Pour cela, l'étude c'est basée sur l'examen macroscopique des echantillons de minerai et de l'encaissant puis un étude microscopique détaillée de lames minces et de sections polies préparées au laboratoire de la Faculté.

3. **Méthode de travail**

Pour réaliser ce travail de Mémoire de fin d'étude, une méthodologie classique a été suivie, à savoir :

- Une étude bibliographique en consultant des travaux anciens, mémoires et thèses réalisés sur la région et sur le gisement ;
- Travaux de terrain, un séjour sur le terrain nous a permis de visiter, de décrire, d'échantillonner et de prendre des photos sur les sites du massif Sraa AbdelKaader, objet de cette étude, ainsi que les anciens sites déjà exploités en échantillonnant dans les haldes (Belkheirat) et enfin visite du site de Kef En Nhal, encore à l'état naturel ;
- Travaux de laboratoire, en relation avec la description macroscopique et préparation des échantillons pour étude microscopique ; dans cet objectif une dizaine d'échantillons ont été

choisis pour la confection de lames minces pour étude des minéraux transparents et de l'encaissant ainsi que des sections polies pour identification des minéraux opaques.

4. **Historique de travaux**

4.1. Etudes anciennes (1950 – 1990)

- Les premiers travaux sont ceux de L. Ville (1856), qui publia les premières données sur la minéralisation de l'Ouarsenis. Plus tard, plusieurs géologues s'intéressèrent à la géologie et la minéralisation de la région ; on cite :
- Calambert (1946-1952) s'intéressa aux dolomies inférieures de l'infraLias par comparaisons avec les faciès du même âge. Il publia « Etude géologique du massif culminant de l'Ouarsenis » et dans une monographie consacrée au massif culminant accompagnée d'une carte au 1/10000.
- Mattauer (1951-1958) reprenna la recherche sur les structures du massif l'Ouarsenis oriental. Il fut le premier à observer les structures renversées dans le massif. Il souligna l'existence phénomène de sédimentation dans la série du Grand Pic en rapport avec la tectonique au Lias
- Lucas (1952) proposa une synthèse du Jurassiques du Grand Pic et de celui d'Oued Foudha
- Polvêche (1960) présenta une étude régionale de l'Ouarsenis Oranais
- Farés (1968) apporta quelques précisions sur la stratigraphie en se basant sur la paléontologie du Jurassique inférieur du Tell.
- Tchoumatchenko (1984) compléta la subdivision lithostratigraphique donnée par Augier et définissa deux nouvelles formations (formation carbonatée de Rouina et formation gréseuse de Sennan).

4.2. **Etudes** récentes **(après 1990)**

- Benest (1993) à propos de kef En Nhal reprenna l'hypothèse du coin extrusif déjà évoqué par polvêche (1960).
- Tchoumatchenko (1994) repris ses études sur la coupe du Grand Pic et étudia les brachiopodes du Jurassique inférieur et moyenne.

- Benhamou (1994- 2024) s'intéressa à la lithostratigraphie et la sédimentologie du massif et de la région du Tell, en général, il présenta plusieurs études, très détaillées ; il concrétisa ses travaux, en 1996 par une Thèse de Doctorat d'Etat sur « l'Evolution tectono-eustatique au Jurassique inférieur et moyen, d'un bassin (Ouarsenis) de la Téthys maghrébine » et de nombreuses publications de références.
- Sadji (2021) dont les travaux sont toujours en cours dans la région présenta une Thèse de Doctorat sur les calcaires noduleux rouges du Jurassique supérieur (Ammonitico Rosso) du domaine tellien externe en adoptant des approches sédimentologique, biochimiostratigraphique et paléoclimatique.

4. 3. **Travaux sur la minéralisation du massif de l'Ouarsenis**

- Alexeev (1971-1973), dans le cadre de travaux de revision, il confirma la caractère polymétallique (Pb-Zn) du gisement et mis en évidence de nouveau corps (gîte de Boudinar) ; il signala la présence de grand potentiel de Barytine.
- Vydrine (1972), dans une synthèse sur les minéralisations polymétalliques non ferreuses du Nord de l'Algérie, résuma la géologie, gîtologie et reserves du gisement de Boucaid.
- Louha (2012- 2021) présenta une étude gîtologique sur les minéralisations du gisement de Boucaid, dans le cadre de la préparation d'un Mémoire de magister.
- Louha H., Balassone G., Boutaleb A., Boni M., Joachimski M., Mondillo N. (2021) publièrent une étude isotopique sur les minéraux supergènes de zinc (smithsonite, hémimorphite).
- Alilat & Medjaouri (2010) réalisèrent une étude géochimique comparative des rejets miniers de BouCaïd et d'El Abed et l'impact possible.

5. **Cadre géographique de la région**

5.1. **Aperçu géographique de la région**

La région de l'Ouarsenis est située dans le Centre-Ouest de l'Algérie, connu sous le nom de **Tell méridional** ; par opposition au **Tell septentrional** et aux **Hautes Plaines** de l'Est. Le massif de l'Ouarsenis (Mattauer, 1958) est encadré par le massif du Titteri à l'Est et par les Monts des BéniChougran à l'Ouest, le plateau du Sersou au Sud et la plaine du Chélif au

Nord. Le massif s'étend sur une distance de 200Km d'Ouest en Est (ENE-OSO) et une largeur en N-S sur 60Km à100Km ; entre les parallèles 35° et 36° 30' N et les méridiens 1° et 2°E (Fig. 1).

Dans la région, le massif de l'Ouarsenis est le plus haut de l'Algérie occidentale ; il culmine au Grand Pic (ou Kef Sidi Amar) à 1985m d'altitude. Sa position géographique marque de la limite entre l'Ouarsenis oriental et l'Ouarsenis occidental.

Administrativement, le massif de l'Ouarsenis s'étale sur les wilayate de Médéa, Ain Defla, Tissemsilt, Chlef, Relizane et Tiaret.

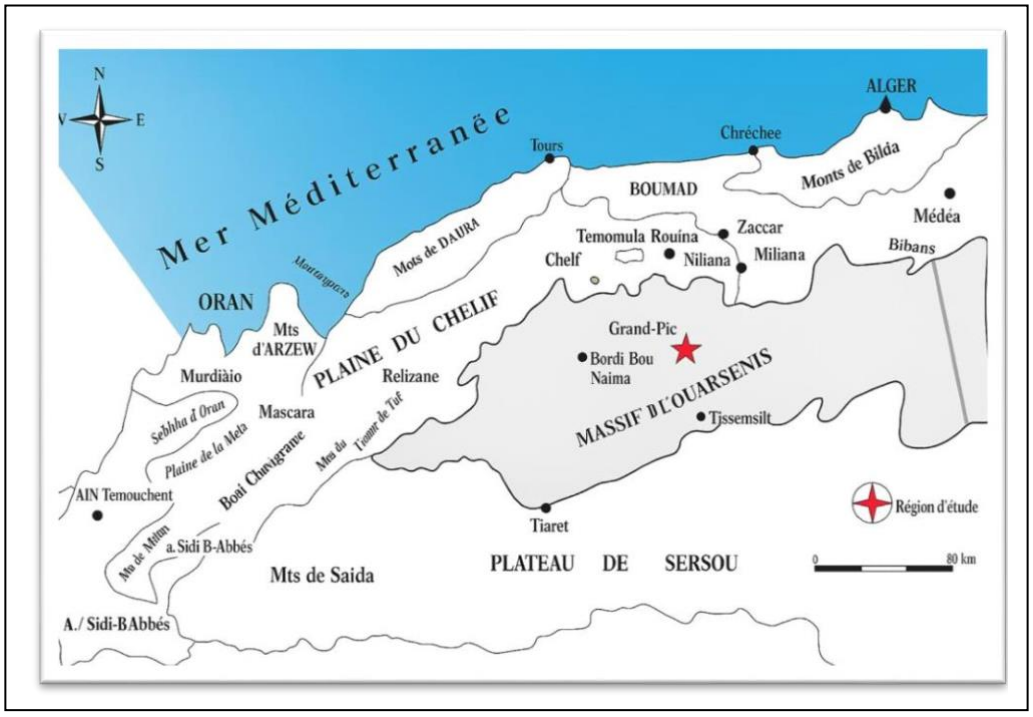


Fig.1 : Situation et limites géographiques du massif de l'Ouarsenis

Le massif de l'Ouarsenis est traversé par les affluents du Chélif, qui coulent vers le Nord et le Nord-Ouest tels que l'Oued Rhiou à l'Ouest, Oued Sly, Oued Fodda, Oued Zeddine et l'Oued Dourdous à l'Est. A l'Ouest, le massif est contourné par l'Oued Mina (Fig.2).
Le massif est accessible à partir de la ville de Chlef distante de 60 km jusqu'à Boucaid. Ou à partir de l'Est Passant par Theniet El Had ; ou bien encore par le sud à partir de la ville de Tiaret située à environ 165 km.

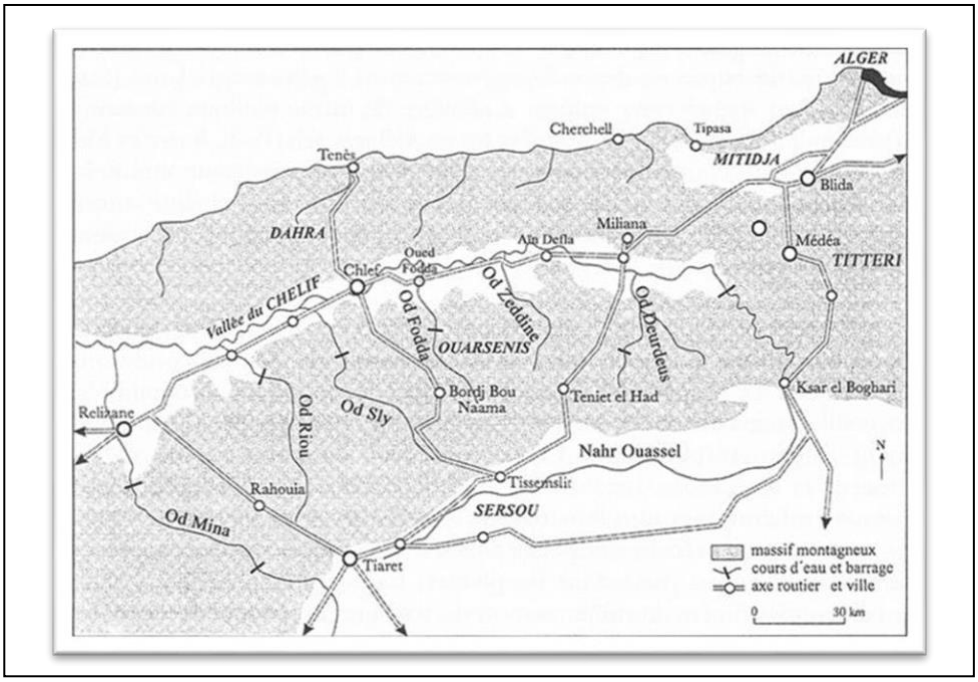


Fig.2 : reliefs, Oueds, et les villes de la région (Côte, 2005)

5.2. **Conditions climatiques et couvert végétal**

La région est caractérisée par une forte pluviosité (600 mm/an) et chutes de neige assez importantes en hiver vue l'altitude élevée du massif. L'été est relativement chaud et sec. Ceci confère à la région une couverture végétale dense (forêts de pins d'Alep, de chênes-lièges et surtout le cèdre de l'Atlas) ce qui donne à la région un caractère touristique très apprécié.

6. **Cadre géologique**

La région étudiée appartient à la partie méridionale du domaine externe Tellien (ou Tell externe).Ce domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain (Wildi, 1983).

Le Tell externe est constitué d'unités géostructurales certaines allochtones, type nappes chevauchantes, d'unités autochtones (le Bechtout et le Rheddou) et d'unités dites « parautochtones » (cas du massif Ouarsenis) (in. Sadji, 2021).

Le massif Sraa Abdelkader, objet de notre étude appartient au parautochtone.

A la lecture de la carte géologique de Wildi (1983), la géologie du Nord de l'Algérie se résume comme suit en allant du Nord au Sud (Figure 3) :

- ✓ **Domaine interne,** localisé au nord dans le Tell septentrional ; il est constitué d'unités allochtones à tectonique complexe :
  - Avec un ensemble métamorphique ***Socle Kabyle*** cristallin précambrien à paléozoïque recouvert localement par une ***couverture paléozoïque*** peu déformée, traduisant une histoire hercynienne suivie d'une réactivation alpine, ○ Couverture sédimentaire dite

  Dorsale Kabyle, d'âge Lias à Oligocène structurée en écailles, qui se chevauchent vers le Sud, au cours de l'orogenèse alpine,
  - de dépôts sédimentaires discordants dits : ***Oligo-Miocène Kabyle*** et ***Olistostromes kabyles***, comme des témoins de processus gravitaires dans des bassins synorogéniques tectoniquement actifs au Néogène.
- ✓ **Nappes des flyschs crétacés** , localisés au Sud de la Dorsale Kabyle ; il s'agit de dépôts sédimentaires à caractères flyschoïdes d'âge Crétacé essentiellement ; ces flyschs forment une série d'unités tectoniques chevauchantes avec du Nord au Sud : ***flysch maurétaniens*** détritiques puis un flysch argilo-schisteux à marneux gréseux appelé ***flysch massyliens*** plus au Sud.
- ✓ Le flysch néogène ***numidien*** est peu connu dans la région (Ténes) ; il est reconnu par les grandes barres de grès et grès arkose à matrice argileuse, typiques de dépôts turbiditiques attribués au Burdigalien – Langhien (Miocène moyen).

- ✓ **Domaine externe** tellien, le domaine externe est principalement formé de séries sédimentaires mésozoïques à cénozoïques déposées sur la marge téthysienne du continent africain (Wildi, 1983).

  La série stratigraphique débute par un Trias argilo-gypsifère qui affleure en semelle de nappes et souligne les accidents tectoniques chevauchants ; il est suivi par le Jurassique inférieur calcaro-dolomitique de plateforme ; ce dernier est surmonté par le Jurassique moyen marin puis continental à cônes détritiques au sommet. Cette configuration détritique se poursuit au Crétacé inférieur.

  Ce domaine et affecté par une tectonique de nappes chevauchantes en relation avec l'orogenèse alpine méditerranéenne occidentale. D'après les travaux anciens, l'organisation structurale du Tell externe diffère d'Est en Ouest avec :

- A l'Est algérien, les séries Telliennes sont organisées du Nord au Sud :*i) Unités ultraTelliennes*, ii) *Unités Telliennes* et iii) *Unités péni-Telliennes* (Vila, 1980) et (Obert, 1990) ;
- Au Centre, le domaine externe est représenté par des unités dites « Autochtones relatifs (cas du massif de l'Ouarsenis) que les auteurs rattachent aux unités ultraTelliennes (Mattauer, 1958 & Polvèche et al, 1961) ;
- A l'Ouest d'Oran, de Tifaraouine à la frontière marocaine quatre ensembles principaux sont reconnus par Guardia (1975): *i) autochtone et para-autochtone, ii) allochtone non métamorphique, iii) Unité Cénomanienne et enfin iv) l'Unité OligoMiocène* (in. Oukil & Yedou, 2024).

✓ **Hauts plateaux :** Au sud de l'Ouarsenis c'est **les plaines du Sersou**, formées par :

i) *Miocène continental* avec dépôts continentaux produits de bassins intramontagneux post-orogéniques et d'anciens environnements littoraux ou lagunaires recouverts,

ii) par un *Quaternaire continental* constitué d'alluvions, colluvions et dépôts lacustres récents (Cornée et al, 1990 ; in. Sadji, 2021).

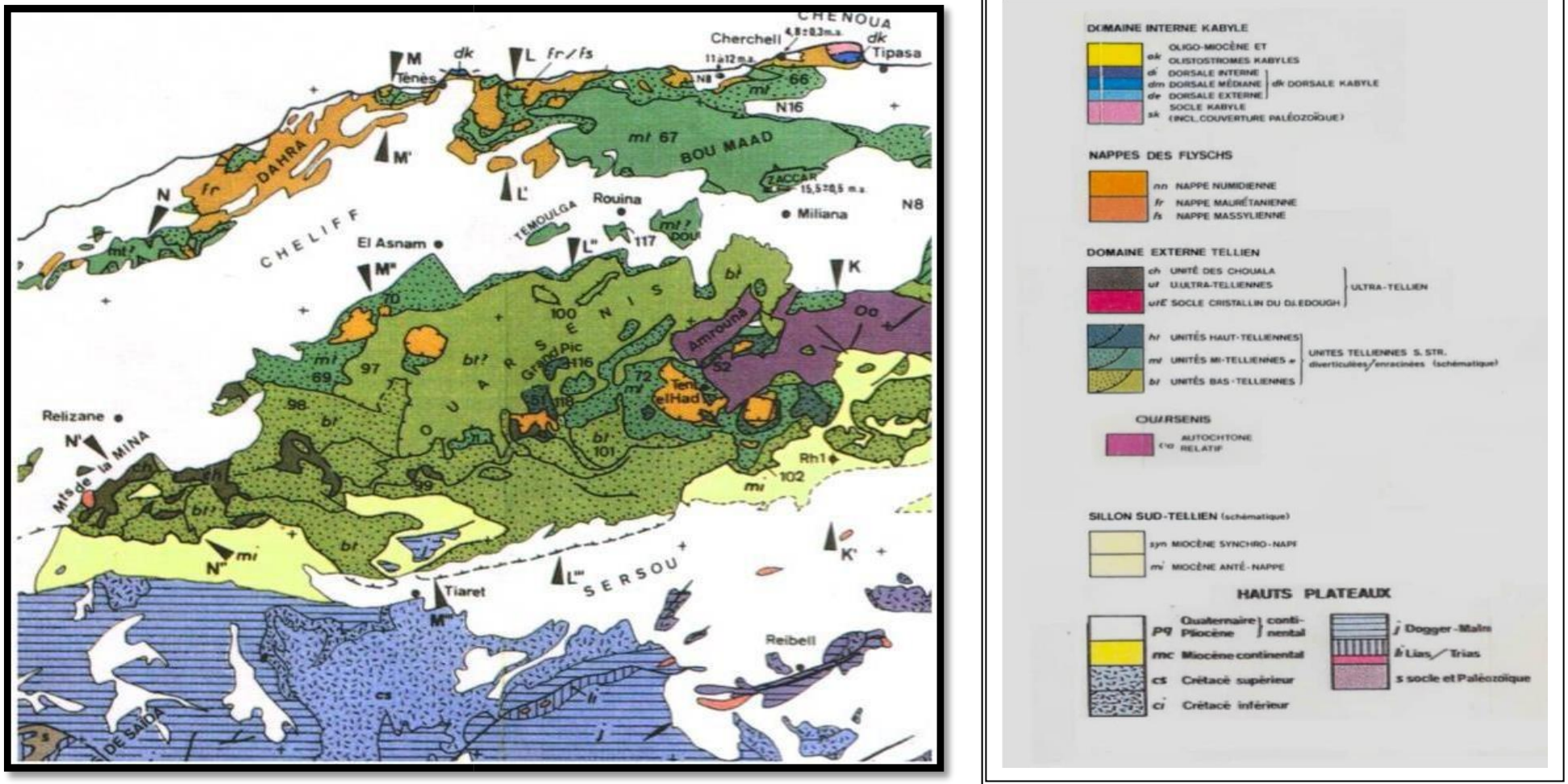


Fig3 : carte géologique régionale du massif de l'Ouarsenis (extrait de la carte géologique, Wildi, 1983)

Plus au Sud, c'est le **môle de Saïda** avec un *socle cristallin et Paléozoïque de Saïda* témoins de l'orogenèse hercynienne, recouvert de Méso-Cénozoïque et de Quaternaire.

- ✓ **Bassin de Chellif :** Le bassin de Chellif affleure au Nord du massif de l'Ouarsenis ; il représente une zone de subsidence post-nappes, dans laquelle se sont accumulés des dépôts néogènes : i) avant (*Miocène ante-nappes*), ii) pendant (*Miocène syn-nappes)* et iii) après (*Miocène post-nappes*), la mise en place des nappes.

7. **Lithostratigraphie des monts de l'Ouarsenis occidental**

L'Ouarsenis est constitué essentiellement par de formation et des séries sédimentaires jurassiques qui affleurent sous formes de massifs isolés entourés par les séries crétacées.

D'après les travaux de Calambert (1952) puis de Polvêche (1958 - 1960) sur l'Ouarsenis occidental et récemment de Benhamou (1993-2024) et de Sadji (2021) sur les différents massifs l'Ouarsenis (Kef Sidi Amar (ou Grand Pic), Sraa Abdelkader, Belkheiret, Rokba el Atba et Kef en Nhal) la lithostratigraphie se résume comme suit (Fig. 4) :

1. **Jurassique**: Toutes les étages de Jurassique sont représentés par des formations concordantes ; l'épaisseur totale est supérieure à 850m. Au Nord, les terrains du Lias inférieur sont limités par un accident tectonique et sont en contact avec les schistes argileux du Crétacé inférieur.

 Jurassique inférieur (Lias) représenté par :

- ✓ **Formation de Carbonates de Kef Sidi Amar**, (Sinémurien- Carixien inf. (Pleinsbachien). Les formations de cet âge sont reconnues sur les massifs des Grand Pic, Sraa Abdelkader et Rokba, mais leur limite stratigraphique inférieure n'est pas claire. Les dépôts sont essentiellement représentés par des dolomies et calcaires dolomitiques (250m) à tidalites suivies par des calcaires compacts oolithiques puis des remplissages détritiques, terrigènes avec conglomérats et grès. Ces dépôts terrigènes témoignent d'un phase d'érosion avec reliefs et émersion (Benhamou et Elmi, 1997).
- ✓ **Formation des Calcaires de Djorf Touka ;** elle est attribuée au Lias moyen Carixien moy-sup.) ; elle débute par des calcaires à lithiotis (Farés, 1968) discordants surmontés par des calcaires sombres micritiques et calcaires stratifiés ; l'épaisseur varie peu (400-470m) ; à Sraa Abdelkader, l'épaisseur diminue d'Ouest en Est jusqu'à 300m.

- Jurassique moyen (Dogger), les dépôts du Dogger sont les alternances **marno-calcaires de Trig Sidi Amar**, à brachiopodes, attribués au Toarcien ; l'épaisseur varie de 250 à 500 m à Sraa Abdelkader.

- Jurassique supérieur (Malm) : le Malm débute par un ensemble gréseux (**form ; détritique de Senan**) soit des grès à galets sur 130m d'épaisseur du Aalenien-Bajocien inf. surmontés par des calcaires à silex , des marno-calcaires à Zoophycos puis des calcaires à filaments, (**Calcaires de Rokbat el Aatba**) ; l'épaisseur est de 130m max.
  Les auteurs signalent plusieurs discontinuités sédimentaires, qui peuvent avoir un rôle pour la mise en place de la minéralisation du massif.

2. Crétacé inférieur : c'est une assise monotone de schistes argileux à intercalations de grès, quartzites, rarement de marnes, qui entoure les noyaux calcaires jurassiques ; leur épaisseur dépasse 1000m *(Mattauer, 1958*).

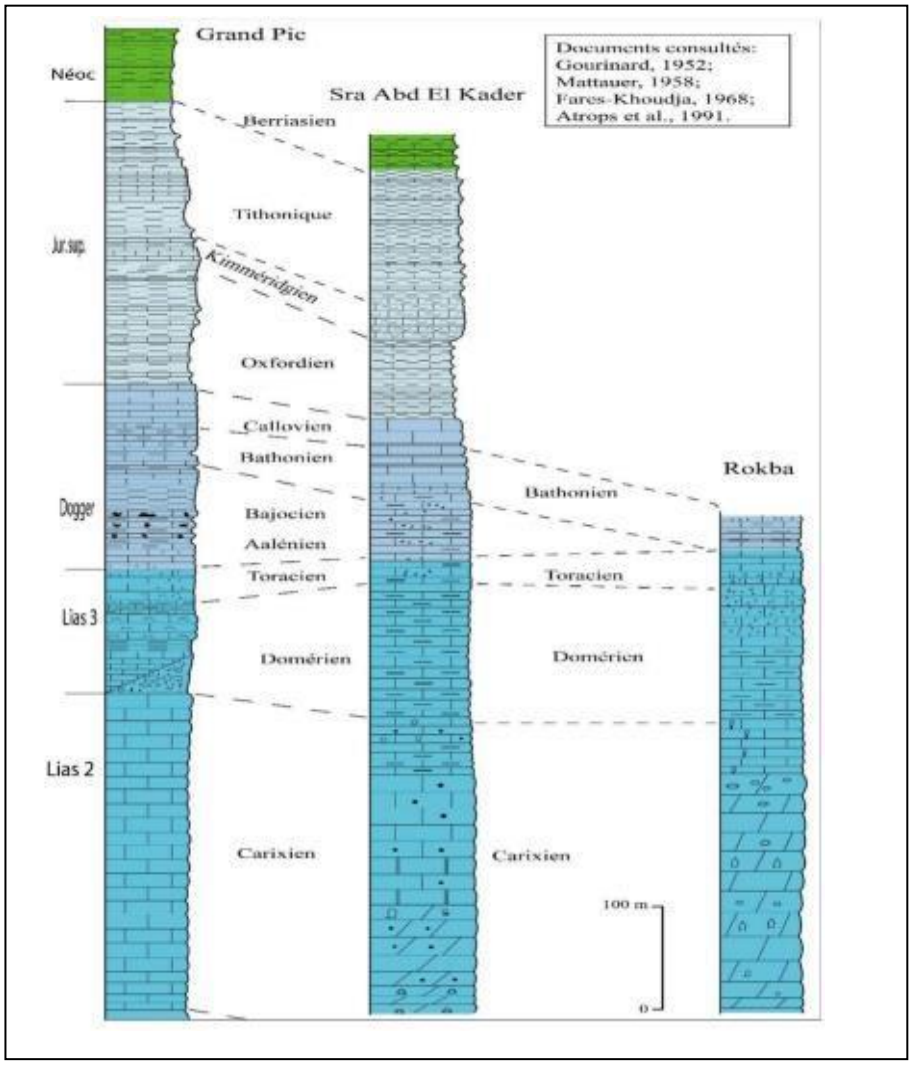


Fig 4 : Colonne lithostratigraphique Jurassique – Crétacé inférieur du massif de l'Ouarsenis (Kireche, 1993)

8. **Cadre structural**

La structure du massif de l'Ouarsenis est décrite comme complexe (Mattaeur 1958 & Polvèche 1960) ; les auteurs avancent plusieurs hypothèses : la structure correspondrait à un pli diapyrique complexe, faillé en horst-anticlinal, déversé au S et SO. Ce dernier est affecté plutard par plusieurs plis secondaires et failles (in. Vydrine, 1972) ; des auteurs parlent d'écailles extrudées, de charriages et chevauchements. Il est proposé d'étudier la structure de chaque massif. La compréhension de cette structure est essentielle pour évaluer le potentiel métallifère du gisement (Alexeev, 1973). A l'exemple de :

- **Massif du Grand Pic**, un des plus grands et les plus essentiels ; la présence de la minéralisation Pb-Zn, a fait l'objet d'une attention particulière. Il a la forme d'un tronc de cône (2 km de diamètre et 750 m de hauteur). Sa structure est marquée par un renversement stratigraphique clairement établi par les recherches précédentes, Le massif présente une forme synclinale écaillée avec de faibles pendages (5 à 30°). Selon Calambert ( ) le massif correspond à une partie d'un pli renversé.
- **Massif de Belkheïrat**, situé au Sud-Sud-Est du massif de Grand Pic, s'étend sur 1,8 km vers le Nord-Nord-Est. Il présente un pendage abrupt vers l'Est-Sud-Est (0° à 80°), ce qui indique un déplacement tectonique vers le Sud-Est, lié à l'orogenèse. Enfin, une fissuration intense est observée sur le versant ouest, sur 1 km, probablement due aux tensions internes lors du déplacement du massif.

La tectonique ayant affectée intensément le massif de l'Ouarsenis a pour origine des déplacements des nappes. La notion des nappes n'été pas reconnue pour la plus grande partie du Tell algérien. Dans l'Ouarsenis, la notion des nappes est récente ; Mattauer (1958) en se basant sur des observations de terrain, plusieurs endroits des superpositions anormales ainsi que des anomalies structurales et stratigraphiques ; également par les observations des cartes géologiques. Il distingua cinq unités structurales qui sont (Fig. 5):

- L'Autochtone,
- Le Complexe A,
- La nappe B,
- La nappe C,
- Et les dépôts post-nappes.

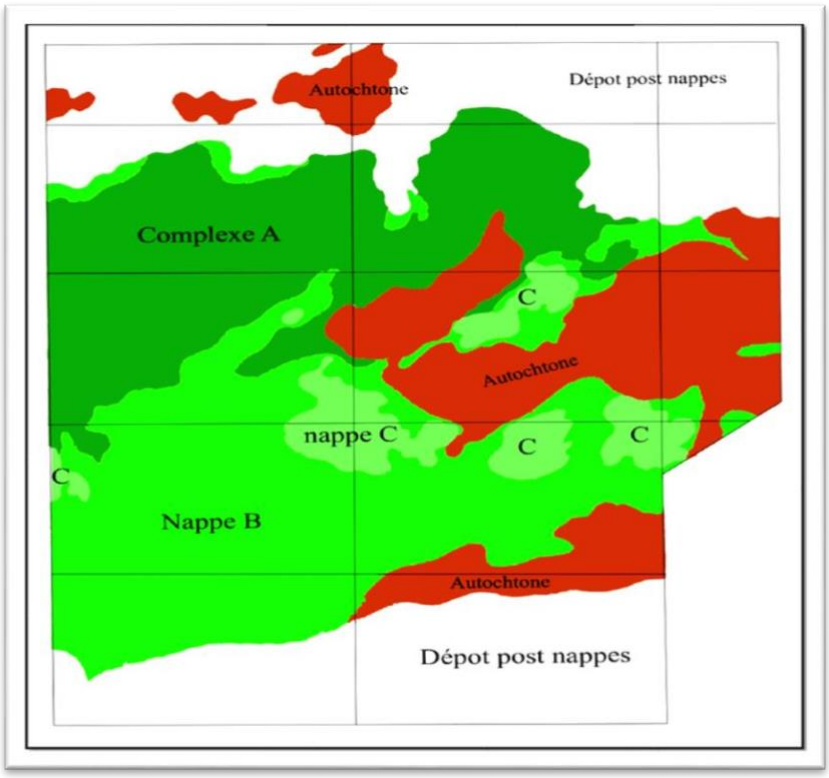


Fig. 5: Les unités structurales de l'Ouarsenis Oriental, in. Louha (2012)

Le massif Sraa Abdelkader, le massif Sraa AbdelKader correspondrait a une partie du cœur de la structure horst-anticlinal générale. Le schéma structural du massif Sraa AbdelKader est présentée dans le chapitre suivant, secteur d'étude.

CHAPITRE 2

GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE

1. **Aperçu géographique du secteur d'étude**

Le secteur d'étude est limité au massif Sraa Abdelkader, situé à l'Est du Grand Pic (Kef Sidi Amar, 1965m). Il s'étend sur 4 km d'Ouest en Est, sur une largeur de 900m, légèrement courbé vers le Nord dans sa terminaison occidentale ; il présente une ligne de relief en dents de scie ; d'où le nom arabe connu chez les habitants « ***El Mencheur*** » ; les altitudes sont décroissantes de 1756m à l'ouest vers le point plus bas (1112m) à l'extrémité est. Vers le Sud, le massif de Belkheirat (1665m), vers l'Ouest Rokba Aatba (1252m) (siège de la mine de PbZn), tous des massifs isolés qui se sont détachés par le jeu de failles (Fig.6).

Les deux principaux Oueds à l'Ouest sont Oued Ardjem, qui coule avec un tracé sinueux pour former Oued Sly et puis l'oued Chélif au Nord (Fig.6).



Fig.6 : carte géographique du secteur d'étude (extrait carte topographique, El Meddad (133) au 1/ 50.000.

2. **Géologie du secteur d'étude**

Le massif de Sraâ Abdelkader, situé dans le massif de l'Ouarsenis central (Tell nordalgérien), est essentiellement constitué de calcaires jurassiques massifs (Lias inférieur et moyen), souvent dolomitiques, associés à des niveaux de calcaires laminés, marnes et enfin les argiles schisteuses du Crétacé inférieur (in. Aïfa & Zaagane, 2014).

Cette série sédimentaire reflète un ancien environnement marin peu profond, caractéristique du Mésozoïque nord-Africain, avec une transition lithologique marquée entre les formations carbonatées du Jurassique et les dépôts marno-gréseux du Crétacé (Benhamou, 1994) (fig.7).

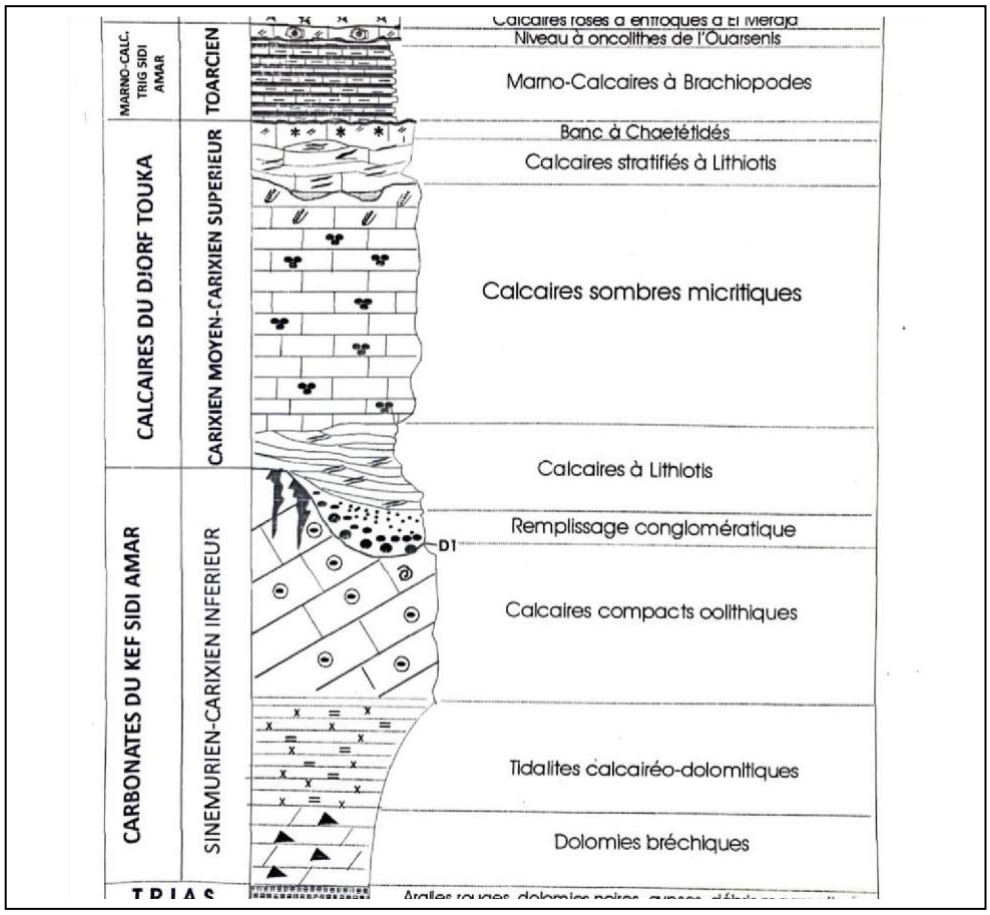


Fig 7 : Colonne lithostratigraphique Lias –Dogger du secteur d'étude (extrait de la colonne lithostratigraphique, Benhamou (1994)

3. **Aperçu Structural du Secteur d'étude**

La direction générale de la structure est sublatitudinale ; elle est ESE vers l'extrémité orientale et OSO vers la terminaison occidentale. Les couches sont très redressées avec un pendage vers le Sud (60°) à l'extrémité orientale puis il devient renversé, vers le Nord (60°70°) à l'Ouest mais avec un plongement vers le Sud (in. Vydrine, 1972).

Le massif est limité par trois failles principales qui séparent les roches jurassiques des dépôts du Crétacé inférieur (Fig.8) (in. Aifa & Zaagane, 2014).

- La faille chevauchante au Nord, montre un contact net entre schistes crétacés et dolomies sans signes de broyage.
- La faille, à l'Ouest, est alignée vers le Sud-Est ; elle présente des plans de failles opposées de part et d'autre.
- La faille, à l'Est, est accompagnée de petits troubles et semble former un escarpement.

L'intérieur du massif est très compliqué avec de nombreuses failles et des déplacements de quelques dizaines de mètres, surtout dans la moitié méridionale où se trouvent plusieurs nœuds tectoniques et des blocs anguleux (Fig.9).

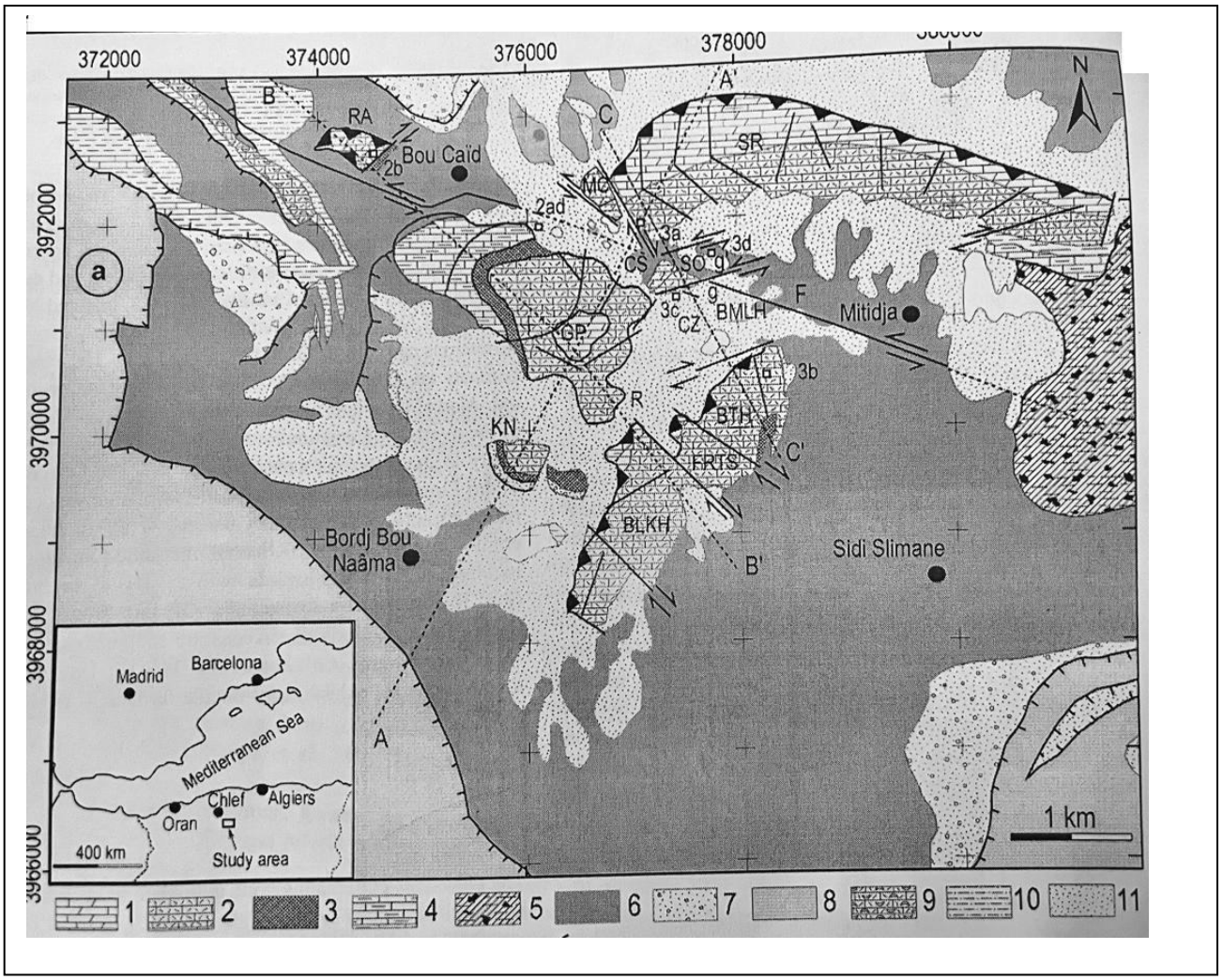


Fig 8: Carte géologique du secteur d'étude, Aïfa & Zaagane (2014)

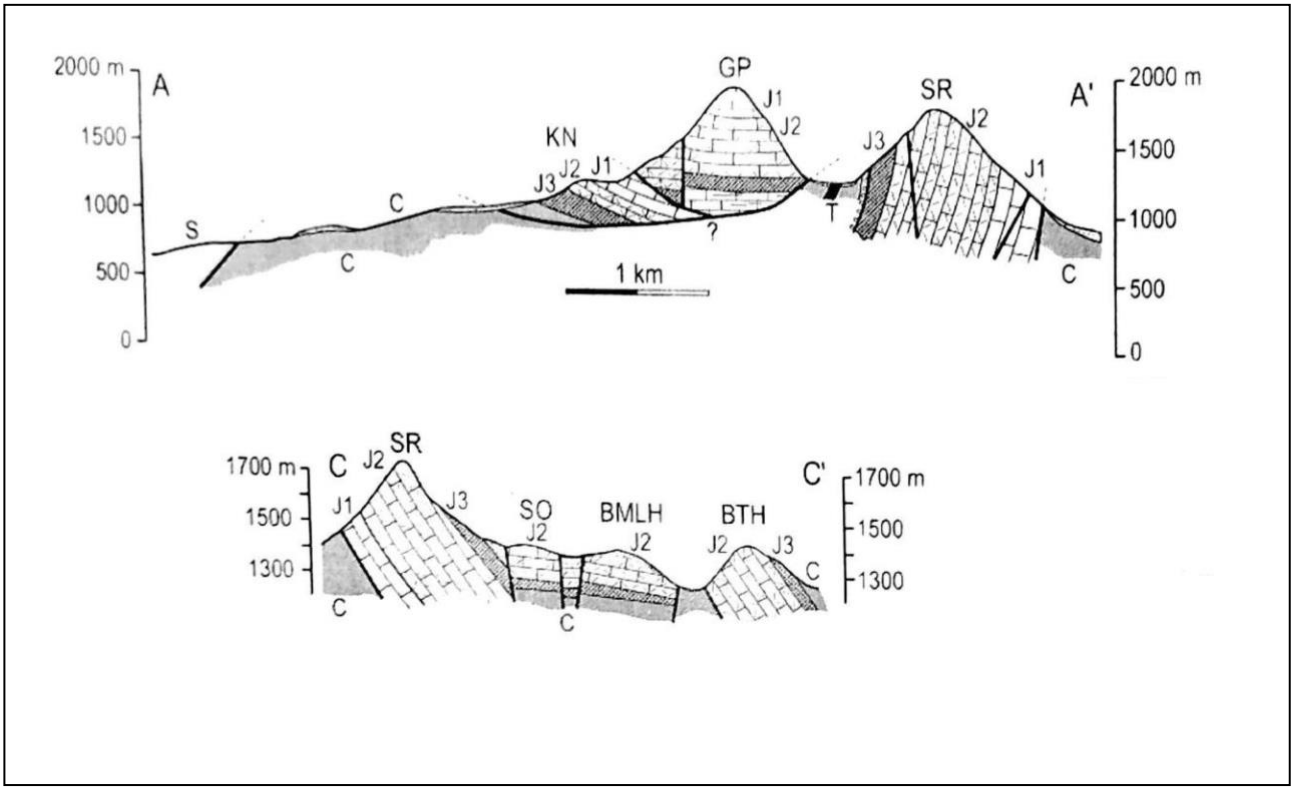


Fig 9 : Coupes géologiques passant par Sraa AbdelKader (SR), Grand Pic (GP), Belkheirat (BLKH), Kef Nsour (KN) Aïfa & Zaagane (2014)

CHAPITRE 3

1. ETUDE GITOLOGIQUE

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude de la minéralisation sur le massif de Sraa Abdelkader ; l'encaissant, l'étude du minerai en macroscopie et au microscope optique, la composition minéralogique et la succession paragénétique.

2. Aperçu Gitologique de la Région

D'après les cartes de gîtes de minéraux de l'Algérie (feuilles Alger-Nord et Oran-Nord) au 1/500.000, 1969, (figure 10).

La région de l'Ouarsenis est assez riche en indices, gîtes et gisements baryto-polymétalliques à Pb, Zn (Cu) et Barytine. Les corps de minerai sont en amas. Ils sont encaissés dans des roches calcaires du Jurassique inférieur (Lias). Les minéraux de minerais sont de types sulfures primaires (galène, blende et barytine) et minéraux de zone d'oxydation (carbonates, sulfates oxydes et hydroxydes de Pb, Zn et de Fe (cérusite, smithsonite, hemimorphite et limonite). Ces minéraux sont accompagnés de calcite, barytine et rare fluorite.

La production cumulée depuis 1908 à 1976, de Pb et Zn à partir de minerai sulfuré primaire ou minerai oxydé, est estimée à environ 300 mille tonnes de métal Pb, Zn..

La région possède aussi des sources thermo-minérales avec des eaux sulfatées, sulfurées, bicarbonatées et parfois chlorurées.

Au Nord de l'Ouarsenis, sur les bordures du bassin de Chélif, il y a plusieurs gîtes de fer. Les corps sont en amas à l'exemple du gisement de fer déjà exploités de Zaccar et de Rouina et quelques gîtes de type filonien. On note aussi des gîtes de cuivre en remplissage de cassures, en stockwerks et amas. Et enfin, des gîtes de plomb-zinc (exemple gisement de Djahamama).

Vers le Nord-Ouest, les gîtes de cuivre sont dominants. Ils ont une morphologie en filon de direction NE-SO et un pendage vers le SE. Il y a aussi des gîtes filoniens de plomb-zinc et de mercure.

À l'Est dans la région de Theniet el Had, il y a de petits gîtes stratiformes à plomb-zinc avec blende, galène et smithsonite comme minéraux dominants.

Loin, vers le sud (région de Monts de Saïda), les gîtes de Saïda, Takhemaret sont les plus connus ; il y a aussi des gîtes de plomb-zinc et cuivre en filon NE-SO et stratiforme encaissés dans des

dolomies du Jurassique moyen. La minéralisation est composée de blende, galène accompagnée de barytine et calcite.

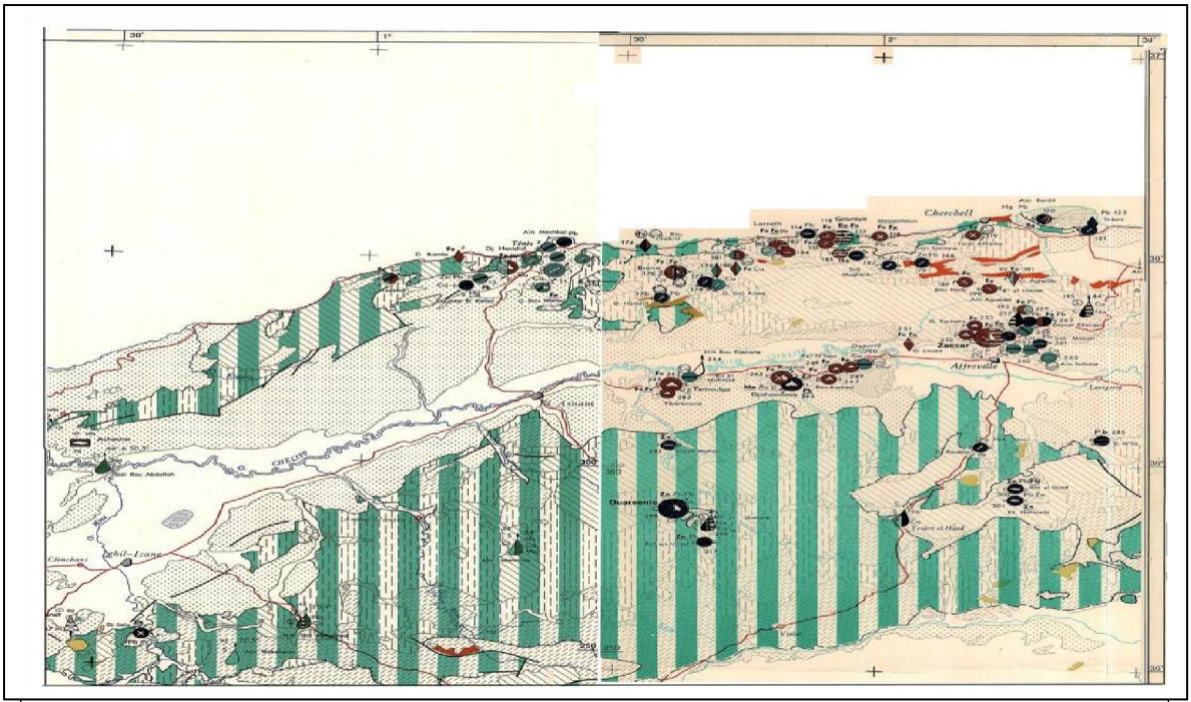


Fig.10 : principaux gîtes, gisements de la région centre-occidentale (Extrait cartes de gîtes minéraux de l'Algérie au 1/500.000, 1969)

3. Historique du Gisement de l'Ouarsenis

Le gisement polymétallique de l'Ouarsenis, connu depuis le Moyen Âge ; il a été redécouvert en 1842 par le géologue Fournel. En 1890, la première concession d'exploitation fut accordée ; En 1947, de nouveaux travaux de prospection sont entrepris, qui aboutirent, en 1950, au début de l'extraction du minerai oxydé (smithsonite, hydrozincite et cerusite) en plus du minerai sulfuré, avec des teneurs cumulées moyennes de 20 % de Zn et de 15 % de Pb. Parallèlement, une laverie fut construite pour le traitement des minerais oxydés et des minerais sulfurés de faible teneur.

En 1966, la mine fut nationalisée et l'année suivante, les travaux de prospection géologique et d'exploitation furent confiés à la Société Nationale de la Recherche Minière (SONAREM), qui confirma les grandes réserves de Barytine. L'exploitation du Pb-Zn se poursuivi jusqu'à 1976 ; année à partir de laquelle l'exploitation de la barytine a débuté. Actuellement, l'exploitation de la barytine est limitée au massif Sraa Abdelkader (chantier Lakhdar, chantier

Gisement –Nord, Chantier Ammal). Elle est assurée par l'ENOF (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non-Ferreux), Unité ENOF Boucaid. L'exploitation est souterraine, elle s'effectue selon deux modes : méthode chambres et piliers et méthode chambres -magasins.
La production annuelle de barytine est d'environ 120000T/an .

4. Présentation de la minéralisation du gisement de l'Ouarsenis

D'après les anciens travaux, la minéralisation fut découverte sur le massif du Grand Pic, à Belkheïrat et Rokbat el Aatba. Cinq zones de minéralisation plomb zinc barytine sont connues ; certaines sont épuisées déjà (G.P., Belkheïrat Rokbat el Aatba et Sidi Djber), d'autres furent découvertes depuis 1976, notamment pour la barytine. La minéralisation est encaissée dans les formations calcaires (parfois dans les calcaires dolomitiques) du Lias moyen –sup et du Dogger avec une composition minéralogique à barytine, sulfures, oxydes, carbonates et sulfates de plomb-zinc.(Vydrine, 1972). Elle se présente sous deux formes principales : **filonienne** et **karstique**. La minéralisation est épigénétique hydrothermale type Mississippi Valley Type (MVT) (Louha, 2012).

4.1. **Chantier Kef Sidi Amar (Grand Pic)**

Le massif Grand Pic montre deux corps minéralisés distincts à morphologie irrégulière et indépendants l'un de l'autre.

Le premier corps a été exploité à deux niveaux principaux : 1662 m et 1676 m. En surface, à l'entrée du niveau 1620 m (premier corps).

Deux zones à oxydes de fer ont été observées. Cela témoigne de la présence d'un « faux chapeau de fer » constitué d'oxydes de zinc (hydrozincite, smithsonite) et de fer.

L'étude sur le terrain a été menée par l'échantillonnage des haldes en zones d'oxydation.

Sur **massif Sraa Abd El Kader ,** les chantiers de **Ammal**, **Lakhdar** et **gisement-nord** plus riche en barytine ont été visités avec échantillonnages en surface, en galeries et dans les haldes riches en sulfures de Pb-Zn.

4.2. Chantier du massif de Sraa Abd El Kader

Le massif de Sraa Abd El Kader est un ensemble calcaire situé dans la région de de l'Ouarsenis. Il est connu pour sa richesse en barytine, avec plusieurs filons encaissés dans les formations du Lias moyen-supérieur. Ces minéralisations sont contrôlées par des structures tectoniques

orientées NNE-SSO, avec un pendage autour de 60° ; d'autres structures proche d'E-O. Plusieurs chantiers sont reconnus ; les corps font l'objet d'une exploitation ou en développement pour exploitation.

- **Sidi Belabbes**

Ce filon affleure, à l'extrémité orientale du massif de Sraa Abd El Kader ; la minéralisation est encaissée dans les calcaires du Dogger ; elle est contrôlée par une structure tectonique orientée est-ouest. Ce filon fait plus de 300m, avec un pendage de 76° sud et une puissance moyenne de 1,5m sur une profondeur explorée de plus de 100m. La teneur en BaSO4 atteignant en moyenne 86 %,

➢ **Caractéristiques:**

- Texture massive, en tablettes, parfois en crêtes de coq.
- Épaisseur variable, de quelques centimètres à 3 m.
- Présence fréquente de ramifications.
- Veinules de calcite et de sphalérite perpendiculaires au filon ; association occasionnelle avec de la galène fine.

- **Sidi Ouadah**

Ce filon affleure selon une direction N160° et un pendage compris entre 25° et 35° vers le sud-est entre les altitudes 1500 m et 1520 m, sur une longueur de 261 m,. Il est encaissé dans les calcaires du Lias moyen à supérieur. Son épaisseur moyenne est de 1,3 m, avec une teneur moyenne de 85 % en $BaSO_4$.

Le filon a été reconnu par la galerie du niveau 1518 m, depuis laquelle l'exploitation s'est étendue jusqu'à la surface. La prospection de sa partie centrale (entre les niveaux 1497 m et 1518 m) est en cours via des ouvrages miniers.

Caractéristiques :

- Texture rubanée de la barytine.
- Présence abondante de barytine résiduelle.
- Épaisseur variable de quelques centimètres à 4 m.
- Veinules de calcite avec galène et encroutements ferrugineux.

- **Sidi Omar (Lakhdar)**

Situé à l'est du chantier de Sidi Ouadah, sur le versant sud du massif de Sraa Abd El Kader, ce filon suit une direction N116° avec un pendage de 85° vers le nord. Le corps a des dimensions décamétriques (25 X 100) et suivi en vertical sur plus de 30m.

Caractéristiques :

- Texture massive avec barytine en tablettes grises et blanches.
- La sphalérite comble les vides entre les tablettes.
- À la galerie du niveau 1550 m, une zone d'oxydation est observée, riche en limonite, jarosite et calamine.

- **Chantier Ammal**

Ce filon est situé dans la partie centrale du versant nord du massif de Sraa Abd El Kader. Il suit une direction N20° avec un pendage de 75°. Il est suivi en longueur et en pendage sur plusieurs centaines de mètres (400m) avec une puissance de 3m environ ; il est en exploitation, au-dessus du niveau 1227 m et fait l'objet de recherches géologiques par sondages pour développements.

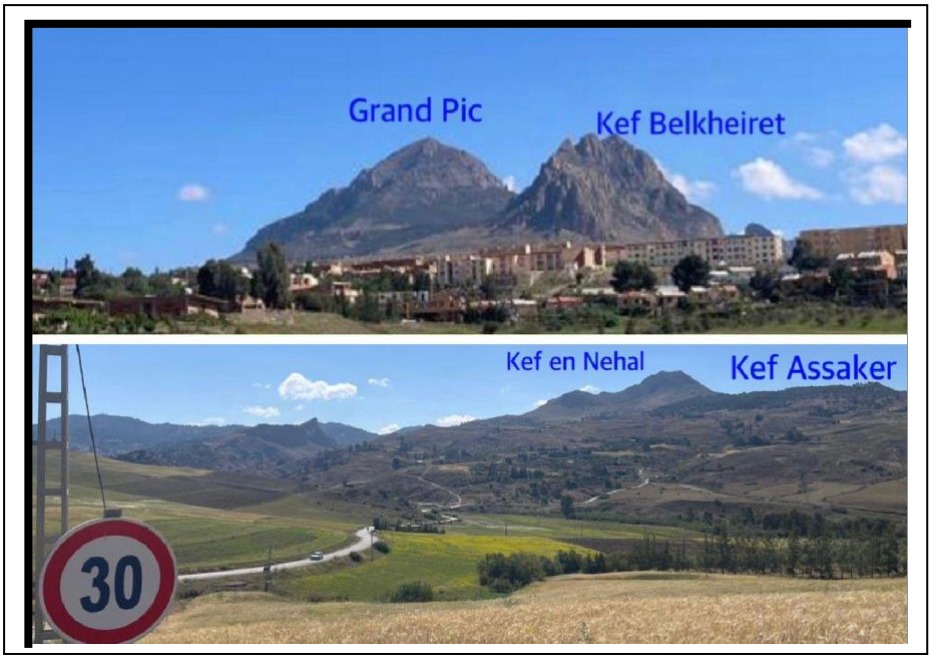
Caractéristiques :

- Texture porcelanée en bordure, passant à une texture en tablette au centre.
- Par endroits, barytine en crêtes de coq, massive, laiteuse ou translucide.

4.3. **Indice Kef en N'hal**

Kef el Nhel se situe à 1km au Sud-est de village de Tamellahat. Il apparait comme une grande ligne de crête (Photo 1). L'indice est localisé sur la ligne de crête où les calcaires dolomitiques du Lias inférieur montrent une zone de veinules minéralisées d'extension métrique (10m maximum) et puissance décimétrique ; orienté N130° à pendage 60°NE (Photo 2) ; ainsi que la présence d'un nœud ayant la taille d'environ 80cm visible (Photo3).

La minéralisation est à barytine et galène, associés à de la calcite millimétrique. On observe aussi de la galène disséminée dans le calcaire dolomitique liasique.



Vue vers le Nord, montrant Kef Belkheirat légèrement détaché du Grand Pic

Vue vers le Sud, montrant les chicots de Kef enNhal (a gauche) et de Kef el Aaskar (a droite)

Vue vers le Sud avec les Chicots de Kef En N'hal et Kef Assaker détachés vers le sud, avec un rejet apparent de 4Km

Photo1 : Vues panoramique à partir du Village de Tamellahat



Photo 2: vue vers le Sud de la lame de calcaire dolomitique de Kef en N'hel.



Photo 3 : Zone filonienne (N130°-60NE) à veinules et nœuds à barytine-calcite,

5. L'encaissant de la minéralisation

Rappelons que la minéralisation est épigénétique hydrothermale; elle est encaissée dans les formations calcaro-dolomitique du Lias moyen – supérieur et en partie dans les calcaires du Dogger ; mais rarement dans les dolomies du Lias inférieur. Ce paragraphe est consacré à l'étude des quelques faciès de l'encaissant échantillonné.

5.1. Calcaire oolithique

Il présente une dominante oolithique, constitué principalement de pellets et accompagné de quelques bioclastes (foraminifères, lamellibranches, gastéropodes). Au microscope on distingue par la présence de cristaux de quartz, de veinules de calcite. Ce faciès est attribué au Lias (Toarcien). et minéraux métalliques disséminés



Photo 4 : Vue macroscopique de calcaire oolithique à veinule de calcite

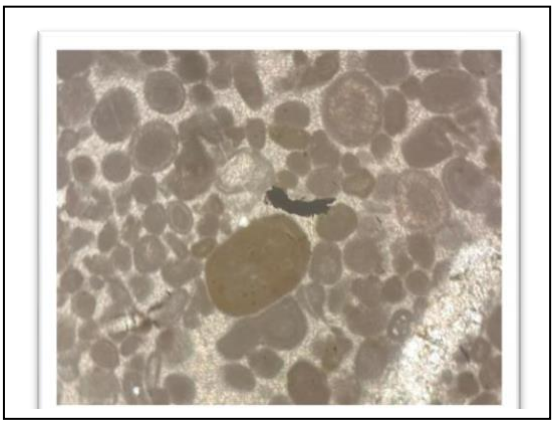


Photo 5: Vue microscopique de calcaire oolithique à veinule de calcite et critaux de quartz authigène ; (Lame mince, LPA, *X 5)*

5.2. Calcaire grainstones à bioclastes

Il s'agit d'un calcaire riche en bioclastes, notamment des gastéropodes, lamellibranches, On y observe également quelques grains de quartz authigène automorphe et les remplissages à calcite et quelques lamelles de barytine et minéraux opaques tardif. Ce faciès est typique du Jurassique (Lias, Dogger et Malm).



Photo 6: Vue macroscopique de calcaire a remplissage de calcite, grains de quartz et la présence de galène et minéraux métalliques

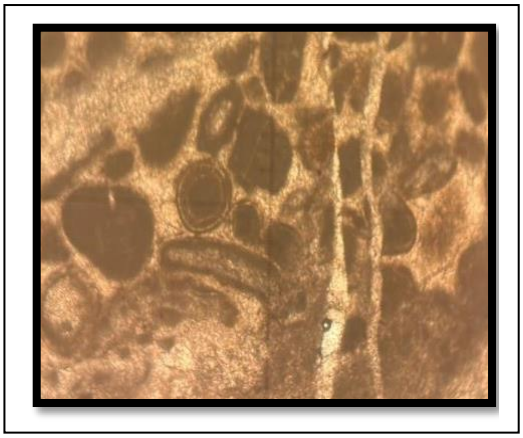


Photo 7 : aspects de calcaire grainstones à bioclastes, LPA, Gx5

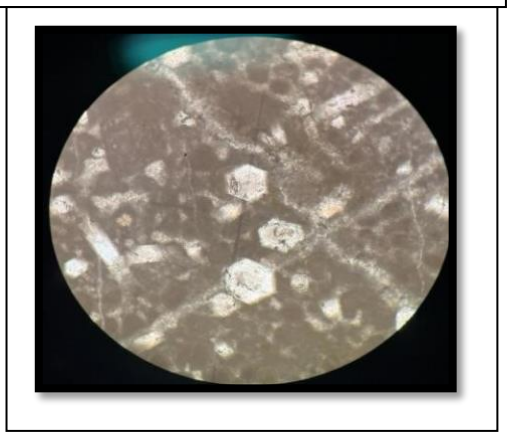


Photo 8 : calcaire oolithique avec présence de quartz authigène, LNA, Gx5

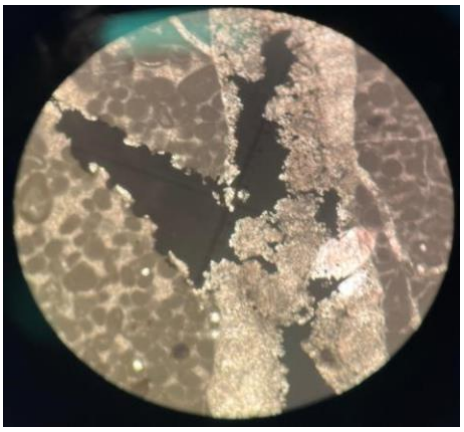


Photo 9 : relation entre la roche encaissant et la minéralisation ; remplissage de veine de calcite et puis un autre remplissage par un minéral opaque ; L.P.n.A., G X5

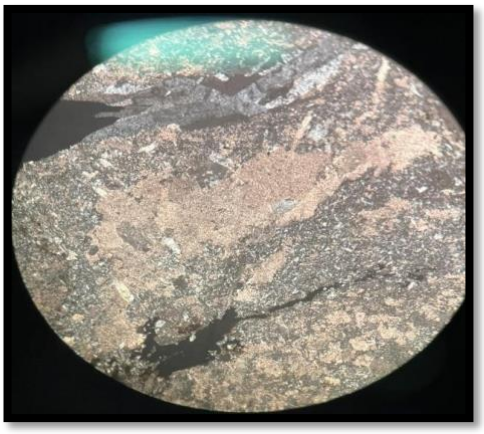


Photo 10: encaissant calcaire à remplissages de fissures et de fractures par la barytine et opaque ainsi qu'un remplissage par la calcite fine probablement hydrothermale , L.P.A., G X5

6. Etude de la minéralisation

Les corps minéralisés à barytine, zinc et plomb du massif de Sraa Abdelkader présentent des formes tabulaires, ramifiées ou complexe. Les minerais sont de trois natures : sulfures primaires, des minéraux de zone d'oxydation (oxydes/hydroxydes, carbonates et sulfates). La composition minéralogique du minerai est représentée par barytine, smithsonite, cérusite, limonite (oxydes et hydroxydes de fer), ainsi que des sulfures en proportions plus faibles. Les sulfures primaires (galène, sphalérite, et pyrite en moindre quantité) sont associés à la calcite et rarement à la fluorine. Des traces de chalcopyrite (collomorphe à finement grenue en bandes), de pyrite et/ou de marcassite) ont également été observées. Les minéraux secondaires dominants sont la smithsonite, la cérussite et les oxydes et hydroxydes de fer. Les types de minerais sont génétiquement liés à des processus de minéralisation primaire d'origine hydrothermale et processus d'altération météorique; les mineraux primaires exposés en surface ou proche de la surface ont subit une altération supergène, engendrant formation de minéralisation secondaire de type sulfates, carbonates et oxydes-hydroxydes (Louha, 2021).

6.1. Description des textures de la minéralisation

Sur le terrain nos observations macroscopiques et microscopiques des échantillons prélevés et notre analyse des sections polies et lame minces, ont révélés l'existence de plusieures textures dont les plus caractéristiques sont les suivantes :

Texture veinulée

Résulte du remplissage de fractures par des fluides minéralisateurs, formant des filons, veines ou veinules. Ces structures sont principalement remplies de barytine (Ba), et parfois de calcite, de galène ou de sphalérite, accompagnées d'oxydes et d'hydroxydes de fer.



Photo 11:calcaire dolomitique veinulé (Formation Kef Sidi Amar) à remplissage veinulé à barytine montre une texture veinule

Texture massive

Il s'agit de la texture la plus répandue, représentée essentiellement par de la barytine blanche ou grise, et parfois accompagnée de marcassite ou de sphalérite.Elle résulte généralement du dépôt de minéraux dans des fractures ouvertes, au cours d'une phase distensive, durant laquelle la barytine cristallise en une masse homogène.

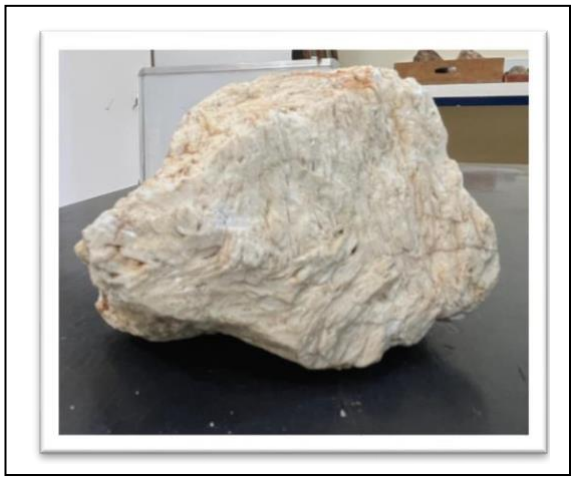


Photo 12 : minerai de barytine à texture massive

Texture rubanée

Par définition, la texture rubanée se caractérise par l'alternance de deux ou plusieurs bandes minérales. Dans notre cas, elle se manifeste par une alternance rythmique de lames millimétriques à centimétriques de barytine blanche et grise, souvent accompagnée de galène. Il peut également s'agir d'alternances d'oxydes de fer et de carbonates de zinc (par exemple ; smithsonite).

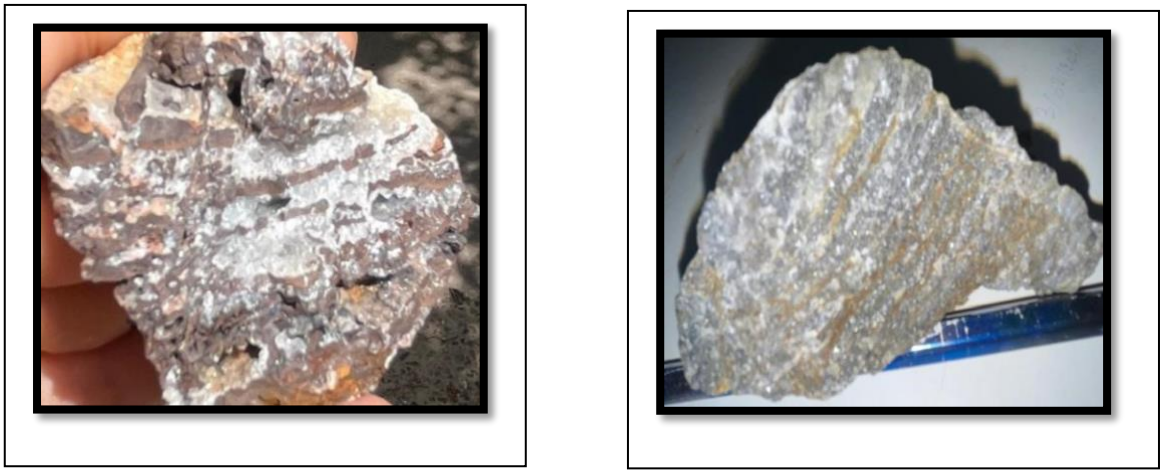


Photo13 : Échantillons de chantier Lakhdar (minerai oxydé à barytine, oxydes de zinc, de fer à texture rubanée)

Texture drusique

Cette texture se caractérise par le remplissage de géodes par de la barytine, calcite dans les zones de contacts avec l'encaissant calcaire.



Photo14: Échantillon de barytine avec un remplissage de géodes par la calcite à texture drusique

Texture bréchique

Elle est caractéristique des zones tectonisées et broyées. Elle se manifeste par des fragments anguleux ou subarrondis de barytine, encaissés dans une matrice composée d'oxydes de fer (notamment la limonite) ou parfois de calcaire.

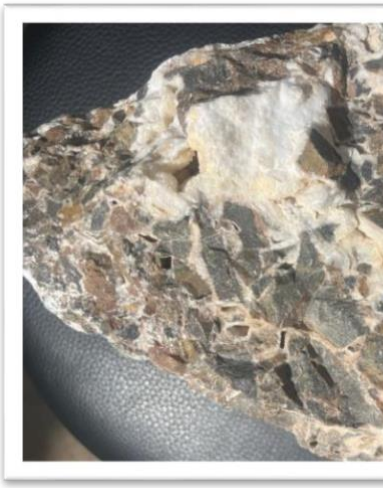


Photo15 : texture béchique

Texture disséminée

Cette texture se caractérise par la dispersion de grains de sphalérite, galène, chalcopyrite et pyrite au sein de la roche encaissante, qu'elle soit calcaire, dolomitique, ou même dans la barytine elle-même.

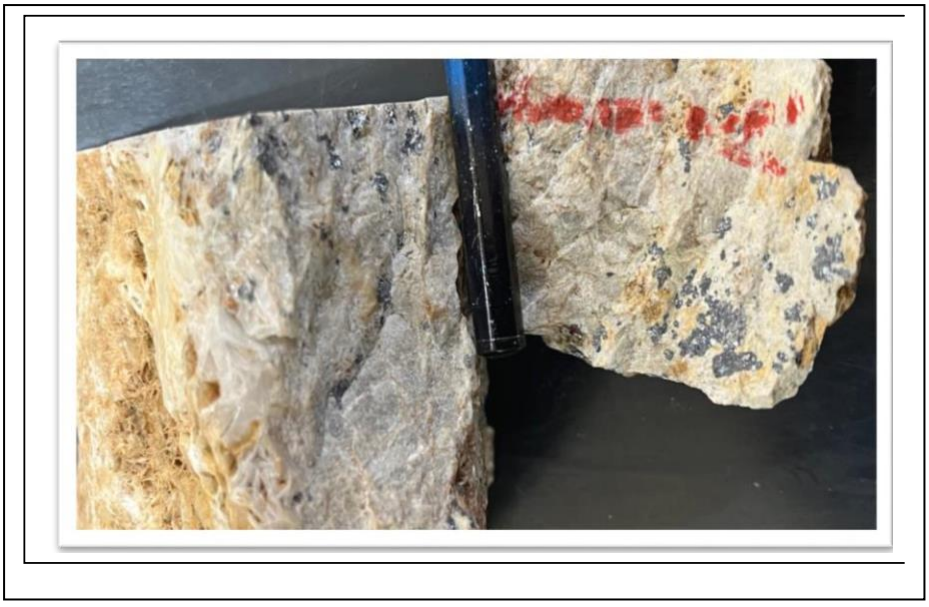


Photo16: Échantillonsde Chantier Lakhdar; barytine avec minéralisation de galène à texture disséminés

Texture Collomorphe

C’est une texture caractérisée par un aspect en couches concentriques ou en bandes arrondies, formée par la précipitation rythmique de minéraux. Elle est visible aussi bien à l’œil nu (macroscopiquement) que sous microscope, notamment dans la barytine, la sphalérite, la



Photo 17: Échantillons en zone d’oxydation à texture collomorphe ; chantier Lakhdar (massif Sraa Abdelkader)

pyrite, les oxydes de fer et la cérusite remplaçant la galène.

7. Etude Minéralogique

L'étude minéralogique est basée sur les sur les échantillons disponible sur laboratoire de minéralogie ainsi que des échantillons prélevés sur le terrain au cours de notre stage de terrain prélevés au contact filon-encaissant ; ainsi que l’étude microscopique des sections polies et des lames minces confectionnées à partir de ces échantillons, nous ont permis de identifier les minéraux existant puis de voir la relation entre le minéraux et leur encaissant puis aussi de déterminer certains textures de minerai dans ces minéralisations

7.1. Les sulfates

Barytine (Ba SO_4)

C’est le minéral le plus abondant et le principal minerai actuellement exploité.
Macroscopiquement, il se présente sous forme de filons, veinules, nids et poches karstiques (d’une dizaine de centimètres d’épaisseur), ainsi que sous des formes en crêtes, massives ou bréchiques au sein d’une matrice limonitique. Sa couleur est généralement blanche laiteuse et translucide, pouvant devenir grisâtre lorsqu’il est associé à des sulfures.

L'observation de terrain et descriptions macroscopique en montrant l'existence de plusieurs types une barytine tabulaire de taille variable et des épontes irrégulières comme produit de

remplissage des fissures. L'étude microscopique la variété montre une barytine en lattes (A) entourée par des sulfures en petits cristaux bréchiques et une barytine (B) en gerbes rayonnantes de taille millimétrique et parfois associé aux sulfures.

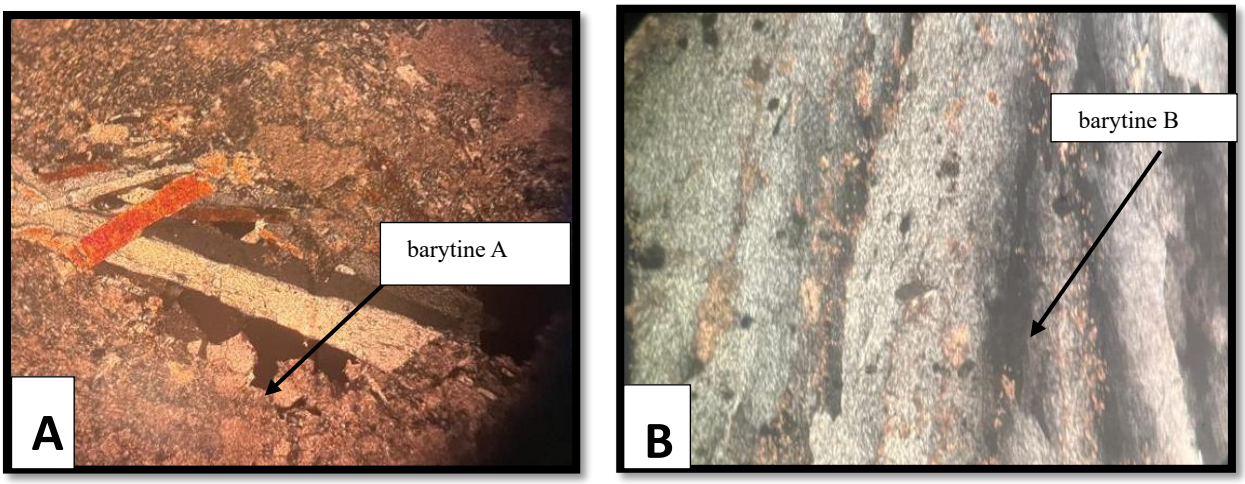


Photo 18 : (A) Barytine latte.LPA Gr x 5 (B) Barytine en gerbes Lame mince . LPA Gr x 5. L. M.,

7.2. Sulfures (Minéraux primaires métalliques)

Les principaux sulfure ont été observés dans le secteur de Belkheirat sur les haldes et à Lakhdar. Il s'agit de sphalérite et galène accompagnées par pyrite et chalcopyrite.

- **Sphalérite (ZnS)**

Principal minerai de zinc. Présente sous forme colloforme ou cristalline. Sa couleur varie (miel,marron) selon sa teneur en éléments traces (fer, cadmium, etc.).

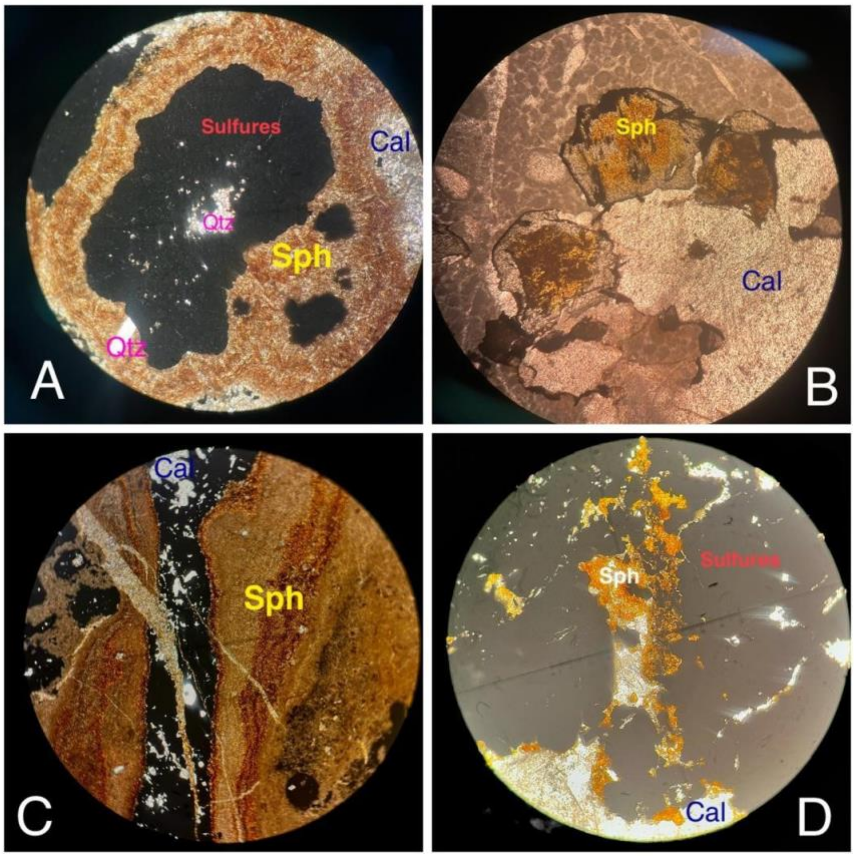


Photo 19 : Montrant la sphalérite (Sph), calcite (Ca), Quartz (Qtz), Minéraux opaques (sulfures). Lame mince, LPA Gr X5

- **Galène (PbS)**

Minéral principal de plomb ; il se présente en grains disséminés ou en remplissage de veinules. La galène (PbS) est un minéral à éclat métallique, cassures en escalier, parfois de forme carrée (cubique). Au microscope métallographique, la couleur est blanche, poli délicat, souvent marqué par des arrachements triangulaires caractéristiques dus à ses clivages nets.

Le pouvoir réflecteur est assez élevé. Fréquemment associée à la sphalérite et à la pyrite. Altérable en cérusite.

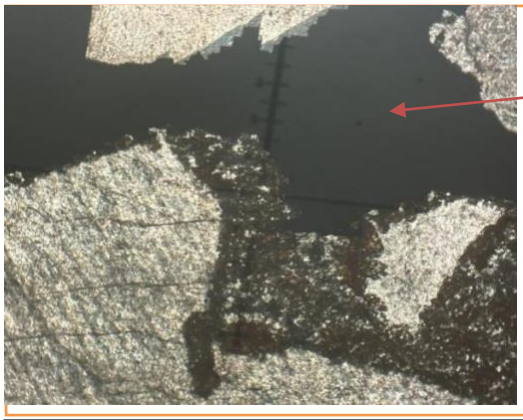


Photo 20 : galène avec la forme de cassure en escalier. De cote c'est la calcite secondaire Lame mince. LPA Gx5.

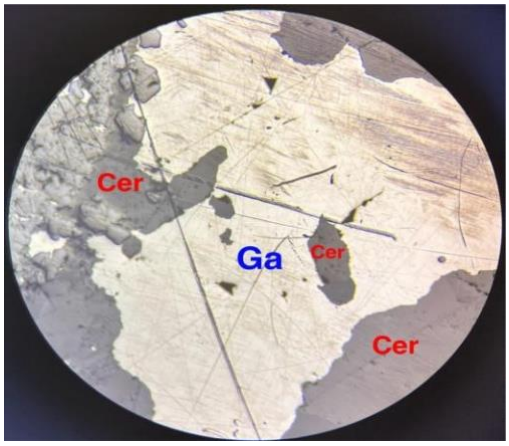


Photo 21: Galène (Ga) avec début d'altération en Cérusite (Ce). Section polie, LPA

La galène (PbS) de couleur blanche, poli délicat et arrachements triangulaires

- **Pyrite (FeS_2)**

La pyrite est peu courante. Elle se présente en cristaux xénomorphes disséminés ou sous forme colloforme. Elle est souvent associée à la galène et à la sphalérite. Remplaçable par la galène ou altérée en oxydes. Au microscope, la couleur est jaune clair, poli difficile en raison de la grande dureté et le pourvoir réflecteur supérieur à la galène et chalcopyrite.

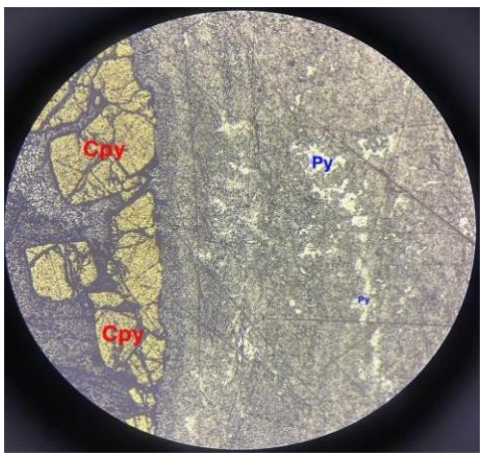


Photo 22 : Pyrite (Py) disséminée en section polie, LPA, G X 5

- **Chalcopyrite ($CuFeS_2$)**

La chalcopyrite est moins abondante, mais très présent à Belkhareit. Elle est associée à la galène et à la sphalérite. Elle est de couleur jaune franc, bon poli et pouvoir réflecteur : assez élevé (comme celui de la galène). Elle s'altère en covelline ou chalcocite. Au microscope, elle se présent en plages ou en grains disséminés.

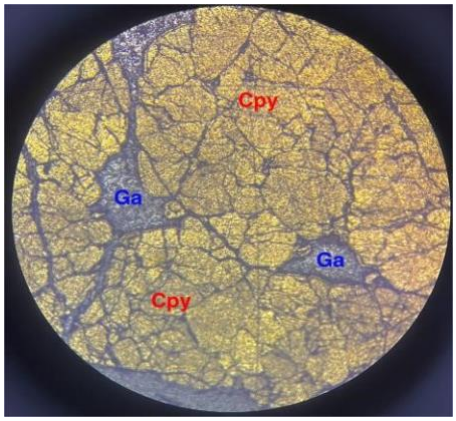


Photo 23 : Chalcopyrite (Cpy) associée à de la galène (Ga). Section polie, LPA, Gr x 5

7.3. Minéraux d'altération (Phase supergène)

- **Covellite (CuS)**

Produit d'oxydation de la chalcopyrite. De couleur bleu métallique. Se trouve souvent en bordure de chalcopyrite.ci.

- **Cérusite ($Pb\ CO_3$)**

Carbonate secondaire issu de la galène. Elle se forme en remplacement progressif, d'abord en périphérie, puis vers le centre.

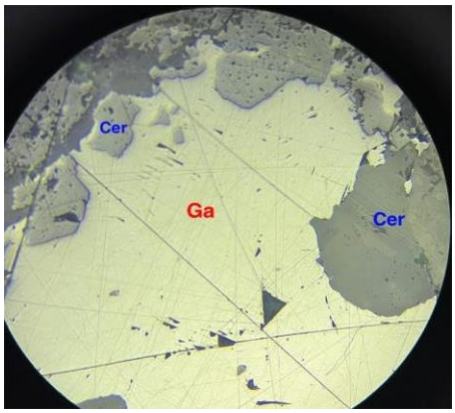


Photo 24: Cérusite (Cé) remplaçant la Galène (Gal). Section polie, LPA Gr x10.

- **Smithsonite ($Zn\ CO_3$)**

Carbonate de zinc secondaire. Apparait en inclusions sphérolitiques, formées par altération de la sphalérite.

- **Hémimorphite [$Zn_4\ Si_2O_7\ (OH)_2 \cdot\ H_2O$]**

Silicate secondaire de zinc. Forme des croûtes ou agrégats fibreux dans les zones oxydées. Peut contenir des restes d'oxydes de fer. Résulte de l'altération de la sphalérite

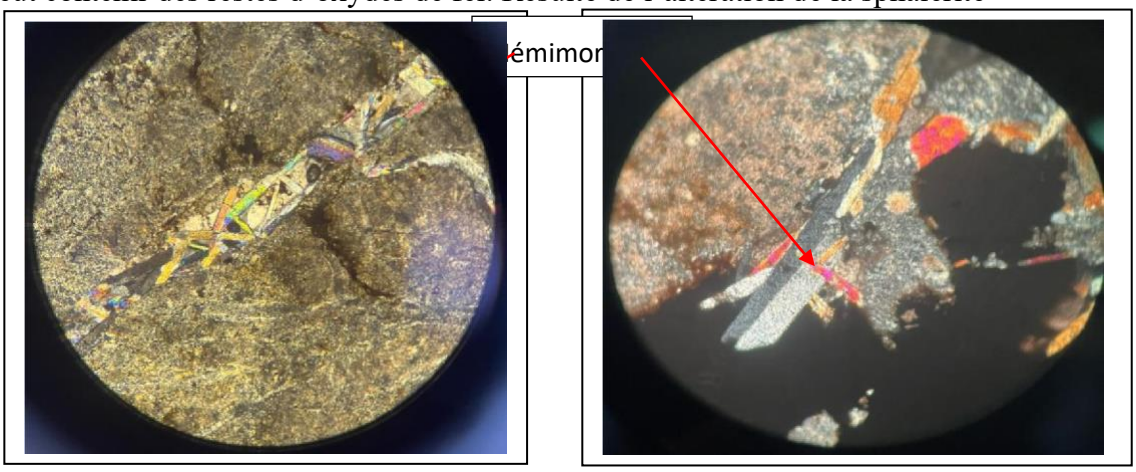


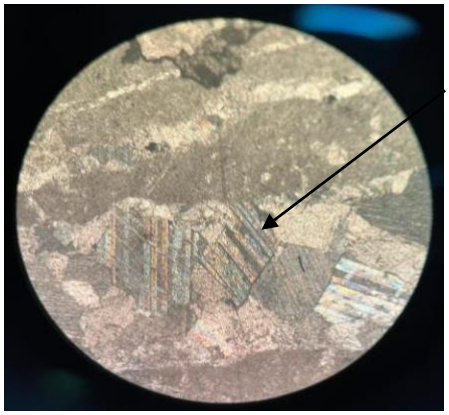
Photo 25 : Cristaux allongés d'hémimorphite à teintes vives ; avec Barytine en remplissage de veinules ; LPNA Gr x5

7.4. **Minéraux de gangue** (non métalliques)

- **Calcite ($CaCO_3$)**

Très fréquente. Elle comble les fractures et veinules, cristaux automorphes et xénomorphes ou fin grains comme ciment dans les roches encaissantes. On la trouve dans les veinules associées aux oxydes-hydroxydes et à la barytine sous forme de cristaux automorphe

○



clivages losangiques (très caractéristique) avec

Photo 26 : Calcite ($CaCO_3$) automorphe à irrisations. LPA, Gr X *5*

Quartz (SiO_2)

Minéral de gangue courant. Se trouve en petits cristaux xenomorphes, automorphes bipyramides, ou en agrégats siliceux (cherts).

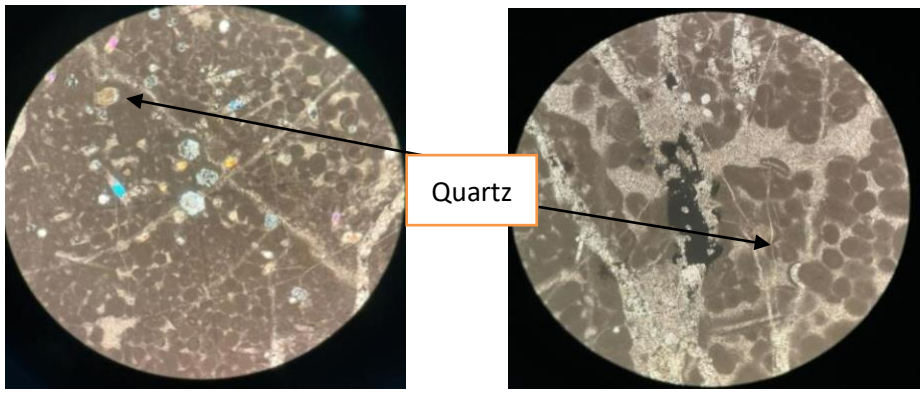


Photo 27: quartz sous différentes formes cristallines ; lame mince LPA, Gr x5

7.5. **Oxydes et hydroxydes de fer** (produits d'altération météorique)

○ **Goethite (FeO (OH))**

Hydroxyde de fer brun à noir, formé lors de l'oxydation des sulfures de fer. Très fréquent dans les zones altérées.

-
- **Limonite ($FeO(OH)\cdot nH_2O$)**

La limonite est un minéral naturel qui est un minerai de fer, apparaissant souvent comme un minéral brun jaunâtre à brun foncé, terne et terreux. C'est un mélange amorphe d'oxyde de fer hydraté (III)-hydroxydes et est un produit commun de l'altération d'autres minéraux contenant du fer. La limonite n'est pas un seul minéral, mais un groupe de minéraux similaires, comprenant souvent la goethite et l'hématite.

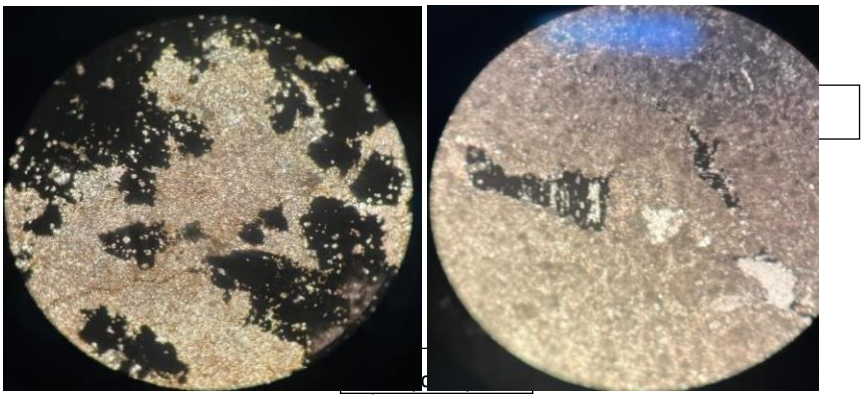


Photo 28 : Oxydes et hydroxydes des opaques altérés et calcite secondaire, échantillon de calcaire dolomitiques du Lias

D’autres minéraux de type sulfures, oxydes/hydroxydes, sulfates et carbonates sont cités dans les travaux anciens ; mais qu’on n’a pas pu observer ou pas pu déterminés. Il s’agit de :

- **Hydrogœthite**

Forme hydratée et moins cristallisée de la goethite. Apparait souvent dans les milieux supergène humides.

- **Malachite [$Cu_2 (OH)_2 CO_3$]**

Carbonate de cuivre d’altération. Se présente en mouchetures ou croûtes vert vif. Indique une forte oxydation des sulfures de cuivre.

- **Hydrozincite [$Zn_5 (OH)_6 (CO_3)_2$]**

Carbonate hydraté de zinc à aspect blanchâtre à bleu pâle, souvent associé à l’hémimorphite.

8. Succession Paragénétique

L’étude macroscopique et microscopique que nous avons réalisée ont permis de distinguer les différentes textures de minerai ainsi que identifier les minéraux. Cette étude est insuffisante pour établir les différentes paragenèses minérales. Aussi, pour tenter de réaliser le tableau de succession paragénétique, nous avons consulté les travaux de nos prédécesseurs (travaux de Louha (2021-2021). Deux phases sont distinguées ici :

Phase épigénétique hydrothermale

Cette phase est caractérisée par au moins deux épisodes de fracturation de l’encaissant et ayant permis la création des voies de circulation des fluides hydrothermaux riches en éléments métalliques et baryum et aussi favorisé la dissolution des roches et développement des vides et karsts comme lieux de dépôts des minéraux sulfurés principaux (Galène et sphalérite) et autres sulfures en trace (Pyrite, chalcopyrite) lors de la première fracturation.

Le deuxième fracturation aurait favorisée l’arrivée de fluides riches en baryum puis le dépôt du plus gros stock de barytine,objet de l’exploitation actuellement.

Phase supergène

Cette phase favorise l'altération des minéraux sulfurés sous l’effet des agents atmosphériques (oxydation et la percolation des eaux météoriques). Elle se traduit par l’apparition de minéraux secondaires tels que les carbonates, sulfates et oxydes et hydroxydes au dépend des sulfures

primaires (cérusite, Covellite, chalcocite, smithsonite, hémimorphite, autres carbonates et sulfates de Pb, Zn, Cu et Fe).

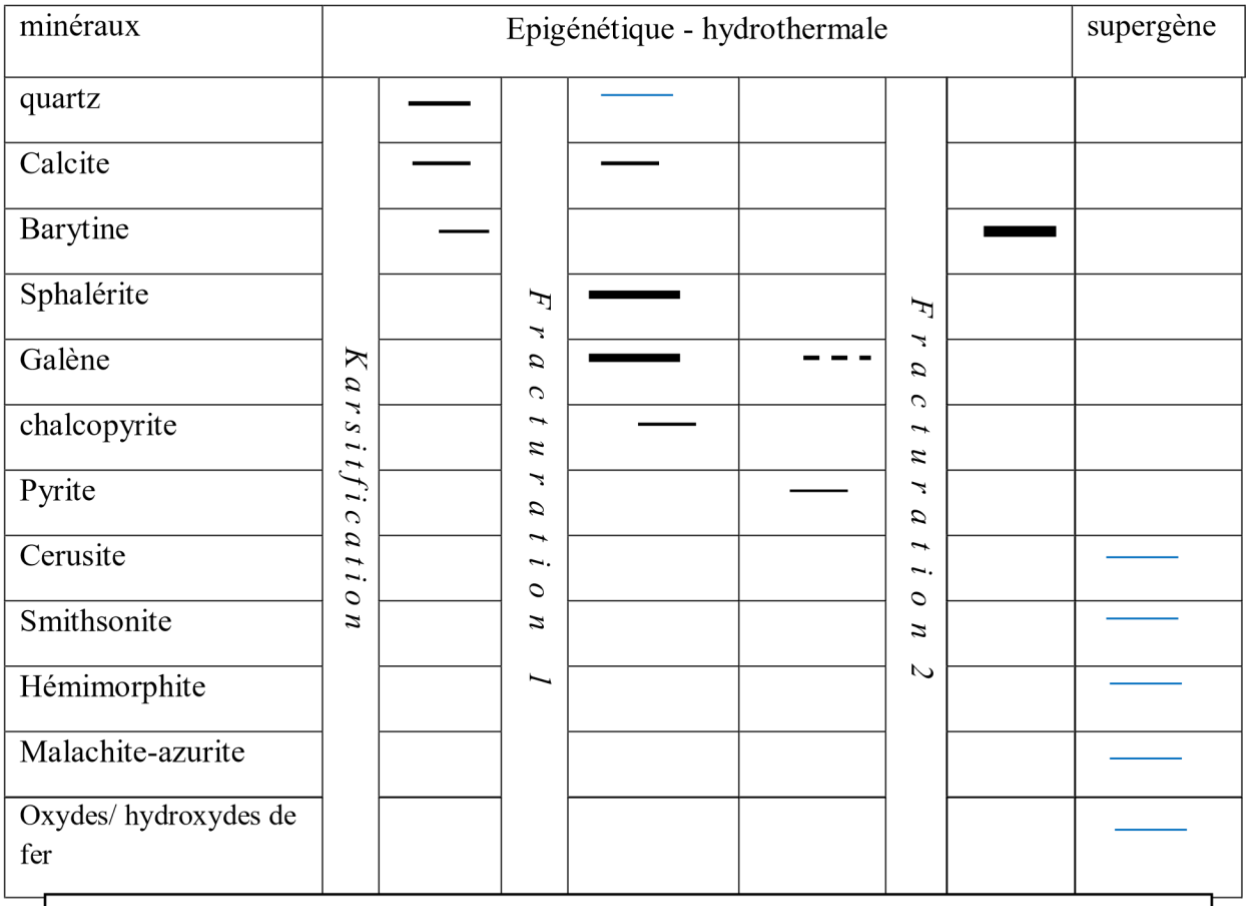


Tableau 1 : tableau synthétique de succession paragénétique de la minéralisation du massif Sraa AbdelKader

9. Aperçus sur les inclusions fluides & isotopes stables du gisement de Boucaid

9.1. Les inclusions fluides

Dans le but de déterminer la nature des fluides minéralisateurs du champ minier de **BouCaïd**, une étude **microthermométrique** des inclusions fluides piégées dans différentes phases minérales a été réalisée sur la **barytine translucide**, la **calcite**, la **dolomite**, ainsi que la **sphalérite** par Louha (2012)

9.1.1. Définition des inclusions fluides

Les inclusions fluides sont de microscopiques cavités enfermées à l'intérieur des cristaux, contenant une ou plusieurs phases (liquide, gaz, et parfois solide). Ces phases à présentent des

témoins de fluides emprisonnés au moment de la croissance du cristal ou après celle-ci, permettant ainsi de reconstituer les conditions physico-chimiques du milieu minéralisateur.

Selon leur origine, elles peuvent être piégées pendant la croissance du cristal, à la suite d'épisodes de fracturation survenus entre deux phases de croissance, ou après la formation complète du cristal, notamment en lien avec des événements tectoniques ou thermiques. Ces inclusions peuvent également subir des modifications après leur piégeage, telles que la recristallisation, qui modifie leur forme, leur taille ou les divise, ou encore des fuites causées par des microfractures, entraînant une perte ou un ajout de liquide.

Les mesures sont été réalisées à l'aide d'une platine chauffante/réfrigérante (**Linkam THMS-600**) montée sur un microscope optique (**Olympus BX 50**).Les températures atteignent 196°C à +500°C, voire plus si la lame est protégée de l'oxydation (atmosphère d'azote).

Des dizaines de lames minces ont été préparée et les mesures ont été faites les principaux minéraux (barytine, calcite, dolomite, sphalérite) ; il s'agit de:

- **Te** : Température eutectique → nature des sels en solution.
- **Th** : Température d'homogénéisation → température minimale de piégeage.
- **Tfg** : Température de fin de fusion → salinité du fluide.
- **Thh** : Fusion de l'hydrohalite → quantification NaCl/$CaCl_2$.

9.1.2. **Résultats et interprétation** A/

Barytine translucide

- **Tfg** : -22°C à -14°C (mode : -20°C)
- **Th** : 130°C à 165°C

Le diagramme Tfg/Th suggère un **mélange de fluides** B/

Calcite

- **Tfg** : -23°C à -18°C (mode : -21°C)
- **Th** : bimodal, 125–145°C et 205–245°C

On suppose une large dispersion → présence de plusieurs populations de fluides C/

Dolomite

- **Tfg** : -23°C à -19°C (mode : -19°C)
- **Th** : 110–125°C (avec pics secondaires à 140°C)

Le diagramme Tfg/Th montre une forte concentration D/

Sphalérite

- **Tfg** : -22°C à -14°C (mode : -18°C)
- **Th** : bimodal 111–141°C et 151–161°C, quelques inclusions >180°C (décrépitation possible)

En conclusion, les inclusions fluides primaires analysées sur les minéraux de Boucaïd présentent des températures **eutectiques** autour de **-50°C**, caractéristiques d'un système **H_2O–NaCl–$CaCl_2$** (Crawford, 1981 ; Roedder, 1984) (fig. 11).

L'interprétation des données (Te, Tfg, Th, Thh) sur un diagramme ternaire (H_2O–NaCl– $CaCl_2$) permet de préciser la composition des fluides.

Les températures d'homogénéisation (100°C à 245°C) indiquent des fluides **hydrothermaux modérément à fortement chauds**, bien **au-dessus des températures de diagenèse sédimentaire**. Ces conditions sont compatibles avec une origine de **bassin sédimentaire actif**, typique des gisements de type **Mississippi Valley Type (MVT)**. (Louha, 2012).

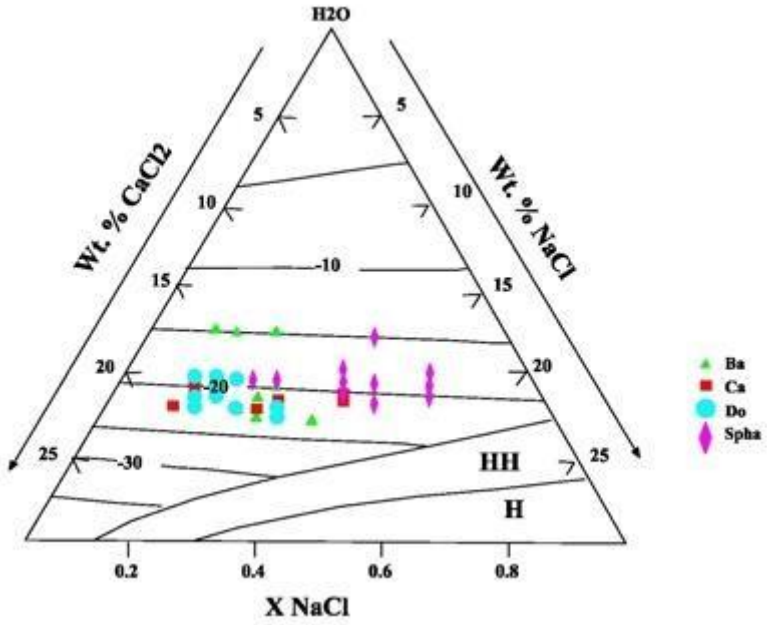


Fig.11 : projection des Thh et Tfg des inclusions fluides de la barytine, calcite, dolomite et sphalérite de Bou Caïd sur un diagramme ternaire (H2O-NaCl-CaCl2) in.Louha,2012.

9.2. Isotopes stables des gîtes de Sraa Abdelkader

L'étude des isotopes stables (C, O) sur les minéraux non sulfurés (ou zone d'altération): smithsonite, et calcite et hydrozincite du gisement de Boucaid, réalisée par Louha et al (2021) a permis de connaître les sources des métaux et les processus de mise en place des minéralisations.

9.2.1. **Méthode d'analyse isotopique (C–O)**

Des échantillons de carbonates (comme la smithsonite, l'hydrozincite et la calcite) ont été prélevés dans les sites de Sraa Abdelkader et Grand Pic. Ces échantillons ont été étudiés pour mesurer leurs rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}C$) et de l'oxygène ($\delta^{18}O$), (Louha et al. (2021).

L'analyse a été faite en laboratoire (Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie, FSTGAT-USTHB), en à l'aide d'un appareil appelé spectromètre de masse, après avoir fait réagir les carbonates avec un acide et les gaz produits sont mesurés. Cette méthode est couramment utilisée en géochimie pour comprendre l'origine et les conditions de formation des minéraux.

9.2.2. **Résultats isotopiques : carbone et oxygène** Selon

Louha et al (2021) ; on retient :

- Les carbonates secondaires (comme la smithsonite et l'hydrozincite) ont des valeurs de $\delta^{13}C$ comprises entre –2,8 et –6,8 ‰. Cela montre qu'ils se sont formés près de la surface, à partir de l'altération des minéraux primaires.

- Les calcites hydrothermales présentent des valeurs positives de $\delta^{13}C$ (entre 0,6 et 0,98 ‰), ce qui indique qu'elles viennent de fluides chauds provenant de plus en profondeur. En revanche, les calcites supergènes ont des valeurs plus négatives (entre –5 et – 9,5 ‰), ce qui suggère une origine plus superficielle.

- Les valeurs de $\delta^{18}O$ sont assez élevées (entre 18 et 25 ‰ selon l'échelle VSMOW), ce qui est typique des carbonates formés dans des conditions à faible température, soit par des fluides peu profondes, soit par des eaux météoriques (comme l'eau de pluie).

9.2.3. Interprétation des signatures isotopiques

L'interprétation des données isotopiques suggère que deux types de carbonates coexistent dans le gisement (ainsi, les minéraux du gisement se sont formés en deux étapes):

1. Il y a d'abord eu des **calcites hydrothermales**, formées à partir de fluides chauds en profondeur. Leurs valeurs de $\delta^{13}C$ positives (jusqu'a +1 ‰) montrent qu'elles viennent des profondeurs, à une température modérées de 20 à 25 °C (Louha, 2021) ;
2. Ensuite, il y a eu formation de **carbonates supergènes** (smithsonite, hydrozincite), à $\delta^{13}C$ négatifs (–3 à –7 ‰) et à $\delta^{18}O$ élevées, formés dans des conditions plus superficielles, sous l'effet de l'oxydation des sulfures et l'infiltration d'eaux météoriques (Louha, 2021).

10. Conclusion

Cette double origine montre que le gisement a connu deux grandes étapes : une première phase de minéralisation en profondeur, suivie d'une transformation en surface par altération. Ceci confirme une évolution dans le temps en deux étapes essentielles pour comprendre la genèse de la minéralisation et pour orienter l'exploration**.**

CHAPITRE 4 GISEMENTS ANALOGUES ET COMPARAISONS

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de comparer ces deux gisements en s'appuyant sur leurs contextes géologiques, types de minéralisation, encaissants, genèse.

Les gisements polymétalliques en Algérie présentent une importance économique et une richesse remarquable, notamment en plomb, zinc et barytine. Parmi ces gisements d'**El Abed**, situé à la frontière algéro-marocaine, et de **BouCaïd**, dans le massif de l'Ouarsenis.

2. Gisement d'El Abed

Le gisement d'El-Abed se situe à la frontière Algéro-marocaine, dans les hauts plateaux (monts de Ghar Rouban). Il se trouve à environ de 70 km au SW de la ville de Tlemcen. Le gisement d'El-Abed se prolonge au Maroc par les gisements de Sidi Boubeker et de Touissit (Maroc).

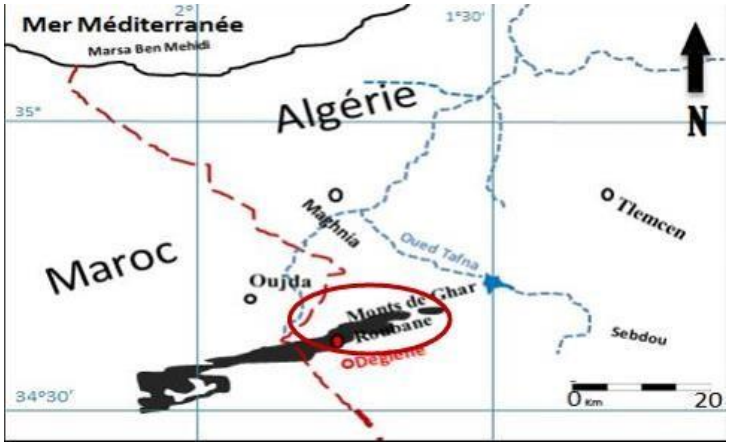


Fig. 12: Situation géographique du horst de Ghar Rouban.

L'encaissant est formé de **dolomies** (dolomie spathique (DII); dolomie moyenne dolomie Saddle ; dolomie Zébrée (DIII et DIV)) à dominante carbonatée, témoignant d'un dépôt en milieu de **plate-forme marine peu profonde** durant le Bajocien.



Photo29 :Microphotographie de dolomie Spathique (DII) à cœur Chagriné Porphyrique, (Grx4).

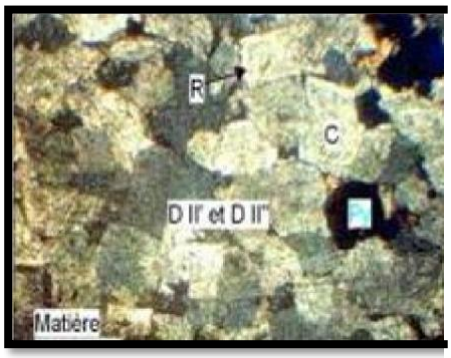


Photo 30 : Microphotographie de la dolomite (DII') à cœur nuageux et à auréole limpide Associée à la pyrite (Grx4)



Photo 31 : Saddle dolomite avec présence de quartz remplissant les vides entre les grains

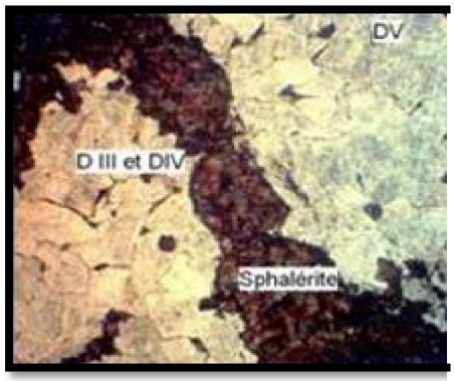


Photo 32 : Microphotographie dolomie zébrée (DIII, DIV), recoupée Par un Stylolithe remplie de Sphalérites.

Fig 13 : les différents types de l'encaissant des dolomies du gisement El Abed

La minéralisation du gisement El Abed

La minéralisation est **stratiforme**, en amas lenticulaires ou tabulaires, localisée dans les dolomies. Elle est composée principalement de **sphalérite, galène, pyrite, marcassite**, avec des minéraux de gangue tels que **calcite, quartz et dolomite**. On y observe également des produits d'altération : **smithsonite, cérusite** et **hématite**. La teneur moyenne est de **6,92 % Zn** et **1,04 % Pb**. L'origine est **hydrothermale** de Mississippi Valley Type (**MVT**) (Touahri 1983 ; Bouabdellah, 1993 et Zagoskine,1972).

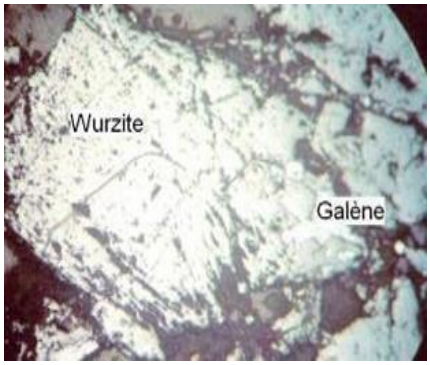


Photo 33: Wurtzite associée à la galène cogénétique (Gr x10).

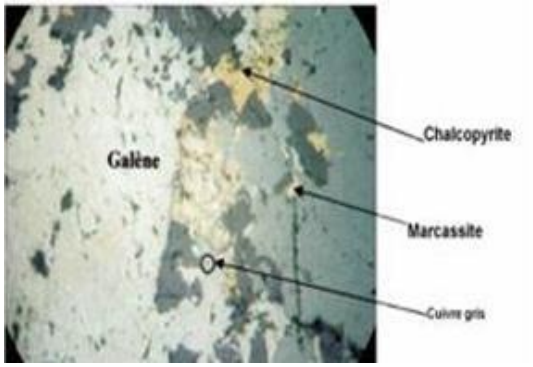


Photo 34: Association minérale de Sphalérite, chalcopyrite, et cuivre gris

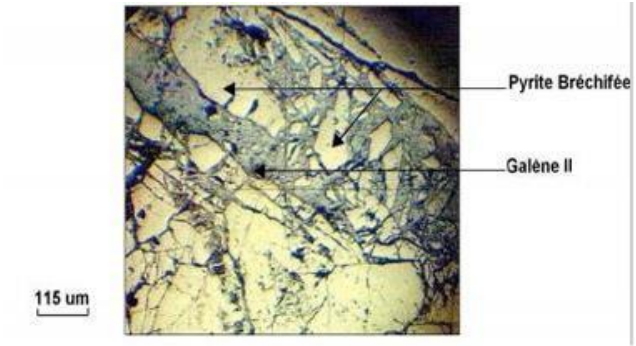


Photo35:
Microphotographie d'une pyrite bréchifiée recoupée par de la galène II Gr x10)

3. Comparaison entre les deux gisements : El Abed vs Boucaïd

Critère	Gisement d'El Abed	Gisement de Bou Caïd

Localisation	Ghar Rouban (Ouest)	Ouarsenis, massif Sraa AEK
Encaissant	Dolomie du bajociennes	Calcaires liasiques et doggériens
Âge géologique	Jurassique moyen	Jurassique inférieur et moyen
Type de dépôt	Plate-forme interne marine	Milieu karstifié à tectonique active
Type de minéralisation	Stratiforme, lenticulaire	Filonienne et karstique
Minéraux métalliques	Sphalérite, galène, pyrite	Galène, sphalérite, pyrite, chalcopyrite
Minéraux secondaires	Smithsonite, cérusite	Smithsonite, cérusite
Gangue	Dolomite, calcite, quartz	Barytine, calcite, quartz
Origine	Hydrothermale MVT	Hydrothermale MVT
Teneurs moyennes	Zn : 6,92 %, Pb : 1,04 %	Zn : 20 %, Pb : 15 % (Hassina L., 2009)

Tableau (2) : Tableau comparative des deux gisements

4. L'étude comparative entre les gisements d'el abed et de boucaïd

L'étude comparative entre les gisements d'**El Abed** et de **BouCaïd** révèle des similitudes majeures sur le plan métallogénique, notamment leur **origine hydrothermale** de type **MVT**, leur localisation dans des **formations carbonatées**, ainsi qu'une **association minérale commune** (Pb-Zn-Ba). Toutefois, des différences notables apparaissent au niveau des **formes de minéralisation**, des **textures**, et des **réserves exploitées**. Le gisement de Bou Caïd, avec ses filons riches en barytine, constitue un modèle plus complexe, intégrant plusieurs phases de minéralisation.

5. Comparaison avec le secteur du Sraa Abdelkader

Le **secteur de Sraa Abd El Kader**, partie intégrante du gisement de Bou Caïd, se distingue par une forte teneur en **barytine** (jusqu'à 86 % $BaSO_4$), avec une minéralisation filonienne bien développée. Par rapport à El Abed, il présente une diversité texturale plus marquée (textures en tablettes, en crêtes de coq). L'origine de la minéralisation reste **hydrothermale**, mais localement influencée par des phénomènes de **karstification** et d'**oxydation secondaire** (Louha, 2021).

Conclusion Générale

L'étude géologique et minéralogique du secteur de Sraa Abdelkader (région de Bou Caïd) dans le massif de l'Ouarsenis, a permis d'étudier une minéralisation baryto-polymétallique avec une complexité structurale typique des terrains allochtones du Tell algérien.

L’échantillonnage a permis de présenter les différents minéraux, sulfurés, oxydés et sulfatés d’altération superficielle et autres minéraux de gangue accompagnateurs. La minéralisation présente est de type polymétallique à barytique à plomb, zinc et barytine. Elle est encaissée dans les formations carbonatées d’âge Lias inférieur à moyen. Les observations de terrain, macroscopiques et microscopiques ont permis de décrire une variété de textures (massive, veinullée, rubanée, collomorphe, bréchique, etc.), illustrant la complexité des processus de minéralisation. La genèse du gisement est contrôlée par une succession d’événements tectoniques et hydrothermaux et karstiques, suivis d’une altération supergène marquée.

L’étude des inclusions fluides et des isotopes stables a permis de mieux cerner les conditions physico-chimiques des fluides minéralisateurs et de confirmer leur origine hydrothermale avec influence météorique en phase finale. La comparaison avec d’autres gisements, notamment celui d’El Abed, révèle une typologie métallogénique commune (type MVT).

Références bibliographiques

Aifa T. et Zaagane M. (2014) - Neotectonic deformation stages in the central Ouarsenis culminating zone, Northwestern Algeria"publié dans la revue Arabian Journal of Geosciences (Arab J Geosci),

Alexeev F et al (1974) - Rapport sur les travaux de Recherche géologique exécutés en 1971 1973 sur le gisement de l'Ouarsenis 176 p. inedit.

Atrops F. & Benest M. (1986) - Stratigraphie du Jurassique supérieur du Djebel Bechtout au nord-ouest de Tiaret (bordure sud-tellienne, Algérie) ; comparaison avec le Bou Rheddou. Geobios 19, 855-862.

Bechtel, A. et al. (1996) - Sulfur isotope study of the Sraa Abdelkader deposit, Algeria. Mineralium Deposita, 31(1), 24-32.

Benhamou M. (1996) - Evolution tectono-eustatique d'un bassin de la Téthys maghrébine : L'Ouarsenis (Algérie) pendant le Jurassique inférieur et moyen. Thèse. Doct. Etat. Univ. Oran

Benhamou. M., (1983) - Stratigraphie et milieux de dépôt du Jurassique inferieur et moyen. Thèse Doct. 3eme cycle, IST, Univ. Oran.

Benhamou et Elmi (1997) - Tectonic partition of the carbonate sedimentation: the example of the Lower and Middle Lias of the Ouarsenis (Algeria) within the initial carbonate platform of the Maghrébine Tethys.

Bouabdellah, M., et al. (2012) - Geology and mineralogy of the Sraa Abdelkader Pb-Zn deposit, Boucaid district, Algeria. Journal of African Earth Sciences, 64, 1-15.

Deleau. P., 1938. Etude géologique des régions de Jemmapes, hammam Meskhoutine et du Col des Oliviers. Bull. Serv. Géol., 2 éme série, n° 14, Alger, Carbonel

Louha H., Balassone G., Boutaleb A. et al. (2021) - The Pb–Zn (Ba) Nonsulfide Mineralizations at BouCaïd (Ouarsenis, Algeria). Minerals, 11, 687. DOI:10. 3390/ min11070687.

Louha, H. et al. (2021) - Stable isotope (C–O) analyses of supergene carbonates, Minerals, 11, 687

Mattauer, M. (1958) - Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Bull. Serv. Géol. Algérie. Monographie Régionale

Obert, P., et al. (1984) - Géologie des chaînes telliennes en Algérie. Notes et Mémoires SNED.

Polvéche, J. (1960) - Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranais. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie

Touahri, B. (1983) ; Hypothèses génétiques des gisements Pb-Zn en Algérie

Vydrine (1972) – synthèse sur les minéralisation métalliques non-ferreuses du nord de l'Algérie, inéddit.

Zagoskine, N. (1972) – Évaluation des réserves du gisement d'El Abed.

LISTE DE FIGURES

- *Fig.1 : Situation et limites géographique du massif de l'Ouarsenis*
- *Fig.2 : Les reliefs, les fleuves, les barrages et les villes de l'Ouarsenis*
- *Fig.3 : La carte géologique de l'Ouarsenis*
- *Fig 4 : Colonne lithostratigraphique du Jurassique du massif de l'Ouarsenis*
- *Fig. 5 : Les unités structurales de l'Ouarsenis Oriental*
- *Fig.6 : Carte géographique du secteur d'étude (extrait carte topographique, El Medad (n°133) au 1/ 50.000.*
- *Fig.7 : Colonne lithostratigraphique du Jurassique du massif de l'Ouarsenis*
- *Fig 8 : Carte géologique du secteur d'étude,*
- *Fig 9 :Coupes géologiques passant par Sraa Abdelkader*
- *Fig.10: principaux gîtes, gisements de la région centre-occidentale*
- *Fig.11 : Projection des Thh et Tfg des inclusions fluides de la barytine, calcite, dolomite et sphalérite de Bou Caïd sur un diagramme ternaire (H2O-NaCl-CaCl2)*
- *Fig.12 : Situation géographique du horst de Ghar Rouban.*
- *Fig.13: Les différents types de l'encaissant des dolomies du gisement El Abed Fig.14 : Les différents types de minéralisation de gisement El Abed*

LISTE DE PHOTOS

- Photo 01 : Panoramique à partir du village Tamellahat
- Photo 02 : Vue de Kef el Nhel vers le sud
- Photo 03 : Zone veinules et nœud à barytine-calcite, N130° -60NE
- Photo 04 : Vue macroscopique de calcaire oolithique à veinule de calcite et présence de minéraux métalliques
- Photo 05 : Vue microscopique de calcaire oolithique à veinule de calcite et petits cristaux de quartz (Lame mince, LPA x5)

- Photo 06 : Vue macroscopique de calcaire avec remplissage de calcite, grains de quartz, galène et autres minéraux
- Photo 07 : Aspects de calcaire grainstones à bioclastes
- Photo 08 : Calcaire oolithique avec présence de quartz authigène
- Photo 09 : Relation entre la roche encaissante et la minéralisation ; remplissage de veine par la calcite, puis fracture remplie par un minéral opaque
- Photo 10 : Roche encaissante calcaire avec remplissages par barytine, minéral opaque et calcite fine d'origine hydrothermale
- Photo 12 : Échantillon de calcaire dolomitique (Formation Kef Sidi Amar), veinules à barytine (texture veinule)
- Photo 13 : Échantillon de barytine à texture massive
- Photo 14 : Échantillons du chantier Lakhdar (minerai oxydé à barytine, oxyde de zinc, de fer à texture rubanée)
- Photo 15 : Échantillon de barytine avec géodes remplies de calcite à texture drusique
- Photo 16 : Texture béchique
- Photo 17 : Échantillons de chantier Lakhdar ; barytine avec galène à texture disséminée
- Photo 18 : Échantillons du massif de Sraa Abdelkader à texture colloforme
- Photo 19 : Barytine en lattes et en gerbes (Lame Gr x5)
- Photo 20 : Sphalérite, calcite, quartz et minéraux opaques (Lame mince, LPA Gr x5)
- Photo 21 : Galène avec cassure en escalier, calcite secondaire (Lame mince, LPA Gx5)
- Photo 22 : Galène (Ga) avec début d'altération en cérusite (Ce) – Section polie, LPA
- Photo 23 : Cristaux d'hémimorphite et pyrite disséminée – LPA
- Photo 24 : Cérusite remplaçant la galène et chalcopyrite associée à galène –
- Photo 25 : Cristaux allongés d'hémimorphite à teintes vives ; avec Barytine en remplissage de vides ;
- Photo 26 : Calcite ($CaCO_3$) au microscope.

- Photo 27 : quartz sous différentes formes cristallines ;
- Photo 28 : oxydes et hydroxydes des opaques altérés et calcite secondaire, échantillon de calcaire dolomitiques du Lias
- Photo29 : Microphotographie de dolomie Spathique (DII) à cœur Chagriné Porphyrique, (Grx4).
- Photo 30 : Microphotographie de la dolomite (DII') à cœur nuageux et à auréole limpide Associée à la pyrite (Grx4)
- Photo 32 : Microphotographie dolomie zébrée (DIII, DIV), recoupée Par un Stylolithe remplie de Sphalérites.
- Photo 34 : Wurtzite associée à la galène cogénétique.
- Photo 35 : Association minérale de Sphalérite, chalcopyrite, et cuivre gris
- Photo 36 : Microphotographie d'une pyrite bréchifiée recoupée par de la galène II

LISTE DE TABLEAUX

- Tableau 1 : Tableau comparative des deux gisements
- Tableau 2 : Succession paragénétique des minéraux de gisement du Sraa AEK