RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Université Mouloud-Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques
Département des Sciences Géologiques

Université Mouloud-Mammeri de Tizi Ouzou

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En: Géologie

Spécialité: Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement

Par: DELLAL Mohamed

Sujet

Etude comparative des nodules de barytine de Koudiat Djebassa et de Souagui, région des Bibans, Algérie

Soutenu publiquement le / / , devant le jury composé de :

M /A. HAMIS : Maître de Conférences à l'UMMTO…..……...…….Président.
M / L. SAMI : Professeur à l'UMMTO…….……..... Examinateur
Mlle / N. GACI : Maître Assistante Classe B à l'UMMTO …….……Promotrice .

Promotion : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Il m'est bien agréable d'adresser mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin et ces quelques phrases ne sont pas suffisantes pour exprimer ma gratitude et reconnaissance.

J'ai l'honneur de présenter mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à ***Mlle N. GACI.*** *Ces précieux conseils et son expérience m'ont été d'un apport déterminant pour ma formation et mon esprit scientifique. Je tiens à lui assurer ma profonde gratitude et ma reconnaissance tant pour sa patience que pour le savoir qu'il a su me transmettre pour la réalisation de mon mémoire. Je fus très honorer de travailler à ses cotés et j'espère prolonger cette précieuse collaboration dans le futur.*

Mes remerciements vont également à Monsieur ***M A. HAMIS*** *qui a bien voulu présider le jury.*

Je tiens également à présenter mes remerciements à ***M. L. SAMI*** *pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger mon travail.*

Mes remerciements vont à tous les enseignants et les ATS du département des sciences géologiques, à leur tête la section géologie minière.

Je n'oublierai jamais l'aide de ***Mme K. GUELLIL*** *du Centre de la Recherche et développement (CRD) du groupe de SONATRACH, qui par un simple email, a répondu présent. M'ayant facilité toutes les analyses nécessaires pour l'étude minéralogique des nodules à barytine.*

Merci aux membres de ma famille qui étaient tous unis pour me remonter le moral quand tout allait de travers.

Merci à tous les collègues et amis du département, toutes filières confondues, qui par leur sourire ou leur mot pour rire redonnent chaque matin du goût au travail.

Merci à tous ceux que je n'ai pas cité et qui, par l'apport d'un petit rien ont contribué énormément à ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chères ***Parents*** *que je ne saurai jamais remercier assez pour tous leurs sacrifices et leurs courages. Que dieu les protège et leurs procure santé et bonheur.*

A mes très chers frères : ***Farid, et Abdenour*** *à qui je souhaite beaucoup de succès.*

A mes chères adorables sœurs ***Karima, Naima, Djedjiga*** *que j'adore énormément et à qui je souhaite prospérité et vivre en gaieté.*

Enfin, à tous ceux que j'ai estimés durant mon cursus universitaire surtout ***mes ami(es)*** *: M. Auréo, L. Ahcene, M. Samir, G. Nadjib, C. Toufik C. Liza, A. Dihia, A. Khelidja, B. Zina de la Faculté ainsi que pour toutes mes copines de la cité universitaire* ***Tamda 2.***

A toute la promotion géologie minière 2018 /2019.

Moumouh

SOMMAIRE

Remerciements
Dédicaces
Liste des figures
Liste des planches
Liste des tableaux
Sommaire

Chapitre I : Généralités

I.1. INTRODUCTION……... 01
I.2. PRESENTATION ET BUT DE TRAVAIL……... 01
I.3. METHODES DE TRAVAIL…….. 02
I. 4. SITUATION GEOGRAPHIQUE ……. 03
I. 5. GENERALITES SUR LES DEUX SITES : KOUDIAT DJEBASSA ET SOUAGUI……... 04
I. 6. HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS……... 09

Chapitre II : Cadre géologique régional des Bibans

II.1. INTRODUCTION……. 11
II.2- STRATIGRAPHIE ……... 12
II.2.1- Le Trias ……... 13
II.2.2- Le Jurassique …….. 14
II.2.3- Le Crétacé…… 14
II.2.3.1- Crétacé inférieur ……. 15
***a. Valanginien-Hauterivien*……...… 15**
***b. Barrémien-Aptien* ……..… 15**
II.2.3.2- Crétacé supérieur ……..... 15
***a. Albien supérieur-Vraconien*……. 15**
***b. Cénomanien* ……..…… 15**
***c. Turonien* ……... 16**
***d. Sénonien* …….. 16**
II.2.4- Le Paléogène ……... 17
***a. Paléocène* ……..…… 17**
***b. Eocène* ……...… 17**
❖ **Yprésien** ……..... 17
❖ **Lutétien** .....…… 17
❖ **Bartonien** ……... 18
***c. Oligocène*…… 18**
II.2.5- Le Néogène …….. 18
a. *Miocène* …… 18
b. *Pliocène* ……. 18
II.2.6- Quaternaire ……. 19
II.3- TECTONIQUE REGIONALE……..... 19
***a. Une tectonique souple*…….. 20**
***b. Une tectonique cassante*…….. 21**
***c. Les structures diapiriques*…… 22**
II.4- EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE …… 22
A. Période prétectogénique …… 22

B. Période tectogénique…….. 23
C. Période orogénique……..... 26

Chapitre III : Géologie des secteurs d'étude

III.1. KOUDIAT DJEBASSA……. 27
III.1.1. INTRODUCTION …..……. 27
III.1.2. APERÇU LITHOLOGIQUE……..…….……..…. 27
III.1.2.1- Le Trias……..... 27
A. Les constituants lithologiques …… 29
B. Les constituants minéralogiques ……... 32
III.1.2.2- Le Crétacé……. 34
a. Sénonien ……... 34
b. Sénonien-Danien ……..... 37
III.1.2.3 - Quaternaire ……..... 39
III.1.3. TECTONIQUE ……..……..... 39
III.1.3.1 - La tectonique cassante ……. 41
III.2. SOUAGUI……... 56
III.2.1. Aperçu lithologique …….. 44
III.2.1.2- Crétacé …….. 44
III.2.1.3- Paléogène …….. 46
III.2.1.4- Néogène ……. 48
III.2.1.5- Quaternaire …….. 48
III.2.2. Tectonique …… 48
III.2.2.1. Etude de la fracturation ……... 48
III.2.2.2. L'interprétation de la carte linéamentaire……. 49
III.3. Comparaison……... 50

Chapitre IV : Etude gîtologique

IV-1. INTRODUCTION ……. 52
IV-2- DECOUVERTE DES NODULES A BARYTINE DANS LES MARNES SENONIENNES DE KOUDIAT DJEBASSA ET DE SOUAGUI ……. 52
IV-3- DESCRIPTION ET MORPHOLOGIE DES NODULES A BARYTINE…… 55
IV-3.1- Les nodules à barytine de Koudiat Djebassa……..…….. 55
IV-3.2- Les nodules à barytine de Souagui……. 60
IV-4- MINERALOGIE DES NODULES A BARYTINE ……... 63
IV-4-1. Analyse par diffractométrie des rayons X (DRX) ……... 63
IV-4-2. Interprétation des résultats …… 64
A. Le site de Koudiat Djebassa ……. 64
B. Le site de Souagui …….. 67
IV-4-2. Analyse chimique des nodules à barytine……. 71
IV-4-2-1. Analyse par fluorescence des rayons X (FX)…… 71
IV-4-2-2. Interprétation des résultats…… 72
A. Le site de Koudiat Djebassa……. 72
B. Le site de Souagui……... 73
IV-5- ORIGINE ET MODE DE FORMATION …….. 74
IV-6. COMPARAISON ET CONCLUSION …… 76

Chapitre V : Conclusion générale

Conclusion générale……..... 79

Bibliographie
Liste des figures
Liste des planches
Liste des tableaux

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités

Fig.1 : Photo satellitaire montrant la distance à vol d'oiseau entre les deux sites et la capitale Alger (Google Earth, 2018**).** …….. **03**
Fig.2 : Localisation du gisement de Djebassa sur image satellitaire (Google Earth 2015). **04**

Chapitre II : Cadre géologique régional des Bibans

Fig. 3 : Localisation du gisement de Djebassa sur image satellitaire (Google Earth 2015)…….... **11**
Fig. 4 : Colonne stratigraphique synthétique sans échelle de la région des Bibans (d'après : J. Savornin (1920), A. Caire (1957), M. Keiken (1974-1976), Wildi (1983), O. Kirèche (1993) J.M.Vila (1981).…… **12**
Fig. 5 : Localisation des manifestations triasiques de quelques régions des Bibans (Moula, 1998). Fond topographique d'après la feuille Akbou nº115 de la carte de l'Algérie au 1/200 000**.** ……..... **13**
Fig. 6 : Principaux éléments structuraux de la zone bibanique (A. Caire, 1957) …….....
20
Fig. 7 : Schéma montrant les relations entre les zones longitudinales (1) et transversales (2) et les structures (3) qui leur sont associées. (P. Guardia, 1975 in : O. Kireche, 1993……... **21**
Fig. 8 : Reconstitutions paléogéographiques (A, C), Coupe structurale synthétique du Tell sétifien (B) et coupe palinspastique (D). (O.Kirèche, 1993). ……... **24**
Fig. 9 : Les aires paléogéographiques de la marge nord-orientale de la plaque africaine (A. Caire, 1970). …… ..……... **25**

Chapitre III : Géologie du secteur d'étude

Fig. 10 : Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte géologique de Mansourah au 1/50 000°). …… **28**
Fig. 11 : Vues panoramiques du Koudiat Djebassa et de la lame triasique détachée interstratifiée dans le Sénonien**.**……..... **28**
Fig. 12 : Calcaires violacés en blocs détachés contenant des nids d'oxydes de fer jaunes et veinés de gypse ……..... **29**
Fig. 13 : Calcaires violacés en blocs détachés contenant des nids d'oxydes de fer jaunes et veinés de gypse……. **30**
Fig. 14 : Reliques lenticulaires de marno-calcaires du sommet du Koudiat Djebassa. ……... **30**
Fig. 15 : Aspect des calcaires dolomitiques en dalles diaclasées**.** …… **31**
Fig. 16 : Des niveaux de dolomies noires intercalés dans le gypse au sommet du Koudiat Djebassa ……... **31**
Fig. 17 : Aspect des calcaires dolomitiques cargneulisés……..... **31**
Fig. 18 : a. Affleurements par niveaux de la carrière de Djebassa.

b. Détail de la séquence d'argilites compactes schistoïdes à fractures anastomosées remplies par du gypse…… **32**

Fig. 19 : Trias gypseux de Koudiat Djebassa en affleurement au niveau 646m (au cours des travaux de l'exploitation)…….. **33**

Fig. 20 : Différentes variétés du gypse de la carrière de Djebassa.a : Massif blanc ou coloré ; b : Saccaroïde ; c : Lamellaire……..... **33**

Fig. 21 : Echantillons du soufre natif associé au gypse et aux carbonates du complexe triasique……..... **34**

Fig. 22 : a et b. Affleurement montrant une brèche monogénique rubanée à ciment gypseux avec la présence de la Barytine en crête (c) et la Célestine en druse (d). …… **35**

Fig. 23 : Coupe lithostratigraphique des séries sénoniennes locales de la région de Mzita et la région des Azrou. (A. Caire, 1957). ……. **36**

Fig. 24 : a. Un niveau calcaire grumeleux et noduleux à Inocérames.
b .Echantillon de calcaire à Inocérames du même niveau calcaire.C :Valves d'Inocérames.…….…….... **37**

Fig. 25 : Aspect des marnes jaunâtres parcourues de filonnets de calcite (d) …..... **38**

Fig. 26 : Grandes unités structurales de la zone sub-bibanique. (A. Caire, 1952) ……..... **40**

Fig. 27 : Coupes transversales dans la zone sub-bibanique dans la région de Mansourah-les Bibans (feuilles Mansourah et Beni Mansour), (A. Caire, 1952)……..... **40**

Fig. 28 : a et b. Structure géologique du Koudiat Djebassa au Nord Ouest de la gare de Mzita, (A. Caire, 1957). c et d. Vues panoramiques du Koudiat Djebassa et de la lame triasique détachée interstratifiée dans le Sénonien.……. **41**

Fig. 29: Rosace directionnelle établie à partir de la carte linéamentaire de la région d'étude..... **42**

Fig. 30: Carte linéamentaire de la région d'étude a 1/20000°……. **42**

Fig. 31: Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte géologique de Souagui au 1/50 000°)……. **43**

Fig. 32: Vues panoramiques du village Sidi Ziane (Souagui) et de la limite Crétacé supérieur-Paléocène)…… **44**

Fig. 31: calcaire marneux à Inocérames……... **45**

Fig.32: Coupes géologiques schématiques de la région d'étude (Sidi Ziane, Souagui). …… **46**

Fig.33 : Colonnes stratigraphiques de la région Ziane (souagui)……..... **46**

Fig.34 : Photo montrant un calcaire noir à silex.……..... **47**

Fig.35 : Photo montrant des boules calcaires jaunes……..... **47**

Fig.36:vue panoramique des marnes grises entrecoupées de gros bancs de grés calcareux.…… ...……..... **48**

Fig.37 : Photo montrant des horst et graben de Sidi Ziane (Souagui).…….. **49**

Fig.38 : Veinules de calcite fracturées……. ……. **49**
Fig.39 : Fracture à extension centimétrique remplie de calcite fine…….. **49**
Fig.40 : Photo montrant une faille inverse avec les stries de la faille……. **49**
Fig.41 : Rosace directionnelle établie à partir de la carte linéamentaire de la région d'étude.…… **50**
Fig.42: Carte linéamentaire de la région d'étude au 1/50 000°…….. **50**

Chapitre IV : Etude gîtologique

Fig.43 : Extrait de la carte topographique de Mansourah N° 72 Ouest au 1/25 000 montrant la localisation de la carrière de Djebassa.……. **53**
Fig.44 : Extrait de la carte topographique de Souagui (111) au 1/50 000 montrant la localisation du secteur d'étude**.**……..... **53**
Fig.45 : Aspect des niveaux marneux gris noir (encaissant) porteurs de nodules de barytine à Souagui (Lakhal, 2018)…… **54**
Fig.46 : Aspect des nodules à barytine encaissés dans les marnes sénoniennes à Souagui (Lakhal, 2018)……. **54**
Fig.47 : Aspect d'un nodule de barytine aplati de Koudiat Djebassa (Gaci, 2015).…… **55**
Fig.48 : Aspect extérieur d'un nodule à sillon marginal, (Gaci, 2015**).** …….. **55**
Fig.49 : Aspect extérieur d'un nodule à sillon marginal, (Lakhal, 2018) ……. **60**
Fig.50 : Surface chagrinée d'un nodule à barytine de Souagui (Lakhal, 2018) ……. **60**

Fig.51 : Un nodule à barytine à structure Septaria de Souagui (Lakhal, 2018).……. **63**
Fig.52: Coupe d'un nodule fibro-radié banal de Souagui (Lakhal, 2018) …… **63**
Fig. 53 : Diffractogramme aux RX de la bordure du nodule à barytine**.**…… **66**
Fig. 54 : Diffractogramme aux RX de la partie intermédiaire et centrale du nodule à barytine.……... **67**

LISTE DES PLANCHES

Chapitre IV : Etude gîtologique

PLANCHE I : ASPECT MACROSCOPIQUE (EXTERIEUR) DES NODULES A BARYTINE DE KOUDIAT DJEBASSA. …… …….. **56**

PLANCHE II : COUPES DE NODULES A BARYTINE DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA DE KOUDIAT DJEBASSA…….. **58**

PLANCHEII : COUPES DES NODULES A BARYTINE DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA – SUITE -……... **59**

PLANCHE III : ASPECT EXTERIEUR DES NODULES A BARYTINE DE SOUAGUI AVEC LEURS COUPES DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA ……..... **61**

PLANCHE III : ASPECT EXTERIEUR DES NODULES A BARYTINE DE SOUAGUI AVEC LEURS COUPES DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA –SUITE-……..... **62**

PLANCHE IV : *MINERALOGIE DES NODULES A BARYTINE DE KOUDIAT DJEBASSA.…….* ***65***

Planche V *: Zonation texturale d'un nodule de barytine.…….....* ***68***

Planche VI : *La partie intermédiaire et le nucléus d'un nodule de barytine. Lame mince. LPA. G. X 10.…….* ***70***

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités

Tableau 1 : représentant le catalogue des gîtes minéraux dans la région de Souagui. Abréviations : p : Petit gisement ; i : Indice ; PF : Perte au feu (%) ; LHT : Ligne de haute tension ; H : Hauteur (m) ; Ep : Epaisseur (m) ; L : Longueur (m) ; l : Largeur (m) ; RN : Route nationale.……. **8**

Chapitre II : cadre géologique régional des Bibans

Tableau 2 : tableau récapitulatif des évènements tectoniques dans la région bibanique (Aoudjehane, 1989). ……..... **19**

Tableau 3 : *Evolution paléogéographique du sillon tellien au cours du Crétacé et pendant la période tectogénique.……* **25**

Chapitre IV : Etude gitologique

Tableau 4 : Compositions chimiques des nucleus et périphéries des nodules à barytine de la région de Koudiat Djebassa.……. **73**

Tableau 5 : *Compositions chimiques des nucleus et périphéries des nodules à barytine de la région de Souagui.…….....* **74**

RESUME

Les deux secteurs d'étude : Koudiat Djebassa et Souagui sont situés dans les mêmes domaines structuraux (Atlas tellien méridional, chaine des Bibans).

Pour espérer trouver ces nodules à Koudiat Djebassa et Souagui, il faut chercher dans les marnes du Sénonien-Danien plus ou moins étroitement associées à des calcaires à Inocérames .

Les nodules radiés de barytine des deux secteurs d'étude présentent une forme ellipsoïdale plus ou moins aplatie. Ils représentent une certaine zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes: la partie périphérique ou la bordure ; la partie intermédiaire et la partie centrale ou le nucléus. Le rapport du diamètre horizontal au diamètre vertical des nodules à barytine de Koudiat Djebassa est entre 2/1 et 3/1 tandis que celui des nodules du secteur de Souagui est entre 1/2 et 1/3.

La présence de sections basales de radioles et des plaques d'Echinodermes dans les nucléus des nodules des deux secteurs d'étude ainsi que des foraminifères dans ceux de Souagui témoigne de l'origine organique de ces nodules.

Le fait que ces fissures radiales s'amincissent vers les contours de ces nodules est considéré comme une preuve que, dans ce cas, la périphérie est plus rigide tandis que l'intérieur est plus tendre au moment du retrait. Les fissures à bords parallèles représentées dans les nodules du secteur de Koudiat Djebassa soulignent la plus grande rigidité.

L'étude pétrographique et l'analyse par diffractométrie aux rayons X (DRX) de la partie périphérique de nodules des deux secteurs, ont mis en évidence la forte prédominance de la barytine, avec la présence de la calcite, en faible proportion. Quant aux quartz et albite, ils se trouvent en trace. Tandis que la partie intermédiaire et centrale de ces mêmes nodules montre la prédominance de la barytine, avec la présence du quartz et pyrite en faible proportion, le gypse et calcite sont en trace.

Du point de vue chimique et suite à la méthode physique d'analyse (FRX), le nucleus et la périphérie des nodules de barytine des deux secteurs d'étude présentent les compositions suivantes :

Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO)** : entre **47 à 65%** dans les nucleus des nodules et entre **59 à 74%** dans les parties périphériques de ces nodules, un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **13 à 18%** dans les nucleus et entre **16 à 20%** dans les parties périphériques, un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **09 à 23%** dans les nucleus et entre **03 à 15%** dans les parties périphériques, une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **5%** dans les nucleus et dans les parties périphériques .

Mots clés : Bibans, Koudiat Djebassa, Souagui, nodules de barytine, marnes sénoniennes, calcaires à Inocérames, zonation texturale, origine organique, nucleus, DRX, FRX .

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction :

Parmi les objets les plus curieux du monde naturel, les nodules, ou concrétions, que l'on trouve dans des couches argileuses qui étaient à l'origine de la boue déposée sur le plancher océanique il y a des millions d'années, et de celles-ci, les nodules septariens sont peut-être les plus attrayants et les plus bizarres.

Comment ces nodules septariens, ou concrétions septariennes, ont été formés reste un mystère. Pendant des millions d'années ils ont été ensevelis dans l'argile et se sont progressivement asséchés. Ils s'amincissaient du centre vers l'extérieur, formant un réseau de fissures internes qui se remplissaient de cristaux de calcite et parfois d'autres minéraux tels que la barytine. Aucune trace de fissures n'est visible à la surface des nodules. Ces fissures sont appelés «septa» du mot latin *septum* ou «partition», qui donne leur nom aux nodules. Les nodules septariens le plus connus dans le monde sont ceux de Moeraki sur la côte d'Otago en Nouvelle-Zélande.

Pour le cas précis de notre étude, nous nous intéresserons notamment aux nodules septariens de barytine qui ont été signalés dans le site de Koudiat Djebassa (Bordj Bou Arréridj) et celui de Souagui (Médéa) dans la région des Bibans. Cette étude consiste à comparer les caractéristiques gîtologiques et métallogéniques ainsi que le mode génétique de formation propre à chaque type de minéralisation.

I.2. Présentation et but du travail :

Ce présent mémoire est une contribution à la réalisation d'une synthèse sur les différentes caractéristiques des nodules septariens de barytine de la région de Koudiat Djebassa et de Souagui. C'est un travail qui revêt un aspect comparatif permettant de mettre en évidence le maximum de points communs et différences sur les plans gitologique et métallogénique ainsi que sur celui du mode génétique de formation.

Ce mémoire se base sur les travaux antérieurs réalisés par plusieurs auteurs (Caire, 1957 ; Gaci, 2015 ; Lakhal, 2018…) ainsi que sur les connaissances et expériences acquises pendant des stages de terrain dans la région des Bibans (Gaci, 2015 ; 2018).

A cet effet, en tant que première approche au sujet, plusieurs questions ont été posées, notamment :

- Quels sont les points communs aux deux types de nodules ?
- En quoi se diffère la forme et la taille des nodules d'un site par rapport à l'autre?

- Quelle est la différence entre les deux paragénèses minérales ?
- Quels sont les paramètres qui ont contribué à la formation des nodules des deux sites ?
- S'agit-il du même mode de formation ?

Ainsi que d'autres questions auxquelles nous avons essayé de répondre dans les paragraphes qui suivent.

I.3. Méthodes de travail :

Notre démarche consiste en :

- Une étude bibliographique qui a porté sur tous les travaux récents et anciens réalisés dans la région et qui consiste à :

- Repérage de la zone d'étude sur la cartes géologique et topographique de la feuille de Mansourah (1 /25 000^{e} et 1/50 000^{e}) et celle de Souagui (1/50000^{e}) et images satellite prises par Google Earth 2019.

- Consultation de thèses, mémoires et publications relatives à la géologie des Bibans et plus particulièrement à notre région d'étude.

- Consultation de documents concernant les nodules de barytine (septarias) et les minéralisations analogues dans le monde.

- Plusieurs lames minces et sections polies ont été confectionnées à partir des échantillons déjà récoltés, pour l'étude pétrographique et métallographique. L'observation des lames minces au microscope polarisant nous a permis de caractériser pétrographiquement les différents nodules.

- Au laboratoire une étude pétrographique et métallographique détaillée a été réalisée avec identification des phases minérales qui constituent les nodules de barytine par la Diffraction aux Rayons X (DRX).
- Enfin une analyse chimique en XRF des barytines et des minéraux accompagnateurs.

- ***Travaux de bureau avec utilisation de plusieurs logiciels :***

Pour le traitement des données de terrain, plusieurs logiciels informatiques ont été utilisés, nous citerons :

- Google Earth 2015.

- MapInfo pro 8.0 avec ses extensions (MNT) pour traiter et parfaire les cartes.
- Adobe Photo Shop 7.0 et Adobe Illustrator CS3 pour traiter les photos prises au microscope ou bien sur le terrain.
- Pack Microsoft Office 2007.

I.4. Situation géographique :

Situées au centre du pays, les deux zones d'étude de Koudiat Djebassa et de Souagui sont distantes respectivement, à vol d'oiseau, à 139 et 75 km d'Alger (environ 90 Km à vol d'oiseau entre les deux zones). (fig.1)

Il s'agit de deux sites localisés comme suit :

Figure 1 : Photo satellitaire montrant la distance à vol d'oiseau entre les deux sites et la capitale Alger (Google Earth, 2018).

A. Koudiat Djebassa :

La région de Koudiat (K^{at}) Djebassa correspond à une lame triasique essentiellement gypseuse. Elle appartient géographiquement au flanc inverse de l'anticlinal de Mzita « zone subbibanique, Bibans ».

Du point de vue administratif, cette région fait partie de la wilaya de Bordj-Bou-Arréridj qui est située à une centaine de kilomètres de l'ESE de la capitale Alger, Elle est considérée comme appartenant au domaine des Hautes Plaines.

La zone d'étude se trouve à cheval sur les feuilles au 1/50 000e de Mansourah (n°114) et de Beni Mansour (n° 90), à quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la RN n°05 reliant les wilayas d'Alger et Constantine.

B. Souagui :

La région de Souagui se trouve à 63 Km au Sud-Est de la wilaya de Médéa et à 45 Km au Sud-Est de Berrouaguia. Elle faut partie de la chaine bibanique qui se trouve dans la partie méridionale de l'Atlas tellien, cette région est nommée « zone sud tellienne ». Elle est limitée au Nord par le tronçon de la langue chaine des Bibans, au Sud par les unités sud telliennes de la wilaya de Djelfa, à l'Est par les terrains de la wilaya de M'sila et Bouira et à l'Ouest par les monts de Cheliff.

Souagui est une région montagneuse, elle forme un chaînon caractérisé par un relief assez élevé dont les cotes absolues peuvent atteindre les 1500m d'altitude.

I.5. Généralités sur les deux sites : Koudiat Djebassa et Souagui :

- **La carrière de Djebassa :**

Le gisement dénommé « Djebassa » est exploité par le groupe « Faïenceries Algériennes ». Il s'agit d'une ancienne mine exploitée en carrière pour l'extraction du gypse qui est largement écrémée laissant apparaître de larges affleurements de minerai.

Ce gisement est situé à l'Ouest de l'agglomération du même nom, à 0.5 Km au Sud-Ouest d'El M'hir chef lieu de la commune, à l'Ouest de la wilaya de Bordj Bou Arréridj. Il est situé à moins de 1Km de la route nationale n° 5 (fig.2).

L'accès à ce site se fait par l'intermédiaire de deux pistes reliant la carrière à l'agglomération de Djebassa d'où l'on peut atteindre la RN 5. Ces deux pistes encadrent la carrière l'une par le Nord et l'autre par le Sud. Cette carrière couvre une superficie de 12 hectares dont seulement 07 ont été soumis à l'exploitation. Cette carrière culmine à la cote 646 m. Les réserves géologiques sont estimées à 599 250 m^3. Elles sont calculées jusqu'au planché 590.

Sur le plan local, l'emplacement de la carrière est sur un ensemble collinaire formant un chapelet de "bosses" dessinant l'affleurement de la bande triasique qui encaisse la minéralisation gypsifère. Cette bande orientée approximativement Nord-Sud, se biseaute vers le Sud. Elle est marquée par une succession de points cotés dont le plus élevé (646 m).

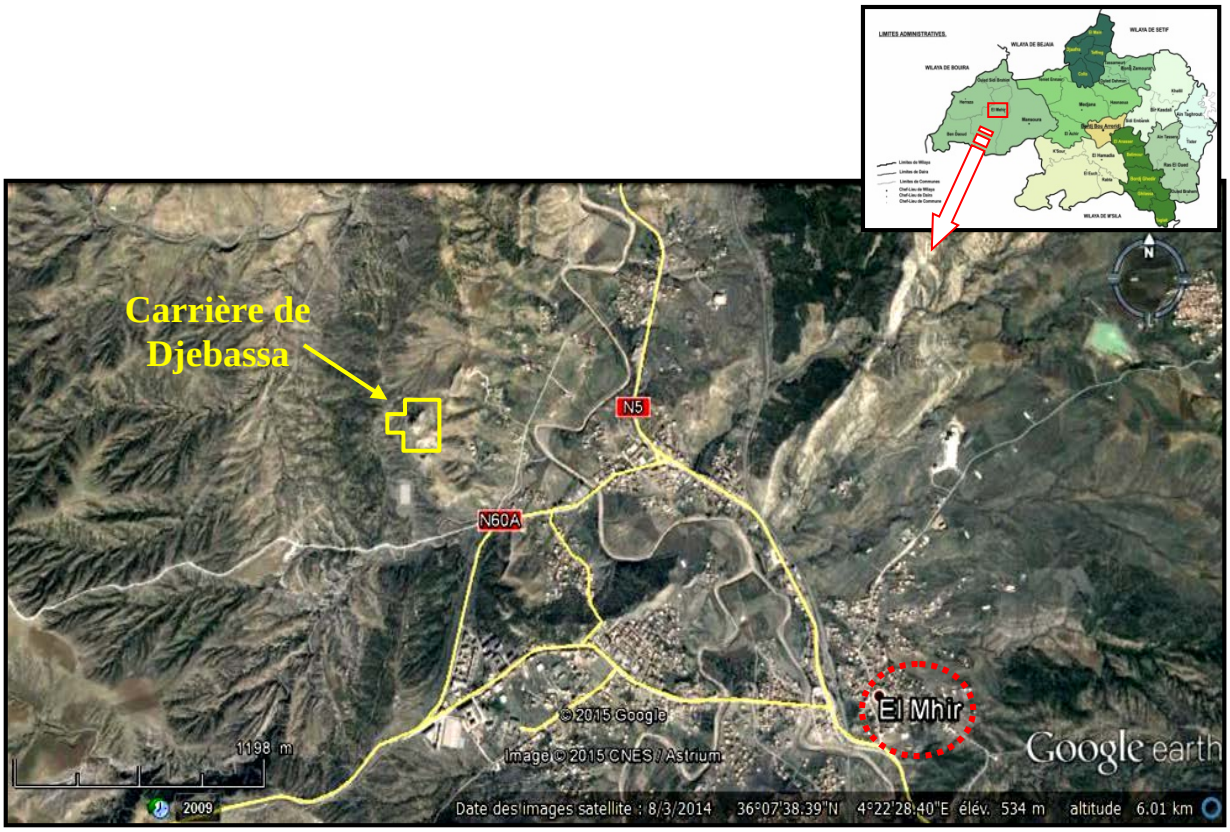


Figure 2 : Localisation du gisement de Djebassa sur image satellitaire (Google Earth 2015).

- **Caractéristiques des substances utiles de la région de Souagui :**

Les différents travaux réalisés ont permis de mettre en évidence plusieurs gites de substances non métalliques (tableau.1).

A. Matière première à intérêt national :

a) Barytine ($BaSO_4$) :

La barytine est utilisée dans diverses branches de l'industrie. Son utilisation est en fonction de ces propriétés techniques : poids spécifique très élevé (important), couleur blanche, inertie chimique, capacité d'absorber les rayons X.

La barytine est essentiellement utilisée dans l'industrie pétrolière, dans les préparations chimiques du baryum, comme charge dans les peintures, du caoutchouc, du linoléum, etc.Le chlorure de baryum est utilisé dans l'industrie du cuir et textile.

Les carbonates de baryum servent dans les glaçages céramiques et les émaux, l'oxyde de baryum en verrerie, l'hydroxyde de baryum en sucrerie etc.

b) Célestine ($SrSO_4$) :

La célestine est utilisée en pyrotechnique, dans l'industrie chimique, en céramique, dans la fabrication du sucre, des alliages spéciaux et du verre à haute résistance.

Dans la région de Souagui , une série d'indices de célestine sont associés aux brèches triasiques.

L'indice de célestine de Bzabis (**n°7**), considéré comme assez perspectif, est représenté par des minerais de célestine pure sous forme de couches de 5 à 12 m d'épaisseur qui s'associent au toit des brèches du Trias. Les indices de Sidi Saidi, de Drâa el Lahma (**n°9**) et d'autres sont rapportés au même type. L'indice de Bzabis est recoupé par une route menant vers une stèle érigée à proximité du site, endommageant ainsi l'affleurement de la célestine. Le trias affleure nettement en cet endroit avec du gypse pulvérulent et quelque filonnets de célestine. A l'Ouest du site de gypse (**n°9**) affleure un corps lenticulaire de 0,5 m d'épaisseur dans une zone triasique de 15 m de long (au point X=542951 et Y=310074).

B. **Matières premières d'intérêt local :**

1- Matériaux de construction :

a. Matière première pour production des liants :

Gypse et anhydrite :

Le gypse est utilisé essentiellement pour la fabrication du plâtre et comme ajout au Clinker. On obtient le plâtre à partir de la cuisson entre 128° et 163°C du gypse broyé qui perd les ¾ de son eau de constitution. Le plâtre ainsi formé, est constitué principalement du semi-hydraté ($CaSO_4.1/2\ H_2O$) et d'une certaine quantité de surcuit. Les exigences vis-à-vis de son utilisation comme matière à plâtre (BRGM.1988) sont :

- *Comme additif pour le ciment* : $CaSO_4$, $2H_2O$ > 75% (ou 60% d'anhydrite) mais peut descendre jusqu'à 65%.
- *Pour amendement en agriculture :* $CaSO_4$, $2H_2O$ > 50% (ou 40% d'anhydrite).
- *Pour les usages spéciaux (moules pour céramiques) :*$CaSO_4$, $2H_2O$ > 90%.

b. Matières premières pour la production de briques et tuiles :

Les formations argileuses perspectives pour la production des briques, tuiles et carreaux céramiques sont celles qui répondent aux exigences suivantes :

- Etre facilement fusibles (température de cuisson< 1390°C),
- Avoir une bonne plasticité,
- Avoir un bon pouvoir liant et se laisser bien façonner sans être fissurées, ni déformées après le séchage et la cuisson,
- Etre exemptes d'inclusions grossières de gypse, de carbonates et autres débris.

1- Pierres de construction :

- Sable et gravier:

Les sables sont utilisés en tant que matière de charge dans les mortiers de construction et d'enduits, dans les travaux routiers, la production de briques et fabrication de bétons. La composition granulométrique des sables présente une importance primordiale pour la détermination de leur aptitude à ces utilisations. Ainsi les sables bien calibrés et grossiers donnent la plus grande solidité et plasticité au béton mais ils demandent un taux élevé en ciment. Pour y remédier à cela, on ajoute du sable fin et moyen. La teneur en particules argileuses dans les sables doit être ≤ 3% avec SO_3≤ 1% (béton) et SO_3≤ 2% (mortier).

Le gravier est utilisé comme ballast des voies ferrées, le revêtement routier et la confection des bétons. La meilleure qualité du béton est obtenue à partir des sables grossiers bien calibrés dont la teneur en argiles et fractions poussiéreuses ne doit pas dépasser 5%. Les sables à granulométrie moyenne et grosse ayant une teneur en argile> 10 R 15% sont destinés à la production de mortiers de maçonnerie et d'enduits.

A. **Matières premières pour l'industrie chimique:**

Sel gemme :

Deux sources de saumures de sel, avec une teneur de 97,94% en NaCl, sont associées à une zone de brèches gypsifères du Trias, avec un débit de 1,5I/mn. Les structures diapiriques des formations triasiques peuvent faire l'objet d'étude pour la mise en évidence du sel gemme en place. Les dépôts de sel apparaissent à l'émergence de la source salée.

N° du gîte	Nom du Gîte	X et Y	Substance (âge)	Réserves ou paramètres estimatifs	Utilisations possibles	Conditions techniques et minières	Compositions chimiques (%) ou propriétés physico-mécaniques	Observations de terrain
6	Nadara	X : 550430 Y : 310740	**Baryte** (au sein des dépôts de l'Albien)	Filons : Ep=1,1 à 1,2 m L = jusqu'à 20 m		Favorables (situé à proximité de la route)	$BaSO_4$=80,60% avec nids et dissémination rare de chalcopyrite	Filon discontinu N-S sur 15 à 20 m avec 1,5 m de largeur.
7	Bzabis	X : 562600 Y : 312250	**Célestine** (Trias)	Pointement gypso-triasique		Favorables (le site est traversé par la route, existence de LHT)		Structure représentée par une zone triasique, ravinée, avec du gypse cristallin plus ou moins altéré. Indice d'intérêt minéralogique.
9	Draa El-Lahma	X : 543000 Y : 310400	**Gypse** (Trias)	Zone triaasique avec des couches gypsifères (200×100m)		Favorables (situé près de la RN62 avec quelques habitations aux alentours, existence d'une LHT)		Corps lenticulaires de gypse cristallin (en feuillets) de direction N-S et E-W.
60	Oued Malah (p)	X : 559600 Y : 315000	**Graviers et galets** (Quaternaire)		Agrégats de revêtement routier	Favorables (situé près de la RN62)		Terrasses alluviales larges de 10 à 15m, avec une hauteur de 2 à 3 m constituées d'une couche de galets et graviers (1,5-2m) surmontée par une

Tableau.1 : représentant le catalogue des gîte

Perte au feu (%) ; **LHT** : Ligne de haute tensio nationale

I.6. Historique des travaux antérieurs dans les Bibans :

On signale, dans cette partie, que les noms des principaux auteurs ayant publié sur la région des Bibans.

Avant 1830, on a pu retenir les noms de voyageurs curieux (Shaw, Peyssonnel, Abbé Poiret) qui ont laissé quelques descriptions, d'ordre principalement géographique.

Après la conquête, les premiers travaux géologiques sont dus à Puyon Boblaye, Saget, Fournel et Guyon. Mais la première œuvre importante est celle de Renou à qui succèdent Ville et Coquand. Dans son étude stratigraphique de la région d'Aumale, A. Péron (1866) ne parle qu'incidemment de la région des Bibans. La même année voit cependant paraître le travail de E. Brossard, qui servira de base aux recherches ultérieures.

En 1873, Cotteau, Péron et Gauthier avec la publication « des Echinides fossiles de l'Algérie », des renseignements d'ordre stratigraphique intéressant la région d'étude (les Bibans) ou des secteurs périphériques sont données. Viennent ensuite quelques œuvres importantes, qui font progresser les connaissances stratigraphiques et paléontologiques sur les contrées nord-hodnéennes : Coquand (1880), Péron (1883), Ficheur (1890a, 1893). En 1900, Ficheur publie quelques renseignements sur les régions de Mansourah et de Bordj Bou Arréridj, dans les Cahiers du Service géographique de l'Armée.

L'œuvre de Savornin domine toute la première moitié du XX^{e} siècle. Corrigeant et complétant les travaux de ses prédécesseurs. Il nous donne, par ses cartes et ses nombreuses publications, la première vue d'ensemble sur la région des Bibans. Dans sa thèse (1920a), il couvre un très vaste territoire d'un réseau d'observations qui servira de trame aux recherches ultérieures.

Après Savornin, la région des Bibans a été parcourue par J. Flandrin (1939, 1948) qui en a étudié les sédiments nummulitiques, par G. Lucas et B. Clavier (1934), puis par les géologues de la S.N. REPAL (1952c).

A. Caire 1952 a fait une étude détaillée des Bibans, où il décrit l'évolution de la zone subbibanique, ainsi que les structures superposées de l'amygdale intratellienne de Mansourah ; jusqu'en 1957, année où il publie « l'étude géologique de la région des Bibans ». En 1959, A. Caire propose l'étude de la genèse de la chaîne des Bibans et plus précisément la région des Portes de Fer.

En 1961, M. Kieken présente une première esquisse tectonique de l'Algérie septentrionale. En 1974, il publia un ouvrage qui porte essentiellement sur les problèmes de géologie structurale, il considère que la vaste boutonnière en demi-anticlinal des Bibans est une fenêtre tectonique encadrée par les nappes telliennes au Sud et l'allochtone nord bibanique au Nord.

J.M. Vila et M. Leikine (1976) intègrent cependant la chaîne des Bibans aux nappes telliennes ; elle se superposerait aux séries autochtones de l'Ouarsenis plus à l'Ouest.

En 1982, A. Coutelle reprend les travaux antérieurs effectués sur la région des Bibans, en comparant les différentes thèses de Caire et Kieken. Il formule toutefois des réserves sur l'hypothèse de l'allochtonie des Bibans de Vila et émet quelques hypothèses concernant l'évolution tectonique anté-nappes de l'unité des Bibans.

En 1986, N. Kazi-Tani, dans un travail de synthèse met en évidence l'évolution géodynamique de la bordure nord-africaine au Méso-Cénozoïque. Il définit la typologie des bassins nord-algériens et considère que le Tell au Crétacé était comme un bassin de marge coulissante compressive.

En 1990, N .Aoudjehane, dans son étude du gisement à célestine de Berrouaghia envisage l'existence d'accidents (longitudinaux) antérieurs à la mise en place du para-autochtone nord-bibanique.

En Mai 1990, dans le cadre de la prospection pétrolière du périmètre de Sour El Ghozlane (superficie de 22 800 km^2 de l'Atlas tellien), B.P « British Petroleum », en association avec la Sonatrach effectue une étude de synthèse sur la chaîne des Bibans. Huit mois plus tard, dans un compte rendu de suivi de l'étude (B.P., 1990), confirme par les données aéromagnétiques et gravimétriques, l'existence d'axes géologiques, sous l'anticlinorium de Bibans, allongés dans le sens E-W.

O. Kireche, en 1993 dans sa thèse sur l'évolution géodynamique de la marge tellienne des maghrébides, d'après l'étude de para-autochtone schistosé, synthétise les grandes hypothèses concernant l'unité des Bibans, il convient de leur para-autochtonie. Il découpe les Bibans en deux unités tectoniques.

Chapitre II : Cadre géologique régional des Bibans

II. 1. Introduction :

Les deux zones d'étude de Koudiat Djebassa et de Souagui font partie de la chaîne des Bibans qui constitue une longue bande crétacée, orientée approximativement ENE-WSW. Elle s'étend sur plus de 150 Km depuis la ville de Berrouaghia à Djemila au Nord Est de Sétif.

Cette grande unité manifeste une continuité et une régularité très remarquables, elle constitue une barrière souvent infranchissable. Elle est percée de cluses, par où passent les voies de communication entre le Sud et le Nord. Les plus célèbres de ces cluses sont les défilés des Portes de Fer, d'où le nom de la chaîne des Bibans. (fig.3).

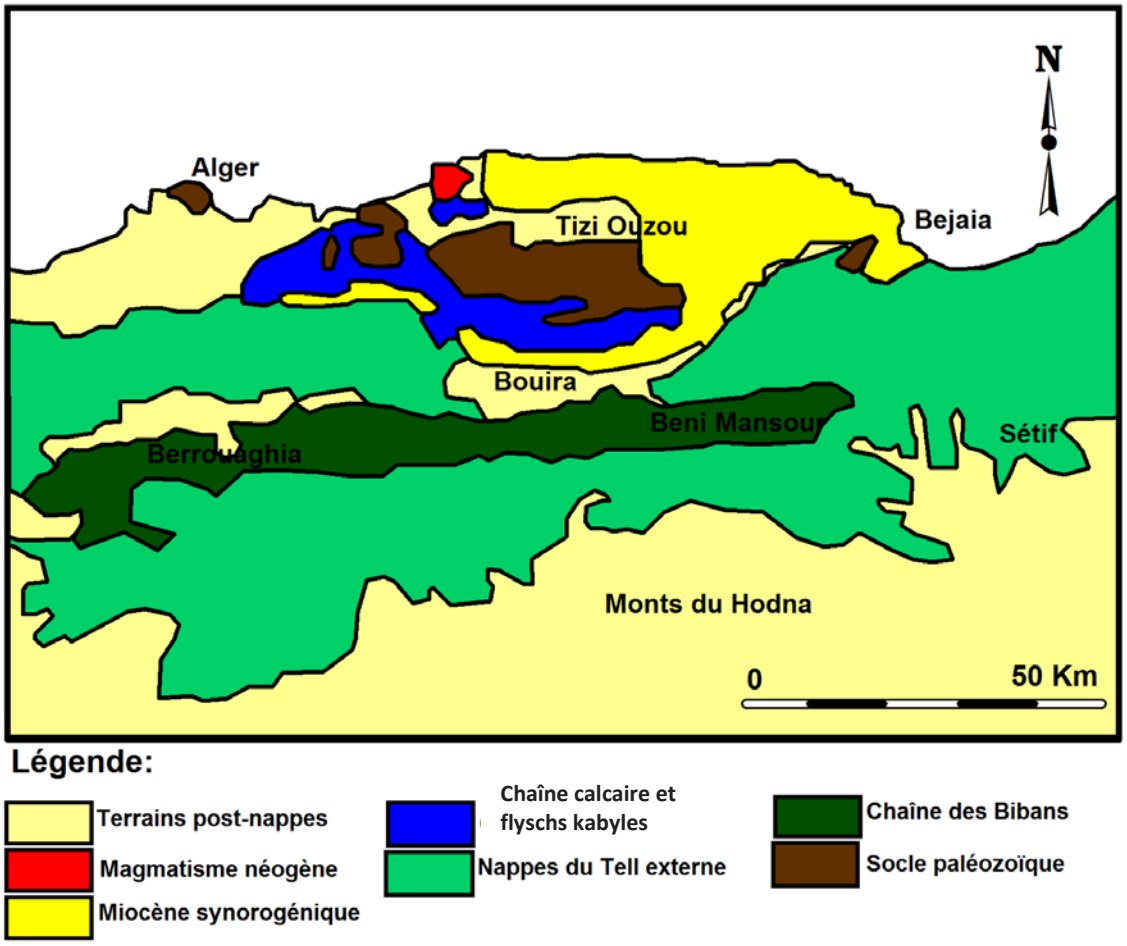


Figure 3 : Carte structurale simplifiée du Tell Central algérois (d'après Wildi, 1983).

Dans ce chapitre, on essayera de donner une simple description litho-stratigraphique des Bibans en se basant sur les travaux de Savornin (1920), Caire (1957), Keiken (1974-1976), Wildi (1983), Kirèche (1993) Vila (1981).

II.2- Stratigraphie : La série lithostratigraphique des Bibans englobe des terrains appartenant au Mésozoïque et au Cénozoïque. Le Paléozoïque n'est pas représenté dans la région. (fig.4)

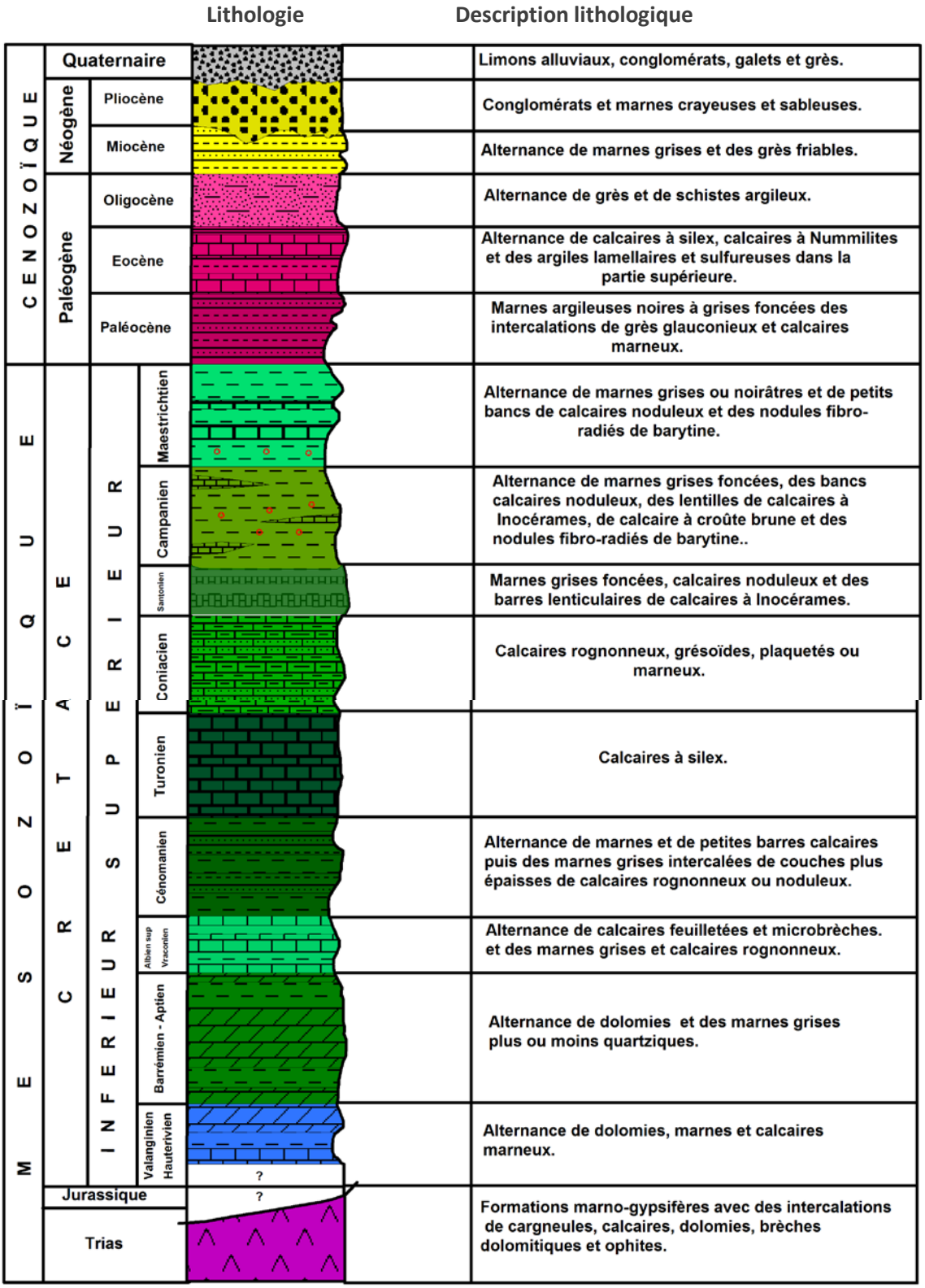


Fig.4 : Colonne stratigraphique synthétique sans échelle de la région des Bibans (d'après : J. Savornin (1920), A. Caire (1957), M. Keiken (1974-1976), Wildi (1983), O. Kirèche (1993) J.M.Vila (1981).

II.2.1- Le Trias :

Sous la plume des géologues algériens, les expressions de désordre, chaos, confusion, diversité, hétérogénéité reviennent le plus souvent pour traduire le caractère essentiel des affleurements triasiques des régions telliennes, auquel l'usage réserve le nom de « complexe triasique ».

Ce complexe triasique se présente constamment en situation anormale, en lames discontinues, lenticulaires ou moniliformes (fig.5), offrant ainsi des relations diverses avec les terrains encaissants. Il comprend :

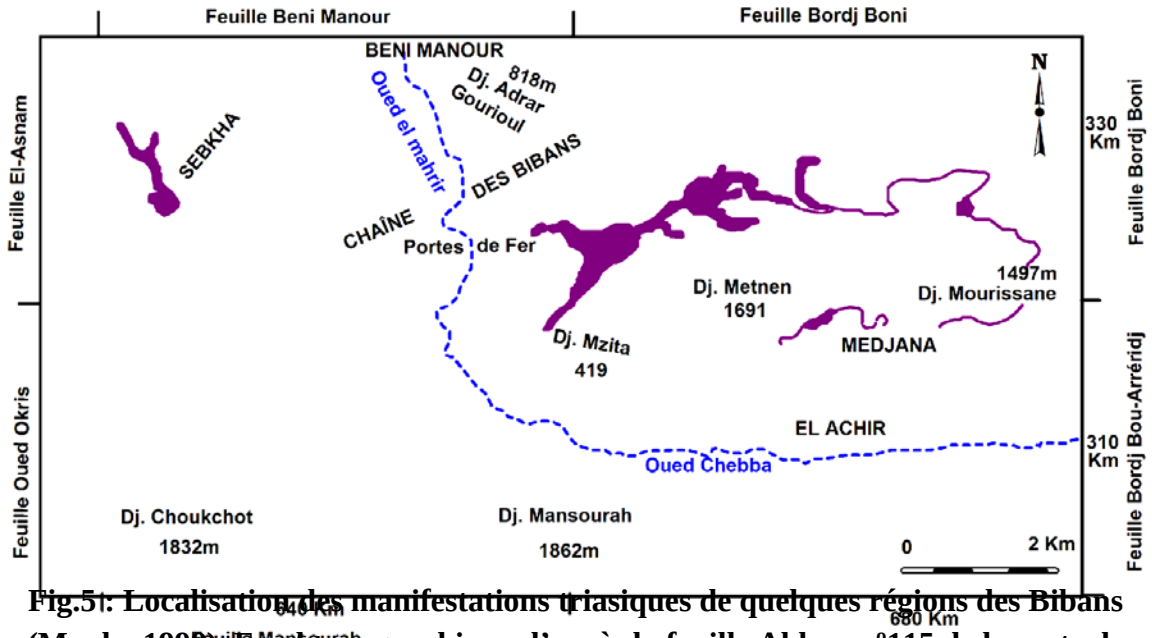


Fig.5: Localisation des manifestations triasiques de quelques régions des Bibans (Moula, 1998). Fond topographique d'après la feuille Akbou n°115 de la carte de l'Algérie au 1/200 000.

- **Des sédiments évaporitiques** représentés par des *roches salines* (anhydrite, gypse, sel gemme) qui semblent appartenir, au moins en majeure partie, au Trias supérieur ; *roches carbonatées* (calcaires plus ou moins magnésiens, dolomies et brèches dolomitiques, cargneules, plaquettes « jaune de miel » appartenant peut-être au Trias moyen) ; *roches colloïdales et détritiques* (marnes et argilites bariolées, grès divers).

- **Des « Ophites »** représentées par des roches éruptives diverses (dolérite dioritique, micromonzonite, andésite doléritique, andésite noritique, ophites et roches à faciès

volcanique très altérées).

- **Des lambeaux calcaires** datés jurassiques
- **Des minéraux divers** (quartz, dipyre, soufre, pyrite, oligiste, oxydes et hydroxydes de fer et barytine).

Toutes les manifestations du Trias doivent faire l'objet d'une étude spécifique, particulièrement les transformations subies par les roches situées au contact ou au voisinage du complexe triasique. Ces transformations sont dues aux phénomènes de métasomatoses qui peuvent être groupées selon Caire 1957 sous le vocable de « Triasification ». Elles affectent principalement les calcaires (dolomitisation, bréchification, limonitisation, développement de patines aux teintes vives), mais aussi les grès et les marnes.

II.2.2- Le Jurassique :

Le Jurassique des Bibans fait l'objet de plusieurs études citons : Savornin 1920, Lucas 1934, Caire 1957, Keiken 1974-1975.

D'après les études de Savornin (1920) et Caire (1957), le Jurassique des Bibans n'est connu qu'en lambeaux dans le complexe triasique, généralement des calcaires parfois transformés par métasomatose, et en galets contenus dans les conglomérats du Sénonien.

Lucas (1934), rattache le Jurassique des Bibans à celui de l'Ouarsenis grâce au faciès Dogger inférieur exceptionnel dans la partie tellienne. Il est formé par des calcaires sub-lithographiques gris-bleu à bande siliceuse et des calcaires spathiques et fines aiguilles de quartz.

Pour Keiken (1974-1975), aucun affleurement de Jurassique n'existe dans la région, mise à part les fragments d'Infra Lias entraîné avec le Trias.

II.2.3- Le Crétacé :

II.2.3.1- Crétacé inférieur :

Dans cette région de l'Algérie, l'étude du Crétacé inférieur se heurte à de nombreuses difficultés, car les faciès sont très monotones et les faunes très rares, ce qui rend difficile l'établissement des limites d'étages et sous étages.

Le Crétacé inférieur est extrêmement développé en affleurements. On peut y reconnaître divers faciès, représenté par une série puissante allant du Valanginien à l'Aptien supérieur.

a. Valanginien-Hauterivien :

Les conditions de dépôts sont presque identiques sur les bordures méridionales et septentrionales du Hodna, ou les calcaires, dolomies et grès dominent largement.

Dans certains endroits de la zone bibanique, on observe des dolomies, des marnes et des calcaires marneux. Plus au Nord, la nappe du Flysch est caractérisée par une série compréhensive à faciès Flysch.

b. Barrémien-Aptien :

Il est constitué essentiellement par des épaisses séries dolomitiques. Ce faciès est dominant dans la partie nord, dans la partie inférieure, les bancs de dolomie alternant avec des marnes grises plus ou moins quartziques.

L'Aptien supérieur montre une succession de calcaires à algues, des dolomies et des marnes gréseuses.

II.2.3.2- Crétacé supérieur :

a. Albien supérieur-Vraconien :

Dans la région des Azrou, l'Albien supérieur - Vraconien forment un tout du point de vue pétrographique avec une épaisseur qui peut atteindre 175 m.

Les couches de base sont formées de calcaires feuilletés et microbrèches. Au dessus viennent des marnes grises et calcaires en bancs rognonneux ou en plaquettes. Les grès sont rares. Les fossiles sont abondants, représentés surtout par des Ammonites et des Lamellibranches.

Dans la zone bibanique, l'Albien supérieur est d'une épaisseur d'environ 300 m, il est formé de marnes grises, feuilletées ou schistoïdes, de bancs feuilletés, de boules et de tiges calcaires à patine grise ou rousse.

Ce sous étage est relativement riche en ammonites.

Le Vraconien, atteint environ 550 m d'épaisseur. La partie inférieure de cette série vraconienne qui constitue la ligne de crêtes la plus nette et la plus continue de la chaîne des Bibans. Il est formé de calcaires en gros bancs massifs, noirâtres, à nodules pyriteux à patine de rousse alternant irrégulièrement avec des couches plus tendres.

b. Cénomanien :

Dans toute la région on observe un passage progressif, du point de vue lithologique, entre le Vraconien et le Cénomanien.

Dans les diverses parties de la région étudiée, le Cénomanien atteint une épaisseur d'environ 500m.

Dans le massif de Djebel Choukchot, le Cénomanien est formé d'une alternance de marnes grises et de calcaires à pâte fine ou grumeleuse à patine jaune. La partie supérieure de cet étage est riche en Lamellibranches.

Dans la zone bibanique, le Cénomanien correspond à une série marneuse, intercalée par de petites barres calcaires, puis des marnes grises intercalées de couches plus épaisses de calcaires rognonneux, noduleux ou conglomératiques.

c. Turonien :

Dans la zone bibanique, le Turonien serait peut être absent, Mais il est possible que cet étage corresponde aux calcaires à silex de la chaîne des Bibans (Kieken,1974).

Dans le massif du Djebel Choukchot, le Turonien est bien individualisé et forme une grosse barre d'environ 40 m d'épaisseur, formée de calcaires à pâte fine, et contient de nombreux fossiles (Rudistes, Polypiers). La série s'intercale parfois de niveaux bréchiques. (A.Caire, 1957).

d. Sénonien :

Dans le massif de Djebel Choukchot, le Sénonien est représenté par des marnes grises, des calcaires en bancs plus ou moins noduleux ou feuilletés, des calcaires marneux et parfois par des boules calcaires jaunes.

Dans la partie méridionale de la zone subbibanique, le Sénonien néritique proprement dit comprend des marnes, des calcaires rognonneux, des lits de septaria et des bancs grésoïdes de teinte généralement grise très claire. De nombreux fossiles, Ammonites, Lamellibranches et Foraminifères permettent de reconnaître le Cénomanien, le Santonien, le Campanien et localement peut être du Maestrichtien.

Vers le Nord, on reconnait une intercalation néritique d'âge Santonien dans le Sénonien à dominante marneuse.

Au Nord de la zone bibanique, le Campanien est néritique et il est détritique à l'Ouest d'Adrar Gueldaman. Succédant au faciès néritique, on observe, dans la partie septentrionale de la zone subbibanique, une nouvelle série sénonienne lié au Cénomanien de la chaîne des Bibans. Ce nouveau faciès qualifié de « bathyal » par J. Savornin 1920, et de « vaseux » par A. Caire 1957, est essentiellement caractérisé par des marnes grises et des calcaires à Inocérames.

Le Coniacien comprend des calcaires rognonneux, grésoïdes, plaquetés ou marneux.

Le Santonien est formé de marnes grises foncées, des bancs calcaires noduleux et des barres lenticulaires de calcaires à Inocérames.

Le Campanien est semblable au Santonien, mais renferme localement des miches et lentilles de calcaire à croûte brune.

Le Maestrichtien est constitué de marnes grises ou noirâtres et de petits bancs de calcaires noduleux. Il contient localement des marnes sombres à reflets brun-roux. Les flancs des massifs couronnées de « Medjanien » (flysch crétacés qui accidentent la dépression subbibanique, trois nouvelles bandes sénoniennes peuvent être reconnues ; les deux premières gardent encore quelques analogies avec le Sénonien bathyal décrit dessus, la dernière est essentiellement représentée par des poudingues (ancien conglomérat de base du « Medjanien » dont le ciment contient une microfaune sénonienne non remaniée.

Il est à signaler que les marnes du Campanien et du Maestrichtien, plus ou moins étroitement associées aux calcaires à Inocérames, contiennent de petits nodules fibro-radiés de barytine (nodules de strontianite), (A. Caire, 1957).

II.2.4- Le Paléogène :

a. *Paléocène* :

Cet étage constitue la série de passage entre « le Crétacé (qui est une série à dominante marneuse) et l'Eocène ».

Dans la plupart des cas, cette série repose sur un contact anormal (le contact de cette série a partout un caractère tectonique).

Il est constitué de marnes argileuses noires à grises foncées, débutant par un banc de grès glauconieux avec nodules phosphatés, marron gris avec des intercalations de bancs de grès glauconieux et calcaires marneux.

b. *Eocène* :

- **Yprésien :** Les faciès de l'Yprésien sont constitués par des calcaires qui remanient des éléments triasiques, avec en plus la présence de glauconie et des phosphates, les calcaires détritiques à galets de Crétacé, plus des calcaires à silex et les calcaires à Nummulites.
- **Lutétien :** Le Lutétien inférieur est très analogue à l'Yprésien, constitué par des grés roux avec des calcaires à Nummulites. Le Lutétien supérieur est représenté par des marnes argileuses brunes coupées par des bancs décimétriques de calcaires lumachelliques à Huîtres.

- **Bartonien :** Il est formé par des argiles lamellaires et sulfureuses, avec des niveaux de grès glauconieux. On distingue rarement les faciès du Bartonien et du Lutétien supérieur.

c. *Oligocène* :

L'oligocène des Bibans correspond à une partie de l'ancien « Medjanien », représenté par les Flyschs crétacés de J. Savornin. Ainsi réduit, il appartient sans doute en totalité à l'Oligocène supérieur ; il est considéré dans son ensemble comme une formation constituée en majeure partie de grès et de schistes argileux ou marneux. Dans le détail, on peut y distinguer :

- Un terme de base, essentiellement argileux avec de faibles intercalations gréseuses et calcaires, qui passent localement à un Flysch haché de filons clastiques.

- Un terme supérieur, qui se présente sous deux faciès :

* Le faciès molassqique dans la région de Medjana.

* Le faciès numidien franc, qui correspond à des grès de textures diverses, associés en bancs massifs.

Dans tous ces niveaux, peuvent apparaître des intercalations de grés grossiers et des conglomérats gréseux à dragées de quartz.

II.2.5- Le Néogène :

a. *Miocène* :

Il est discordant sur le Crétacé. Il est formé à la base par des calcaires et des conglomérats associés à des couches détritiques rubéfiées surmontés par une série de marnes grises alternant avec des grès friables, qui constituent des barres massives. Les marnes grises contiennent de riches microfaunes du Miocène inférieur (Burdigalien).

Plus au Nord, le sillon de l'Oued Soummam contient des formations continentales souvent rubéfiées, elles appartiennent au Miocène post-nappes.

b. *Pliocène* :

Les dépôts pliocènes sont conservés dans de petits endroits isolés sur le versant sud de la chaîne des Bibans et de la vallée de l'Oued Sahel. Ils sont discordants sur la surface corrodée de tous les dépôts plus anciens. Ils sont représentés par des conglomérats et des marnes crayeuses et sableuses

II.2.6- Quaternaire :

Les dépôts du Quaternaire ne sont bien développés que dans la partie sud. Ils sont représentés par les conglomérats, les galets, les grés, et les limons alluviaux formant les terrasses des oueds d'épaisseur allant de 5 à 10 m.

II.3- Tectonique régionale :

La chaîne des Bibans fait partie des grands ensembles structuraux du Nord de l'Algérie. Elle est comprise entre la dépression du Chott el Hodna et la chaîne calcaire du Djurdjura. Elle est limitée au Sud par le domaine hodnéen, au Nord par la chaîne calcaire et la nappe du Flysch et au Nord Est par les Babors.

Ces ensembles ont été, depuis le Secondaire jusqu'au Quaternaire, le théâtre de grands événements tectoniques qui se manifestent différemment d'un ensemble à l'autre, les plus importants se sont produits au Miocène (tableau 2).

Anté-Miocène	**Miocène inférieur I**	**Langhien inférieur**	**Miocène inférieur II**	**Plio-Quaternaire**
Plissement ébauche de la flexure des Bibans	Plissement et érosion. Accidents Est Ouest. Extrusion des masses triasiques	Phase paroxysmale.	Réajustement structural. Exhaussement de la flexure. Rejeu des accidents Est-Ouest. Décrochement tardif.	Accentuation des flexures faillées des flancs sud et déformation des plans de charriage (Caire, 1957)

Tableau 2 : tableau récapitulatif des évènements tectoniques dans la région bibanique (Aoudjehane, 1989).

La zone montagneuse des Bibans s'étend sur plus de 150 km d'Est en Ouest suivant un relais d'axes anticlinaux et synclinaux de direction moyenne latitudinale, découpés par un réseau de failles de direction variée, formant ce qu'on appelle « l'anticlinorium des Bibans ».

La nature des déformations allochtones Nord-bibaniques sont semblables à celles de la zone axiale de la structure, ce qui nous autorise à assimiler les écailles septentrionales à une

partie du flanc nord de l'anticlinorium des Bibans, dont on ignore cependant où se trouve le reste de la structure (Aoudjehane, 1989).

J.M. Vila et M. Leikine (1976) intègrent la chaîne des Bibans aux nappes telliennes. L'allochtonie générale des Bibans ne fait pas l'unanimité dans l'état actuel des connaissances, nous désignerons alors, le substratum des nappes Nord et Sud bibaniques par le terme d'autochtone relatif ou parautochtone (Vila, 1980 ; Wildi, 1983).

Les types de déformations rencontrées dans les Bibans se résument en :

a. Une tectonique souple:

Matérialisée par des plis à grands rayons de courbure (anticlinaux et synclinaux) de direction généralement Est-Ouest à Nord-Est qui constituent l'anticlinorium des Bibans.

Les plis anticlinaux sont généralement déversés vers le Sud et présentent des ondulations locales dissymétriques.

Par exemple: l'anticlinal des Portes de Fer, l'anticlinal de Sidi Mohammed Amokrane et l'anticlinal d'Adrar Gourioul (A. Caire, 1957). Ces anticlinaux sont parfois séparés par de grandes failles : (fig.6)

- L'anticlinal de Sidi Mohammed Amokrane et l'anticlinal d'Adrar Gourioul sont séparés par une faille oblique qui se prolonge à l'Est et se double à Bordj-Boni.

- L'anticlinal de Beni-Ayel est séparé de ses replis méridionaux par la faille ramifiée de Bordj-Boni (A. Caire, 1957). Une telle morphologie de structures explicatives de l'anticlinorium des Bibans est conditionnée de toute évidence par le jeu d'une tectonique tangentielle qui a provoqué le décollement des masses rocheuses du Nord vers le Sud, pendant la mise en place des nappes. Ce phénomène a déterminé notamment la structure asymétrique des plis ayant souvent leurs flancs renversés à cause de leur écoulement vers le Sud.

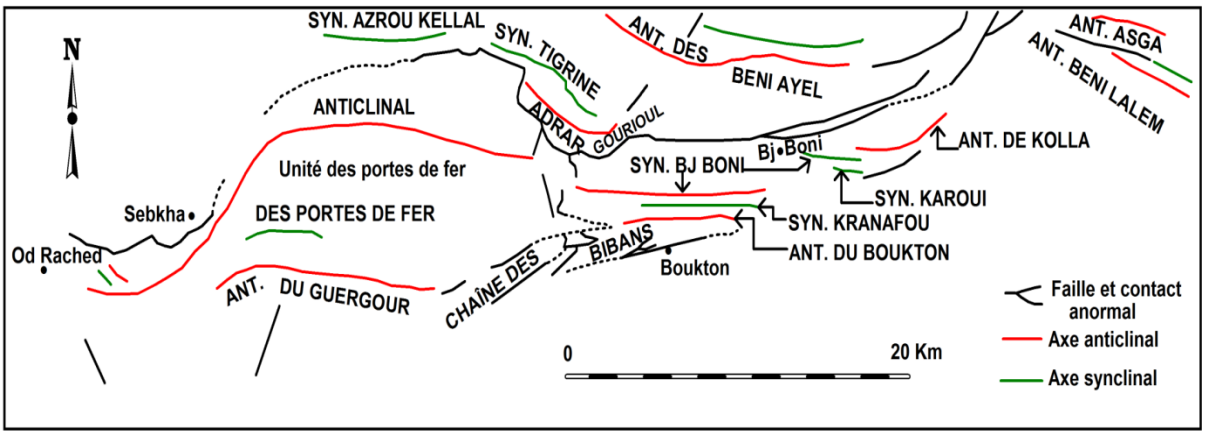


Fig.6 : Principaux éléments structuraux de la zone bibanique (A. Caire, 1957)

b. Une tectonique cassante :

Elle consiste en un réseau d'accidents complexes de direction et d'âge variés, dont les plus importants sont très anciens (accidents profonds). Ils sont de direction E-W, NE-SW. Ces accidents à tendances décrochants s'étendent sur plusieurs milliers de mètres. Ils sont généralement soulignés par les affleurements de diapirs ou par les lames triasiques, et découpent l'ensemble de l'autochtone relatif (parautochtone) des Bibans.

Le jeu de ces accidents aurait commencé au cours du Jurassique et se serait poursuivi au moins jusqu'au Tertiaire (M. Leikine, 1971 ; D. Obert, 1981 à in : Wildi, 1983).

Selon A. Caire (1957), ces accidents ont rejoué durant la période post-Miocène. On peut citer à titre d'exemple quelques failles profondes de directions E-W et NE-SW : les failles de Taourirt Azazgour, de Sbasib, de Tigrine, de Kerroucha et de l'Oued Slah qui ont été mises en évidence par des méthodes géophysiques (E.R.E.M, 1986).

Ces failles se présentent en lames tectoniques à masses triasiques minéralisées en Célestine, Barytine.

Les accidents longitudinaux ont joué un rôle directeur au moment des plissements tertiaires (A. Caire, 1957).

D'après Kireche (1993), les grands accidents qui découpent l'édifice tellien, contrôlent la sédimentation des blocs basculés, ils fonctionnent par la suite en décrochements et en chevauchements lors des phases compressives, de plissements puis de charriages. Ils sont l'héritage africain (NNE-SSW) et atlantique (E-W) (fig.7).

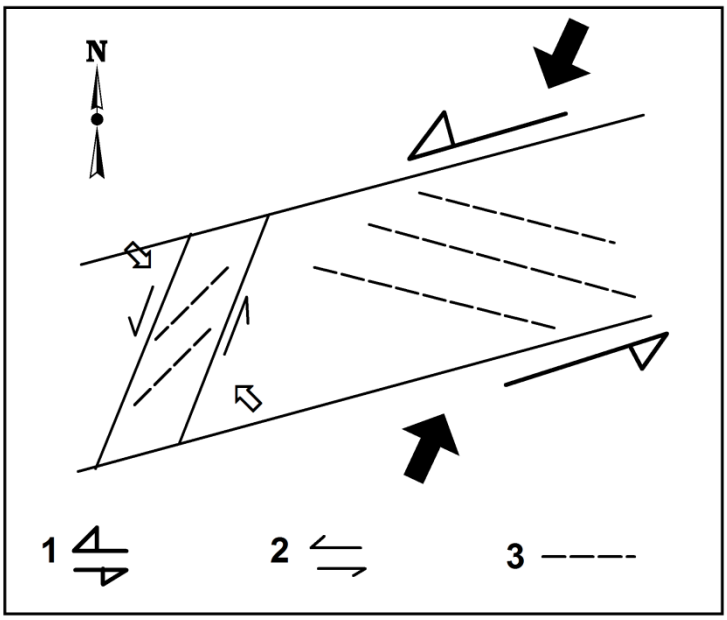


Fig.7 : Schéma montrant les relations entre les zones longitudinales (1) et transversales (2) et les structures (3) qui leur sont associées. (P. Guardia, 1975 in : O. Kireche, 1993)

c. Les structures diapiriques :

Elles arrivent en surface à la faveur de grands accidents profonds qui atteignent le socle et affleurent sous forme de lames triasiques (la structure de Kerroucha à Berrouaghia, et la structure de Tigrane à Beni Mansour) comme elles peuvent aussi se présenter en structure diapirique vraie, comme dans le cas des diapirs de la Sebkha (A. Caire 1957).

II.4- Evolution paléogeographique :

Dans la partie du Tell qui s'étend au Nord du Hodna, on peut distinguer, du Trias au Quaternaire, trois grandes périodes d'évolution :

***Période prétectogénique** : elle comprend tout le Secondaire et s'achève aux abords de la limite Lutétien-Bartonien. P. Fourmanier (1949) considère le tectogène comme une zone de dislocation qui dépasse ou non le niveau moyen des mers. La Tectogène a donc un sens plus vaste qu'orogène, ce dernier terme qualifie une zone de relief continental.

***Période tectogénique** : elle débute à l'Eocène supérieur et se termine au cours du Miocène inférieur, avant le dépôt des formations post-nappes.

***Période orogénique** : elle commence avec le dépôt du Miocène inférieur post-nappes et se poursuit jusqu'à l'époque actuelle.

Il est à noter que la première période est caractérisée par l'ampleur des phénomènes de sédimentation et la seconde par l'intensité des dislocations.

D'autre part, l'évolution n'est pas synchrone dans les diverses parties du Tell. Ces repères chronologiques sont plus ou moins abondants et pas toujours précis suivant les régions.

Il est donc difficile d'établir une coupure précise entre les deux premières périodes.

Pour toutes ces raisons, la distinction de paroxysmes locaux s'impose et il s'avère très difficile de définir une évolution commune aux diverses parties du Tell dans un ordre strictement chronologique.

A. Période prétectogénique :

Certains auteurs en font une période de calme. Par opposition avec les périodes qui viennent postérieurement. L'évolution y est régie par le jeu monoliminaire de la bordure continentale africaine, débutant au Trias, après les grandes disconjonctions permo-triasiques. Les zones paléogéographiques s'étendent alors parallèlement au front sialique du craton africain, dans une direction approximativement E-W. Au cours de cette phase monoliminaire, et parfois qualifiée de géosynclinal, on reconnait des mouvements précurseurs, se traduisant par les déformations de valeurs différentes :

* Déformations lentes à grand rayon de courbure qui correspond au creusement de sillons et soulèvement de seuils. Entre les talus péricontinental saharien et le bourrelet liminaire de la Kabylie, on voit ainsi apparaître un sillon tellien, une zone intermédiaire et le sillon du Flysch.

*Déformations rapides : permettent de définir une zone intermédiaire entre le sillon tellien et le sillon du Flysch.

a. Trias :

A. Caire, 1957 formule deux hypothèses sur la répartition originelle du trias tellien.

*1ere hypothèse: il a pu se déposer dans toutes les régions entre l'Atlas saharien et le domaine kabyle, son épaisseur varie du Sud au Nord.

*2ème hypothèse : cette seconde hypothèse différerait de la précédente en ce qui concerne la zone subbibanique et bibanique, elles auraient contenu des masses triasiques d'épaisseur variable suivant les endroits. On pourrait imaginer que dans cette période. Ces zones ont joué selon des amygdales ascendantes analogues à celles des Zaccars.

A l'échelle du Tell algérien, les variations de faciès et d'épaisseur du Trias peuvent être expliquées par le début d'une évolution qui conduira au Crétacé, à la diversification des zones de faciès longitudinaux approximativement E-W.

b. Jurassique : (fig. 8)

Dans les Bibans, le Jurassique n'est connu qu'à l'état de blocs emballés dans le Trias et de galets dans le Sénonien ; à cet effet, nous ne disposons pas d'informations exactes sur l'évolution paléogéographique de la région, conformément aux données provenant des autres régions, la régression tellienne n'était pas profonde à cette époque (Wildi, 1983). La sédimentation y était perturbée par des failles normales en différents endroits dans le Tell (fig.9), ces dernières seraient dues à l'activité tectonique synsédimentaire (Kirèche, 1993).

c. Crétacé : (Tableau 3)

Dès le Crétacé, les zones paléogéographiques du Tell se dessinent.

A l'Eocène supérieur et jusque dans l'Oligocène, un plissement et une puissante érosion se manifestent dans le domaine présaharien et les domaines septentrionaux (Bibans, Babors).

B. Période tectogénique : (Tableau 3)

Cette seconde période de l'évolution comprend plusieurs phases paroxymales, les dépôts se font pendant les périodes relativement calmes, ou au cours des phases de dislocations.

D'autre part, la zone bibanique se serait soulevée par la traversée des nappes et se suivrait du décollement superficiel des unités de Sidi Mohammed Amokrane et Sebkha (A. Caire, 1957).

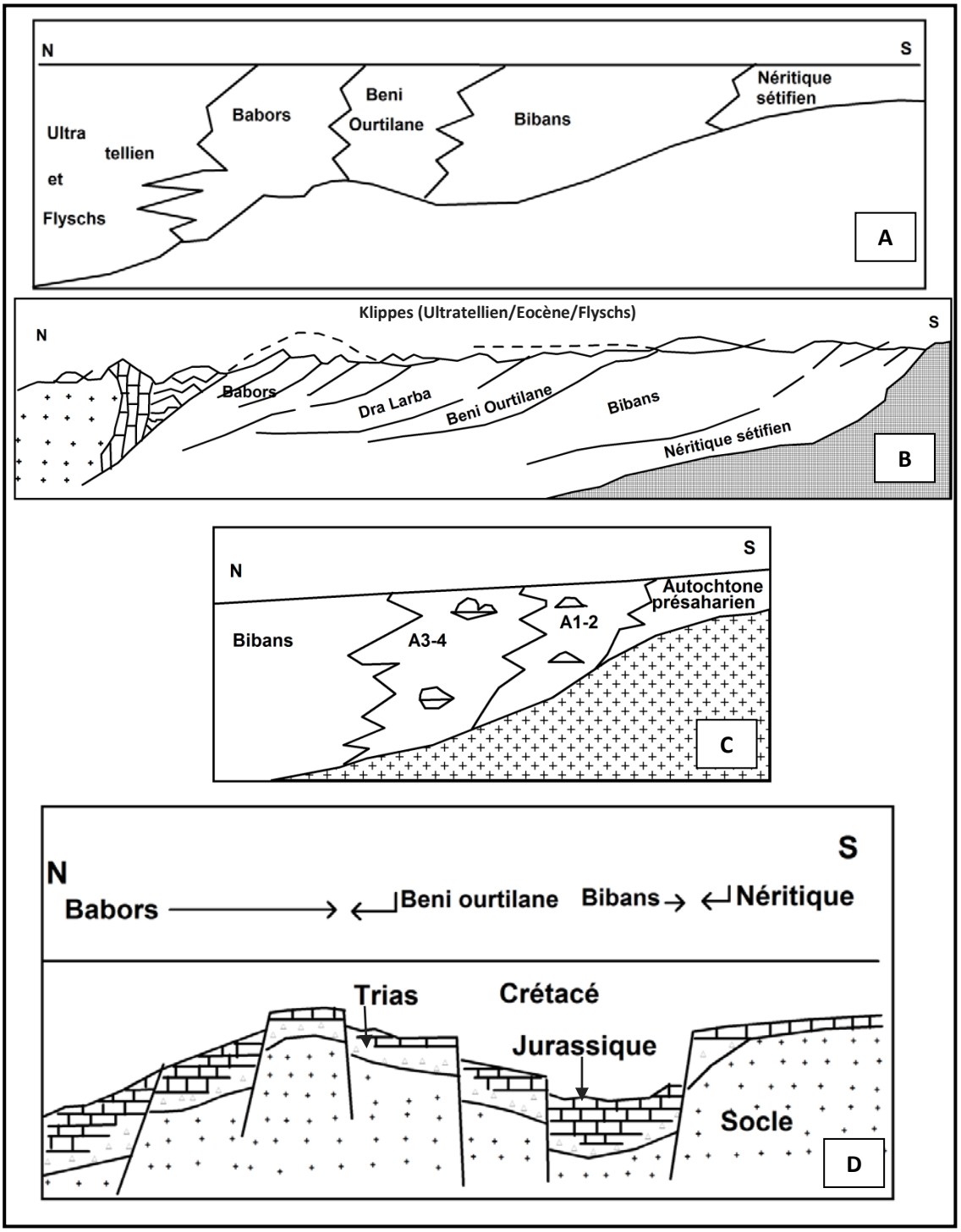


Fig.8 : Reconstitutions paléogéographiques (A, C), Coupe structurale synthétique du Tell sétifien (B) et coupe palinspastique (D). (O.Kirèche, 1993).

A : Coupe montrant les domaines paléogéographiques du Tell nord-sétifien ;

B : Coupe montrant la superposition des unités principales ;

C : Paléogéographie d'après A. Caire montrant le passage continu des faciès néritiques aux pélagiques des Bibans durant le Crétacé ;

D : Coupe palinspastique mettant en relief les panneaux correspondant aux différents blocs bassins. Dans ce schéma, la nappe de Djemila est l'équivalent latéral des Bibans et le subbibanique correspond au néritique sétifien.

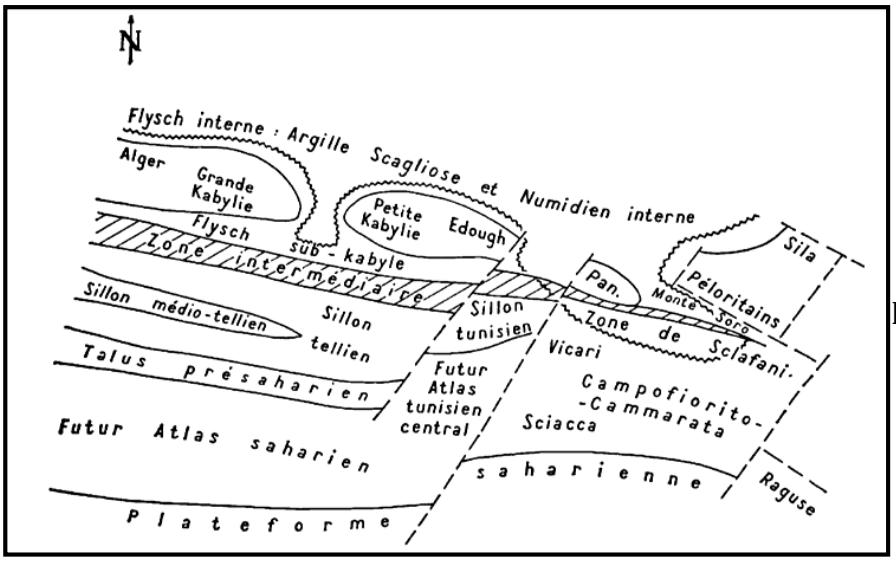


Fig.9 : Les aires paléogéographiques de la marge nord-orientale de la plaque africaine (A. Caire, 1970).

	Sillon tellien
Miocène I	Formations marines dans le domaine présaharien et le sillon tellien
Oligocène terminal	Fin de la période d'érosion qui succède à la première phase tectonique. La mer subsiste dans une partie du sillon médio-tellien.
Oligocène supérieur	En cette période, on ne pouvait pas distinguer le domaine présaharien du sillon tellien
Oligocène inférieur-Eocène supérieur	-Plissement important -L'évolution du sillon tellien est mal connue dans les régions Nord hodnéennes, Il est considérablement réduit
Lutétien	Lutétien supérieur : faciès néritique aves lumachelles à O. Multicostata puis bathyal.
Thanétien-Yprésien	Le domaine présaharien et le sillon tellien constituent un bassin légèrement subsident, divisé en sillons où se déposent des calcaires plus ou moins riches en silex. La transgression est maximale à l'Yprésien.
Sénonien	-Zone bibanique : marnes grises intercalées de de bancs et lentilles calcaires souvent riches en Inocérames et rares niveaux conglomératiques. -Babors : lentilles plus ou moins épaisses de conglomérats.
Turonien	-Bibans : calcaires à silex à la base, au sommet marnes et calcaires.
Eocrétacé	-Zone intermédiaire : faciès marneux à Céphalopodes. -Sillon tellien : dépôts sableux

Tableau 3 : Evolution paléogéographique du sillon tellien au cours du Crétacé et pendant la période tectogénique

Miocène I : La mer se retire de la partie méridionale du domaine du Flysch, ce dernier émerge et progresse vers le Sud en transportant sa couverture oligocène et miocène ou on peut proposer le schéma suivant :

Le refoulement des nappes du Tell septentrional accompagné d'écaillages et de chevauchements, s'est effectué à l'Oligocène terminal.

Au Miocène inférieur, se sont établies des nappes et fut la progression en banquise des nappes rigides sous l'action de la gravité pour atteindre le Tell méridional.

D'autre part, la zone subbibanique se serait soulevée par la traversée des nappes et se suivrait du décollement superficiel des unités de Sidi-Mohammed Amokrane (A. Caire, 1957).

C. Période orogénique :

A la fin de la mise en place des nappes, le Tell méridional a changé de place, la limite sud du Tell ne se situé donc plus entre le domaine présaharien et le sillon tellien, mais sur le front méridional des nappes. La dernière partie de l'histoire géologique va être dominée par le jeu d'amples déformations, faisant naître les bombements et les sillons, parfois limités par des flexures (horst et graben).

Ces mouvements vont tendre à créer progressivement le relief actuel. La mer du Miocène II (Miocène post–nappe) envahira de vastes bassins (Mitidja, sillon de Chelif, région de Dellys, de Béjaia, …).

Chapitre III : Géologie des secteurs d'étude

III.1. KOUDIAT DJEBASSA :

III.1.1. Introduction :

Le secteur d'étude (Koudiat Djebassa ou Djebel Mta el Djibassa) appartient au flanc inverse de l'anticlinal de Mzita. Il est situé sur la feuille à 1/50.000 Mansourah (N° 114). Elle fait partie intégrante des Hautes Plaines.

Du point de vue lithologique, la feuille de Mansouarah est divisée en deux parties, au Sud, ce sont les dépôts miocènes qui s'y répandent, tandis que les formations sénoniennes et éocènes s'étendent dans la partie nord de la feuille.

Du point de vue tectonique, elle est caractérisée par des dépôts miocènes plissés au Sud, dans la partie médiane les bandes plissées du Sénonien, Éocène et Miocène présentent pour la plupart des replis des flancs renversés.

Le Trias est exclusivement localisé dans la partie nord de la feuille, il n'est strictement lié qu'avec le Sénonien. L'allure filonienne y est particulièrement nette au Djebel Mta el Djibassa. Il apparait que l'apparition du Trias est antérieure au dépôt des poudingues medjaniens, qui en contiennent des débris remaniés (J. Savornin, 1909).

III.1.2. Aperçu lithologique :

Localement, la région de Koudiat Djebassa se caractérise essentiellement par des terrains d'âges Méso-cénozoïques, avec des terrains du Trias, du Crétacé, du Paléogène et du Quaternaire. (fig. 10)

Le Koudiat Djebassa est caractérisé par la présence d'une lame triasique qui recouvre les formations de marnes et calcaires à Inocérames du Sénonien. Cette lame triasique est interstratifiée dans le Sénonien en profondeur. (fig.11).

III.1.2.1- Le Trias :

Les formations triasiques représentent les terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans la région. Vu l'absence de faune dans le Trias, il est difficile d'effectuer une subdivision, cependant selon A. Caire 1957, les roches évaporitiques sont datées Trias supérieur alors que les calcaires et les dolomies sont du Trias moyen.

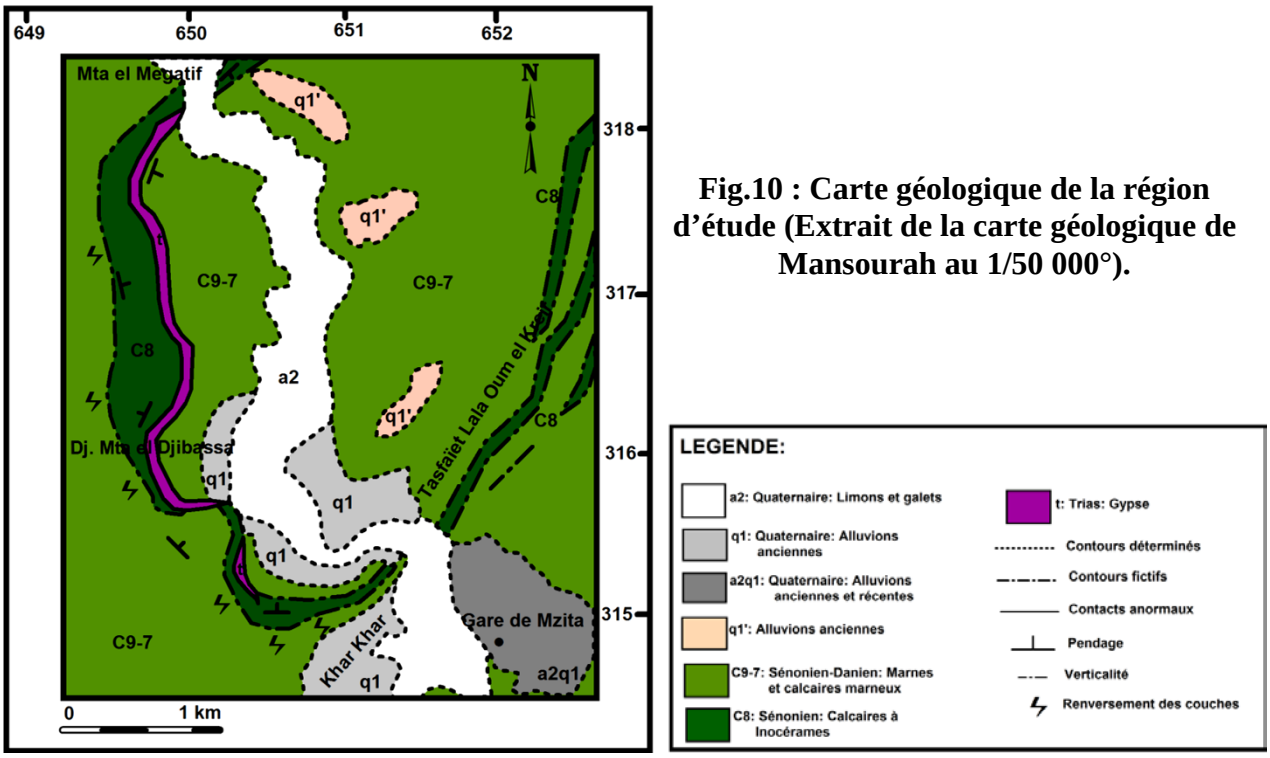


Fig.10 : Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte géologique de Mansourah au 1/50 000°).

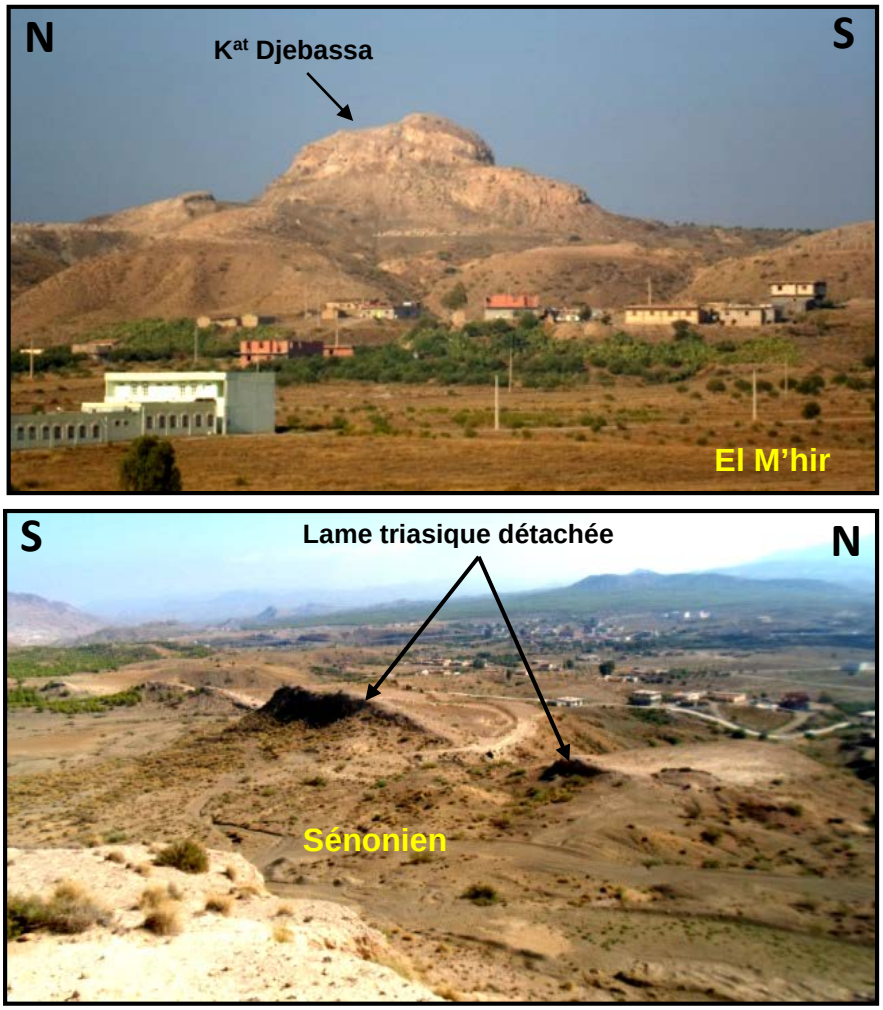


Fig.11 : Vues panoramiques du Koudiat Djebassa et de la lame triasique détachée interstratifiée dans le Sénonien.

Morphologiquement, les roches triasiques se présentent sous forme de lames lenticulaires de dimensions variables, elles peuvent être rétrécies, élargies, ramifiées en corps filoniformes étroits ou en filonnets.

Les constituants sédimentaires de ce Trias n'apparaissent jamais dans des conditions stratigraphiques normales, mais se présentent toujours en contact mécanique avec des terrains plus récents. Les phénomènes tectoniques auxquels est due sa mise en place, l'ont par ailleurs réduit en une brèche.

Le caractère chaotique de ce Trias ne nous permet pas de relever de bonnes coupes, mais seulement de procéder à un inventaire des constituants lithologiques et minéralogiques. La taille des éléments de ce complexe triasique est très variable, allant de l'ordre du millimètre à celui de la centaine de mètres.

❖ **Inventaire des constituants lithologiques et minéralogiques du complexe triasique :**

A. Les constituants lithologiques :

1. Roches carbonatées :

Les roches généralement rencontrées peuvent être classé en trois groupes : calcaires, dolomies, et cargneules.

a) Calcaires :

Sont représentés par des :

1- Calcaires violacés qui contiennent des nids d'oxydes de fer jaunes à veines de gypse. Ces calcaires apparaissent sous forme de dalles ou plaquettes régulières (fig.12) ;

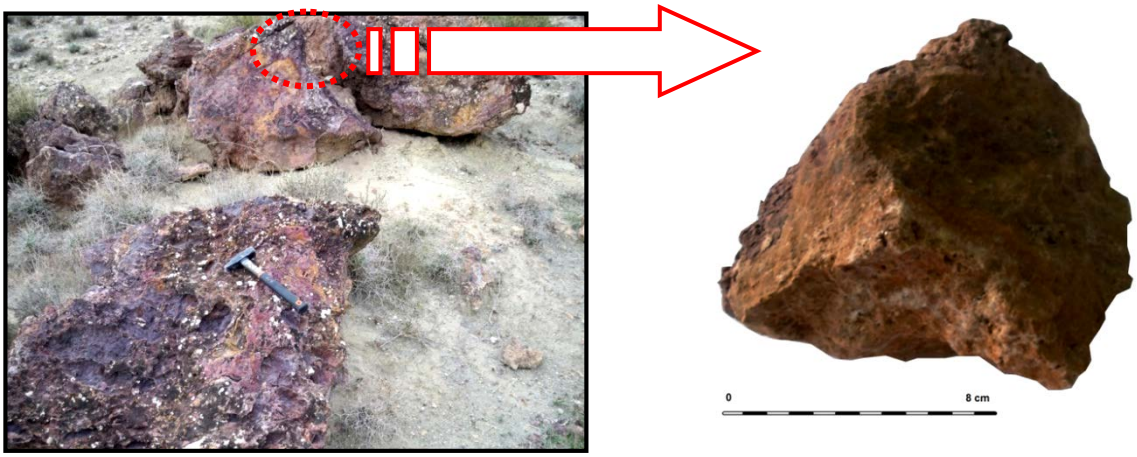


Fig.12 : Calcaires violacés en blocs détachés contenant des nids d'oxydes de fer jaunes et veinés de gypse

2- Calcaires jaunes à pâte fine, en plaquettes épaisses de 1 cm en moyenne, à surface gondolée ou bosselée. Ce type de calcaire est assez répandu et sont visibles au Sud du K^{at} Djebassa (fig.13).

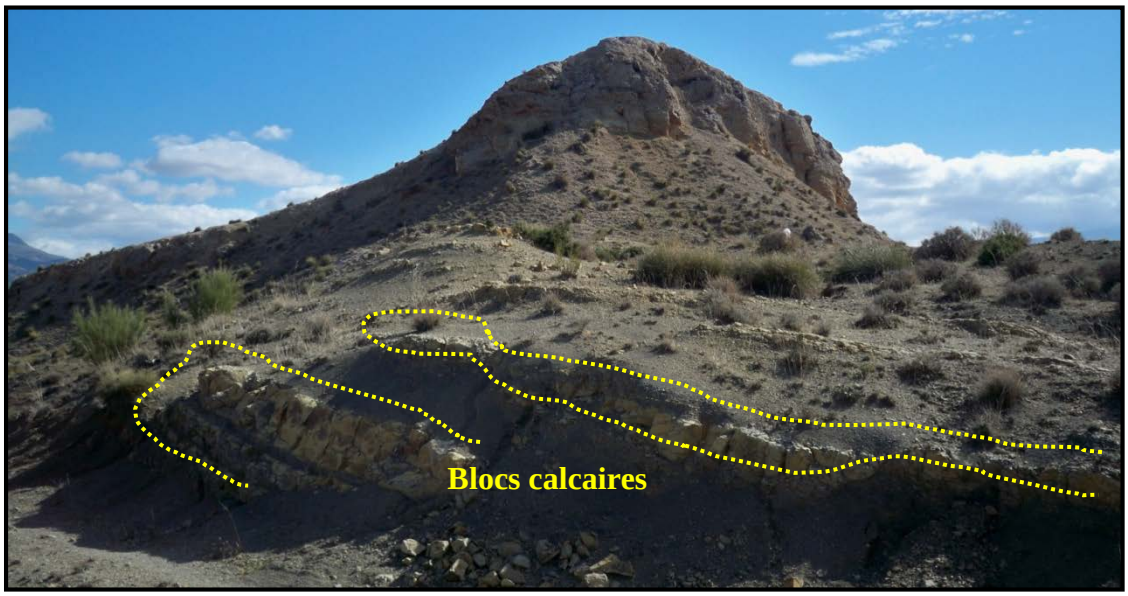


Fig. 13: Blocs calcaires jaunes au Sud du Koudiat Djebassa (avant les travaux d'exploitation du gypse)

3- Bancs marno-calcaires qui peuvent atteindre jusqu'à 2m d'épaisseur en reliques lenticulaires sont bien représentés au sommet du Koudiat Djebassa (fig. 14).

Fig. 14 : Reliques lenticulaires de marno-calcaires du sommet du Koudiat Djebassa.

b) Calcaires dolomitiques, Dolomies et les brèches dolomitiques :

1- Calcaires dolomitiques à cassure lisse, noirâtre, à patine terne, gris foncé ou noire, en dalles ou en plaquettes souvent diaclasées. (fig. 15).

2- Dolomies et brèches dolomitiques noirâtres à éléments anguleux à sub-anguleux, cimentées par du gypse saccaroïde. Elles se présentent souvent en lambeaux assez étendus intercalés dans le gypse au sommet de Koudiat Djebassa (fig. 16).

Fig. 15 : Aspect des calcaires dolomitiques en dalles diaclasées.

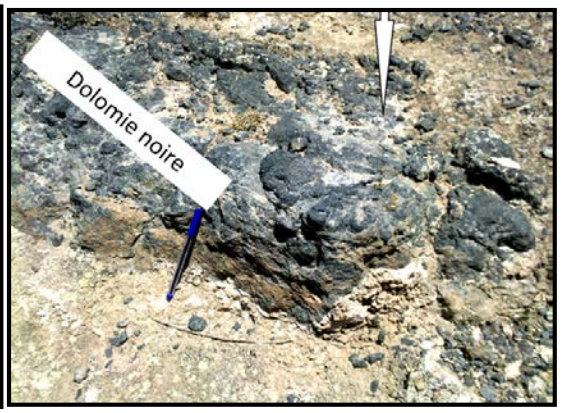


Fig. 16 : Des niveaux de dolomies noires intercalés dans le gypse au sommet du Koudiat Djebassa

c) Cargneules :

Les calcaires dolomitiques triasiques, ainsi que certaines roches carbonatées liasiques, peuvent se présenter sous forme de cargneules. Les calcaires jaunes à pâte fine, cités ci-dessous, se transforment en masses caverneuses brunes ou spongieuses, marbrées de rouge. Les calcaires dolomitiques noirâtres, diaclasés et recimentés par de la calcite ferrugineuse, évoluent en brèche colorée par des oxydes de fer (fig. 17).

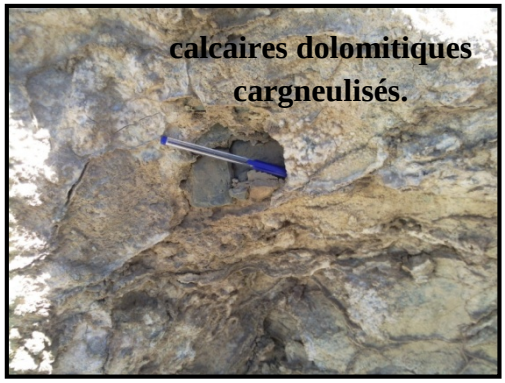


Fig. 17 : Aspect des calcaires dolomitiques cargneulisés.

2. Marnes et argiles :

Les constituants pétrographiques généralement désignés sous le nom d'« argiles bariolées » sont inégalement représentés dans le secteur d'étude. Mais ils ne font jamais complètement défaut, et peuvent localement former l'essentiel des affleurements. Ces roches présentent à divers stades de diagénèse :

- Marnes mal stratifiées grises, jaunes ou vert clair, à pâte fine;
- Argiles franches, pélitiques, compactes, à cassure terreuse, elles contiennent parfois une poussière quartzeuse;
- Argilites compactes ou schistoïdes, représentent un terme d'évolution plus poussé que les argiles franches, et ne forment plus de pâte avec l'eau.

A l'échelle du site de Djebassa, la base de la colline est constituée essentiellement d'argiles franches pélitiques (pélites non cohésives à débit schisteux), surmontées par des argilites compactes schistoïdes (pélites cohésives noirâtres à débit schisteux) qui sont parcourues par des fractures anastomosées remplies par du gypse (fig.18).

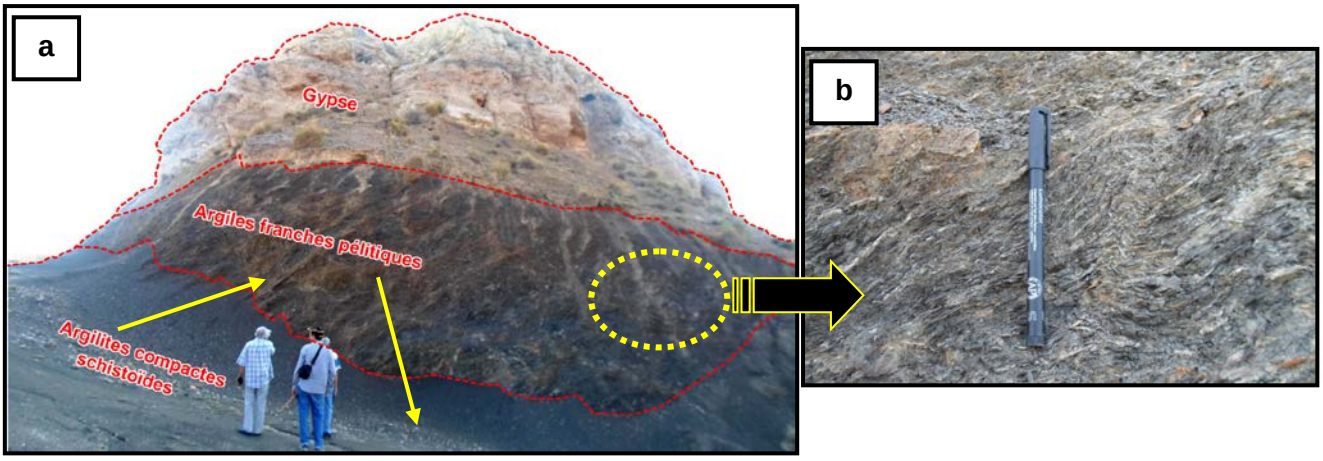


Fig. 18 : a. Affleurements par niveaux de la carrière de Djebassa.

b. Détail de la séquence d'argilites compactes schistoïdes à fractures anastomosées remplies par du gypse.

B. Les constituants minéralogiques :

J. Savornin (1920a) a qualifié ce Trias en un véritable musée minéralogique. Un inventaire minéralogique détaillé a été donné dans les thèses de Gentil (1902), Flamand (1911), Blayac (1912), Savornin (1920a), Glangeaud (1932a). En plus, les minéraux du Trias algérien ont été décrits par Lacroix (1893-1907).

On a cependant préféré ne donner ci-dessous que les minéraux reconnus dans notre région d'étude. Ceux-ci apparaissent à l'état d'accidents au sein des roches triasiques

précédemment décrites et dans des formations sédimentaires situées au contact de la lame triasique du Koudiat Djebassa.

1. Anhydrite et gypse :

L'anhydrite accompagne le gypse à l'intérieur des carrières. J. Savornin (1920a) signale l'anhydrite dans les parties profondes des exploitations, dans les anciennes plâtrières de Mzita (feuille de Mansourah). Il a été reconnu par M. Renucci au voisinage immédiat du K^{at} Djebassa.

Le gypse apparaît comme un constituant secondaire qui provient de l'hydratation de l'anhydrite sous l'influence d'eaux météoriques ou vadoses. Très largement représenté en affleurements sous forme de lentilles avec des épaisseurs variables, atteignant une vingtaine de mètres ou même plus, il est parfois réduit en de minces bandes décimétriques, ou même effiloché dans les marnes. Il ne se présente pas en bancs stratifiés, mais en masses confuses (fig.19), parfois associé à d'autres constituants du complexe. Souvent il est de teinte blanchâtre. Mais il apparaît aussi sous des variétés colorées, roses, verdâtres, brunâtres. Habituellement saccharoïde, il montre parfois une cassure terreuse (fig.20).

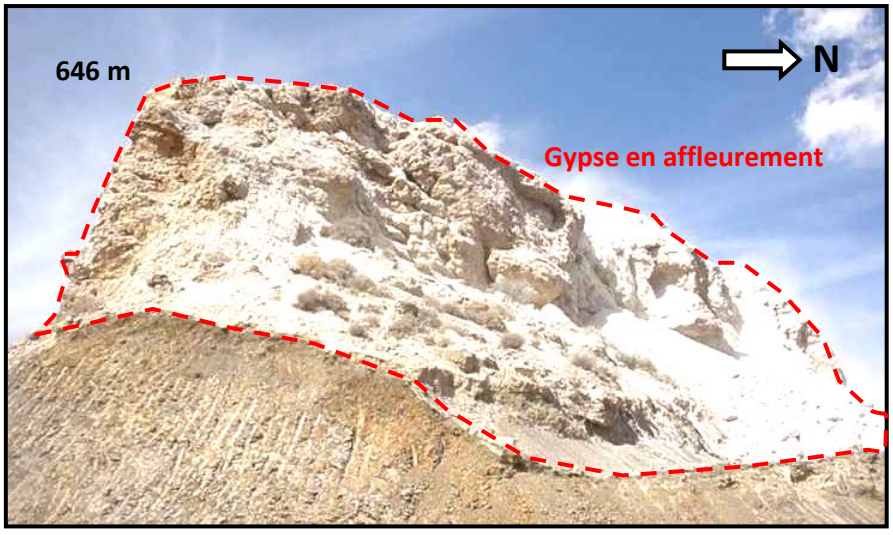


Fig.19 : Trias gypseux de Koudiat Djebassa en affleurement au niveau 646m (au cours des travaux de l'exploitation).

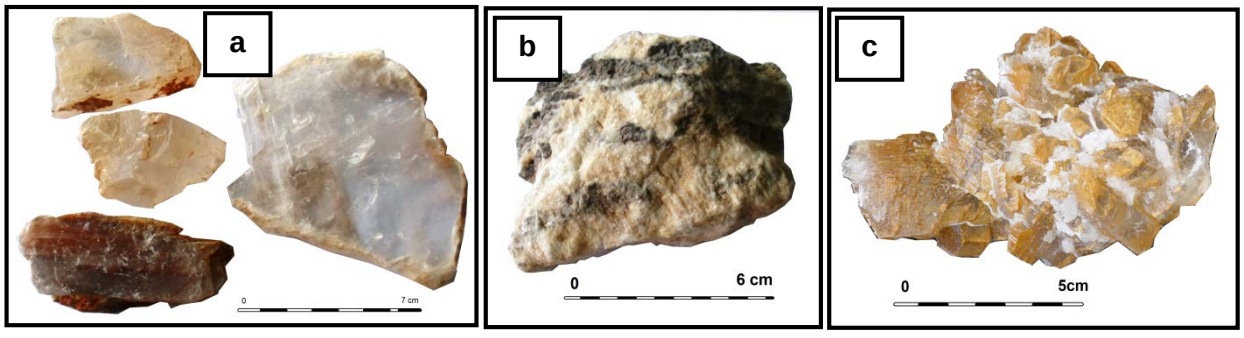


Fig.20 : Différentes variétés du gypse de la carrière de Djebassa.
a : Massif blanc ou coloré ; b : Saccaroïde ; c : Lamellaire

2. Soufre natif :

Le soufre natif se présente à l'état de poudre jaune ou de petits cristaux translucides qui tapissent les lèvres de fissures. Il est connu dans notre région d'étude (fig.21) mais aussi dans l'affleurement triasique d'Oulad Aïcha au Sud du Djebel Mzita (feuille Mansourah). Les recherches anciennement entreprises en vue de son exploitation n'ont donné aucun résultat.

Il est également connu comme dépôt de sources thermo-minérales en relation avec le Trias (Hammam el Biban, Hammam el Halfa).

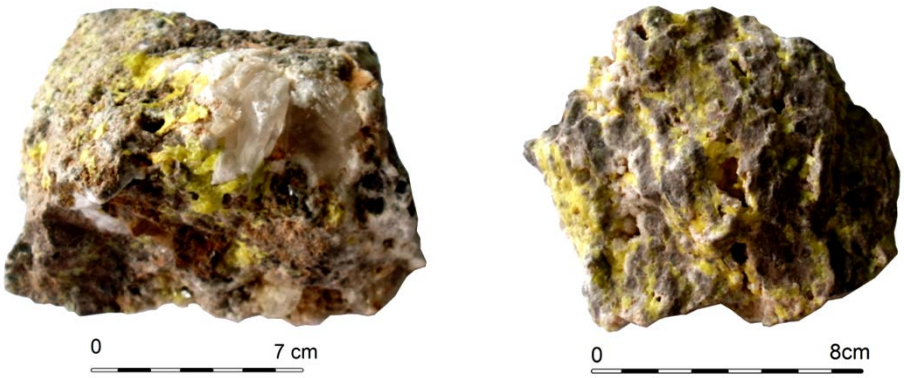


Fig. 21 : Echantillons du soufre natif associé au gypse et aux carbonates du complexe triasique

3. Barytine et célestine :

Sur la tranche de la lame triasique du Koudiat Djebassa, la barytine et la célestine ont été rencontrées dans une brèche monogénique rubanée à ciment gypseux. La barytine se présente en petits amas ou en crête, tandis que la célestine est drusique. (fig.22)

III.1.2.2- Le Crétacé :

Les affleurements du Crétacé dans la région du Koudiat Djebassa sont attribués au Sénonien et au Sénonien - Danien.

a. Sénonien :

Selon A. Caire (1957), ce faciès est essentiellement caractérisé par des calcaires à Inocérames, des marnes grises et des lentilles de calcaires qui leurs sont associés.

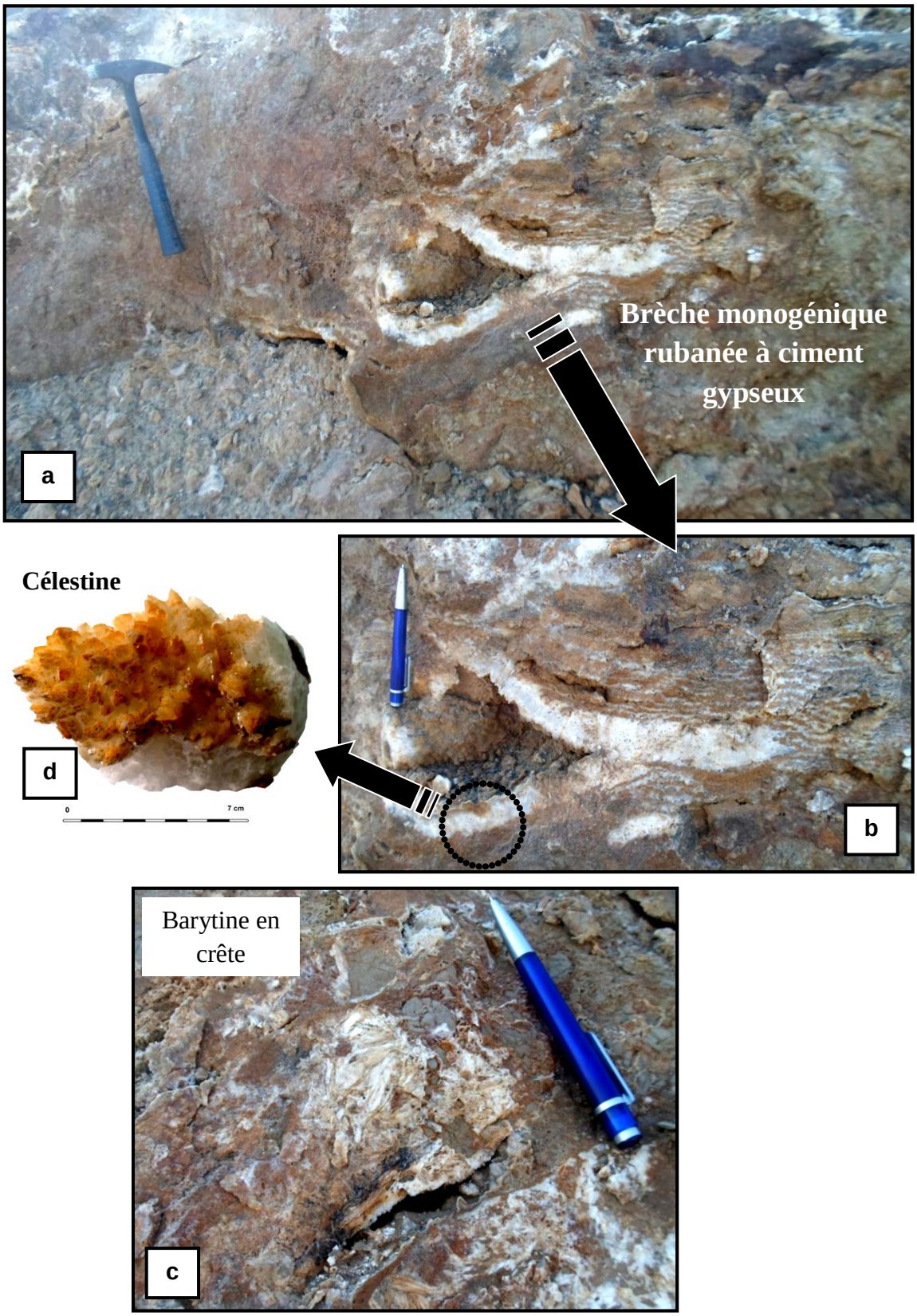


Fig.22 : a et b. Affleurement montrant une brèche monogénique rubanée à ciment gypseux avec la présence de la Barytine en crête (c) et la Célestine en druse (d).

❖ ***Calcaires à Inocérames et roches associées*** *:*

Le faciès classique des calcaires à Inocérames dans lequel ces Lamellibranches sont d'ailleurs très inégalement répartis, se rencontre dans plusieurs zones de faciès, au sein de divers sous-étages du Sénonien (fig.23).

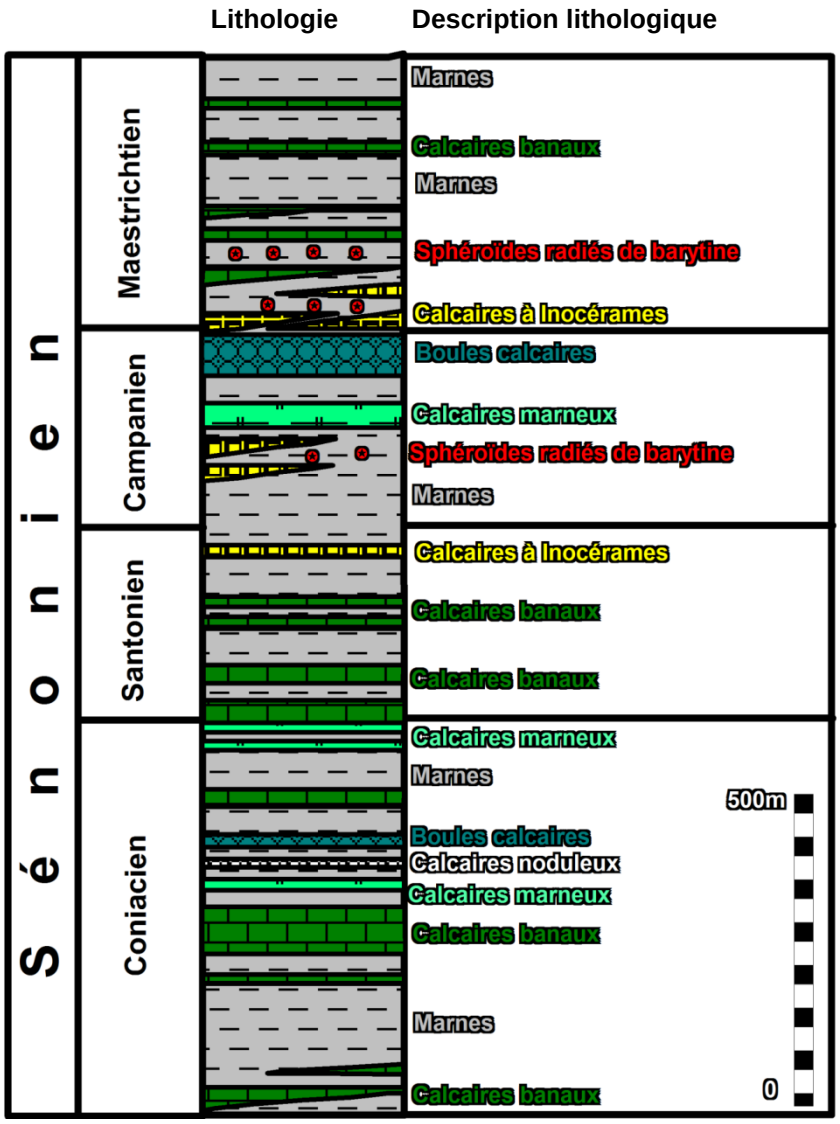


Fig. 23 : Coupe lithostratigraphique des séries sénoniennes locales de la région de Mzita et la région des Azrou. (A. Caire, 1957).

Un niveau calcaire grumeleux et noduleux à Inocérames a été observé dans la partie sud de la région d'étude, il dépasse 3m de longueur et 50 cm de largeur. Il est de direction N085°- 45°N (fig.24a).

Ces calcaires contiennent des Inocérames dont les valves ne dépassent généralement pas 10 cm de longueur (fig 24b et 24c).

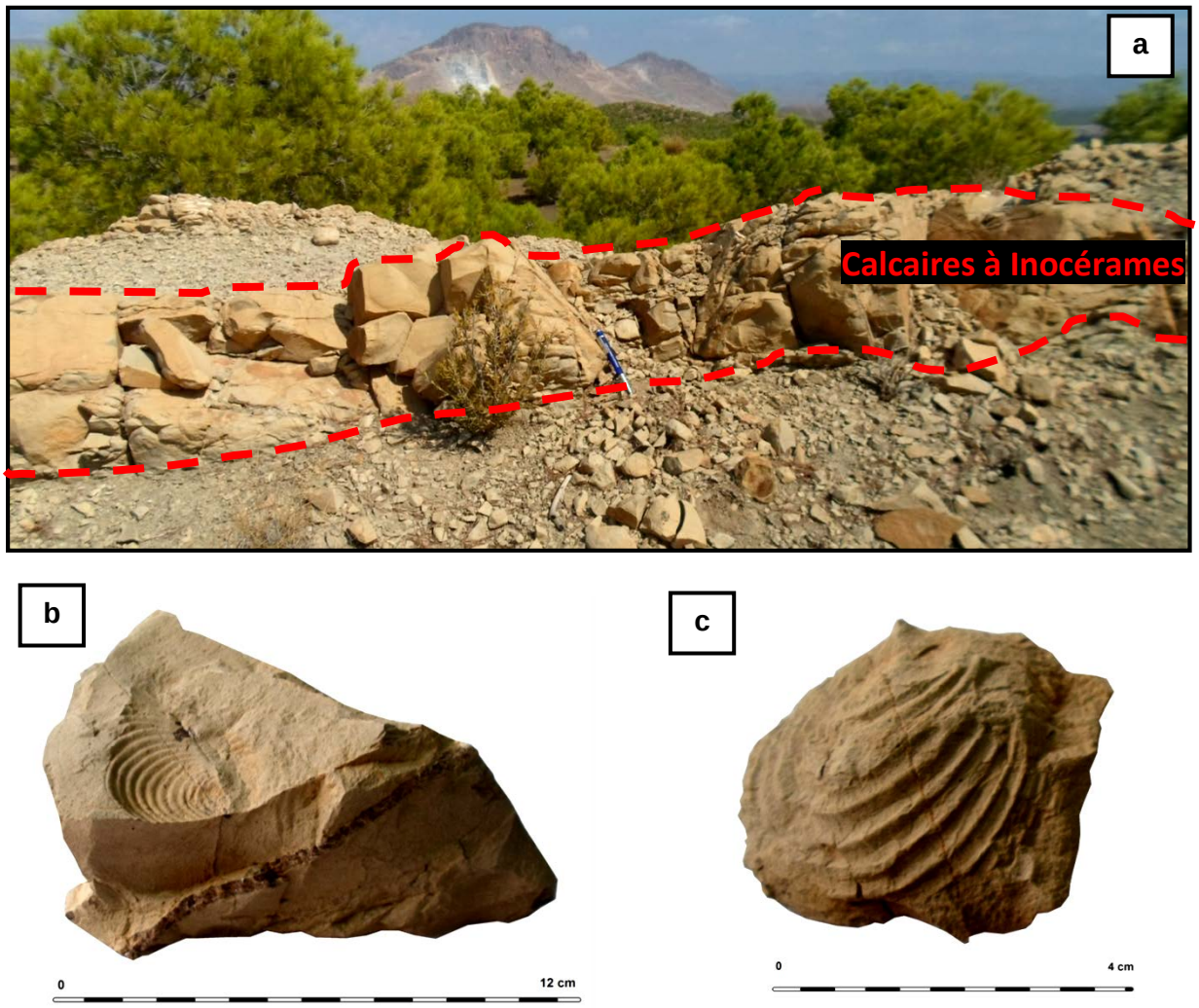


Fig. 24 : a. Un niveau calcaire grumeleux et noduleux à Inocérames.

b .Echantillon de calcaire à Inocérames du même niveau calcaire.

C : Valves d'Inocérames.

b. Sénonien-Danien :

Etages très largement représentés dans notre région d'étude. Le Sénonien est bien caractérisé par sa faune néritique à Ostracés et Echinides. Le Danien est moins sûrement défini mais existe très probablement, en raison du passage graduel du Crétacé au tertiaire. L'uniformité de faciès et le peu de valeur stratigraphique des fossiles n'ont pas permis la subdivision de ces terrains (J. Savornin, 1920). Il est essentiellement représenté par des marnes, calcaires marneux et marno-calcaires.

❖ **Calcaires marneux et marno-calcaires :**

Les calcaires marneux offrent des caractères analogues à ceux des calcaires. On peut décrire comme calcaires marneux des roches tendres, qui se divisent rapidement, sur les affleurements, en esquilles amygdalaires et en nodules. Leur patine est toujours en retard d'une nuance sur celle des calcaires. Elle ne dépasse pas la teinte jaune pâle terne. A l'intérieur des barres calcaires, ces calcaires marneux se disposent en bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur moyenne. Ils contiennent parfois des boules calcaires à patine jaune vif.

Les marno-calcaires, plus facilement désagrégeables, sont généralement patinés de blanchâtre, rarement de jaune pâle. Au sein des barres calcaires, ils forment des lits peu épais, de 5 cm en moyenne. On voit ainsi que, dans les barres de « calcaires à Inocérames », les bancs sont d'autant plus minces qu'ils sont moins calcaires.

❖ **Marnes :**

Les marnes forment souvent d'épaisses séries. Ce sont des marnes dures, gris à gris-bleuâtre foncés. Elles peuvent s'altérer en brunâtre, mais leur transformation habituelle consiste en l'acquisition d'une mince patine grise clair. Lorsqu'elles sont parcourues de filonnets de calcite enchevêtrés, leur teinte moyenne peut devenir jaunâtre, teinte de la calcite ou de sa patine (fig.25).

Fig. 25 : Aspect des marnes jaunâtres parcourues de filonnets de calcite

III.1.2.3 - Quaternaire :

Ce sont des dépôts alluviaux représentés par :

- **Alluvions récentes**. Limons et galets, constituent des plaines irrégulières rarement cultivables. Ces dépôts n'ont été observés que dans les rares vallées où ils masquent complètement le sous-sol.
- **Alluvions anciennes.** Terrasse inférieure, de même constitution lithologique que l'alluvion récente et domine d'environ 15 mètres le thalweg.
- **Alluvions anciennes** (niveau supérieur). Témoins d'une terrasse qui dominent d'environ 35 mètres la basse-plaine.

III.1. 3. Tectonique :

Au sein de l'édifice de la zone sub-bibanique, A. Caire (1951) a distingué trois ensembles qualifiés « d'unités » qui correspondent à des lames de charriage distinctes. Ces unités sont désignées par les lettres A, B et C. Les unités supérieures B et C reposent par l'intermédiaire de semelles triasiques, sur l'unité A et sur la zone bibanique (fig.26, 27).

Dans la région des Bibans, l'unité A est essentiellement formée du Sénonien, de l'Eocène et de Miocène inférieur, et ne contient que localement du Trias. Cette unité se subdivise en deux sous unités A_{1-2} et A_{3-4} qui peuvent à leur tour, se séparer localement en lames A_1, A_2, A_3 et A_4. La lame A_4 se développe largement dans la dépression de Mzita-Portes de Fer. Structuralement, elle est caractérisée par de vastes plis, renversés, disloqués et déversés vers le Sud. Stratigraphiquement, elle est formée de Sénonien vaseux.

Sur la feuille de Mansourah, l'axe de l'anticlinal de Mzita est facilement repéré, il suit à l'Ouest de la route nationale une direction S-N à SSW-NNE tandis que la direction générale de l'ensemble de l'anticlinal est SW-NE.

Le flanc inverse de l'anticlinal de Mzita contient plusieurs lames triasiques. L'une d'elles, qui passe au Koudiat Djebassa (région d'étude) sur une grande étendue, elle est interstratifiée dans le Sénonien.

La lame triasique du Koudiat Djebassa débute au voisinage du point où s'effectue la torsion des couches sénoniennes indiquant le passage du flanc E au flanc W déversé de l'anticlinal de Mzita. Elle apparait d'abord, un peu oblique par rapport aux couches, puis elle subit elle-même une torsion qui l'amène dans une position presque interstratifiée au sein des marnes et calcaires sénoniens, qui sont stratigraphiquement au dessus de la barre de calcaires à Inocérames.

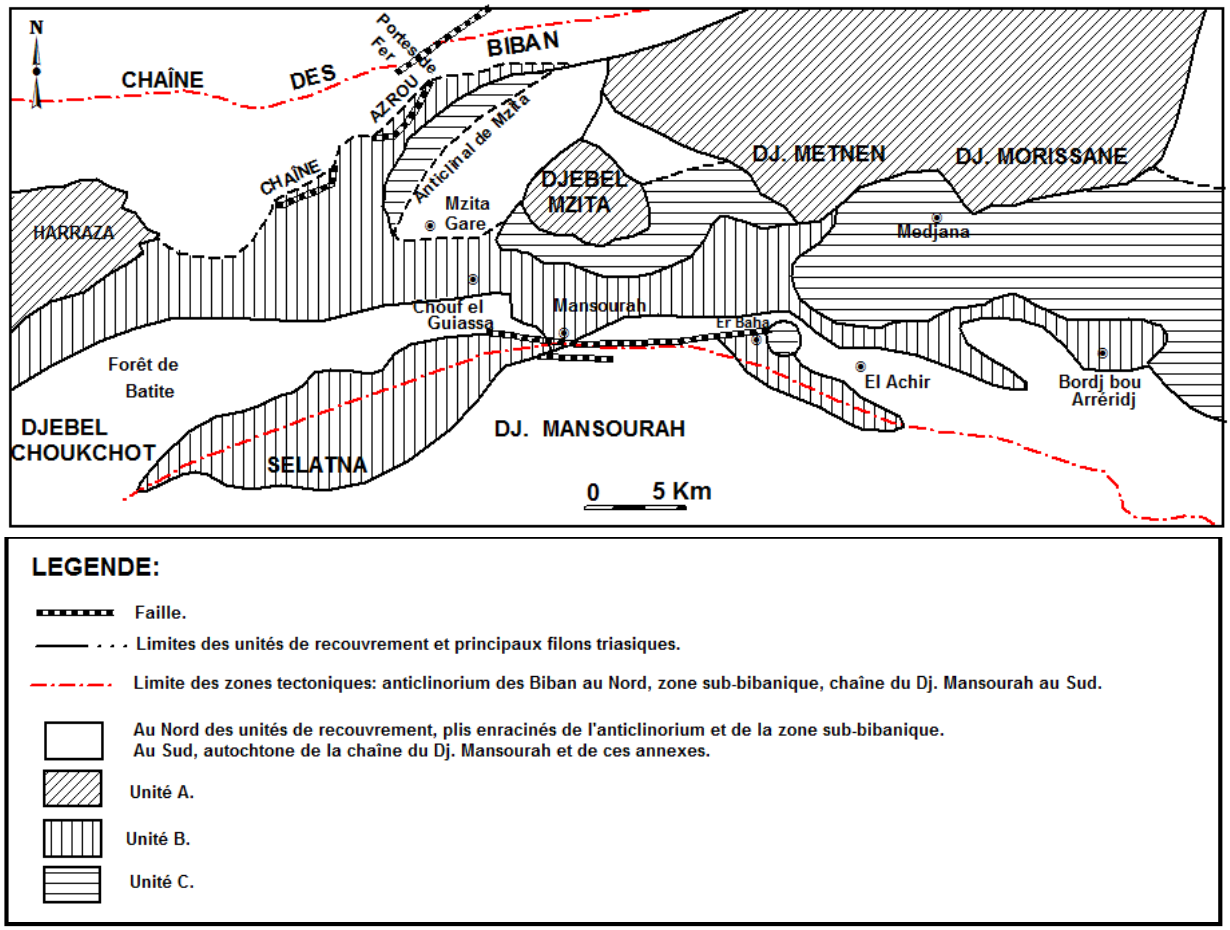


Fig.26 : Grandes unités structurales de la zone sub-bibanique. (A. Caire, 1952).

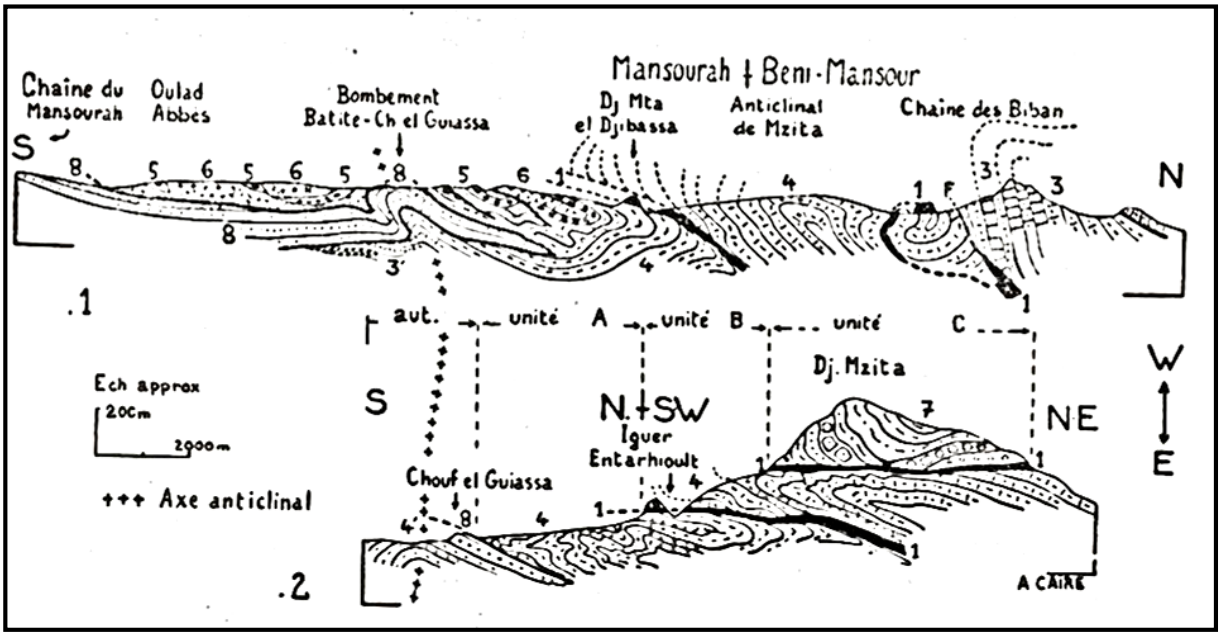


Fig.27 : Coupes transversales dans la zone sub-bibanique dans la région de Mansourah-les Bibans (feuilles Mansourah et Beni Mansour), (A. Caire, 1952).

1: Complexe triasique. **2** : Albien (?). **3** :Cénomano-Turonien bathyal. **3'**:Cénomano-Turonien néritique. **4** : Sénonien bathyal. **4'** : Sénonien néritique. **5** :Suessonien inférieur. **6** : Suessonien supérieur (Marnes à Ostrea multicostata). **7** : Medjanien. **8**: Cartennien (Burdigalien). **Aut** : Autochtone ; **Unités A, B, C** : Unités de recouvrement inférieure, moyenne et supérieure ; **F** : Faille.

La barre à Inocérames, après quelques faibles dislocations, passe sous la lame triasique et réapparaît dans la dépression des Fours à plâtre, où elle s'appauvrit en calcaires.

Au Nord de la même dépression, la lame offre un pendage assez faible. Elle détache vers l'Ouest un lambeau exigu qui forme le « chapeau » du Koudiat Djebassa (fig. 28).

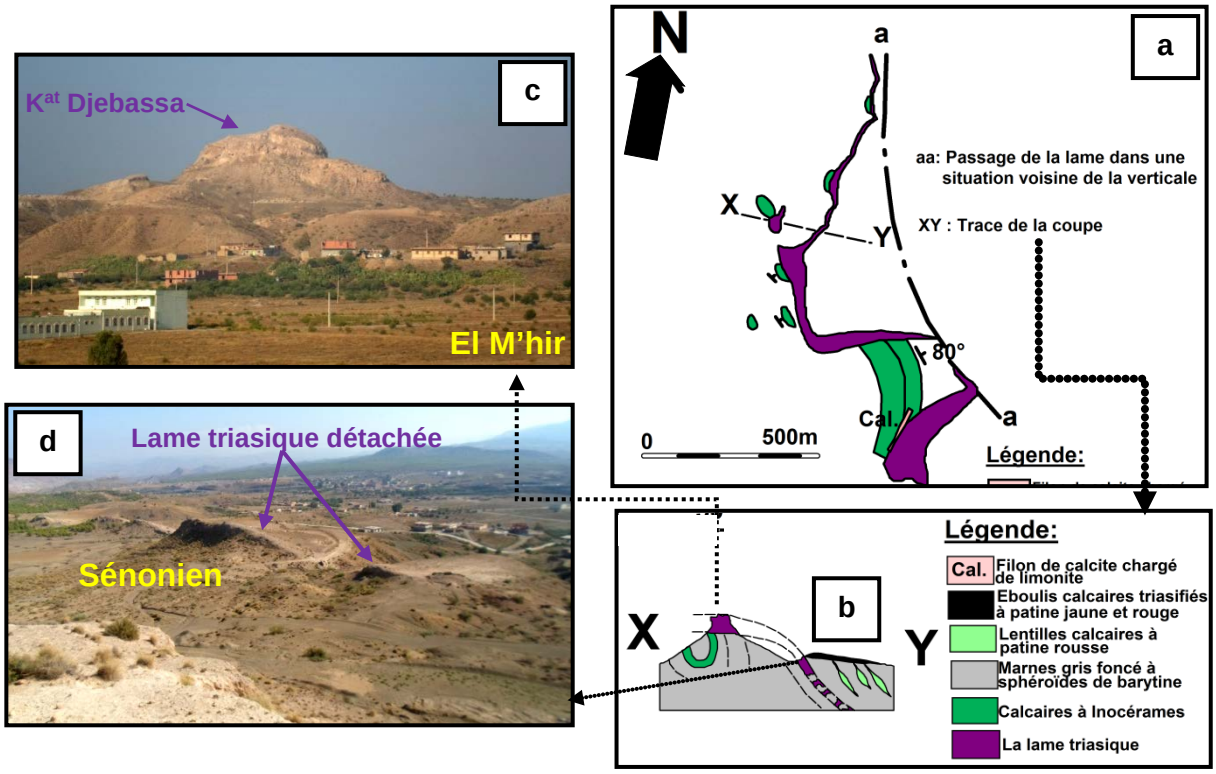


Fig. 28 : a et b. Structure géologique du Koudiat Djebassa au Nord Ouest de la gare de Mzita, (A. Caire, 1957).

c et d. Vues panoramiques du Koudiat Djebassa et de la lame triasique détachée interstratifiée dans le Sénonien.

III.1.3.1 - La tectonique cassante :

❖ **L'interprétation de la carte linéamentaire :**

L'utilisation des photos aériennes au 1/20 000 nous a permis d'établir une carte linéamentaire de la zone étudiée. L'interprétation des linéaments nous a permis l'identification des structures majeures et mineures de la région et d'établir une rosace directionnelle à partir de 112 mesures (fig. 30), ces mesures ont été réparties en 36 classes de 10°. La projection de ces classes (fig.29) permet de remarquer quatre familles de linéaments de directions principales :

- N140° à N160°
- N060° à N070°
- N110° à N120°
- N090° à N100°

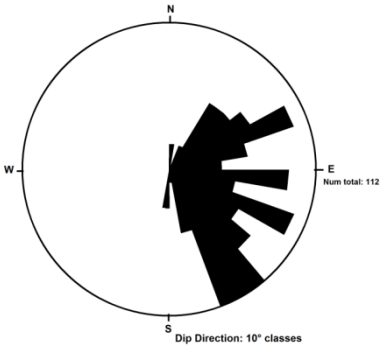


Fig. 29: Rosace directionnelle établie à partir de la carte linéamentaire de la région d'étude.

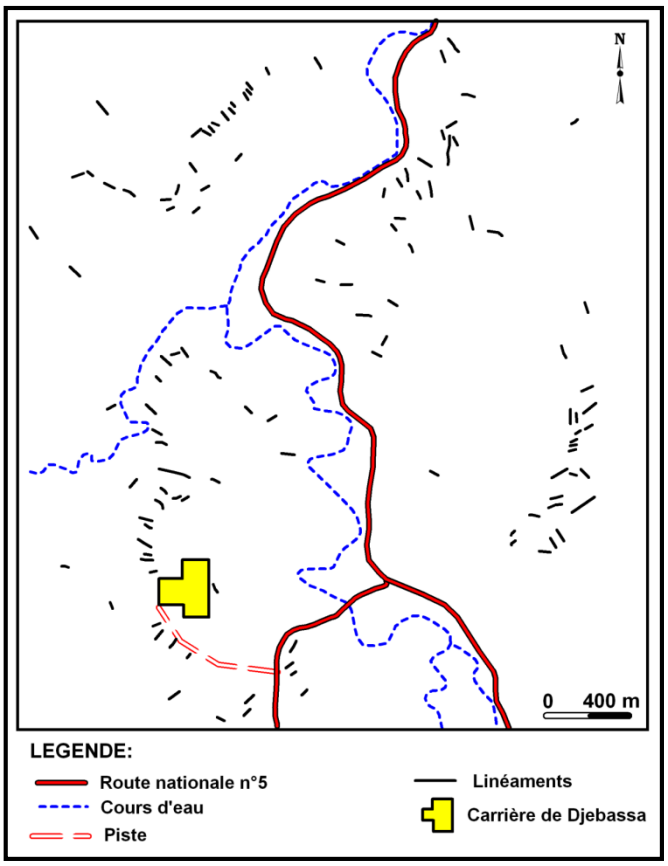


Fig. 30: Carte linéamentaire de la région d'étude au 1/20 000°

III.2. SOUAGUI:

Le secteur d'étude (Souagui) est situé sur la feuille à 1/50.000 de Souagui (N°111), à la lisière méridionale du Tell. Du point de vue lithologique, cette feuille est divisée en deux parties, au Sud, s'étendent des reliefs plus tourmentés, formés par les séries du Crétacé supérieur et du Tertiaire : c'est un pays de nappe de charriage, partie intégrante de la zone « sud tellienne »

Au Nord s'étalent les assises bien ordonnées de l'Albo-Aptien et du Cénomanien.

Du point de vue tectonique, elle est caractérisée par des terrains des nappes telliennes, la tectonique complexe, propre au phénomène de charriage s'est traduite sur le terrain par une multitude d'accidents, de directions très variables, par des variations de pendages très fréquentes, des décrochements de bancs et un tracé du réseau hydrographique en baïonnette.

L'absence de formes dues à la tectonique s'explique par la nature des terrains, souples, incapables de résister aux différents mouvements.

Localement, la région de Souagui se caractérise essentiellement par des terrains d'âges Méso-cénozoïques, avec des terrains du Trias, du Crétacé, du Paléogène, du Néogène et du Quaternaire. (fig. 31)

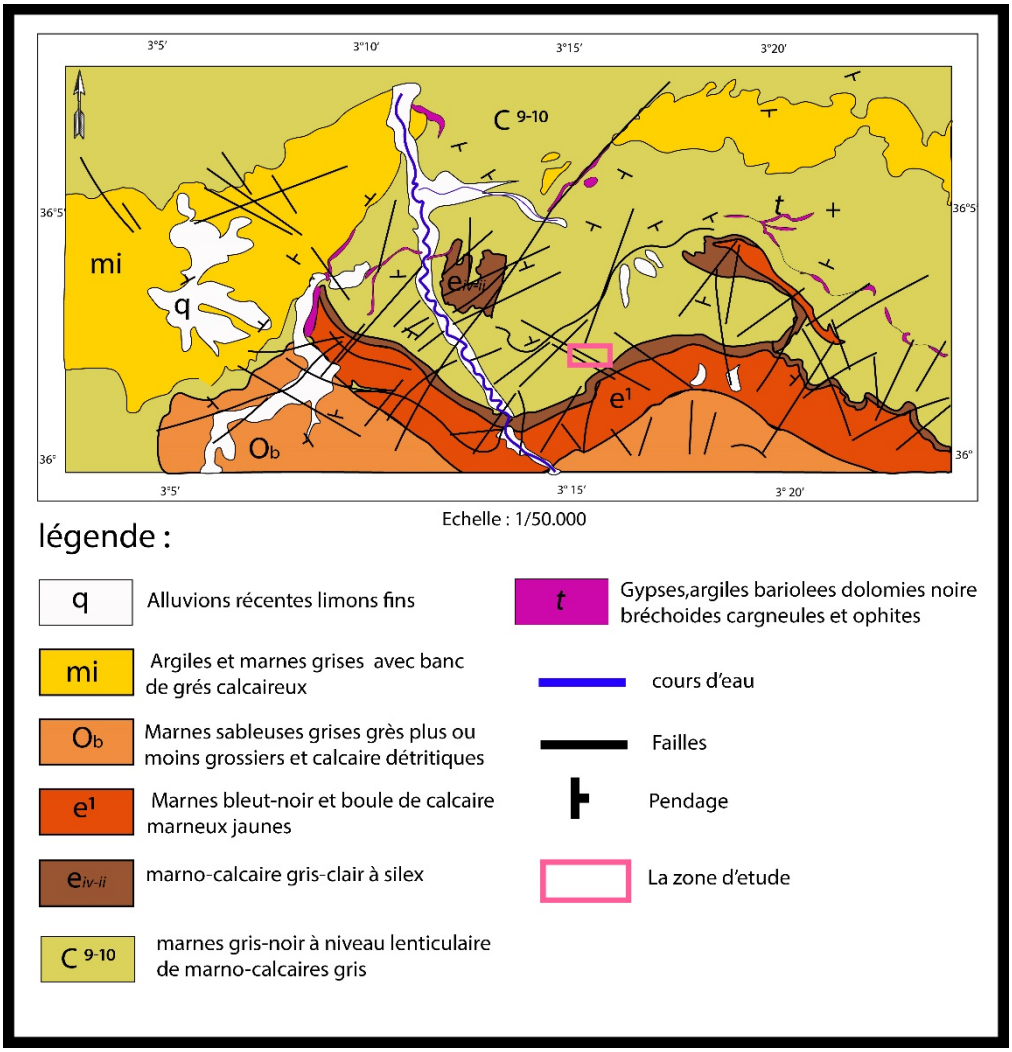


Fig. 31: Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte géologique de Souagui au 1/50 000°)

III.2.1. Aperçu lithologique :

Le site de Souagui est caractérisé par une lame triasique sous forme de semelle de nappe avec des formations de marnes et calcaires à Inocérames du Sénonien, calcaires à silex éocènes, faciès oligocènes de Boghari et les séries de marnes et grés calcareux miocènes (fig. 32)

Fig. 32: Vues panoramiques du village Sidi Ziane (Souagui) et de la limite Crétacé supérieur-Paléocène

III.2.1.1-Trias :

Il jalonne les contacts anormaux sous forme de masses de gypse blanc ou violacé, d'argiles bariolées, de bloc de cargneules, de dolomies et d'ophites. Le sel n'affleure pas, mais sa présence en profondeur se manifeste par l'existence de nombreuses sources salées, aux eaux presque saturées, que l'on évapore sur des minuscules tables salantes. Les deux oueds Malah doivent leurs noms à de telles sources.

III.2.1.2- Crétacé :

- **C^{9-10} Maestrichtien –Danien.**

Il débute par 200 mètres d'argiles et marnes feuilletées à lentilles de calcaires noirs et minces lits de microgrès lie-de -vin. Puis viennent environ 1000 mètres de marnes grises à bancs de calcaire marneux jaunâtres (fig.33).

Ces marnes sont parcourues de filonnets de calcite enchevêtres et emballent quelques nodules ou « blocs jaunes » de calcaires gris-bleu a patine ocrée.

Fig. 31: calcaire marneux à Inocérames

Deux coupes géologiques ont été réalisées dans notre région d'étude, elles permettent de montrer la succession de formations suivantes (Fig. 32, 33) :

1ere coupe : **(Fig.32A)**

- Une combe d'argiles (marnes) depuis la route jusqu'au premier banc calcaire, alternance de bancs calcaires de quelques décimètres jusqu'à un demi mètre avec une strato-croissance (régression) de 15 à 20 mètres et marnes métriques, à la base deviennent décimétrique au sommet.
- Au-dessus de cette formation on observe une combe marno-argileuse de 10m, elle se tranche par deux rares bancs de calcaires de 30 à 40 centimètre d'épaisseur riches en **sphéroïdes de barytine.**
- Une combe de 3 à 4 mètres de marnes argileuses qui se termine par 2 petits bancs de calcaires.
- Au-dessus, une grande combe de 30 à 40 mètres de marnes argileuses qui se termine par un banc de calcaire.

2eme coupe : **(Fig. 32B)**

- Au-dessous de la route une grande combe de 30 à 40 mètres de marnes argileuses.
- Au-dessous de cette formation, on observe une combe de calcaires marneux de 1m elle se tranche par des couches marneuses.
- Au-dessous de cette formation, on observe des bancs de calcaire marneux riches en **sphéroïde de barytine.**
- Au-dessous de cette formation, on observe une combe de 15 à 20 mètres de marnes
- Au-dessous de cette formation on observe un grand banc de calcaire marneux à Inocérames.

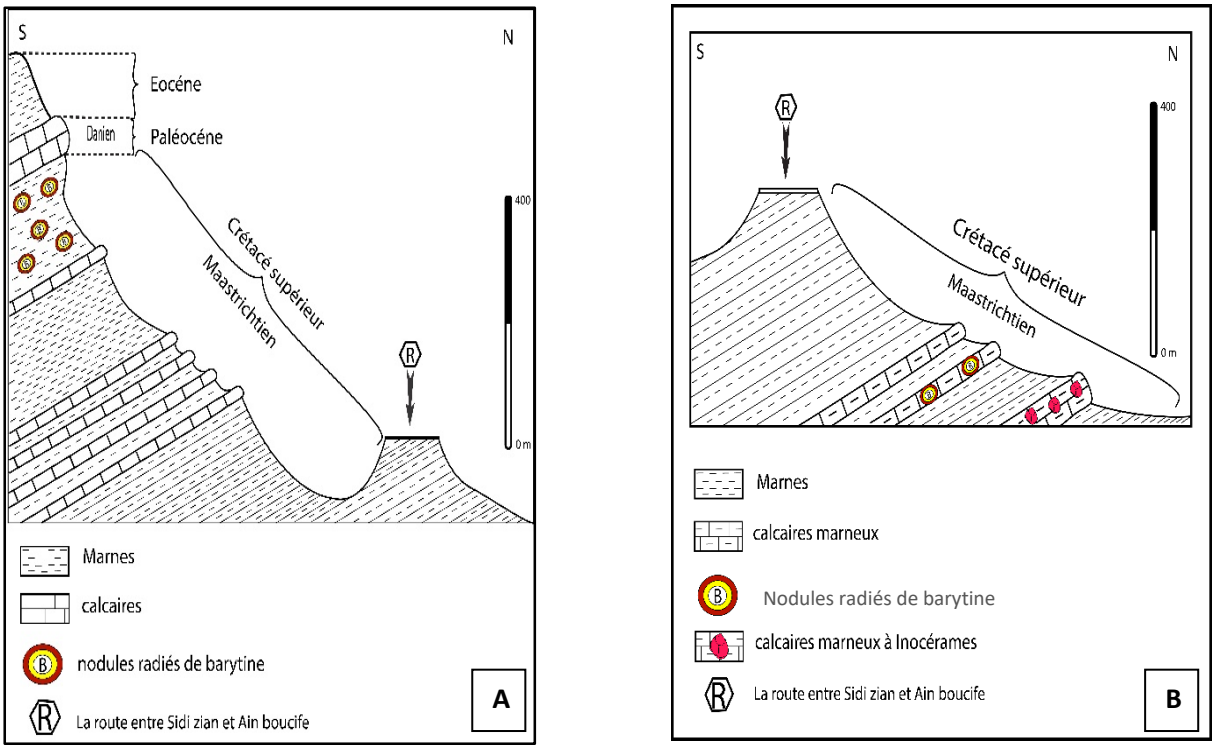


Fig.32:Coupes géologiques schématiques de la région d'étude (Sidi Ziane, Souagui).

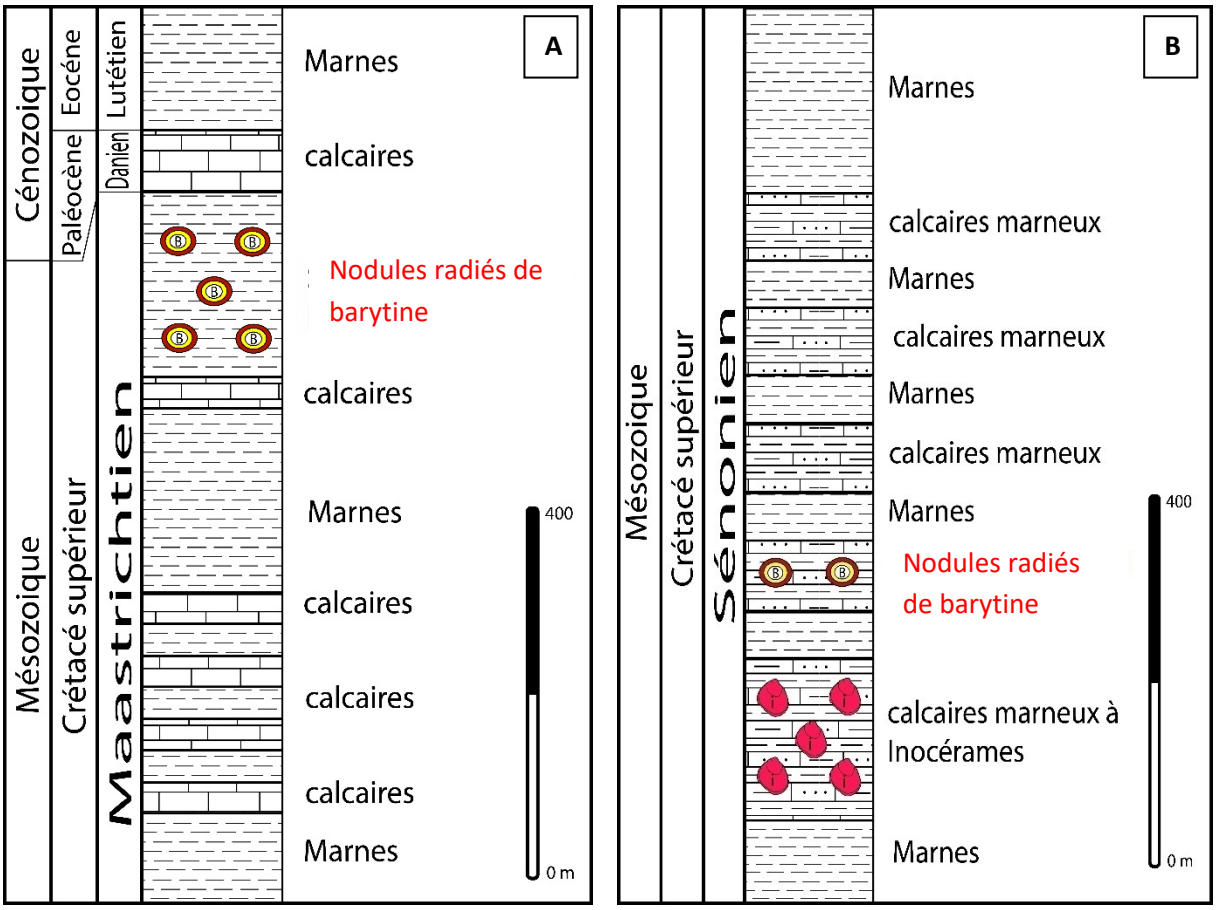


Fig.33: Colonnes stratigraphiques de la région de Sidi Ziane (Souagui).

III.2.1.3- Paléogène :

- **$e^{1\,b}$** : Marnes et argiles brunes à lits de calcaires marneux, jaunâtres et lumachilliques à Huitres.
- **eIV-II : Yprésien –Lutétien inférieur :** Il débute par 80 à 100 mètres de calcaires marneux à silex noirs et passées de marnes indurées azoïques. Puis viennent 120 à 150 mètres de calcaires blancs à rares silex (fig.34).

Fig.34 : Photo montrant un calcaire noir à silex.

- **e^{1} Lutétien supérieur – Bartonien :**

Il apparait sous deux faciès :

1. **$e^{1\,a}$** : marnes bleu-noir a boules de calcaire jaunes (fig.35). Une association qui caractérise le Lutétien supérieur et le Bartonien inférieur : Cette série semble avoir plus de 1000 mètres d'épaisseurs.

Fig.35 : Photo montrant des boules calcaires jaunes

- **O_b Oligocène « Faciès de Boghari » :**

Il débute par une série à dominante marneuse, épaisse d'environ 800 mètres. On y observe quelques passées lenticulaires de grés grossiers à Huitres. Au-dessus, vient un ensemble de grés fins à grossiers entrecoupé de lits de marnes gris-clair. Ce terme supérieur se poursuit sur la feuille d'Ain Boucif : Son épaisseur est d'environ 700 mètres.

III.2.1.4- Néogène :

- **(mi) Miocène inférieur :** des formations d'argiles et de marnes grises à minces niveaux de calcaires gréseux, auxquelles succèdent des marnes grises entrecoupées de gros bancs de grés calcareux (fig.36).

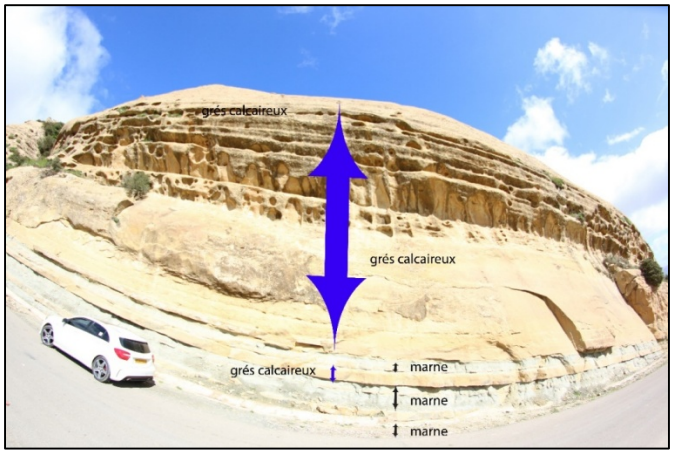


Fig.36: vue panoramique des marnes grises entrecoupées de gros bancs de grés calcareux.

III.2.1.5- Quaternaire :

- **Alluvions récentes :** La largeur des «basses plaines » garnies d'alluvions torrentielles n'est appréciable que pour les deux grandes rivières et pour les affluents principaux de celles de l'Ouest. Le remplissage sédimentaire de ces plaines comporte, comme à l'ordinaire. Un mélange de terres hétérogènes, de graviers et de cailloux assez peu roulés.

III.2.2. Tectonique:

III.2.2.1. Etude de la fracturation :

Au niveau de la zone d'étude, des bancs de calcaires ont subi une série des failles sous forme de horst et graben (fig.37).

- Des veinules de calcite tardives, très abondantes sont aussi observées dans toute la région d'étude. Elles sont d'échelle centimétrique à extension pluri-métrique. La plupart sont observées au niveau des formations du Crétacé supérieur, elles sont généralement à remplissage de calcite fine blanche et recoupent les marnes. Elles sont de direction N65°vertical (fig.38).

- Des fractures minéralisées en calcite d'épaisseur de quelques centimètres et d'extension plus de cent mètres (fig.39).

- Une faille inverse contemporaine sur une direction N100° et avec un pendage 40°N et pitch 90° (fig.40)

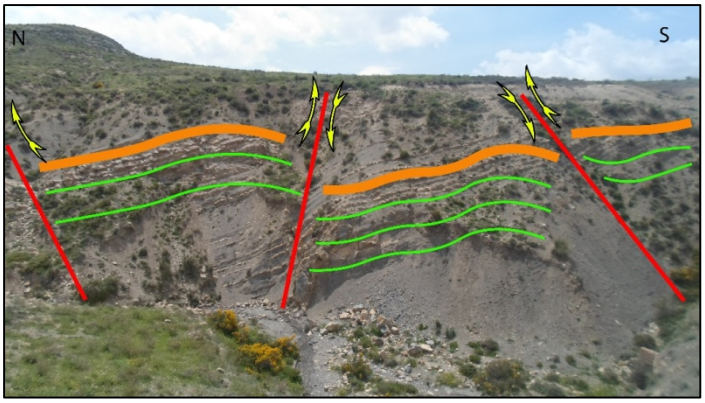


Fig.37 : Photo montrant des horst et graben de Sidi Ziane (Souagui).

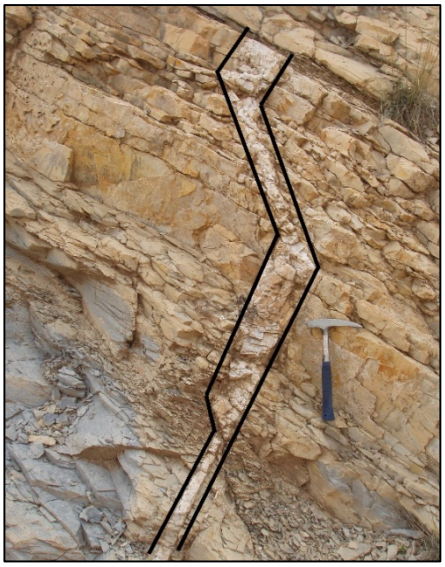


Fig.38 : Veinules de calcite fracturées.

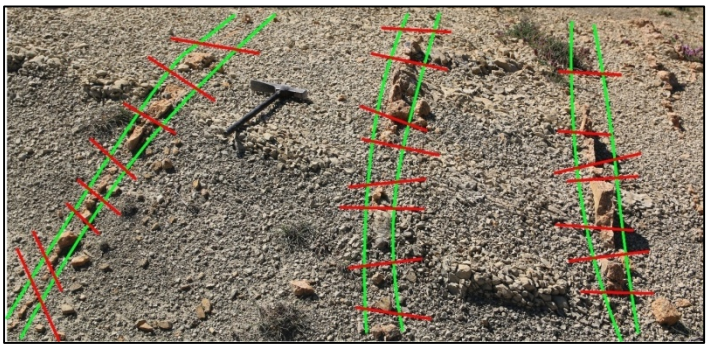


Fig.39 : Fracture à extension centimétrique remplie de calcite fine

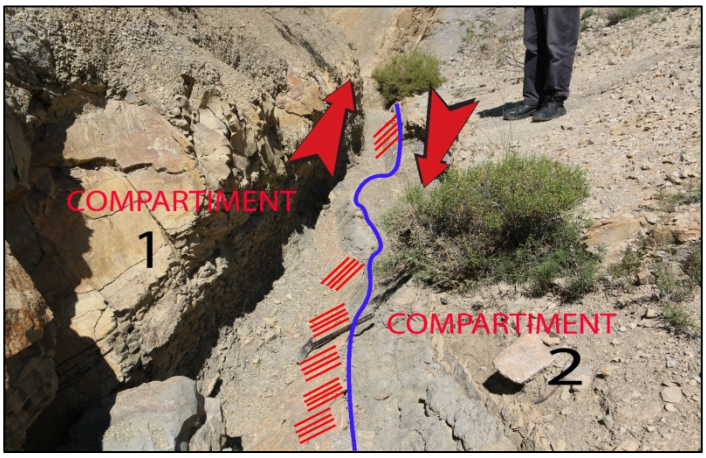


Fig.40 : Photo montrant une faille inverse avec les stries de la faille

III.2.2.2. L'interprétation de la carte linéamentaire :

L'utilisation des photos aériennes au1/50000 nous a permis d'établir une carte linéamentaire de la zone étudiée. L'interprétation des linéaments nous a permis l'identification des structures majeures et mineures de la région et d'établir une rosace directionnelle à partir de 69 mesures

(fig.42), ces mesures ont été réparties en 36 classes de10°.La projection de ces classes (fig.41) permet de remarquer quatre familles de linéaments de directions principales :

- N 0 0 0 ° à N010°
- N 0 7 0 ° à N080°
- N 1 2 5 ° à N135°
- N 1 6 0 ° à N170°

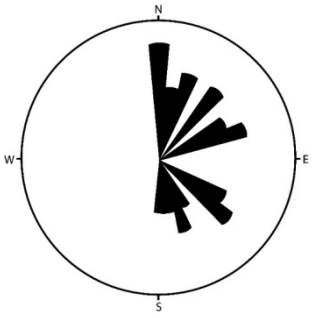


Fig. 41: Rosace directionnelle établie à partir de la carte linéamentaire de la région d'étude.

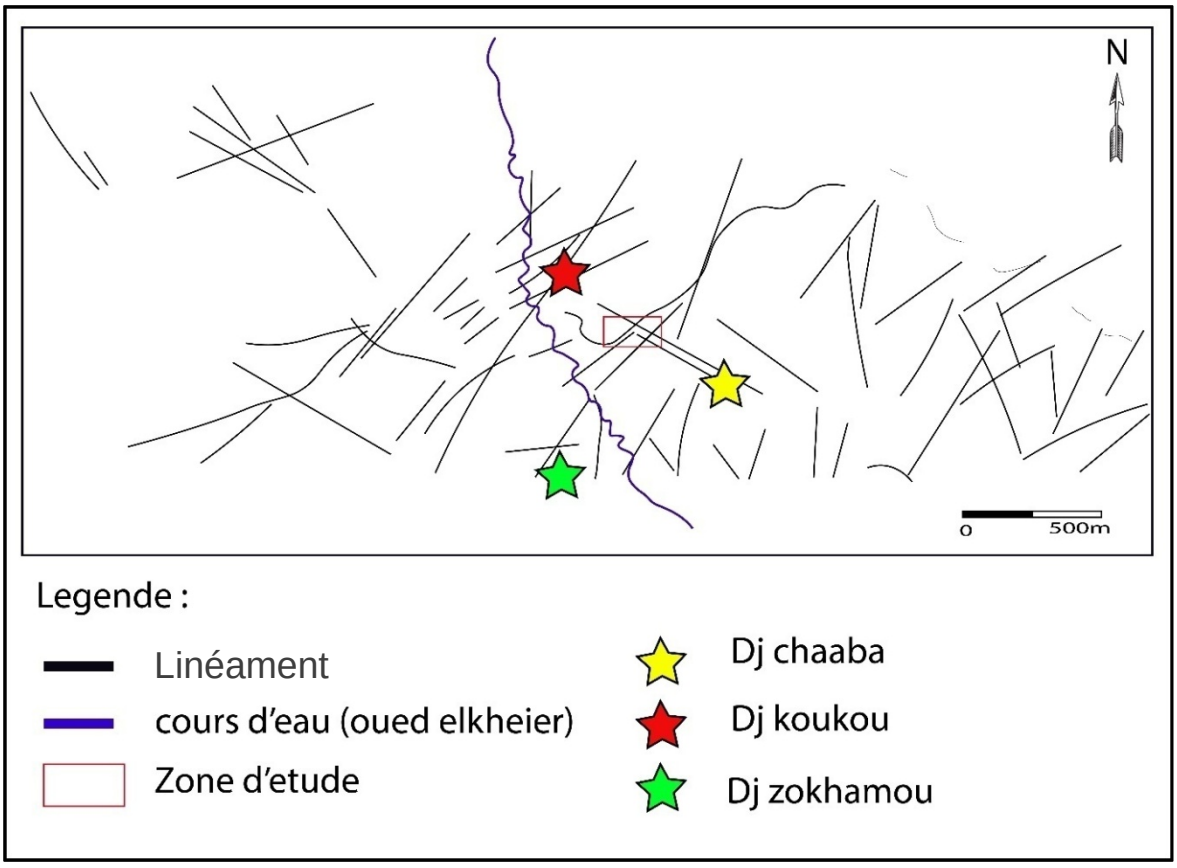


Fig. 42 : Carte linéamentaire de la région d'étude au 1/50 000°

III.3. Comparaison :

Situés dans les mêmes domaines structuraux (Atlas tellien méridional, chaine des Bibans), les deux sites (Koudiat Djebassa et Souagui) montrent des points communs tels que les roches sédimentaires (Marnes et calcaires essentiellement) qui constituent la majorité des deux terrains, ainsi que les calcaires à Inocérames qui s'intercalent entre ces formations.

En plus, on note la présence des formations triasiques dans les deux zones, elles jalonnent les contacts anormaux sous forme de masses de gypse blanc ou violacé, d'argiles bariolées, de blocs de cargneules, de dolomies et d'ophites….etc

Par contre, la différence entre les deux sites se résume comme suit :

- l'affleurement de calcaires à silex éocènes, faciès oligocènes de Boghari et les séries de marnes et grès calcareux miocènes au sein du site de Souagui et leur absence dans le site de Koudiat Djebassa.

Chapitre IV : Etude gîtologique

IV-1. INTRODUCTION :

Les nodules de barytine, objet de notre étude, correspondent à des concrétions calcaires de dessiccation qui cristallisent autour d'un nucleus que l'on rencontre dans des marnes et des couches argileuses. Ils présentent en leur sein des fentes de retrait plus moins remplies de calcite avec, parfois d'autres minéraux présentant des cristaux libres ou noyés dans la calcite (Quartz, barytine, célestite, dolomite, ankérite, etc). Dans certains nodules, on peut retrouver des restes fossilisés ainsi que, parfois des hydrocarbures fossiles.

L'étude gitologique des nodules de barytine a été faite sur la base des échantillons récoltés à Koudiat Djebassa par (GACI, 2013) et par (LAKHAL, 2018) au niveau de la région de Souagui. Afin d'essayer d'apporter un plus aux connaissances déjà existantes sur ces nodules, nous avons effectué des analyses physico-chimiques (Diffractométrie des rayons X: DRX et Fluorescence aux rayons X: FX) et une étude pétrographique des formations du complexe triasique associé.

IV-2- DECOUVERTE DES NODULES A BARYTINE DANS LES MARNES SENONIENNES DE KOUDIAT DJEBASSA ET DE SOUAGUI :

Ces nodules fibro-radiés de barytine ont été signalés pour la première fois par J. Savornin (1920a), puis par A. Caire (1957), N. Gaci (2015) et récemment par M A. Lakhal, (2018). Ils se rencontrent dans des terrains bien spécifiques des Bibans.

Dans le but de caractériser les nodules à barytine des deux régions d'étude, on a prélevé (récolté) des échantillons assez importants à partir des endroits différents dans la carrière de Djebassa, (El M'hir), (Fig.43) et dans le village de Sidi Ziane, Souagui (à73 km de la wilaya de Médéa), (Fig. 44). De plus, on a collecté des échantillons de faciès associés.

Savornin (1920a) pensait que ces nodules étaient caractéristiques du Maestrichtien en diverses localités de la zone sub-bibanique, mais d'après Caire (1957), on en trouve depuis le Campanien (et même peut-être dès le Santonien) et jusque dans le Dano-Montien.

Pour espérer trouver ces nodules dans les Bibans, il faut prospecter dans la limite Crétacé - Tertiaire (K-T). A Koudiat Djebassa, il faut chercher dans les marnes du Sénonien-Danien (C^{9-7}) plus ou moins étroitement associées à des calcaires à Inocérames (C^{8}), à Souagui il faut viser les couches marneuses gris noir du Maestrichtien-Danien (C^{9-10})

associées à des niveaux lenticulaires de marno-calcaires gris (Fig. 45). Ces étages sont très présents dans nos régions d'étude.

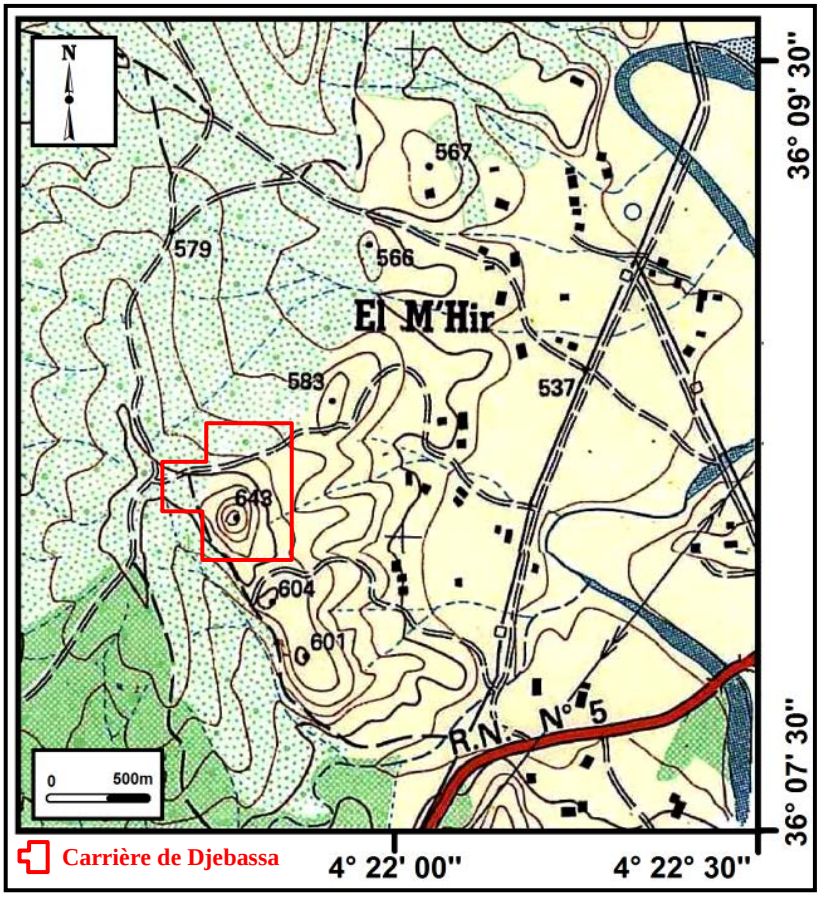


Fig.43 : Extrait de la carte topographique de Mansourah N° 72 Ouest au 1/25 000 montrant la localisation de la carrière de Djebassa.

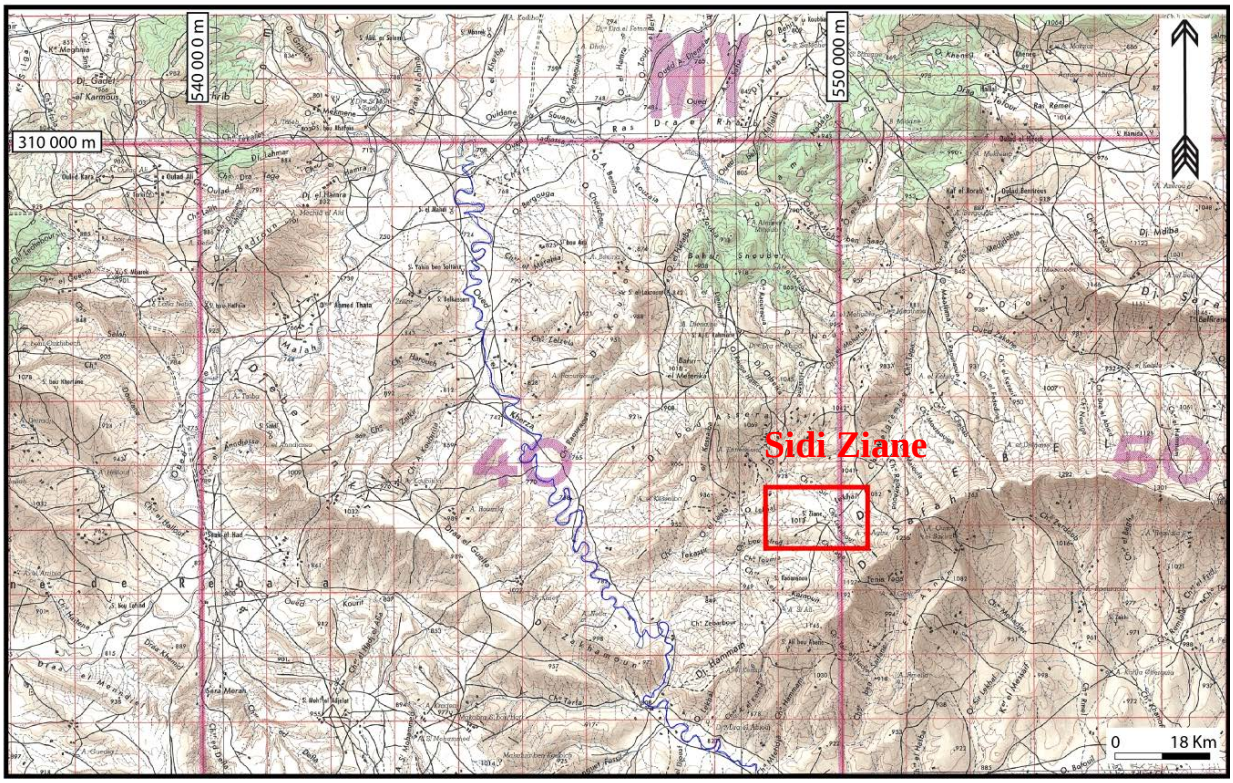


Fig. 44 : Extrait de la carte topographique de Souagui (111) au 1/50 000 montrant la localisation du secteur d'étude

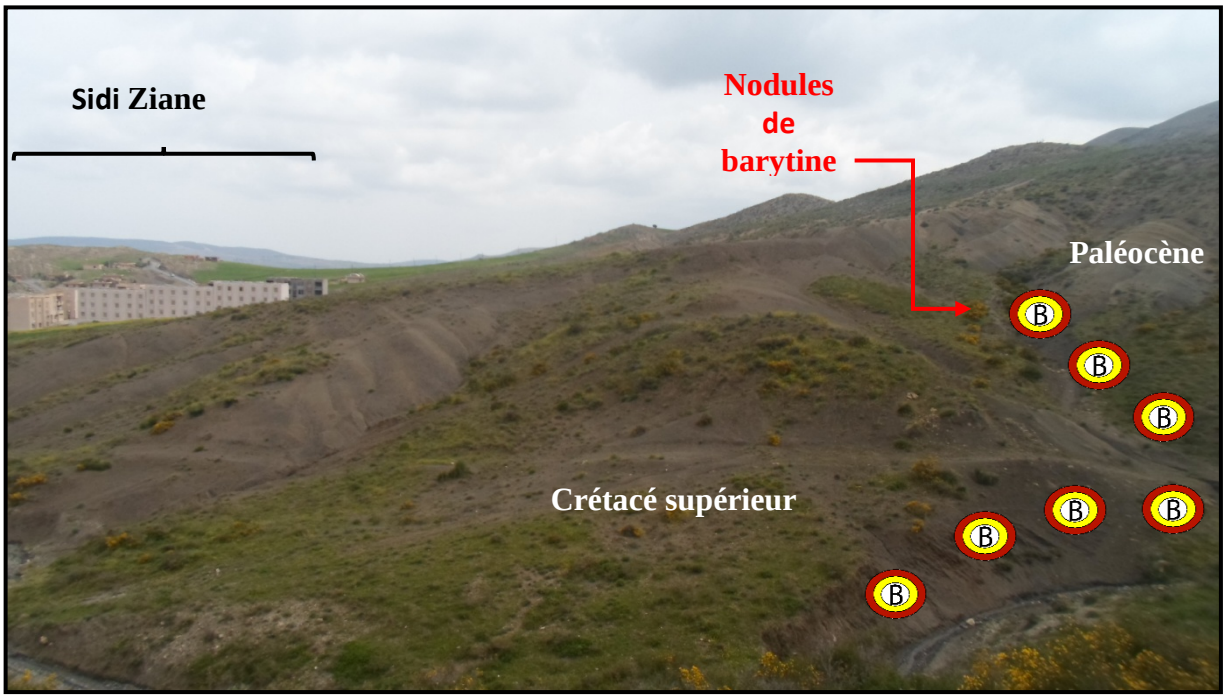


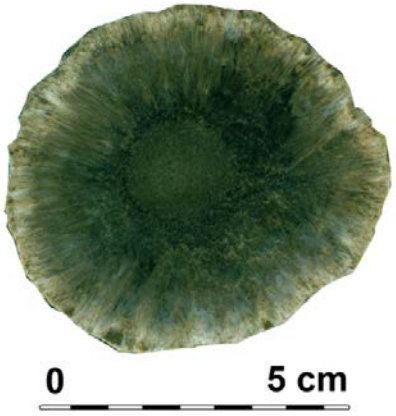
Fig.45 : Aspect des niveaux marneux gris noir (encaissant) porteurs de nodules de barytine à Souagui (Lakhal, 2018)

La découverte de gros nodules ne pourrait être que fortuite à la faveur de forts ravinements (fig.46), par contre certains niveaux fournissent encore de très petits nodules intéressants.

Fig.46 : Aspect des nodules à barytine encaissés dans les marnes sénoniennes à Souagui (Lakhal, 2018).

Les nodules ayant une forme de boule sont les plus intéressants. Les nodules aplatis ne recèlent que de fines fentes de calcite en leur centre et on n'obtiendra pas de belle géode. (fig.47).

Fig.47 : Aspect d'un nodule de barytine aplati de Koudiat Djebassa (Gaci, 2015).



IV-3- DESCRIPTION ET MORPHOLOGIE DES NODULES A BARYTINE:

IV-3.1- Les nodules à barytine de Koudiat Djebassa :

Les nodules radiés de barytine sont des miches qui présentent une forme ellipsoïdale plus ou moins aplatie, de 5 à 15 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 4 à 7 cm d'épaisseur. Le rapport du diamètre horizontal au diamètre vertical est communément entre 2/1 et 3/1, et le degré de planéité est supérieur dans les plus gros nodules. (Planche I). Ces miches présentent parfois un sillon marginal, comme si elles résultaient de l'accolement incomplet de deux disques légèrement renflés (fig. 48).

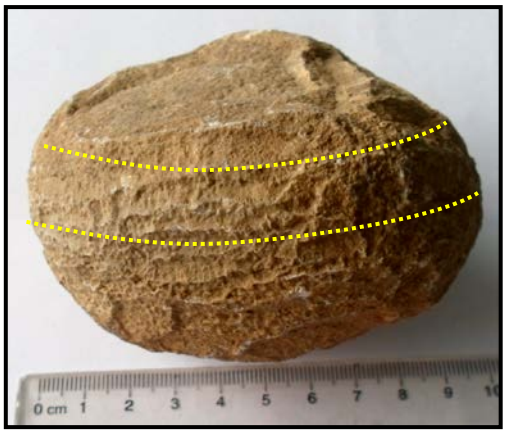


Fig.48 : Aspect extérieur d'un nodule à sillon marginal, (Gaci, 2015).

PLANCHE I : ASPECT MACROSCOPIQUE (EXTERIEUR) DES NODULES A BARYTINE DE KOUDIAT DJEBASSA.

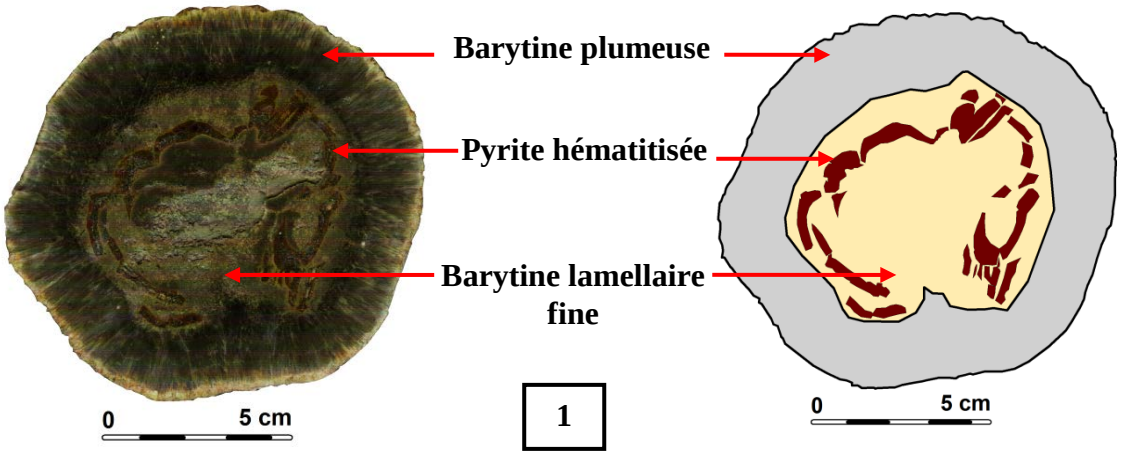
La surface de ces nodules est chagrinée, ou réticulée, creusée de cupules irrégulières larges de 2 à 3 cm que séparent des crêtes formant un réseau à mailles inégales, de teinte grise ou brun sombre à cause de l'abondance des oxydes de fer.

La partie centrale de certains nodules est constituée par de la barytine de couleur gris foncé, qui se dégrade vers l'extérieur en jaunâtre.

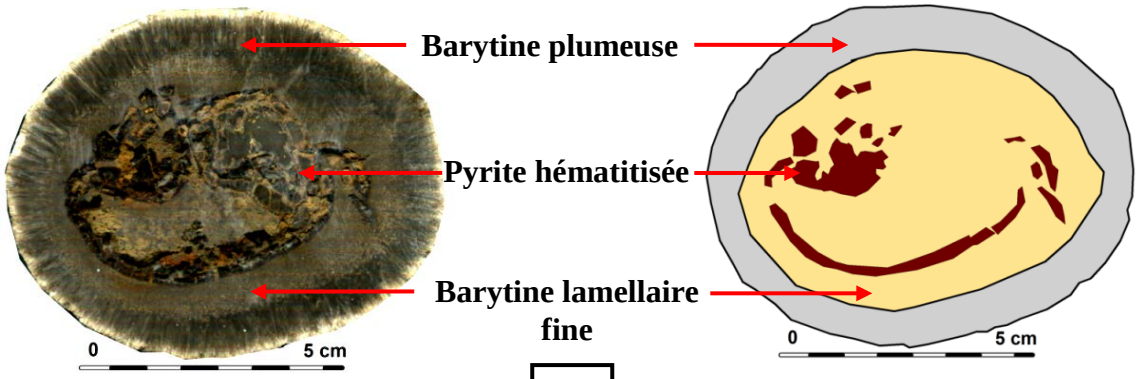
Des fissures remplies de calcite, dolomite, gypse, quartz et d'oxydes de fer leur confèrent des structures du type septaria. La périphérie de tels nodules est formée, sur une épaisseur de 2 à 4 cm, par des fibres radiales de barytine enduites de calcite brune. (Planche II). D'autres nodules sont entièrement fibro-radiés ou sphérolitiques, et formés de cristaux rayonnants de barytine grise.

Ces nodules montrent des réseaux de fissures larges, verticales ou radiales. Elles sont parfois étroites, concentriques (fig. 1, 2, 3, 6 ; Planche II), rectilignes (fig.4, Planche II), à bords parallèles, lenticulaires (fig.5, Planche II), et liés à des fentes de tension irrégulières accompagnées localement par une bréchification (fig.3, Planche II).

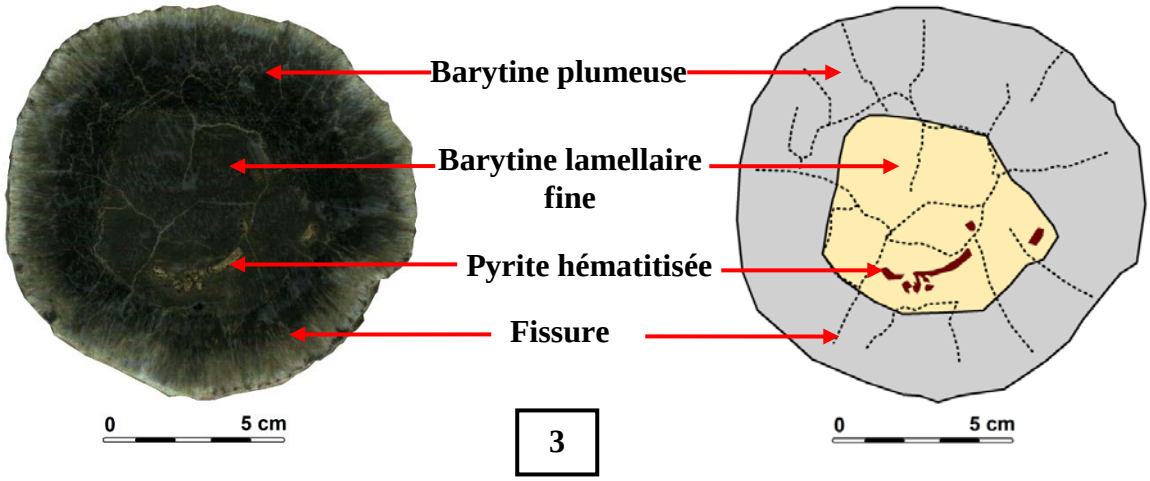
PLANCHE II : COUPES DE NODULES A BARYTINE DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA DE KOUDIAT DJEBASSA.



1

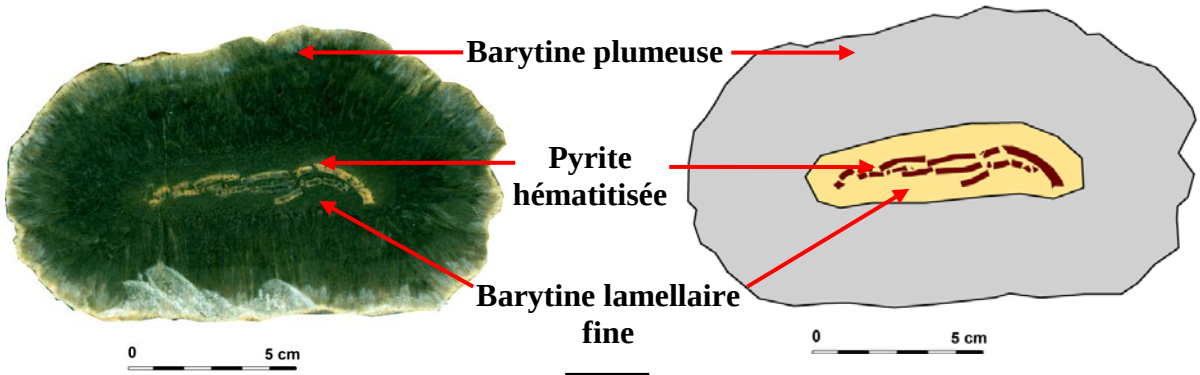


2

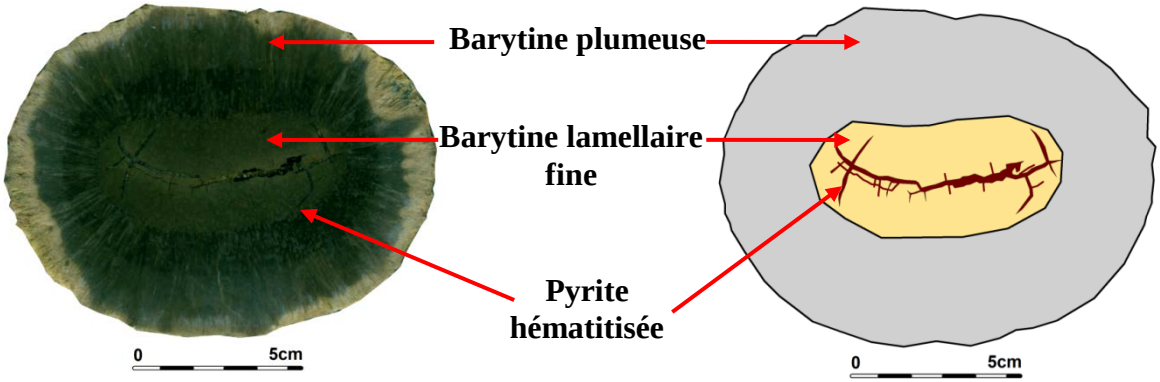


3

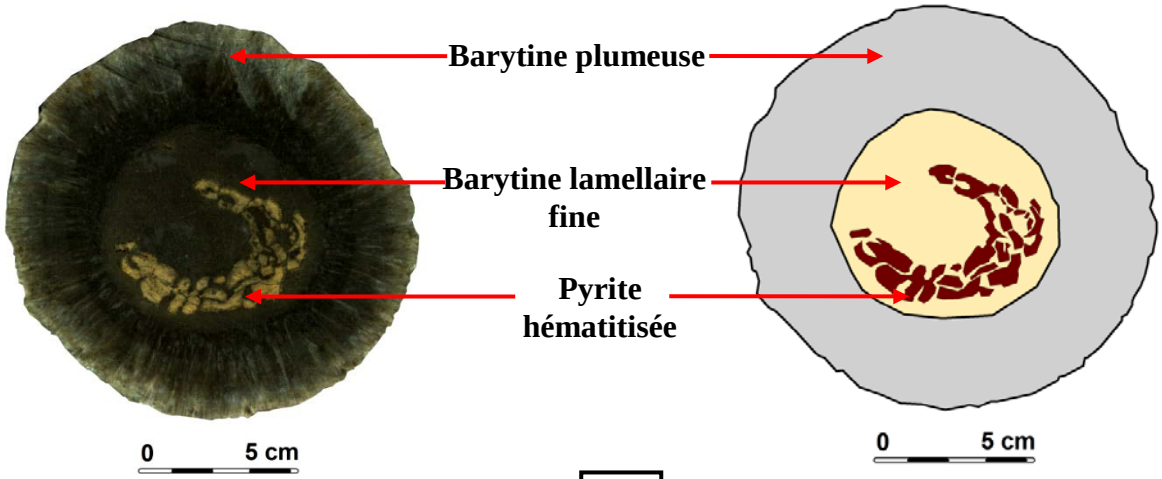
PLANCHE II : COUPES DES NODULES A BARYTINE DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA – SUITE -



4



5



6

IV-3.2- Les nodules à barytine de Souagui :

Les nodules radiés de barytine de la région de Souagui sont des boules qui présentent une forme ellipsoïdale plus ou moins aplatie, de 5 à 10 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 5 à 15 cm d'épaisseur. Le rapport du diamètre horizontal au diamètre vertical est communément entre 1/2 et 1/3, et le degré de planéité est supérieur dans les plus gros nodules. (Planche III). Ces miches présentent parfois un sillon marginal (fig.49).

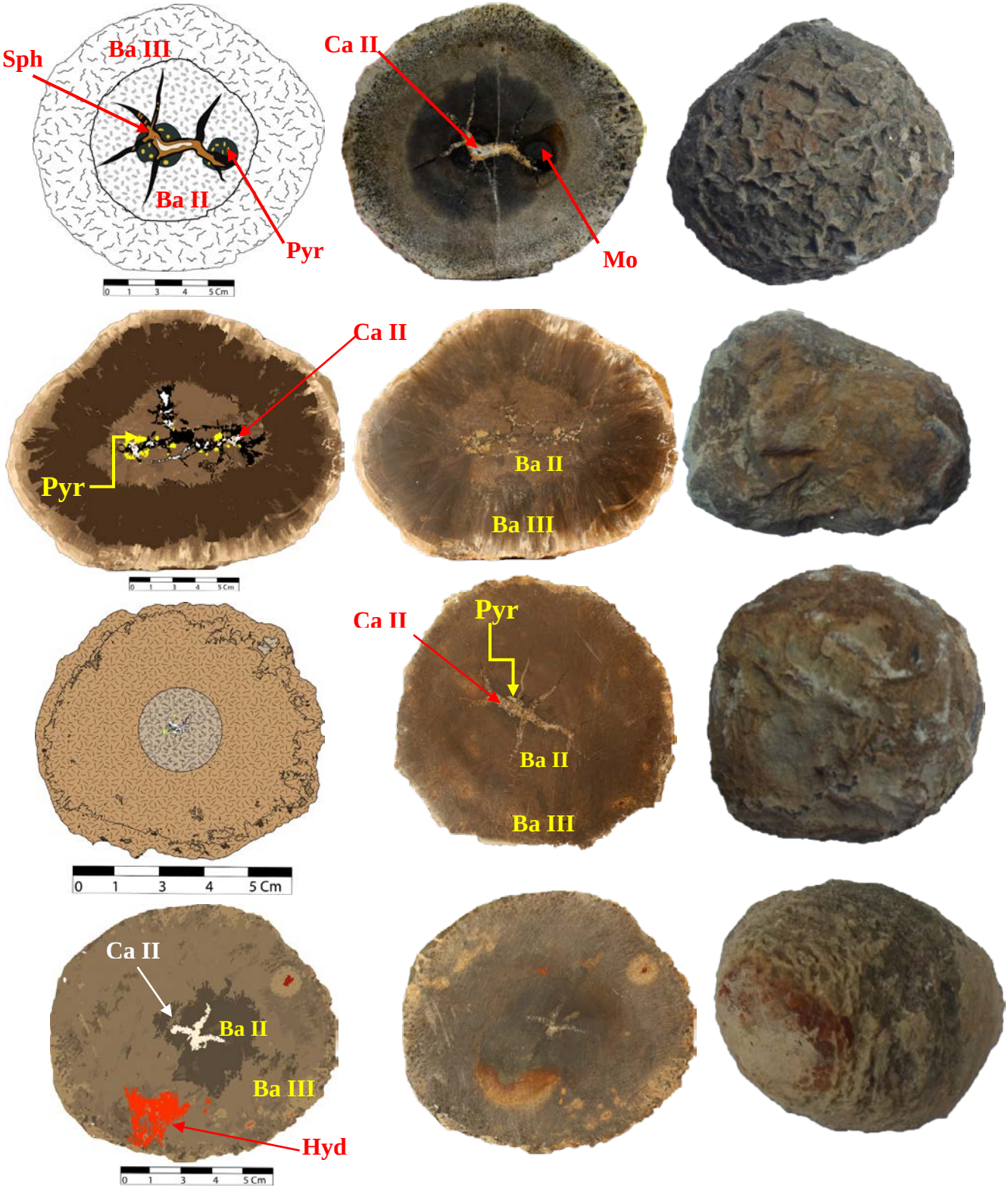
Fig.49 : Aspect extérieur d'un nodule à sillon marginal, (Lakhal, 2018)

La surface de ces nodules est chagrinée, creusée de cupules irrégulières larges de 2 à 3 cm que séparent des crêtes formant un réseau à mailles inégales (fig.50), de teinte grise ou brun sombre à cause de l'abondance des oxydes de fer. Par altération, cette surface prend une teinte jaune clair.

Fig.50 : Surface chagrinée d'un nodule à barytine de Souagui (Lakhal, 2018)

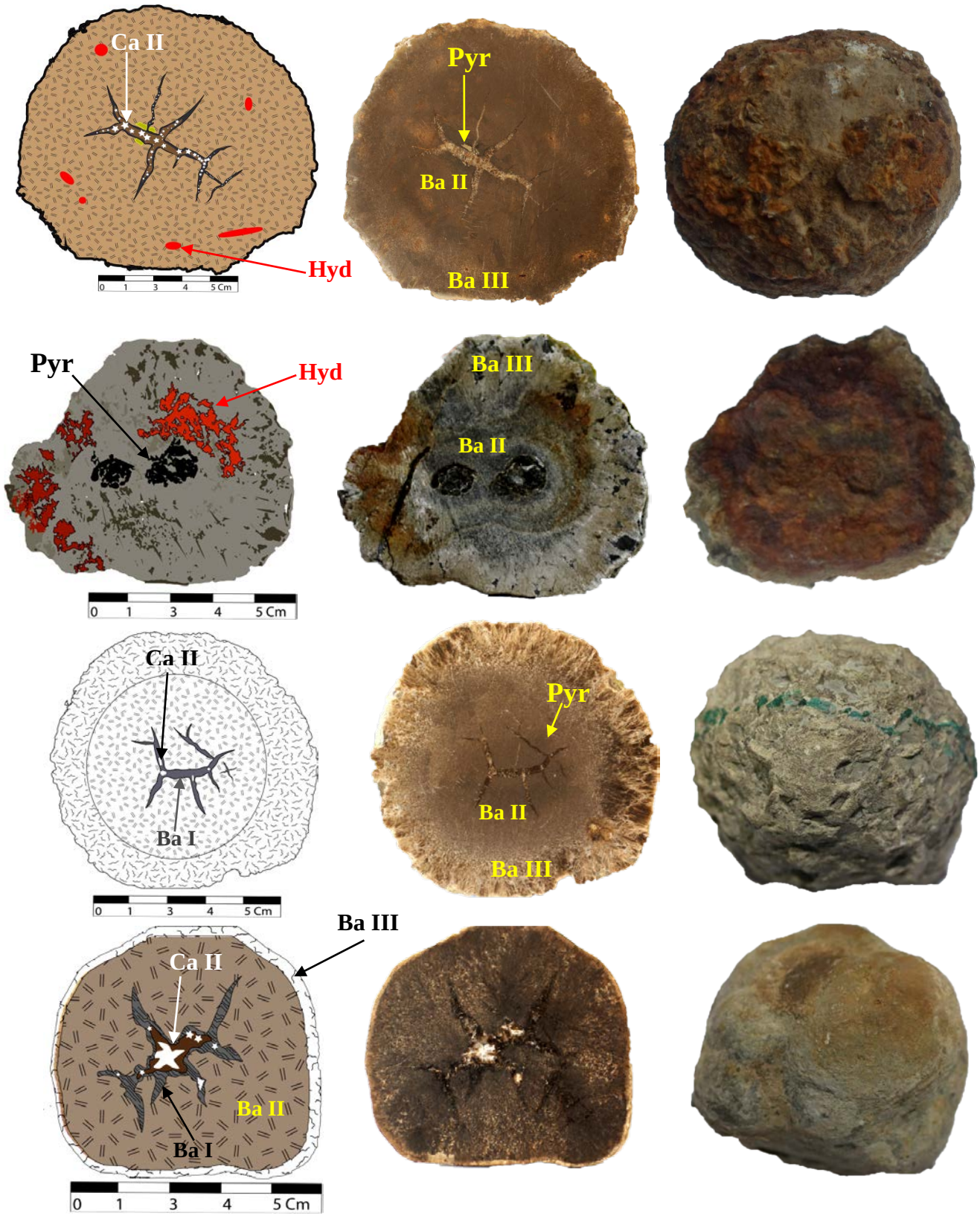
La partie centrale de certains nodules montre des fissures en étoile, remplies de calcite, dolomite,sphalérite, gypse, quartz, pyrite, marcassite et d'oxydes de fer, ce qui leurs confèrent des structures du type **septaria** (fig. 51).

PLANCHE III : ASPECT EXTERIEUR DES NODULES A BARYTINE DE SOUAGUI AVEC LEURS COUPES DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA



Ba III : Barytine plumeuse**, Ba II:** Barytine lamellaire**, Pyr :** Pyrite**, Sph:** Sphalérite**, Ca II :** Calcite microsparitique**, Mo :** Matière Organique, **Hyd :** Hydroxydes de fer

PLANCHE III : ASPECT EXTERIEUR DES NODULES A BARYTINE DE SOUAGUI AVEC LEURS COUPES DONT LE CENTRE OFFRE UNE STRUCTURE SEPTARIA –SUITE-



Ba III : Barytine plumeuse**, Ba II:** Barytine lamellaire**, Ba I :** Barytine du nucléus, **Pyr :** Pyrite**, Sph:** Sphalérite**, Ca II :** Calcite microsparitique**, Mo :** Matière Organique, **Hyd :** Hydroxydes de fer

La périphérie de tels nodules est formée, sur une épaisseur de 2 à 4 cm, par des fibres radiales de barytine enduites de calcite brune. D'autres nodules sont entièrement fibro-radiés ou sphérolitiques, et formés de cristaux rayonnants de barytine grise. (fig. 52).

Fig.51 : Un nodule à barytine à structure Septaria de Souagui (Lakhal, 2018).

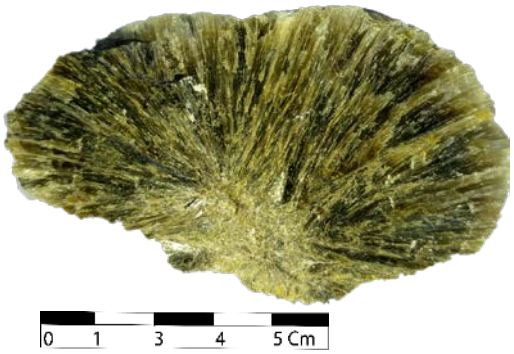


Fig.52 : Coupe d'un nodule fibro-radié banal de Souagui (Lakhal, 2018).

IV-4- MINERALOGIE DES NODULES A BARYTINE :

IV-4-1. Analyse par diffractométrie des rayons X (DRX) :

A. Principe d'analyse :

L'échantillon solide finement broyé est monté sur un porte échantillon adéquat, puis soumis à un faisceau de rayons X pour être diffractés par les plans réticulaires des phases cristallines présentes. En effet, il existe une relation entre l'angle du faisceau diffracté et la distance réticulaire séparant les plans d'atomes au sein d'un réseau cristallin; celle-ci est régie par :

La loi de Bragg **$n\lambda = 2d\sin\theta$** (où λ =longueur d'onde en angströms, d= distance réticulaire en angströms et θ = angle de diffraction ou de réflexion en degrés).

Les diffractogrammes ainsi obtenus, à l'aide d'un diffractomètre à rayons X, sont interprétés. Les positions et les intensités des pics observés sont comparés au fichier de référence ***PDF-ICDD*** (Powder Diffraction File-International Center for Diffraction Data) pour l'identification des phases minéralogiques présentes.

B. Conditions d'analyses :

Diffractomètre PANalytical: XPERT-PRO, tube radiogène céramique à anticathode de cuivre, puissance du générateur à RX: 40 mA, 45 kV
Logiciel pour l'acquisition des données: ***DataCollector de PANalytical.***
Logiciel pour traitement des données: ***HighScore Plus de PANalytical.***
Longueur d'onde CuKα [Å]: 1,5418
Angle de départ [°2Th.]: 2,0000
Angle final [°2Th.]: 70,0000
Taille du pas [°2Th.]: 0,0170
Temps du pas [s]: 91,7599

IV-4-2. Interprétation des résultats :

A. Le site de Koudiat Djebassa :(Planche IV)

L'analyse minéralogique est effectuée afin de préciser la nature des phases minérales constituantes de nodules à barytine de Koudiat Djebassa, ces derniers qui représentent une certaine zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes (fig. 1, Planche IV):

- la partie périphérique ou la bordure,
- la partie intermédiaire,
- la partie centrale ou le nucléus.

- **La partie périphérique ou la bordure :**

L'analyse de la bordure de ces nodules par diffractométrie aux rayons X, a mis en évidence la forte prédominance de la barytine, avec la présence de la calcite en faible proportion. Quant au quartz, il se trouve en trace. (fig. 53)

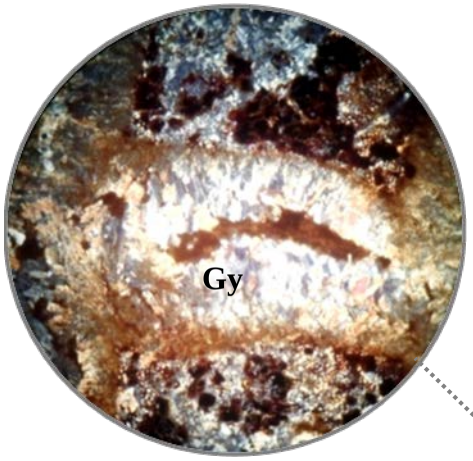


Fig.7: Gypse (Gy) sous forme d'agrégats de cristaux automorphes à sub-automorphes, de couleur gris-jaunâtre qui forment des textures drusiques isolées. Lame mince, LPA. G. X 10

Fig.1 : Nodule à barytine montrant une zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes : la partie périphérique ou la bordure, la partie intermédiaire et la partie centrale ou le nucléus.

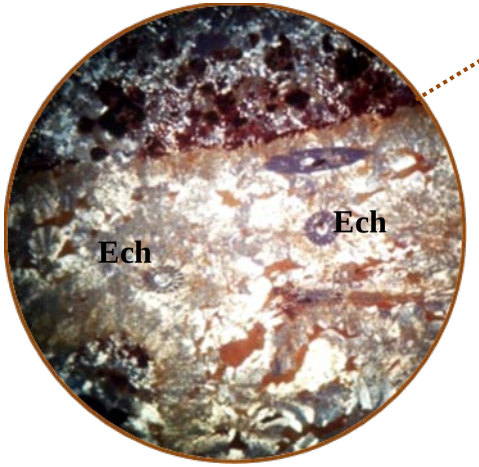
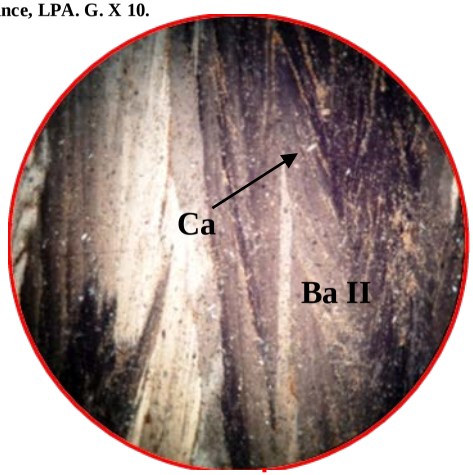
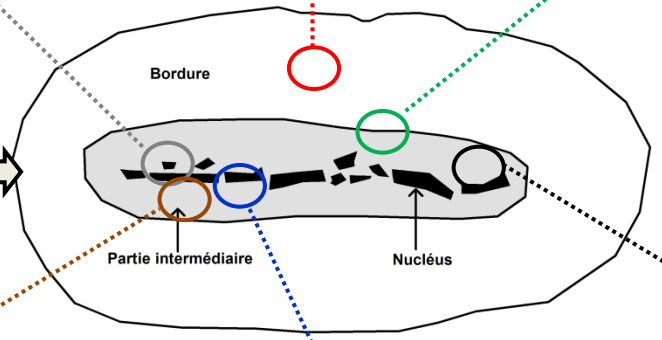


Fig.6 : Des sections basales d'Echinodermes (Ech) Lame mince, LPA. G. X 10.

Fig.2 : Cristaux plumeux de barytine (Ba II) de la bordure du nodule, qui s'imbriquent les uns dans les autres, renfermant de petites inclusions de calcite (Ca). Lame mince, LPA. G. X 10.





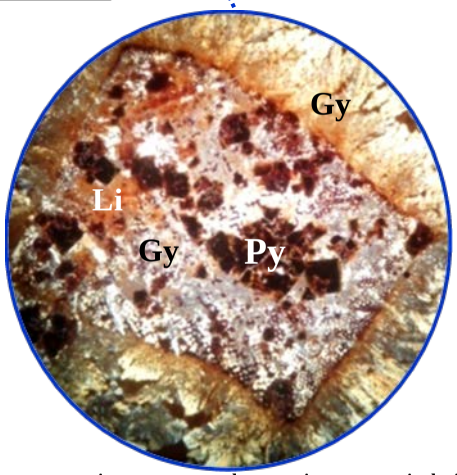


Fig.5 : Structures organiques automorphes contiennent en inclusions des petits cristaux du gypse (Gy), des cubes de pyrite hématitisée (Py) ainsi que de la limonite (Li). Le gypse se présente en agrégats de cristaux automorphes à sub-automorphes, de couleur gris-jaunâtre, tapissant les contours des structures organiques. Lame mince, LPA. G. X 10.

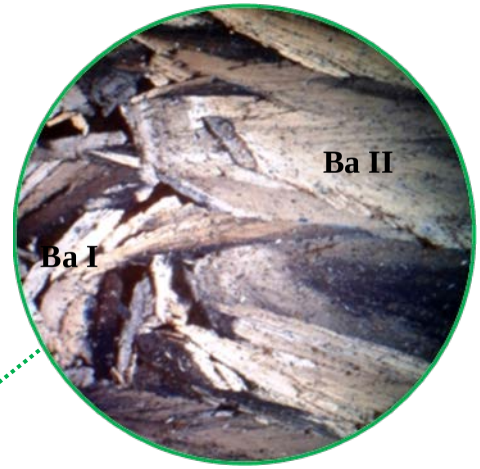


Fig. 3 : Contact entre les cristaux plumeux de la barytine (Ba II) et les petits cristaux lamellaires de la barytine (Ba I) qui occupe la partie intermédiaire du nodule. Lame mince, LPA. G. X 10.

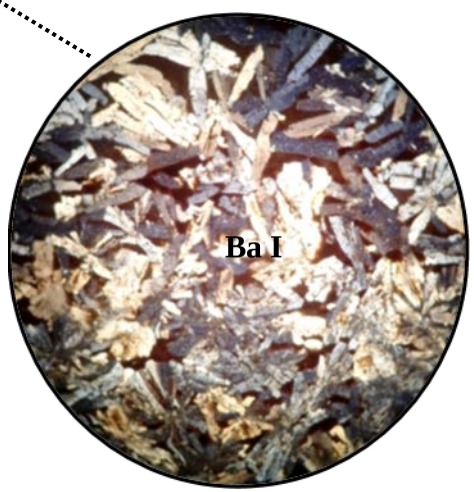


Fig.4 : Barytine (Ba I) en petits cristaux lamellaires ou en rosettes de couleur gris-jaunâtre à gris foncé. Les interstices entre les lamelles sont à remplissage de limonite (Li). Lame mince, LPA. G. X 10.

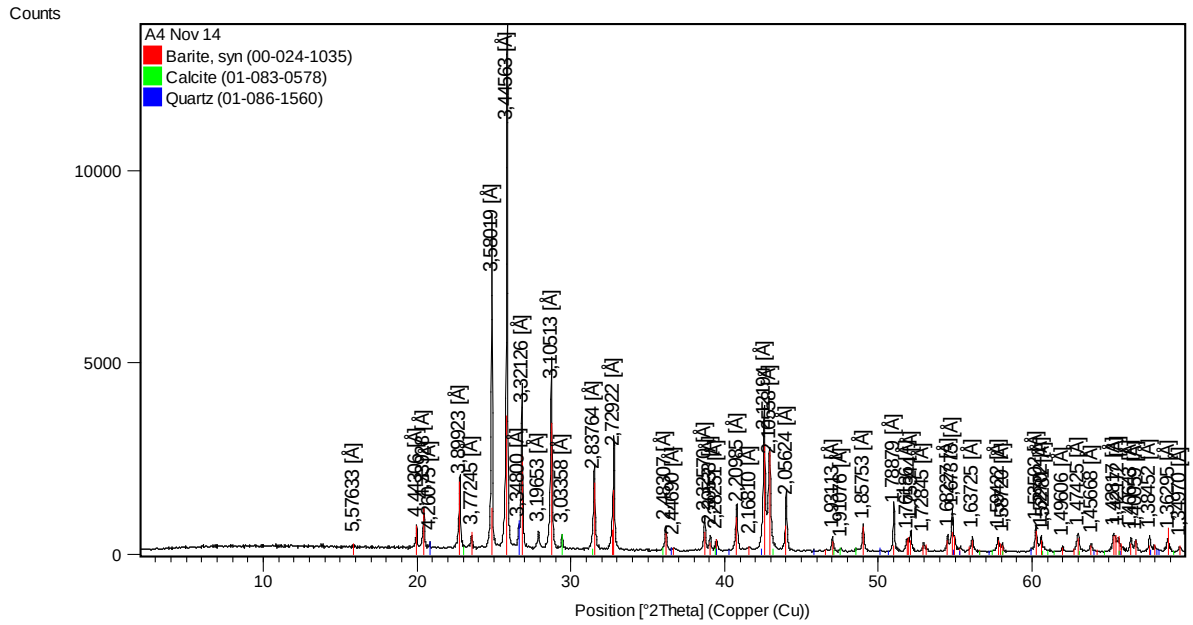


Fig. 53 : Diffractogramme aux RX de la bordure du nodule à barytine.

La barytine constitue le minéral le plus abondant. Les cristaux grisâtres de barytine (Ba.II) provenant de la bordure de ces nodules s'expriment sous forme de prismes aciculaires dont la base est dirigée vers la périphérie. Leur taille varie entre 5 mm à 10 mm de longueur.

Microscopiquement, la barytine est caractérisée par son relief fort, de couleur blanche à grisâtre, se présente sous forme de cristaux plumeux qui s'imbriquent les uns dans les autres et évoquent une extinction roulante analogue à celle de la dolomite « saddle ». Par endroits, elle renferme de petites inclusions de calcite et de quartz (fig. 2, Planche IV).

- **La partie intermédiaire et le nucléus:**

L'analyse de diffractométrie aux rayons X effectuée sur la partie intermédiaire et centrale des nodules à barytine montre la prédominance de la barytine, avec la présence du quartz en faible proportion. Quant au gypse, il est en trace. (fig. 54).

La barytine (Ba.I) occupe la partie intermédiaire des nodules, elle s'exprime sous forme de petits cristaux lamellaires, de couleur gris-jaunâtre à gris foncé. Parfois elle se présente sous forme des petites lamelles formant des rosettes. Lorsque les cristaux s'imbriquent les uns dans les autres, les interstices entre les lamelles sont à remplissage de limonite qui correspond au produit de déshydratation de l'hématite (fig. 3 et 4, Planche IV).

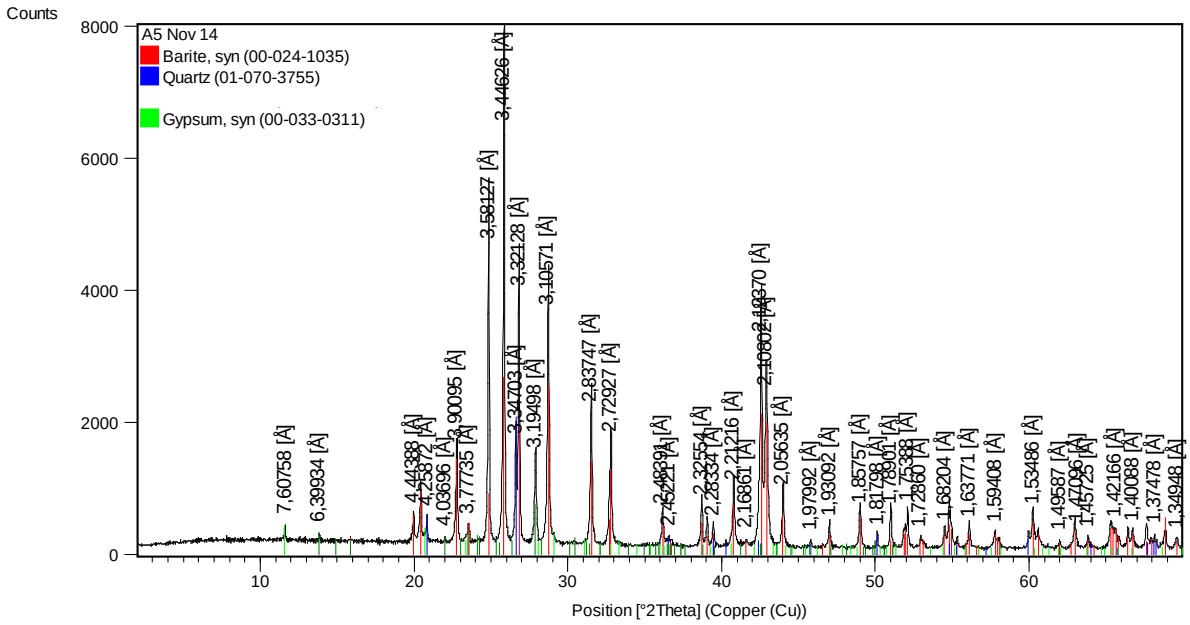


Fig. 54 : Diffractogramme aux RX de la partie intermédiaire et centrale du nodule à barytine.

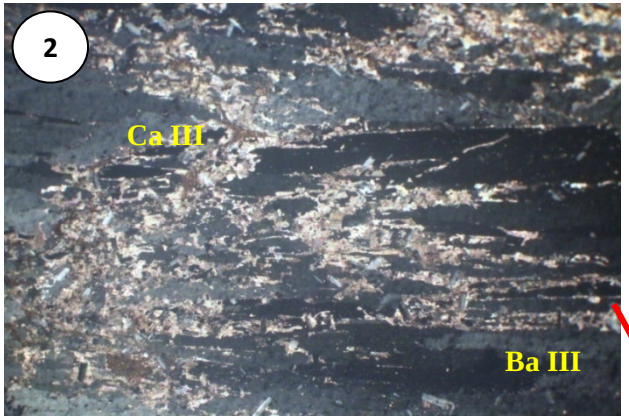
Le nucléus de ces nodules quant à lui, révèle la présence de structures organiques automorphes (plaques d'Echinodermes) qui contiennent en inclusions des petits cristaux du gypse, de la dolomite, des cubes de pyrite hématitisée ainsi que de la limonite, l'ensemble des ferruginisations forme un tissu perforé surtout au niveau des contours de ces structures organiques (fig. 5, Planche IV). Des sections basales de radioles d'Echinodermes sont également à signaler dans cette partie (fig. 6, Planche IV).

Le gypse se présente en agrégats de cristaux automorphes à sub-automorphes, de couleur gris-jaunâtre, ils forment des textures drusiques isolées et parfois ils tapissent les contours des structures organiques décrites ci-dessus. (fig. 7, Planche IV).

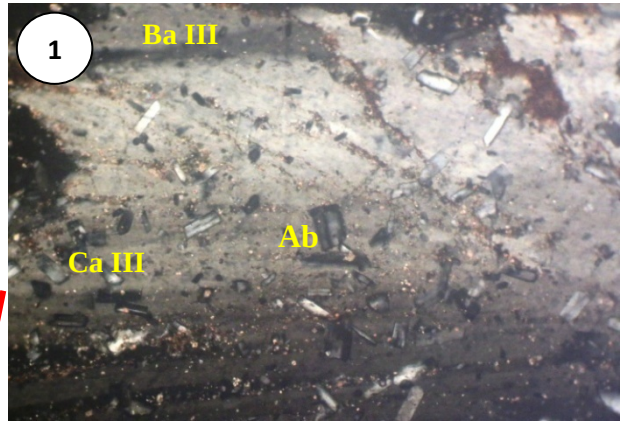
B. Le site de Souagui :(Planche V)

L'analyse minéralogique est effectuée dans le but de préciser la nature des phases minérales constituantes de nodules à barytine de la région de Souagui, ces derniers qui représentent une certaine zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes (Planche V).

- la partie périphérique ou la bordure,
- la partie intermédiaire,
- la partie centrale ou le nucléus.



Calcite III interstitielle entre les cristaux plumeux de la barytine III. Lame mince, LPA. G. X 10.



Cristaux plumeux de barytine (Ba III) de la bordure du nodule, qui s'imbriquent les uns dans les autres, renfermant de petites inclusions de calcite (Ca III) et d'albite (Ab). Lame mince, LPA. G. X 10.

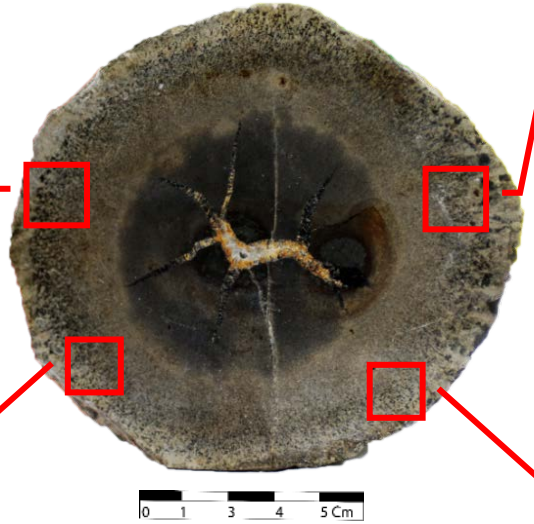
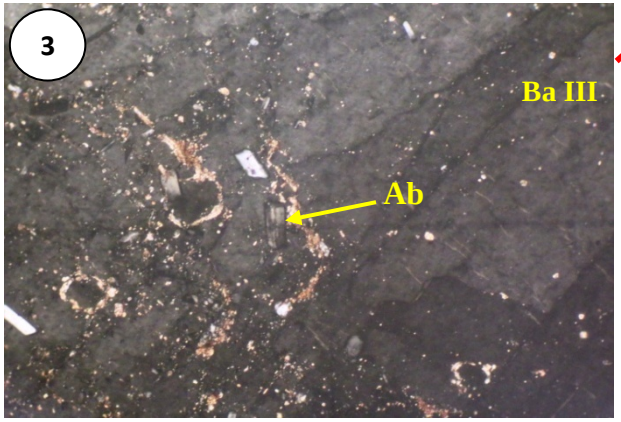
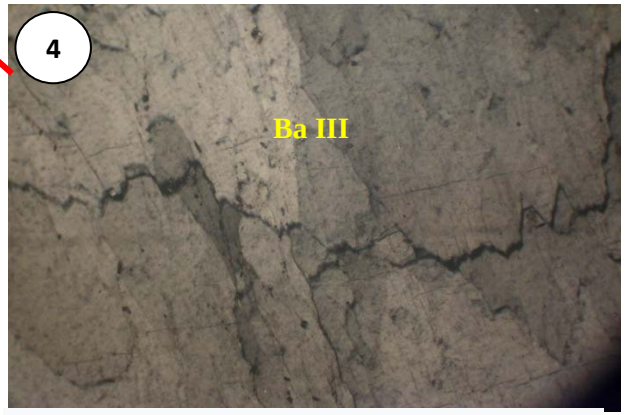


Planche V : Zonation texturale d'un nodule de barytine.



Albite (Ab) à macle Roc Tourné en inclusion dans la barytine plumeuse (Ba III). Lame mince, LPA.G. X 10.



Contact stylolitique entre les cristaux plumeux de barytine (Ba III). Lame mince, LPA. G. X 10

❖ **La partie périphérique ou la bordure :**

L'étude microscopique de la bordure de ces nodules a mis en évidence la forte prédominance de la barytine, avec la présence de la calcite, quartz et albite (Planche V).

➢ **Barytine (BIII):**

La barytine constitue le minéral le plus abondant. Les cristaux grisâtres de barytine (Ba.III) provenant de la bordure de ces nodules s'expriment sous forme de prismes aciculaires dont la base est dirigée vers la périphérie. Leur taille varie entre 5 mm à 10 mm de longueur.
Microscopiquement, la barytine est caractérisée par son relief fort, de couleur blanche à grisâtre, se présente sous forme de cristaux plumeux qui s'imbriquent les uns dans les autres et évoquent une extinction roulante analogue à celle de la dolomite « saddle ». Par endroits, elle renferme de petites inclusions de calcite, quartz et albite (fig. 1 et 4, Planche V).

➢ **Calcite :**

- **Calcite comblant les fractures tectoniques (CIII)** :

Ces calcites (CIII) ont été observées dans la périphérie de tous les nodules. Elles s'observent surtout en remplissage d'interstices entre les cristaux plumeux de la barytine III. Elles sont de couleur blanche et bien cristallisées. Elles apparaissent généralement limpides et présentent une extinction roulante (fig.2, Planche V).

➢ **Albite :**

Elle se présente sous forme de petits cristaux allongés à macle du Roc Tourné (fig.3, Planche V), elle s'observe en inclusions dans la barytine III.

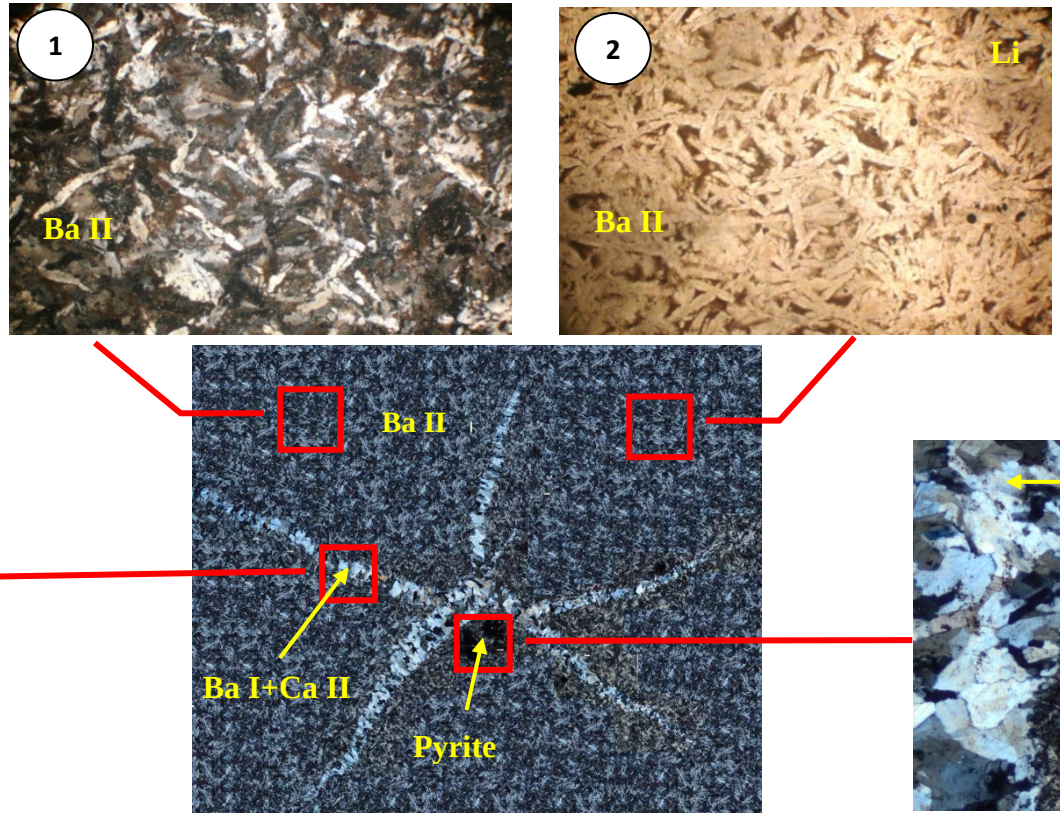
➢ **Quartz :**

Il se présente sous forme de cristaux bipyramidés, trapus de taille inférieure à 80µm, de couleur gris bleuâtre à gris jaunâtre. Ils montrent des bordures soulignées par des impuretés sombres .Comme il peut se présenter sous forme de cristaux xénomorphes à texture jointive.

❖ **La partie intermédiaire et le nucléus:**

L'étude microscopique effectuée sur la partie intermédiaire et centrale des nodules à barytine de Souagui montre la prédominance de la barytine Ba II et Ba I, avec la présence du quartz, de calcite CII et CI et les minéraux opaques (sulfures : pyrite et marcassite). (Planche VI).

Barytine (Ba II) en petits cristaux lamellaires ou en rosettes de couleur gris-jaunâtre à gris foncé. Les interstices entre les lamelles sont à remplissage de limonite (Li). Lame mince, LPA et LPNA . G. X 10.



Barytine (Ba II) en petits cristaux lamellaires avec le passage des filonnets de calcite II et barytine I. Lame mince, LPA. G. X 10.

Pyrite (Pyr) disséminée dans la barytine Ba II dans la partie centrale du nodule de barytine. Lame mince, LPA. G. X 10.

Planche VI : La partie intermédiaire et le nucléus d'un nodule de barytine. Lame mince. LPA. G. X 10.

- **Barytine (BII) et (BI) :**

La barytine (BaII) occupe la partie intermédiaire des nodules, elle s'exprime sous forme de petits cristaux lamellaires, de couleur gris-jaunâtre à gris foncé. Parfois elle se présente sous forme des petites lamelles formant des rosettes (fig.1et 2, Planche VI).

- **Calcite microsparitique (CII)** :

Un indice de recristallisation des composants carbonatés de la matrice du nucleus des nodules à barytine est apporté par la présence de calcite microsparitique (CII) en remplacement de la micrite initiale.

Au microscope, elle se présente généralement sous forme de petits cristaux recristallisés constituant une mosaïque (fig. 3, Planche VI).

- **Calcite remplaçant les microfossiles (CI) :**

Les observations microscopiques des nodules à barytine montrent des signes de recristallisation des calcites biogéniques. Les parois initialement aragonitiques ou calcitiques riches en foraminifères et lamellibranches ont été remplacées par de la calcite sans limites de grains apparentes. Cette génération de calcite diagénétique (CI) semble être la première à se former au cours de l'enfouissement.

- **Pyrite :**

Elle se présente en petits cristaux automorphes (cubiques) généralement oxydés **(**hématitisées) et disséminés au centre des nodules à barytine (fig.4, Planche VI).

IV-4-2. Analyse chimique des nodules à barytine :

IV-4-2-1. Analyse par fluorescence des rayons X (FX) :

A. Principe d'analyse :

L'échantillon calciné, réduit en poudre est mélangé à du tétraborate de lithium, puis il est fondu à 1200°C afin d'obtenir un verre transparent homogène (perle boratée) qui sera utilisé pour l'analyse des éléments majeurs et mineurs. En ce qui concerne l'analyse des traces, l'échantillon brut est mélangé à un liant pour subir un pressage et obtenir une pastille.

La perle ou la pastille obtenue est soumise à une source de rayonnement X primaire. Il s'ensuit une excitation des atomes qui vont émettre un rayonnement X secondaire de fluorescence caractéristique de la composition chimique de l'échantillon à analyser.

B. Conditions d'analyses :

Spectromètre séquentiel (à dispersion de longueur d'onde) Bruker- S8 TIGER.

Anode en rhodium.

Logiciel pour le traitement des données : Spectra plus.

La concentration d'un échantillon inconnu est déterminée par des courbes d'étalonnage qui sont tracées pour chaque élément après avoir fixé tous les paramètres de mesure (kV-mA, cristal analyseur, collimateur, la longueur d'onde d'émission, le temps de mesure et le détecteur).

La perte au feu (PAF) est obtenue par calcination de l'échantillon brut à l'état naturel (sans séchage) dans un four à 1050°C pendant deux heures.

Elle exprime la fraction volatile de l'échantillon (humidité, CO_2, matière organique etc.).

IV-4-2-2. Interprétation des résultats :

A. Le site de Koudiat Djebassa :(Tableau 4).

Du point de vue chimique et suite à la méthode physique d'analyse (FRX), le nucleus et la périphérie des nodules de barytine de la région de Koudiat Djebassa présentent les compositions suivantes :

- Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO**) : entre **53 à 59%** dans les nucleus des nodules et entre **64 à 74%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **17,04 à 17,88%** dans les nucleus des nodules et entre **18 à 20%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **11 à 15%** dans les nucleus des nodules et entre **04 à 09%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **4%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

Remarque : la lettre **N** représente l'échantillon de la partie centrale ou le nucleus du nodule tandis que la lettre **P** indique celui de la partie périphérique du même nodule.

Désignation	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Mn_2O_3	Fe_2O_3	BaO	PAF	TOTAL
Djb-1N	0,74	0,55	2,07	11,14	0,06	17,88	0,04	3,96	0,10	<0,01	1,31	59,37	2,80	100,02
Djb-1P	0,55	0,10	0,55	6,65	0,02	20,07	0,03	0,44	0,08	<0,01	0,19	70,88	0,90	100,46
Djb-2N	0,64	0,57	1,86	15,46	0,06	17,49	0,02	1,60	0,11	<0,01	1,47	56,82	4,10	100,20
Djb-2P	0,61	0,16	0,82	9,20	0,03	18,56	0,02	4,12	0,07	<0,01	0,38	64,11	2,00	100,08
Djb-3N	1,06	0,52	3,80	15,75	0,11	17,04	0,16	2,09	0,15	<0,01	2,79	53,45	3,90	100,82
Djb-3P	0,51	0,06	0,45	4,16	0,02	20,28	0,02	0,33	0,07	<0,01	0,12	74,42	0,40	100,84
Djb-4N	0,82	0,50	1,98	12,20	0,06	17,86	0,03	3,65	0,11	<0,01	1,28	59,37	3,00	100,86
Djb-4P	0,57	0,09	0,52	5,53	0,02	20,14	<0,01	0,87	0,06	<0,01	0,19	71,57	1,20	100,76

Tableau 4 : Compositions chimiques des nucleus et périphéries des nodules à barytine de la région de Koudiat Djebassa.

B. Le site de Souagui :(Tableau 5).

L'analyse des parties centrales (nucleus) et les parties périphériques des nodules à barytine de Souagui par la méthode physique d'analyse (Fluorescence des rayons X), a mis en évidence les proportions suivantes :

- Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO**) : entre **47 à 65%** dans les nucleus des nodules et entre **59 à 73%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **13 à 18%** dans les nucleus des nodules et entre **16 à 19%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **09 à 23%** dans les nucleus des nodules et entre **03 à 15%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **5%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

Remarque : la lettre **N** représente l'échantillon de la partie centrale ou le nucleus du nodule tandis que la lettre **P** indique celui de la partie périphérique du même nodule.

Désignation	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Mn_2O_3	Fe_2O_3	BaO	PAF	TOTAL
SGI-1N	1,50	0,28	2,74	23,68	0,09	13,69	0,04	5,10	0,13	<0,01	0,94	47,50	4,70	100,39
SGI-1P	1,38	0,16	2,28	15,47	0,06	16,59	0,03	1,38	0,10	<0,01	0,50	59,11	3,20	100,26
SGI-2N	1,54	0,13	1,89	10,69	0,06	17,64	0,02	2,24	0,09	<0,01	0,20	63,49	2,60	100,59
SGI-2P	0,94	0,07	1,01	5,53	0,04	19,23	0,01	1,33	0,08	<0,01	0,14	71,08	1,40	100,86
SGI-3N	1,25	0,55	3,01	11,72	0,08	17,99	0,10	2,52	0,13	0,01	0,74	58,84	3,80	100,74
SGI-3P	0,86	0,19	1,61	5,40	0,04	19,65	0,06	1,00	0,09	<0,01	0,30	69,01	2,20	100,41
SGI-4N	1,30	0,09	1,60	9,07	0,05	17,84	0,01	1,72	0,08	<0,01	0,14	65,09	3,40	100,39
SGI-4P	0,76	0,05	0,65	3,28	0,02	19,71	<0,01	1,04	0,06	<0,01	0,07	73,18	1,30	100,12

Tableau 5 : Compositions chimiques des nucleus et périphéries des nodules à barytine de la région de Souagui.

IV-5- ORIGINE ET MODE DE FORMATION :

Le processus et mode de formation des nodules à septaria, reste un mystère. Selon (Pratt, 2001), un certain nombre de mécanismes tels que : la déshydratation des noyaux riches en argiles, en gels , ou riches en matières organiques; retrait du centre du nodule; expansion des gaz produits par la décomposition de la matière organique; fracturation ou le rétrécissement de l'intérieur des nodules soit par des tremblements de terre ou par compaction, ont été proposés pour expliquer la formation de nodules à septaria.

D'après (Mostefai et Beaudoin, 1996), les principaux mécanismes invoqués quant à la genèse de ces nodules à barytine sont la cimentation directe dans les pores du sédiment et/ou la recristallisation du matériel primaire. Le carbonate est issu de l'encaissant originellement riche en espèces dissoutes, alors que la barytine provient de l'interaction dans la zone de sulfato-réduction de deux fluides de salinité différente. Le phénomène de fracturation (septarisation) de ces concrétions a été appréhendé par des approches bi et tridimentionnelles. Les mécanismes en cause ont une double origine (chimique: dessication et physique: compaction). Des essais mécaniques menés sur trois nodules barytiques ont montré l'existence de contraintes résiduelles témoins de la déformation originelle.

Des études détaillées publiées (Boles *et al*, 1985; Thyne et Boles, 1989; Scotchman, 1991; Mozley et Burns, 1993; McBride *et al*, 2003; Chan *et al*, 2005; Mozley et Davis, 2005) ont démontré que ces nodules se forment après l'enfouissement, au cours de la diagenèse. Ils sont reconnus comme étant le produit de la décomposition d'organismes par des bactéries dans les premiers mètres sous l'interface eau/sédiment (K. Gauchat, 2002) .Ils se sont d'abord formés, dans un milieu réducteur, autour d'un noyau de matières organiques (végétal, production animale, ou cadavre animal) venu s'échouer sur la vase fine d'un fond marin. Cette masse organique sera colonisée par des bactéries anaérobies qui, au cours de leur métabolisme, rejettent de l'ammoniaque créant ainsi un déséquilibre qui provoque un appel de carbonates. Ainsi, en fonction de la taille de la masse organique, de celle de la colonie bactérienne, de sa vitalité et de sa durée de vie, ainsi que de l'apport de carbonates, les nodules atteindront des tailles diversifiées. (Notons encore que la colonie bactérienne peut se retrouver asphyxiée par l'apport de carbonates). Il résulte de ce processus un amas de carbonates, de forme généralement sphérique (mais ce n'est pas absolu), gorgé d'eau, et pouvant contenir divers minéraux en solution, des restes fossiles, etc.

Selon les conditions environnementales présentes au cours de leur formation, ces nodules peuvent être créées par la croissance soit concentrique ou envahissante) (Mozley, 1996; Raiswell et Fisher, 2000). En croissance concentrique, le nodule s'accroît en poussant depuis les couches minérales successives vers sa surface. Ce processus se traduit par le rayon du nodule croissant avec le temps. Dans le cas de la croissance envahissante, la cimentation par les minéraux précipités se fait par remplissage de pores des sédiments encaissants, elle se produit simultanément dans tout le volume de la zone, qui devient un nodule au fil du temps.

Cependant, les sédiments vont continuer à se déposer, ils se compactent sous leur propre poids, ils vont compacter le nodule qui, non seulement va s'aplatir, mais va aussi perdre son eau et se déshydrater à la manière d'une boule de pâte à pain abandonnée : dans la masse vont s'ouvrir des fentes de retrait (dont les traces sont parfois visibles à la surface du nodule, et qui constituent un bon repère de différenciation).

Avec le temps, les nodules peuvent être fracturés et de nouvelles solutions minérales peuvent envahir les fentes de retrait.

Les fentes de retrait qu'ils renferment leurs sont caractéristiques, elles sont souvent remplies de calcite, mais aussi de dolomite, célestine voire de sulfures. Les composants majeurs de ces nodules sont : de la calcite et de la barytine tandis que les composants mineurs

sont représentés par : des minéraux primaires tardifs, dont les plus fréquents sont : de la célestine, du quartz et des carbonates ferrifères, etc…

IV-6. COMPARAISON ET CONCLUSION :

L'étude gitologique des nodules de barytine des deux secteurs : Koudiat Djebassa et Souagui permet de mettre en évidence les observations suivantes :

- Pour espérer trouver ces nodules dans les Bibans, il faut prospecter dans la limite Crétacé - Tertiaire (K-T). A Koudiat Djebassa, il faut chercher dans les marnes du Sénonien-Danien (C^{9-7}) plus ou moins étroitement associées à des calcaires à Inocérames (C^{8}), à Souagui il faut viser les couches marneuses gris noir du Maestrichtien-Danien (C^{9-10}) associées à des niveaux lenticulaires de marno-calcaires gris.

- Les nodules radiés de barytine des deux secteurs d'étude présentent une forme ellipsoïdale plus ou moins aplatie. Ils représentent une certaine zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes: la partie périphérique ou la bordure ; la partie intermédiaire et la partie centrale ou le nucléus.

- Les nodules à barytine de Koudiat Djebassa sont de 5 à 15 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 4 à 7 cm d'épaisseur et le rapport du diamètre horizontal au diamètre vertical est entre 2/1 et 3/1 tandis que ceux du secteur de Souagui sont de 5 à 10 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 5 à 15 cm d'épaisseur et leur degré de planéité est entre 1/2 et 1/3.

- Les nodules des deux secteurs présentent parfois un sillon marginal, comme s'ils résultaient de l'accolement incomplet de deux disques légèrement renflés.

- La présence de sections basales de radioles et des plaques d'Echinodermes dans les nucléus des nodules des deux secteurs d'étude ainsi que des foraminifères dans ceux de Souagui témoigne de l'origine organique de ces nodules.

- Les fentes de retrait en étoile que renferment les nodules de barytine de la région de Souagui leurs sont caractéristiques, elles sont souvent remplies de barytine, calcite, mais aussi de dolomite, voire de sulfures (pyrite, marcassite, Sphalérite). Le fait que ces fissures radiales s'amincissent vers les contours de ces nodules est considéré comme une preuve que, dans ce cas, la périphérie est plus rigide tandis que l'intérieur est plus tendre au moment du retrait, sans doute en raison d'un gradient de la quantité de ciment précipité.

- Les fissures à bords parallèles représentées dans les nodules du secteur de Koudiat Djebassa soulignent la plus grande rigidité, et l'évolution de la forme des fissures multipliées dans ces nodules montre que la rigidité augmente avec le temps. Elles se présentent également en échelons qui seraient probablement formées sous l'effet des contraintes de cisaillement. Dans certains cas, des fissures contiennent de la boue calcaire et de limons injectés (Pratt, 2001). L'orientation des fissures indique un régime de déformation élevé à l'intérieur des nodules. La rupture, la bréchification, le déplacement de fragments, la perte de la résistance au cisaillement, la liquéfaction et l'injection de sédiments granulaires non consolidés suggèrent que les événements de déformation ont été rapides, si ce ne sont pratiquement instantanés. (Pratt, 2001).

- L'étude pétrographique et l'analyse par diffractométrie aux rayons X de la partie périphérique de nodules des deux secteurs, ont mis en évidence la forte prédominance de la barytine, avec la présence de la calcite, en faible proportion. Quant aux quartz et albite, ils se trouvent en trace et en petites inclusions disséminées dans la barytine. Tandis que la partie intermédiaire et centrale de ces mêmes nodules montre la prédominance de la barytine, avec la présence du quartz et pyrite en faible proportion, le gypse et calcite sont en trace.

- Du point de vue chimique et suite à la méthode physique d'analyse (FRX), le nucleus et la périphérie des nodules de barytine de la région de Koudiat Djebassa présentent les compositions suivantes :

- Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO**) : entre **53 à 59%** dans les nucleus des nodules et entre **64 à 74%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **17,04 à 17,88%** dans les nucleus des nodules et entre **18 à 20%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **11 à 15%** dans les nucleus des nodules et entre **04 à 09%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **4%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

➢ L'analyse des parties centrales (nucleus) et les parties périphériques des nodules à barytine de Souagui par la méthode physique d'analyse (Fluorescence des rayons X), a mis en évidence les proportions suivantes :

- Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO**) : entre **47 à 65%** dans les nucleus des nodules et entre **59 à 73%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **13 à 18%** dans les nucleus des nodules et entre **16 à 19%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **09 à 23%** dans les nucleus des nodules et entre **03 à 15%** dans les parties périphériques de ces nodules.
- Une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **5%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

.

Chapitre V : Conclusion générale

Conclusion générale :

Au terme de ce travail qui a porté sur l'étude comparative des nodules de barytine de Koudiat Djebassa et de Souagui dans région des Bibans, un certain nombre de conclusions se dégagent, que nous récapitulons ci-dessous :

Situés dans les mêmes domaines structuraux (Atlas tellien méridional, chaine des Bibans), les deux sites (Koudiat Djebassa et Souagui) montrent des points communs tels que les roches sédimentaires (Marnes et calcaires essentiellement) qui constituent la majorité des deux terrains, ainsi que les calcaires à Inocérames qui s'intercalent entre ces formations.

Pour espérer trouver ces nodules à Koudiat Djebassa, il faut chercher dans les marnes du Sénonien-Danien (C^{9-7}) plus ou moins étroitement associées à des calcaires à Inocérames (C^{8}), à Souagui il faut viser les couches marneuses gris noir du Maestrichtien-Danien (C^{9-10}) associées à des niveaux lenticulaires de marno-calcaires gris.

Les nodules radiés de barytine des deux secteurs d'étude présentent une forme ellipsoïdale plus ou moins aplatie. Ils représentent une certaine zonation texturale, caractérisée par 3 parties distinctes: la partie périphérique ou la bordure ; la partie intermédiaire et la partie centrale ou le nucléus.

Les nodules à barytine de Koudiat Djebassa sont de 5 à 15 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 4 à 7 cm d'épaisseur et le rapport du diamètre horizontal au diamètre vertical est entre 2/1 et 3/1 tandis que ceux du secteur de Souagui sont de 5 à 10 cm de longueur, 5 à 10 cm de largeur et 5 à 15 cm d'épaisseur et leur degré de planéité est entre 1/2 et 1/3.

Les nodules des deux secteurs présentent parfois un sillon marginal, comme s'ils résultaient de l'accolement incomplet de deux disques légèrement renflés.

La présence de sections basales de radioles et des plaques d'Echinodermes dans les nucléus des nodules des deux secteurs d'étude ainsi que des foraminifères dans ceux de Souagui témoigne de l'origine organique de ces nodules.

Les fentes de retrait en étoile que renferment les nodules de barytine de la région de Souagui sont souvent remplies de barytine, calcite, mais aussi de dolomite, voire de sulfures (pyrite, marcassite, Sphalérite). Le fait que ces fissures radiales s'amincissent vers les contours de ces nodules est considéré comme une preuve que, dans ce cas, la périphérie est plus rigide tandis que l'intérieur est plus tendre au moment du retrait, sans doute en raison d'un gradient de la quantité de ciment précipité.

Les fissures à bords parallèles représentées dans les nodules du secteur de Koudiat Djebassa soulignent la plus grande rigidité, et l'évolution de la forme des fissures multipliées dans ces nodules montre que la rigidité augmente avec le temps. Elles se présentent également

en échelons qui seraient probablement formées sous l'effet des contraintes de cisaillement. Dans certains cas, des fissures contiennent de la boue calcaire et de limons injectés (Pratt, 2001).

L'étude pétrographique et l'analyse par diffractométrie aux rayons X de la partie périphérique de nodules des deux secteurs, ont mis en évidence la forte prédominance de la barytine, avec la présence de la calcite, en faible proportion. Quant aux quartz et albite, ils se trouvent en trace et en petites inclusions disséminées dans la barytine. Tandis que la partie intermédiaire et centrale de ces mêmes nodules montre la prédominance de la barytine, avec la présence du quartz et pyrite en faible proportion, le gypse et calcite sont en trace.

Du point de vue chimique et suite à la méthode physique d'analyse (FRX), le nucleus et la périphérie des nodules de barytine de la région de Koudiat Djebassa présentent les compositions suivantes :

Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO)** : entre **53 à 59%** dans les nucleus des nodules et entre **64 à 74%** dans les parties périphériques de ces nodules, un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **17,04 à 17,88%** dans les nucleus des nodules et entre **18 à 20%** dans les parties périphériques de ces nodules, un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **11 à 15%** dans les nucleus des nodules et entre **04 à 09%** dans les parties périphériques de ces nodules, une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **4%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

L'analyse des parties centrales (nucleus) et les parties périphériques des nodules à barytine de Souagui par la méthode physique d'analyse (Fluorescence des rayons X), a mis en évidence les proportions suivantes :

Une forte proportion d'oxyde de baryum **(BaO)** : entre **47 à 65%** dans les nucleus des nodules et entre **59 à 73%** dans les parties périphériques de ces nodules, un pourcentage moyen en oxyde de soufre (**SO_3**) : entre **13 à 18%** dans les nucleus des nodules et entre **16 à 19%** dans les parties périphériques de ces nodules, un faible pourcentage en silice (**SiO_2**) : entre **09 à 23%** dans les nucleus des nodules et entre **03 à 15%** dans les parties périphériques de ces nodules, une teneur en PAF, TiO_2, P_2O_5, K_2O, Na_2O, Mn_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 inférieure à **5%** dans les nucleus et dans les parties périphériques de ces nodules.

.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE :

ABED A. (1998). Livret des substances utiles non métalliques de l'Algérie. Wilaya de Bordj Bou Arreridj. *ORGM, Editions du Service géologique de l'Algérie.*

AOUDJEHANE M. (1989). Les concentrations à Ba, Sr, Zn, Pb dans le Trias, Crétacé et le Miocène de la région de Berrouaghia (Biban, Algérie) : Diapir, Cap rock et minéralisations dans le sillon tellien subsident. *Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI. Mémoires de Sciences de la terre n°89, 01. 1 Volume, 366 P.*

AOUDJEHANE M. (1990). Le district minéralisé à Ba, Sr, Pb et Zn de Berrouaghia, arguments pour une halocinèse du Trias dans les Bibans occidentaux. *Bulletin de l'Office National de Géologie. Vol. 1, pp.51-57.*

ASTAKHOVA N. V. and MEL'NICHENKO Yu. I. (2002). Barite Nodules in the Japan Sea. *Lithology and Mineral Resources, Vol. 37, No. 1, pp. 39–46.*

ASTIN T. R. (1986). Septarian crack formation in carbonate concretions from shales and mudstones. *Clay Minerals 21, 617-631.*

BERNARD A. et FICHEUR E. (1902). Les régions naturelles de l'Algérie. *Ann. Géogr., t. XI, n°57 (pp. 221-246), n°58, (pp. 339-365) et n°60 (pp. 419- 437).*

BLAYAC J. (1912). Esquisse géologique du basin de la Seybouse et de quelques régions voisines. *Thèse Sc. Paris* et *Bull. Serv. Carte géol. Alg., 2e série, Strat., n°6.*

BOLES J.R., LANDIS C.A., DALE P. (1985). The Moeraki Boulders; anatomy of some septarian concretions. *Journal of Sedimentary Petrology. v. 55, n. 3, pp. 398–406.*

BORISENSKI A. S. (1977). Cryogenic technique applied to studies of the saline composition of solution in gaseous fluid inclusion in mineral. *Akadem. Nauk. CCCP 8. pp. 16-21.*

BOUTALEB A. (2001). Les minéralisations à Pb-Zn du domaine Sétifien- Hodna, Gîtologie, pétrographie des dolomies, microthermométrie et implications métallogéniques. *Thèse de doctorat d'état. USTHB (Alger).*

BREHERET J.G and BRUMSACK H.J (2000). Barite concretions as evidence of pauses in sedimentation in the Marnes bleues Formation of the Vocontian Basin (SE France).*Sedimentary Geology. 130, 205-228.*

CAIRE A. (1951a). Structure de la zone sub-bibanique dans la région de Mansourah-les-Biban (D^t de Constantine*). C. R. Ac. Sc., Paris, 19 décembre, t. 233, pp. 1645-1646.*

CAIRE A. (1952a). Description géologique des principaux itinéraires routiers de l'Algérie, fas. I : de Bouïra à Bordj-Bou-Arréridj. *Publ. Serv. Carte géol. Alg*.

CAIRE A. (1952b). Evolution de la zone sub-bibanique : Les structures superposées et l'amygdale intratellienne de Mansourah. *Publ. Serv. Carte géol. Alg., « T.R. Collab. », fasc. III, pp. 17-50.*

CAIRE A. (1953d). Structure de pseudo-anticlinorium des Biban sur la feuille Béni–Mansour (Algérie).*C. R. S. Soc. géol. Fr., n°15, PP. 323-325.*

CAIRE A. (1953e). Interprétation tectonique de la chaîne des Biban. (D^t de Constantine, Algérie). *Bull. Soc. géol. Fr., (6), t. III, pp. 407-414.*

CAIRE A., GLANGEAUD L., MATTAUER M., POLVECHE J. (1953). Essai de coordination de l'autochtone dans l'Atlas tellien de l'Algérie centrale. *Bull. Soc. géol. Fr., (6), t. III, pp. 941-972.*

CAIRE A., MATTAUER M. (1953c). Les directions tellienne et saharienne dans le Tell algérien méridional. *Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs, n°57, p.149.*

CAIRE A. (1954a). L'Atlas tellien méridional entre la chaîne du Djurdjura et la partie occidentale des Monts du Hodna (Algérie). *Ann. Sc. Univ. Bes., 2^e série, Géologie, fasc. 1, pp. 35-82.*

CAIRE A., CHAUVE P., GLANGEAUD L., et MATTAUER M. (1955). Sur la structure d'une partie de l'Atlas tellien septentrional. *Bull. Soc. géol. Fr., (6), t. V, pp. 267-277.*

CAIRE A. (1957). Etude géologique de la région des Biban. *Publ. Serv. Carte Géol. De l'ALGERIE). Bulletin N.S., n°16, 2 volumes, 818 P, 148 fig, 15 P.*

CAIRE A. (1958). La genèse des failles de la chaîne des Biban dans la région des Portes de Fer. *Publ. Serv. Géol. de l'ALGERIE.N.S., Trav. Coll., n° 28. PP. 10-20.*

CAIRE A. (1970). Tectonique de la Méditerranée centrale. *Annales de la société géologique du Nord. XC, 4, 307-346.*

CHAN M.A., BEITLER B.B., PARRY W.T., ORMO J., KOMATSU G. (2005). Red Rock and Red Planet Diagenesis: Comparison of Earth and Mars Concretions. *GSA Today, v. 15, n. 8, pp. 4–10.*

CHI G.X. and NI P. (2007). Equation for calculation of NaCl/(NaCl+$CaCl_2$) ratios and salinities from hydrohalite-melting and ice – melting temperatures in the H_2O-NaCl-$CaCl_2$ system. *Acta Petrologica Sinica*, Vol. 23. 33-37.

CRAWFORD M.L. (1981). Phase equilibria in aqueous fluid inclusions Mineral. *Assoc. Canada Short course Handbook 6*. pp. 75-100.

DEKICHE F. et MEZOUH M. (1984). Contribution à l'étude géologique de la lame triasique (à célestine) de Béni-Mansour (Biban Nord-orientaux). *Mém. Ing. Géol. Minière. 126 P.*

FLAMAND G.B.M. (1911). Recherches géologiques et géographiques sur le haut pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du sud). *Thèse ès sciences, Lyon Serv. geol. terr. Rey. edit. 1911, 1001 p.*

FLANDRIN J. (1955a). Les grands traits stratigraphiques et structuraux de l'Algérie. *Bull. Soc. belge Géol., t. LXIV, fasc. 2, pp. 304-327.*

FOUCHER J.P., WESTBROOK G.K., BOETIUS A., CERAMICOLA S., DUPRE S., MASCLE J., MIENERT J., PFANNKUCHE O., PIERRE C. & PRAEG D. (2009). Structure and drivers of hydrocarbon seep ecosystems in the European seas. *An overview from HERMES results. Oceanography, 22(1), 92-109.*

FOUCHER J.P., DUPRE S., SCALABRIN C., FESEKER T., HARMEGNIES F. & NOUZE H. (2010). Changes in seabed morphology, mud temperature and free gas venting at the Håkon Mosby Mud Volcano, offshore Northern Norway, over the time period 2003-2006. *Geo-Marine Letters, 30, 157-167.*

FOURMANIER P. (1949). Principes de géologie, *3^{e} éd., Masson éd., Paris*.

GACI N. (2015). Etude géologique et gîtologique des concrétions barytiques du Crétacé supérieur et du complexe triasique associé de la région de Djebassa (Bibans)-*Mémoire de Magister en Métallogénie et géologie des Gîtes Métallifères*, FSTGAT, USTHB.

GAUCHAT K. (2002). Etude biogéochimique et isotopique des septaria à hydrocarbures des marnes Callovo-oxfordiennes du Sud-Est de la France. *Travaux de Master et DEA. Institut de Minéralogie et Géochimie. Université de Lausane.*

GENTIL L. (1902). Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna (Algérie).*Thèse Sc., Paris.*

GLANGEAUD L. (1932a). Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. *Thèse Sc. Paris, et Bull. Serv. Carte géol. Alger, 2^{e} série, strat, n° 8.*

GUARDIA P. (1975). Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie Nord – Occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant pays atlasique. *Thèse de Doctorat en Sciences. Institut Polytechnique Méditerranéen. Univ. Nice.*

GOLDESTEIN ET REYNOLDS (1993). Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course 31, 197 p. Society for sedimentary geology. USA.*

JOLEAUD L. (1922b). Esquisse tectonique de l'Atlas. XIII^{e} *Congr. Géol. Int. Bruxelles, fasc. 2, pp. 873-886.*

KIEKEN M. (1961). Les traits essentiels de la géologie algérienne. *Bulletin de la société géologique de la France, I, 545-614.*

KIEKEN M. (1964). La fenêtre tectonique des Biban (Algérie). *SN. REPAL : 1964-A. 872.*

KIEKEN M. (1964). La fenêtre tectonique des Biban. *Bull. Soc. Géol. Fr. 7ème Série, T. VI, n°5.*

KIEKEN M. (1974). Etude géologique du Hodna, du Titteri et de la partie occidentale des Bibans (ALGERIE). *Publ. Serv. de la carte Géol. ALGERIE. Bull 46 , 298p, (2 Tomes).*

KIRECHE O. (1993). Evolution géodynamique de la marge tellienne des Maghrébides d'après l'étude du domaine para-autochtone schistosé (massifs du Chelif et d'Oranie, Blida, Boumâad, des Babors et Biban). *Thèse de Doctorat d'Etat, U.S.T.H.B., ALGER. 318 P.*

KULKE H. (1979). Sédimentation, diagenèse et métamorphisme léger dans un milieu sursalé, exemple du Trias maghrébin. *Sciences de la terre, t. XXIII, n°2, pp. 39-74.*

LACROIX A. (1907). Minéralogie de la France et de ces colonies, *5 Vol. Paris.*

LAKHAL MA. (2018). Etude géologique et gitologique des nodules de barytine de la région De Souagui-*Mémoire de Master en Ressources Minérales et Environnement*, FSTGAT, USTHB.

LUCAS G. (1934). Etude tectonique de la région Nord de Medjana (Algérie). *C. R. Ac. Sc., Paris, 23 avril, t. 198, pp. 1524-1525.*

LEIKINE M. (1971). Etude géologique des Babors occidentaux (Algérie). *Thèse Sc. Univ. Paris. VI, 536 p.*

MASCLE J., MARY F., PRAEG D., BROSOLO L., CAMERA L., CERAMICOLA S. & DUPRÉ S. (2014). Distribution and geological control of mud volcanoes and other fluid/free gas seepage features in the Mediterranean Sea and nearby Gulf of Cadiz. *Geo-Marine Letters (2014), 34, 89-110.*

MASCLE J. (2015). Fluides froids et marges continentales. *Fiches de l'Institut océanographique. http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1422624082.pdf.*

MCBRIDE E.F., PICARD M.D., MILLIKEN K.L. (2003). Calcite-Cemented Concretions in Cretaceous Sandstone, Wyoming and Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research. v. 73, n. 3, p. 462-483.*

MOULA S. (1998). Gisement de célestine de Beni-Mansour en contexte diapirique dans la chaîne des Bibans (Algérie). *Thèse. Doct. d'Univ. Paris VI. pp 203.*

MOSTEFAI S. et BEAUDOIN B. (1996). Les concrétions septariennes barytiques et carbonatées des Marnes Bleues du Crétacé (Sud-Est de la France). *Thèse de Doctorat : TERRE, OCEAN, ESPACE : EMP. 315 p.*

MOZLEY P.S. AND BURNS S.J. (1993). Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions. *Journal of Sedimentary Petrology, v. 63, p. 73-83*.

MOZLEY P.S. (1996). The internal structure of carbonate concretions: A critical evaluation of the concentric model of concretion growth. *Sedimentary Geology: v. 103, p. 85-91*.

MOZLEY, P.S. AND DAVIS J.M. (2005). Internal structure and mode of growth of elongate calcite concretions: Evidence for small-scale microbially induced, chemical heterogeneity in groundwater. *Geological Society of America Bulletin, v. 117, 1400-1412.*

OBERT D. (1981). Etude géologique des Babors orientaux (domaine tellien, Algérie). *Thèse d'Etat Univ. de Paris VI, Mémoire des Sciences de la Terre*. 635p.

PRATT B.R. (2001). "Septarian concretions: internal cracking caused by synsedimentary earthquakes". *Sedimentology, v. 48, p. 189-213.*

RAISWELL R. AND FISHER Q.J. (2000). Mudrock-hosted carbonate concretions: a review of growth mechanisms and their influence on chemical and isotopic composition. *Journal of Geological Society of London. v. 157, p. 239-251*.

ROEDDER E. (1984). The fluids in salt. *American Mineralogist, Vol 69*. pp. 413-439.

SAMI L. (2004). Contribution à l'étude géologique et gîtologique des minéralisations à Pb-Zn, Ba et F dans la région de Méskiana : Exemple des indices d'Es Souabaa et de M'Khiriga. (Atlas saharien oriental, Algérie). *Thèse de magistère FTSGAT, USTHB, Alger.*

SAMI L. (2011). Caractérisation géochimique des minéralisations à Pb-Zn, F, Ba, Cu, Fe et Hg des confins Algéro-tunisiens. *Thèse de Doctorat d'Etat, FTSGAT, USTHB, Alger.*

SAVORNIN J. (1909). Sur l'évolution paléogéographique du Cap Bon et sur la direction des plissements de l'Atlas considérée comme résultante de deux actions orogéniques orthogonales. *C. R. Ac. Sc., Paris, 27 décembre, t. 149, pp. 1410-1413.*

SAVORNIN J. (1910c). Feuille au 50 000^{e} : Mansourah. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie.*

SAVORNIN J. (1920a). Etude géologique de la région du Hodna et du Plateau sétifien. *Thèse Sc. Lyon et Bull. Serv. Carte géol. Algérie., 2^{e} sér., Strat., n° 7, 500 p.*

SAVORNIN J. (1947). Feuille au 50 000^{e} : Oued Okris. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie.*

SCOTCHMAN I.C. (1991). The geochemistry of concretions from the Kimmeridge Clay Formation of southern and eastern England. *Sedimentology. v. 38, pp. 79-106.*

SELTZER P. (1937). La carte pluviométrique de l'Algérie (moyennes 1914-1934). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. N.,t. 28, pp. 169-184.*

SELTZER P. (1946). Le climat de l'Algérie (avec le concours de A. Lasserre, A. Grand-jean, R. Auberty et A. Fourey). *Trav. Inst. Météorol. et Phys. Globe Alg. (hors série).*

TAYLOR J. H. *et al* (1948). Baryte-bearing nodules from the Middle Lias of the English East Midlands. *MIN. MAG., VOL. XXIX. P : 9-27.*

THYNE G.D. AND BOLES J.R. (1989). Isotopic evidence for origin of the Moeraki septarian concretions, New Zealand. *Journal of Sedimentary Petrology. v. 59, n. 2, pp. 272-279.*

VILA J.M., LEIKINE M., SIGAL J. (1976). Stratigraphie et affinité des Biban orientaux (Tell algérien) : Premiers arguments en faveur de leur allochtonie. *Bull. Soc. géol. Fr., (7), t. XVIII, 1607-1612.*

VILA. J. M. (1980). La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse de Doctorat. Es Sciences Université, Paris IV.*

WILDI W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Rev . Géol. dyn. Géogr. Phys., vol.24, fasc. 3, pp. 201-297.*

Rapports :

(2010). Rapport géologique de la carrière de Djebassa du groupe « Faïenceries Algériennes ».

(2012). Rapport géologique de la carrière de Djebassa du groupe « Faïenceries Algériennes ».