

Faculté des Sciences de la Terre Département de Géologie

## **MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

Spécialité : Géologie Option : Substances utiles géologie et développement

# Caractéristiques géologiques, pétrographiques,

*minéralogiques et gîtologiques des substances utiles liées au* 

diapir de Guellal (Sétif, Nord Est d'Algérie).

Par

**Nouar BOUTTINE** 

## **DEVANT LE JURY**

PRÉSIDENT : H.MEZGHACHE PROMOTEUR : A.TOUBAL EXAMINATEUR : A.CHOUABBI EXAMINATEUR : M.TLILI Pr. Université Badji Mokhtar Annaba Pr. Université Badji Mokhtar Annaba M.C. Université Badji Mokhtar Annaba M.C. Université Badji Mokhtar Annaba

### Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous ceux de loin ou de près ont participé à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens tout d'abord à remercier Mr. A. TOUBAL qui m'a proposé ce sujet et qui m'a constamment aidé, par ses critiques fructueuses et sa patience envers ce travail assez lent.

Je suis très reconnaissant envers Messieurs les membres de jury ; M. H. MEZGHACHE, M. A. CHOUABBI et M. M. TLILI qui ont accepté de juger mon travail et m'ont fait bénéficier de leurs intéressantes remarques.

M. CHENAFI, ingénieur chef service d'exploitation de l'unité GUERGOUR Lamri pour son aide précieuse et sa disponibilité, et ce malgré ses nombreuses occupations, je lui dis : merci.

Je remercie également M. Salah technicien de laboratoire des rayons X de l'université de Biskra pour la réalisation des analyses DRX.

Tous les enseignants du département de géologie d'abord, pour leurs gentillesses, leurs générosités, ainsi que leurs disponibilités, en dépit de leurs nombreuses occupations.

En fin je tiens à exprimer ma reconnaissance à mes collègues de la promotion pour leurs soutiens et leurs discussions et critiques.

#### Résumé

Le diapir de Guellal se trouve à environ 20 km au Sud-Ouest de la ville de Sétif (Nord-Est d'Algérie). Il fait partie du domaine des hautes plaines sétifiennes. Ce domaine est limité au Nord par les Monts de Djemila et au Sud par les premiers contreforts des Monts du Hodna, et s'étend entre Dj.Zdimm à l'Ouest et le domaine néritique constantinois à l'Est.

La géologie des hautes plaines sétifiennes est très compliquée, ce domaine est affecté par l'orogenèse alpine sous forme de nappes reposant en discordance angulaire sur l'ensemble autochtone et parautochtone hodnéen. Lithostratigraphiquement la région de Guellal est représenté par des formations allant du Trias au Quaternaire.

Les données de la géologie basées sur la position qu'il occupe ce diapir, la forme circulaire en surface et le bombement des terrains qu'il entourent ainsi, les données fournies par les travaux de sondages et forages (SONAREM 1971-1979) appuyer par d'autres travaux de géophysiques plus récemment (A. Zerdazi 1990) sont convergent vers l'hypothèse diapirique de ce pointement triasique. La mise en surface de ce dernier est probablement facilitée par le système de failles qui affecte la région.

Les principales substances utiles de ce diapir sont représentées essentiellement par des dépôts évaporitiques (gypse et sel gemme).les dépôts de gypse sont répandus en surface en amas et en masse isolés et /ou broyés, et sous forme de minces couche de quelques mètres en profondeur. Alors que le sel gemme (halite) est répandus uniquement en profondeur en formant un gisement d'une grande importance économique.

L'étude pétrographique des formations évaporitiques montre l'existance de quatres types de gypse, cristallin, microcristallin, alabastrite et fibreux, de couleur blanchâtre, rougeâtre, rosâtre et grisâtre liés à des impuretés. Les minéraux accompagnateurs sont formés par de l'anhydrite, de la calcite et des oxydes et hydroxydes de fer. L'étude minéralogique (diffraction aux rayons X) a pu confirmer les données de la pétrographie en prouvant l'existance surtout du gypse, de l'anhydrite et de la calcite. Le Trias est caractérisé par un climat aride et un degré d'évaporation élevé, ce qui a conduit à la précipitation d'ions  $Ca^{++}$ ,  $So_3^{--}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  en donnant des dépôts de sel et de gypse.

Le diapir de Guellal est exploité pour le sel gemme, d'où l'ENASEL le produit on procède le pompage de la saumure résultante de la dissolution du sel du gisement sous terrain (se fait par la recharge de la nappe par les eaux pluviales du bassin versant) vers des bassins conçus pour cet usage d'où et sous l'effet de l'évaporation la saumure se concentre et les ions qu'elle contient précipitent en donnant une couche de sel. Récolté, transporté le sel rentre dans un atelier de conditionnement qui se débute par le lavage et se termine par la commercialisation. Des analyses ont fait quotidiennement et à chaque étape au niveau du laboratoire pour vérifier la qualité du sel. Les informations que nous avons obtenu indiquent une bonne qualité de sel. La production actuelle reste modeste (généralement ne dépasse 20000 t par an) en tenant compte le tonnage du gisement (263 millions tonnes).Par comparaison le diapir d'El-Outaya situé au Nord de Biskra, dans le versant sud de l'atlas saharien est un diapir apparent et actif formant un dôme de sel exploité par l'ENASEL, au contraire le diapir de Guellal est un diapir sous terrain (son piston salifère).

Mots clés : Guellal, diapir, Sétif, géophysique, triasique, halite, saumure, qualité. Dj.El-Mlah, El-Outaya

#### Abstract

Located in the North-East of Algeria about 20 km southwest of the city of Setif, the diapir of Guellal is part of the sétifien highland domain. It lies between Dj.Zdimm to the west and Dj.Youssef to the east. It is bounded on the north by the mountains of Djemila and south by the foothills of the Hodna mountains.

The geology of the study area is structured in a building very complicated and affected by the Alpine orogenesis appears as sheets, resting in angular discordance on the autochtonous and parautochtonous rocks of the Hodna these formations ranging from Triassic to Quaternary.

The data of geology based on the position that holds this diapir, the circular surface and the bulge of land surrounding it, and the data provided by the work of drilling and boring (SONAREM 1971-1979) support by other geophysical work more recently (A. Zerdazi 1990 ...) have converged to diapiric hypothesis that Triassic outcrop. Setting surface of the latter is probably facilitated by the fault system that affects the region.

The main useful substances of this diapir are represented essentially by evaporite deposits (gypsum and halite). Deposits of gypsum are common in clusters on the surface and bulk isolated and / or ground, and as a thin layer a few meters depth. While rock salt (halite) is spread only by forming a deep pool of great economic importance.

Petrographic study of evaporite formations shows the existence of four types of gypsum, crystalline, microcrystalline, alabaster and fibrous with color varied related to impurities (whitish, reddish, pinkish and greyish). The accompanying minerals are formed by anhydrite, calcite and iron oxides and hydroxides. The mineralogical study (XRD) was able to confirm the data on the petrography by proving the existence mainly of gypsum, anhydrite and calcite. The Triassic is characterized by an arid climate and a high degree of evaporation; this led to the precipitation of  $Ca^{++}$ ,  $So_3^{--}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  giving deposits of salt and gypsum.

The diapir of Guellal is operated for rock salt, from which the product is done ENASEL pumping brine resulting from the dissolution of underground salt deposit (is the groundwater recharge by rainwater of watershed) to tanks designed, and as a result of evaporation concentrates the brine and it contains ions precipitate giving a layer of salt. Harvested, transported the salt comes in a packaging which begins with washing and ends with marketing. Analyses were done daily and at each stage in the laboratory to check the quality of salt. The information we have obtained indicate a good quality salt.

Current production is small (usually no more than 20 000 t) taking into account the tonnage of the deposit (263 million tons). For comparison, the diapir of El-Outaya located north of Biskra, in the south side of the Saharan Atlas is an apparent and active diapir forming a salt dome operated by ENASEL, unlike the diapir Guellal is a diapir underground (its salt piston).

Keywords: Guellal, diapir, Setif, geophysics, Triassic, halite, brine, quality. Dj.El-Melah, El-Outaya

	Introduction Générale	
	I. Introduction	01
	II. Méthodologie de travail	02
	<u>Première partie</u> : Caractéristiques géologiques, pétrographique, minéralogiques et gîtologiques des substances utiles du diapir de Guellal, Nord-est algérien, wilaya de Sétif	
Chapitre I	Présentation de la zone d'étude	
	I.1. Cadre géographique	04
	I.2. Potentialités minières de la zone d'étude	05
	I.3. Historique des études antérieures	05
Chapitre II	Généralités	
	II.1. Aperçu sur les époques salifères en Algérie	08
	II.1.1. Epoque salifère du Trias	08
	II.1.2. Epoque salifère Sénonienne	09
	II.1.3. Epoque salifère Nummulitique	10
	II.1.4. Epoque Salifère Plio-Quaternaire	10
	II.2. La sédimentation évaporitique	10
	II.2.1. Introduction	10
	II.2.2. La genèse des évaporites	10
	II.2.3. Les minéraux de la séquence évaporitique	11
	II.2.4. Les modèles de dépôts des évaporites	13
	II.2.4.1. Les évaporites continentales	13
	II.2.4.2. Les évaporites marines de bassin peu profond	14
	II.2.4.3. Les évaporites marines des bassins profonds	15
	a) Les bassins structuralement profonds d'eau profonde	15
	b) Les bassins structuralement profonds d'eau peu profonde	15
	II.2.5. Le cycle gypse anhydrite	16
	II.3. Généralités sur le diapirisme salifère	17
	II.3.1. Introduction	17
	II.3.2. Définition du diapir ou dôme de sel	17
	II.3.3. Facteurs favorisant le diapirisme	18
	II.3.3.1. La densité	18
	II.3.3.2. L'extension régionale	19

# Sommaire

	II.3.4. Etapes de formation du diapir	22
	II.3.5. Formes typiques des diapirs	23
	II.3.6. Zonalité d'un diapir et formation d'un cap-rock	24
Chapitre III	Géologie régionale (des hautes plaines sétifiennes)	
	III.1. situation des hautes plaines sétifiennes dans le dispositif structural	26
	de la chaîne alpine d'Algérie Nord-orientale	26
	III.2. Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées	30
	III.2.1. Le quaternaire	30
	III.2.2. Le Miopliocene	30
	III.3. Les nappes de flyschs	30
	III.4. Les nappes telliennes	30
	III.5. Les nappes issues de l'avant-pays tellien	31
	III.6. Le parautochtone et l'autochtone hodnéen	32
	III. 7. Trias exotique ou extrusif	32
	III.8. La Tectonique de la région	35

## Chapitre IV Géologie locale

IV.1. La stratigraphie	37
IV.1. 1. Les formations peu ou pas tectonisées	37
IV.1.1.1. Le Quaternaire	37
IV.1.1.2. Le Mio-Pliocène	37
IV.1.2. Les nappes telliennes	38
IV.1.2.1. La nappe de Djemila	38
IV.1.2.2. La nappe de dj. Sattor	38
IV.1.3. L'ensemble allochtone sud Sétifien	42
IV.1.4. Le Trias exotique ou extrusif	43
IV.2. Tectonique de Guellal	44
1. Les formations quaternaires et miopliocenes	44
2. Les nappes Telliennes	44
3. L'ensemble allochtone Sud Sétifien	44
4. Le Trias de Guellal	45

# Chapitre V Pétrographie et Minéralogie

V.1. Caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des évaporites

		•	
om	m	011	· ^
		211	
		un	. ~

	au niveau du diapir	46
	V.1.1. Le gypse	46
	V.1.2. Le sel gemme	54
	V.1.3. L'anhydrite	54
Chapitre VI	Gîtologie	
	VI.1. Historique	55
	VI.2. Calcul des réserves de sel gemme	55
	VI.3. Résultats des essais et argumentations des réserves en eaux souterraines	56
	VI.4. Conclusion	57
	VI.5. Méthodes d'exploitation du sel	57
	VI.5.1. La méthode minière	57
	VI.5.2. La méthode agricole	57
	VI.5.3. Choix de la méthode d'exploitation	58
	VI.6. Exploitation du gisement de sel gemme de Guellal	59
	VI.6.1. Rappels	59
	VI.6.2. Définitions	59
	VI.6.3. Méthode d'exploitation du gisement	59
	VI.6.3.1. Le pompage	61
	VI.6.3.2. Récolte et transport du sel	61
	VI.6.3.3. Le lavage primaire	62
	VI.6.3.4. Le gerbage	62
	VI.6.3.5. Lavage secondaire	63
	VI.6.3.6. Atelier de conditionnement	63
	VI.6.3.6.1. Essorage	05
	VI.6.3.6.2. Séchage	63 63
	VI.6.3.6.3. Iodation	63
	VI.6.3.6.4. Broyage	63
	VI.6.3.6.5. Conditionnement du sel	63
	VI.6.3. La production	66
	VI.6.4. La qualité de sel	66
	II.3. Diverses utilisations du sel	67
	II.3.1. Alimentation	67
	II.3.2. Applications dans l'industrie	67
	II.3.3. Biologie des salins	68

## <u>Deuxième partie</u> : comparaison avec un diapir de l'Atlas saharien (diapir d'El-Outaya, wilaya de Biskra)

## Chapitre VII Etude du diapir d'El-Outaya

Vll.1. Cadre géographique	69
Vll.2. Cadre géologique	70
1. Introduction	70
2. Lithostratigraphie	70
2.1. Trias	70
2.2. Jurassique	73
2.2.1. Jurassique inférieur et moyen	73
2.2.2. Le Jurassique supérieur	73
2.3. Le crétacé	73
2.3.1. Le crétacé inférieur	73
2.3.2. Le crétacé supérieur	73
2.4. Le Paléogène	74
2.5. Miocène	74
2.6. Le Pliocène	74
2.7. Le Quaternaire	75
3. Tectonique	75
Vll.3. Géologie du gisement de sel d'El-Outaya	76
Vll.3.1. Age de dépôt	76
Vll.3.2. Age de mise en place	77
Vll.3. 3. Mécanismes de mise en place	77
Vll.3.4. Etude de la minéralisation	78
Vll.3.4.1. Localisation et morphologie du dôme	78
Vll.3.4.2. Composition du minerai	79
A. Les différents types de sel (Halite)	79
B. Composition du sel	79
C. Impuretés et enclaves	80
D. Réserves et teneur en NaCl	80
Conclusion	80
Conclusion générale	81
Références bibliographies	83
Liste des figures	88

# Sommaire

Liste des planches	90
Liste des tableaux	91
Annexes	92

# Introduction générale

#### **1. Introduction**

L'importance du diapirisme salifère en géologie est connue depuis le 19 siècle, durant les dizaines dernières années et avec le développement technologique le monde des diapirs salifères a tiré l'attention des chercheurs .Ces auteurs ont donné une importance au diapirisme salifère plus précisément à la morphologie, la minéralogie, l'aspect géologique et la contribution dans le piégeage des concentrations métallifères et pétrolifères. Les recherches dans ce domaine à travers le monde montrent qu'il y a une relation entre le diapirisme salifère et la genèse des gisements métallifères, en Algérie par exemple les formations triasiques diapirique d'El-Ouenza interviennent à la formation des gisements et concentrations polymétalliques péridiapiriques.la théorie des gisements péridiapiriques est admise en monde entier. Ils ont montré que la genèse des gites métallifères est souvent liée à l'évolution pétrographique et structurale des évaporites. La structure particulière des diapirs lui donnent une importance économique puisque les zones corticales (Cap Rocks) peuvent constituer un réceptacle (fractures, porosités secondaire) pour les concentrations minérales Pb, Zn, Ba, Sr et S.

Sans oublier la grande importance que représentent les diapirs salifères pour l'exploitation des substances utiles notamment des évaporites. On appelle « évaporites » certains dépôts de sédiments géologiques qui se sont effectués dans des milieux très particuliers : ce qui reste résulte d'une évaporation. Le sel gemme utilisé dans l'alimentation en fournit un exemple, de même que tous les autres sels qui donnent notamment les réserves de potasse, ou encore le gypse dont on fait le plâtre. Ces matériaux présentent d'autres avantages comme le stockage souterrain d'hydrocarbures et de déchets radioactifs... Mais là ne s'arrête pas leur intérêt économique car ils servent aussi de couverture à des dépôts pétroliers, constituent des ressources en produits chimiques exploités par l'industrie (lithium pour la pharmacie, borates pour les détergents, etc.). Les évaporites constituent en outre d'excellents marqueurs des changements climatiques.

La grande importance des diapirs oblige la bien reconnaissance de leurs formes et structures et impose plus d'investigation et plus de recherches avec des méthodes qui pourraient être couteuses.

Nous allons montrer dans cette étude les principales caractéristiques géologiques pétrographiques, minéralogiques et gîtologiques des évaporites de l'affleurement triasique de Guellal, que J.M.Vila la considère comme formation n'ayant pas une origine diapirique, d'après lui les formations triasiques sont apportées soit par le front de nappes telliennes soit sous le chevauchement de l'ensemble Zdimm –Youssef, alors que J. Savornin (1930) les considère comme un vrai diapir.

Le présent mémoire est structuré en sept chapitres précédés par une brève introduction: Le premier chapitre est réservé à la présentation de la région d'étude d'où on a donné le cadre géographique du secteur d'étude ainsi que les travaux réalisés antérieurement sur la zone d'étude et ses potentialités minières.

Le deuxième chapitre donne un aperçu théorique sur la sédimentation évaporitique et le

diapirisme salifère mettant l'accent sur la nature rhéologique (viscosité et densité) des sels et la tectonique superficielle.

Le troisième chapitre est le résultat d'une synthèse bibliographique de la géologie régionale des hautes plaines Sétifiennes.

Le quatrième chapitre est réservé à la géologie du secteur d'étude (Guellal).

Le cinquième chapitre est consacré à déterminer les caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des évaporites du diapir de Guellal.

Le sixième chapitre, est réservé pour déterminer les caractéristiques gîtologiques du gisement de sel gemme en mettant l'accent sur la méthode d'exploitation et la production.

Le septième chapitre consacré à l'étude du diapir d'El-Outaya (atlas saharien) dont l'objectif est de faire une comparaison à celui de Guellal.

Enfin une conclusion générale termine le mémoire.

#### 2. Méthodologie de travail

Le présent mémoire rentre dans le cadre de la préparation du diplôme de magister en géologie minière : Intitulée « Substances utiles géologie et développement ».

Il nous a été proposé une étude géologique ,pétrographique, minéralogique, et gîtologique des substances utiles (évaporites) du diapir de Guellal, région de Mezloug, wilaya de Sétif. Dans ce but un plan de travail a été adopté :

La préparation de ce travail a nécessité un stage de terrain avec une étude complémentaire au laboratoire du département de géologie, de l'Université BADJI- MOKHTAR de Annaba.

Les travaux de terrain ont consisté à l'étude des diverses formations affleurant dans le secteur. Parallèlement aux levés géologiques, un échantillonnage régulier (figure ci-dessous) au marteau a été effectué dans les diverses formations affleurant dans le site.

Les travaux de laboratoire ont consisté en la confection de plusieurs lames minces qui seront étudiées au microscope polarisant. Cette étude a permis de bien cerner les faciès des différentes formations.

Dans le but de déterminer la composition minéralogique exacte, une série d'échantillons (05 échantillons ; 03 pour le gypse et 02 pour une argile blanche) a été soumise à l'analyse diffractometrique dans laboratoire du rayons X de l'Université de Biskra.

Dans le but de déterminer la qualité de sel, une série d'échantillons sont analysés au niveau du laboratoire de l'unité de GUERGOUR Lamri (Guellal, Sétif).

Nous avons fait une comparaison avec le diapir d'El-Outaya (atlas saharien) afin de tirer quelques critères qui nous permettent de distinguer les deux domaines et de donner une idée sur la paléogéographie.



Première partie : caractéristiques géologiques, pétrographiques, minéralogiques et gîtologiques du diapir de Guellal, wilaya de Sétif, Nord-est algérien

# Chapitre I Présentation de la zone d'étude

#### I.1. Cadre géographique: (Fig.I.1)

Situé dans le Nord - Est algérien, à environ 20 km au Sud-Ouest de la ville de Sétif, notre terrain appartient au domaine des hautes plaines sétifiennes, ses dernières occupant une grande partie de la superficie totale de la feuille de Setif .La topographie est relativement plate dont l'altitude varie de 950 m à l'Ouest jusqu'à 750 m à l'Est. Des reliefs isolés surgissent de ces plaines surtout dans la partie méridionale: le Djebel Zdimm (1160 m), le Djebel Youcef (1442 m), le Djebel Braou (1263 m), le Djebel Tnoutit (1192 m) et massifs du Djebel el Meksem (1077 m), du Rokbet el Djemel (1406 m), du Djebel Rherour (1271 m) et du Djebel el Hammam (1237 m). Plus précisément notre zone est appartient à la plaine qui se trouve entre le Dj. Zdimm à l'Ouest et Dj. Youssef à l'Est. Au Nord, elle est limitée par les Monts de Djemila, alors qu'au Sud, elle se prolonge jusqu'aux premiers conforts des Monts du Hodna.



Fig. I. 1. Situation géographique de la zone d'étude (Google earth 2013)

La région possède une hydrographie endoréique centrée sur les Chotts (le Chott el Malleh à l'Ouest et Sebkhet Melloul à l'Est). Les oueds qui traversent la région sont peu profonds et ne sont pas permanant à l'exception de l'oued Ftaiss, Guellal et El-Malleh qui s'alimentent grâce au ruissellement des sources.

La région se caractérise par un climat continental semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux. Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace ; la quantité diminue sensiblement du Nord vers le Sud pour atteindre 400 mm en moyenne par an sur les hautes plaines ; par contre la zone Sud –Sud-Est est la moins arrosée, les précipitations ne dépassent pas les 300 mm.

Les hautes plaines sont le domaine de la céréaliculture et des cultures maraîchères.au Nord les régions montagneuses sont couverts par des forets, par contre au sud, la flore est généralement steppique.

La wilaya de Sétif dont fait partie notre zone d'étude est traversée par un important réseau de routes principales, secondaires et de pistes implanté sur l'ensemble de la région. Ainsi la région est traversée par une voie ferrée. On note aussi que la population est concentrée dans les villes et les villages d'où se trouvent des zones industrielles et le secteur des activités sociales est développé.

#### I.2. Potentialités minières de la zone d'étude:

La région d'étude est caractérisée par une activité minière importante représentée par plusieurs gisements intéressants ; A Boutaleb (2001) dans sa thèse sur les minéralisations Pb-Zn du sétifien-Hodna a inventorié les gisements et les indices de la région :

Le gisement d'Ain Kahla dans le Dj. Hadjar labiod (Pb-Zn), gisement de Kherzet Youssef (Pb-Zn).Le gisement de Dj. Gustar (Pb), le gisement de Chaabet el Hamra au sud d'Ain Azel (Pb-Zn).

Le gisement ferrifère d'Anini (remplissage karstique de limonites et de goethites à haute teneur en fer). Le gisement de sel gemme de Guergour Lamri (Guellal). Indices minéralisés de Cu-Fe dans le secteur de Takintouch - Bou Andas. Indice de Pb de Beni-Ouartilène dans les poudingues du Santonien.

Amas minéralisé a Pb-Zn-Cu- Fe -Ba dans le secteur de Dj. Guergour. Indice minéralisé du Dj. Zdimm localisé à son extrémité orientale dans les niveaux dolomitiques du Barrémien et Aptien en Blende (ZnS) et rarement du Galène (PbS).Des traces de Mercure à Koudiet Estah (des cristaux de cinabre dans les fissures des argiles noires Eocènes). Des gisements de gypse et de matériaux de construction sont présents dans toute la région.

#### I.3. Historique des études antérieures

Le domaine des hautes plaines setifiènnes-hodna a été l'objet de plusieurs travaux de recherches géologique et métallogéniques entreprises dans des buts précis et avec des méthodes variées.

En 1910 J. Savornin a établi la première carte géologique de la région de Sétif au 1/200 000 fut publiée en 1932.Cette publication a été suivi par d'autres travaux dont le but est d'établir des cartes géologiques à une plus grande échelle (1/50000). On note également la publication de la feuille de Ras-El oued (ex : Tocqueville) par H.Crys (1953-1955), la feuille d'Ain-Taghrout en 1959 par A.Despengler et al... etc. Dans sa thèse de doctorat, qui traite les minéralisations du Tell sétifien J. GLACON (1967), a contribué à faire progresser les connaissances stratigraphiques et structurales de la région. On signale aussi les travaux de recherches géologiques de A. Caire et M. Durand-Delga (1969).

D. Obert (1969-1975), M. Leikine (1964,1975,1976) et J. M. VILA (1971, 72,75, 73,77,80) ces auteurs ont donné des nouvelles sur la micropaléontologie des formations jurassique et crétacés des Dj. Youssef et Dj. Braou en même temps ils ont dirigé et fait des travaux de réalisation de la carte géologique au 1/50000. Des levés géologiques à l'échelle 1 / 5 0 000 ont été effectués par le groupe de recherche et les équipes systématiques de l'Office national de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) (V. Vidrine, 1972 ; Y. N. Trochkin, 1974).

En 1977 SONATRACH a publié la carte géologique de la région sous la rédaction générale de J. M. VILA, la position de la limite inférieure du Villafranchien n'est pas précisée.

J. M. VILA dans sa notice explicative de la carte de Mezloug ne reconnait pas le caractère diapirique du Trias dans la région de Guellal et ne signale pas la présence du sel gemme en parlant des dépôts triasiques, bien qu'il ait été recoupé par des sondages mécaniques.

La SONAREM (1970-1979) (actuellement ORGM) a entrepris des travaux de recherche minière (concernant le sel) et hydrogéologiques dans la zone de Guellal au cours desquels plusieurs sondages mécaniques ont été exécutés, douze d'entre eux ont été implantés dans les contours du diapir de Guellal. II faut noter également les travaux géoélectriques réalisés sur le secteur de Guellal.

La Compagnie Générale de Géophysique (CGG) en 1974 a effectué sur l'ensemble des hautes plaines Sétifiennes une campagne de sondages électriques en vue de la reconnaissance des aquifères profonds sous le recouvrement quaternaire; mais ces sondages ont été réalisés avec des lignes de courant pas assez longues pour aborder les problèmes des structures profondes régionales. Cette étude a été complétée par A. Boudoukha (1989) dans le cadre de thèse de doctorat.

La région de Sétif - Hodna – Aurès a connue des travaux métallogéniques et gîtologiques par Benzerga (1974), Heni (1984), Danilov, V et al(1986), Touahri (1987), Khaldi(1987) et Beyoud (1990). L'essentiel de ces thèses traitent des minéralisations des gites de Kherzet Youssef (Heni et Khaldi) et Ain Kahla(Beyoud) et les gites des chainons intermédiaires (Benzerga).

Une étude gravimétrique des hautes plaines sétifiennes a été faite par Boudella A. (1989) dans le cadre d'une thèse de doctorat troisième cycle.

Dans le cadre de l'étude gravimétrique du Mole de Ain M'lila et de l'Atlas saharien septentrional oriental à l'échelle 1/200 000, A. Zerdazi (1990), a donné une carte de l'anomalie de Bouguer de la région de Guellal.

Dans sa thèse de doctorat d'état A. Boutaleb (2001), a étudié la minéralisation Plombo-Zincifère du domaine Sétifien-Hodna.

TOUBAL A. C. (2000, 2002 et 2003) a présenté des travaux de prospection électrique sur les

hautes plaines Sétifiennes.

Chabbi A (2008) a exploité des données géophysiques (gravimétriques et électriques) pour étudier et définir la structure du diapir de Guellal.

On note aussi des travaux qui portent sur l'hydrogéologie des hautes plaines sétifiennes (problème de salinité) Guebouli et al (2008), Demdoum A (2010) ... etc

# Chapitre II Généralités

### II.1. Aperçu sur les époques salifères en Algérie

En Algérie, quatre époques salifères importantes et d'intensité décroissance ont pu être mis en évidence :

- Une époque salifère triasique.
- Une époque salifère sénonienne.
- Une époque salifère nummulitique (paléogène).
- Une époque salifère plio-quaternaire.

### II.1.1. Epoque salifère du Trias

En Afrique de Nord, le Trias marno-gypso-salifère a été reconnu depuis longtemps (L.Glangeand, 1932 ; Durand.Delga, 1955 ; A.Caire, 1957). Il s'agit le plus souvent de Trias supérieur.

La première époque salifère du Trias supérieur est liée à la transgression marine triasique, qui a recouvert progressivement l'Afrique du Nord et la partie septentrionale de la plateforme saharienne. Malgré la péné-planisation des reliefs, cette transgression à caractère lagunaire et laguno-marin présente d'importants variations des dépôts dues à l'existence des zones hautes partiellement émergées et des fosses à forte subsidence et sièges d'éruptions volcaniques basiques synsédimentaires.

Sur le plan tectonique ces évaporites ont joué un rôle important. En effet, elles ont servi de semelles glissantes aux « charriages » de l'orogenèse alpine.

Au Trias inférieur, les mouvements différentiels de réajustement avec rejeux de fractures profondes et anciennes, affectent la plateforme saharienne et sont accompagnés d'éruptions volcaniques basiques.

Les zones hautes du domaine atlasique (mole néritique et la Kabylie) restent émergées. Les dépôts détritiques (conglomérats et grès) se forment en bordure de ces zones sans manifestations diapiriques.

Au Muschlkalk, la sédimentation se caractérise essentiellement par des dépôts d'argile et de calcaire marquant ainsi la vaste transgression marine du Trias moyen.

Au Keuper, le régime lagunaire s'installe sur l'ensemble de l'Algérie. Trois domaines se différencient du Sud vers le Nord :

a) Le domaine continental du Sahara central et occidental avec des dépôts de grès et d'argile passant progressivement au Nord aux dépôts lagunaires.

Le bassin salifère du Sahara septentrional, développé au Nord d'une ligne passant par El Goléa-Rhourde Nouss et séparé peut être par le domaine atlasique par une zone de hauts fonds. Dans ce bassin très subsides ou plus de 1000 mètres de sel gemme se sont déposés. Les hauts fonds n'ont plus d'influence sensible sur la sédimentation. L'absence de coulées volcaniques indique une tranquillité tectonique. Il est à noter le rôle important de cette couverture salifère pour le piégeage des hydrocarbures.

b) Le domaine atlasique nettement différencié de celui de la plateforme. Les mouvements tectoniques sont très actifs pendant le Trias surtout le rejeux de failles (probablement hercyniennes) et qui a été accompagné par des éruptions volcaniques, l'accident sud-atlasique aurait été activé à cette époque. Dans ce domaine trois zones de sédimentation peuvent être distinguées :

- Le bassin salifère se développant sur l'ensemble de l'atlas saharien jusqu'aux Monts des Aurès à l'Est ou se déposent les évaporites avec épanchement de laves basiques à structure doléritique.

- La mole Oranais, en partie émergé, bordant au Nord le bassin salifère atlasique. Il s'y dépose une formation volcano-détritique.

- Enfin au Nord, un vaste zone laguno-marine se caractérisant par de puissants dépôts à faciès germanique (argiles bariolées, cargneules, dolomies, anhydrite, argile, peu de sel, roches volcaniques).

#### II.1.2. Epoque salifère Sénonienne

Après une langue période essentiellement continentale au Sahara et plus ou moins marine en Algérie du Nord, l'Afrique du Nord est recouverte par la mer jusqu'à l'atlas saharien. Le Sahara au Crétacé n'était donc pas un désert comme aujourd'hui.

Les conditions lagunaires apparaissent de nouveau au Néocomien sur une partie du Sahara septentrional et à l'emplacement de l'atlas saharien, mais l'instabilité des lagunes ne permet pas un cycle continu de sédimentation évaporitique (dépôt de gypse uniquement) (G.Busson, 1969).

Au Cénomanien, la mer envahit la plateforme saharienne sur un millier de kilomètres du Nord au Sud, depuis la Berbérie jusqu'au plateau de Tinrhert et aux contre forts du Hoggar.

Après une régression du Turonien supérieur, la mer revient sur les mêmes lieux, dans la région du plateau de Tinrhert. La nouvelle transgression est marquée par un dépôt de sel massif de 250mètres d'épaisseurs, suivi de couche d'argile, d'anhydrite et de dolomie, puis de calcaire argileux.

Au Sénonien supérieur, les lagunes occupent une superficie très étendue de la plateforme saharienne et de F atlas saharien. La présence de niveaux carbonatés et de dépôts de sel gemme avec

L'anhydrite indique un régime lagune-marin. À partir du Sénonien, les lagunes n'existent que sur la plateforme saharienne ou deux bassins salifères s'installent :

a) Le bassin salifère de Béchar avec une puissance formation de sel gemme et peu de gypse et d'anhydrite (450 à 500m) caractérisé par sa subsidence.

b) Le bassin de l'oued Mya avec une formation salifère à la base (100m) et une formation

d'anhydrite intercalée de marnes, de calcaires et de dolomie au sommet.

En Algérie du Nord, du gypse se dépose localement notamment sur les hauts plateaux oranais.

#### II.1.3. Epoque salifère Nummulitique (paléogène), (d'après R.Furon, 1972)

Les mers chaudes à Nummulites recouvrent l'Afrique du Nord. Elles dessinent trois grands golfes, dont le plus important est celui qui traverse le Sahara algérien. La mer va se retirer du Sahara à la fin de l'Yprésien, en se maintenant en Afrique du Nord.

Au Nummulitique, les conditions laguno-marine persistent par endroit. Les dépôts salifères sont rares et peu importants, par contre le gypse se dépose en couches puissantes dans la région du Hodna (400m).

Après la phase tectonique de la fin du l'Eocène, la mer s'était retirée du Sahara proprement dit; A la fin du Lutétien, elle régresse encore, laissant d'importants dépôts de gypse dans le Sud du département de Constantine (J. Flandrin, 1938) et dans le sud de l'Aurès (R. Laffite, 1938).

#### II.1.4. Epoque Salifère Plio-Quaternaire

Au Pliocène, des mouvements orogéniques et épi orogéniques importants se manifestent.

Le plio-quaternaire est caractérisé par une fermeture totale des bassins et la formation de chotts, situés dans les dépressions importantes, s'accumule des dépôts continentaux post orogéniques avec d'importantes concentrations de sel gemme prévenant des niveaux salifères du Miocènes et du Trias.

A cette époque de plio-quartenaire, le lessivage est lié à des eaux de ruissellement, qui s'accumule au centre de ces chotts, puis suite an phénomène d'évaporation durant les périodes sèches, il y a dépôt d'évaporites.

#### **II.2.** La sédimentation évaporitique

#### **II.2.1. Introduction:**

Les dépôts évaporitiques sont des roches d'origine chimique, résultant de la précipitation (purement physico-chimique) de minéraux dans un milieu de saumures sursaturé.

Les minéraux des évaporites sont représentés par de l'anhydrite, du gypse, de la halite, de la sylvite et de la carnallite. Ces minéraux se forment par évaporation de saumures.

#### II.2.2. La genèse des évaporites

Les évaporites ou roches salines sont constituées d'un groupe de minéraux, d'origine essentiellement chimique, résultant de phénomènes évaporatoires survenant dans différents contextes géodynamiques continentaux ou marins, à partir de fluides variés.

Lorsque l'eau s'évapore, elle dépose les particules détritiques et les ions qu'elle contient précipitent sous forme de sels.

Selon la température et la concentration des sels contenus dans la saumure, le sulfate de calcium est précipité soit sous forme hydratée (gypse), soit sous forme anhydre (anhydrite).

La solubilité : exprimée en gramme de sulfate de calcium dans 1000g d'eau pure, elle est de 1.75g à 0°c. Elle passe par un maximum de 2.1g aux environs de 38°c pour retomber à 1.69g à 100°c. La solubilité du gypse est sensiblement plus forte dans l'eau salée.

Les matériaux déposés constituent une séquence évaporitiques. L'ordre de précipitation des sels est le suivant : CaCO<sub>3</sub>- CaSO<sub>4</sub>- NaCl- MgSO<sub>4</sub> sels de Br et K (Fig. II-1).



Les minéraux principaux sont le gypse  $CaSO_4$ ,  $2H_2O$ ; l'anhydrite  $CaSO_4$  et la halite NaCl. D'autres minéraux, quoique moins fréquents, peuvent être des constituants importants de certains dépôts salins.

Les évaporites se forment dans les bassins lagunaires des pays chauds et arides. Cependant, les milieux confinés des régions littorales tempérées sont également le siège d'une forte évaporation.

#### II.2.3. Les minéraux de la séquence évaporitique

Plusieurs cristaux et parmi les plus beaux spécimens, se forment aussi à partir de solution sursaturées en certains éléments chimiques, c'est-à-dire une solution qui contient plus de sels qu'elle ne peut en dissoudre.

Les cristaux précipitent à partir de la solution selon divers processus. L'évaporation est un de ces processus. Pour comprendre la genèse et la constitution des dépôts évaporitiques, il est nécessaire de revenir à la composition chimique des eaux de mer et des rivières, donnée dans le tableau II-1.

	Eau de rivière moyenne	Eau de mer moyenne			
	(% du résidu solide)	(% du résidu solide)			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et CO <sub>3</sub> <sup></sup>	48.6	0.4			
Ca <sup>++</sup>	12.4	1.2			
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	10.8	0.01			
SO <sub>4</sub>	9.3	7.7			
Na <sup>+</sup>	5.2	30.6			
Mg <sup>++</sup>	3.4	3.7			
$\mathbf{K}^+$	1.9	1.1			
Fe <sup>++</sup> et Fe <sup>+++</sup>	0.6	0.01			
A1(OH) <sub>4</sub>	0.2	0.01			
NO <sub>3</sub>	0.8	0.001			
Cl	6.5	55			
Total	99.7	99.73			
Salinité	121 ppm	35000 ppm			
Tableau. II-1	Tableau. II-1 : Abondance relative des ions dissous dans l'eau de mer et l'eau de rivière				
	(D'après Mason, 1966 et Liv	vingstron, 1963)			

On voit rapidement que si les rivières contiennent principalement  $HCO_3^-$  et  $CO_3^-$ , avec une proportion moindre de  $Ca^{+2}$ ,  $H_4SiO_4^{-2}$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^+$  et  $K^+$ , les océans contiennent en grande quantité du  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$  et K.

Un bon exemple est la suite de minéraux qui précipitent quand s'évapore de l'eau de mer. Le schéma qui suit illustre de façon très simplifiée comment se forme cette suite. L'eau de mer contient une panoplie importante d'ion en solution, dont les ions négatifs tels le chlore, et des radicaux négatifs comme  $CO_3^-$  et  $SO_4^-$ 

Lorsque l'eau s'évapore, les différents sels contenus cristallisent au fur et à mesure, en commençant par les moins solubles, les sels dissous se déposent en ordre inverse à leur solubilité. L'eau de mer normale à une salinité de l'ordre de 35PPm.

A cette salinité, elle est légèrement sursaturée par apport au carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> (calcite et aragonite).Ce dernier précipite naturellement et dépose une couche de cristaux de CaCO<sub>3</sub>.

C'est ainsi que lorsque 74% de l'eau se sont évaporés, le sulfate de calcium commence à se déposer ; la solution est dite pénésaline.

Quand l'évaporation atteint 91%, avec encore une augmentation de la salinité, vient la phase de précipitation du chlorure de sodium NaCl La solution est dite saline.

Il faut qu'elle parvienne à 98% pour que le chlorure de potassium et les sels de magnésium se déposent, la solution est hypersaline.



La précipitation des minéraux évaporitiques se fait entre autre, dans les grandes lagunes qui se mesurent en plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés, dans des régions ou l'évaporation excède la précipitation.

Le gros de l'alimentation en eau de ces lagunes vient de la mer. L'évaporation concentre la solution et les minéraux évaporitiques s'accumulent sur la plancher de la lagune. Pour une région donnée, il s'établira une sorte d'équilibre entre l'alimentation de la lagune en eau marine et l'évaporation, ce qui fait que la salinité de l'eau demeurera à peu près constante. Centaines minéraux de la séquence se déposent suivant la salinité. Si l'on examine les dépôts évaporitiques naturels, on constate que cette séquence idéal est rarement réalisée.

#### II.2.4. Les modèles de dépôts des évaporites

On classe généralement les évaporites en trois grands types : les évaporites continentales, les évaporites marines de milieu peu profond et les évaporites marines profondes.

#### II.2.4.1. Les évaporites continentales

Elles sont observées dans les chotts et les payas. La minéralogie de ces évaporites est relativement variable puisqu'elle dépend de la composition des eaux fluviales, elles-mêmes dépendantes de la géologie régionale. On observe en général une répartition horizontale concentriques des différents dépôts (gypse-halites- nitrates), en fonction de leur degré de solubilité, les plus solubles étant localisé au centre, lorsque l'extension du lac eu cours d'assèchement était la plus restreinte.

#### II.2.4.2. Les évaporites marines de bassin peu profond

On distingue classiquement deux modèles de bassin peu profond (Fig. II-3)

1) Les bassins fermés (en œil) ou les faciès s'organisent concentriquement avec les sels les moins solubles à la périphérie (carbonates) et les plus solubles au centre (sel de potasse). En fait ce modèle est très rare dans la nature sous sa forme pure. Des apports complémentaires d'eau de mer augmentent en général la quantité de sels précipités et, le plus souvent la composition initiale de l'eau de tels bassins est modifiée par les apports des eaux souterraines et de ruissellements. Ces bassins évoluent donc lentement vers le type lac salé continental (chotts ou playas).



2) Les bassins semi-isolés ou les bassins en goutte d'eau, ces bassins gardent une connexion avec la mer. Le faciès organisé suivant une polarité centrée sur la passe qui relie le bassin à la mer, les sels moins solubles est au voisinage de la passe et les plus solubles à l'opposé au fond de la lagune (Fig. II.4).

Dans ce type de bassin, le renouvellement des saumures par les arrivées d'eau de mer favorise les sels les moins solubles. Dans la séquence évaporitique, les stades de dépôt des carbonates et des sulfates de calcium sont plus long que les stades de dépôt halite et sels de potasses.



#### II.2.4.3. Les évaporites marines des bassins profonds

Le problème principal des modèles précédents est d'expliquer la grande épaisseur et la fréquente homogénéité latérale des séries évaporitique, ces modèles peuvent se diviser en deux types (Fig. II.5)

#### a) Les bassins structuralement profonds d'eau profonde

Ces bassins fonctionnent par l'évaporation des eaux de surface deviennent plus denses et plus salées. Elles sont donc plus lourdes et descendent. Tandis que le gypse et la halite commencent à précipiter à partir des eaux de surface. Le problème principal de ce modèle est de savoir si les évaporites peuvent précipiter simultanément (suivant une polarité à l'intérieur du bassin depuis la zone d'apports d'eau de mer, ce qui suppose le maintien d'un gradient de densité à l'intérieur du bassin) ou uniquement de manière successive.

#### b) Les bassins structuralement profonds d'eau peu profonde

Ces bassins sont totalement isolés par un seuil (fermeture d'un détroit), conduisant à un assèchement sur place et au développement d'eau peu profonde ou Sebkha.



#### II.2.5. Le cycle gypse anhydrite

L'anhydrite a rarement une formation primaire, généralement sa transformation est secondaires et vient de la déshydratation et recristallisation du gypse en anhydrite, au cours de l'enfouissement (compaction), qui provoque la perte d'eau suivant une réaction réversible :

CaSO<sub>4</sub>, nH2O 
$$\frown$$
 CaSO<sub>4</sub> + nH<sub>2</sub>O

Cette transformation est réalisée avec 38% de perte de volume.

Le processus inverse peut se produire lors du passage de couche d'anhydrite dans la zone phréatique. Le gypse secondaire se présente alors sous la forme de porphyrotope et l'albâtre (Fig. II.6).



#### II.3. Généralités sur le diapirisme salifère

#### **II.3.1.** Introduction

Les caractéristiques physiques des évaporites (**densité**, **plasticité et basse viscosité**) ont permis aux grandes quantités des sels précipités durant le Précambrien, le Permien, et notamment durant le Trias de réapparaitre à la surface de la terre par le phénomène de Halocenèse. Car à la différence de la plupart des roches sédimentaires, le sel a une basse viscosité due aux traces d'eau qu'il contient lui permettant de se déformer sous des températures basses et sous un bas taux de déviateur de contrainte. Donc tout changement de ces conditions (densité et contrainte) permet au sel de se fluer vers le haut en donnant des formes particulièrement spéciales aux évaporites que nous appelons diapirs.

#### II.3.2. Définition du diapir ou dôme de sel

Un diapir ou dôme de sel est un corps géologique de forme kilométrique essentiellement cylindrique ou en ballon ayant des racines très profondes. Il est composé par des formations évaporitiques notamment des sels et anhydrites qui sont précipités à des niveaux très profondes et apparu à la surface ou sub-surface sous l'effet de leur faible densité et pression par le phénomène de halocenèse.

#### **II.3.3.** Facteurs favorisant le diapirisme

#### II.3.3.1. La densité

Les évaporites sont souvent associées au roches sédimentaires suivantes : calcaire, grès, argiles, alluvions et autre types de roches ; donc la remonté des évaporites est due au déséquilibre de densité à des profondeurs très importantes. L'étude des densités des différentes roches du globe terrestre a donné le tableau suivant: (Tab.II.2). A partir du tableau on constate que la densité moyenne des évaporites varie de (**1.65** à **2.88** gm/cm<sup>3</sup>) ainsi la densité de l'encaissant varie de (**1.55** à **2.3** gm/cm<sup>3</sup>).La densité des roches sédimentaires augmente en fonction de leur compaction(en fonction de la profondeur) ce qui veut dire que le contraste de densité (encaissant-sel) positif à la surface peut devenir négatif en profondeur (Tab.II.3).

ROCHES ET MINER AUX	DENSITES		DENSITES
	DE	А	MOYENNES
BASALT	2.72	3.28	3.00
GRANITE	2.52	2.81	2.67
EVAPORITES			
ANHYDRITE	2.82	2.93	2.88
GYPSE	2.30	2.33	2.32
HALITE	2.10	2.20	2.15
SYLVITE	1.90	2.00	1.95
CARNALITE	1.60	1.70	1.65
AUTRES ROCHES SEDIMENTAIRES			
CALCAIRE	1.7	2.80	2.3
GRES	1.6	2.70	2.2
ARGILES	1.3	2.40	1.9
ALLUVIONS	1.5	1.60	1.55
Tab.II.2. Densité des roches.			

		calcaire	grès	argiles	alluvion		
	Densité	2.8	2.7	2.4	1.6		
Anhydrite	2.88	0.08	0.18	0.48	1.28		
Gypse	2.32	2.24	2.14	1.84	1.04		
Halite	2.15	-0.09	0.01	0.31	1.11		
Sylvite	1.95	2.04	1.94	1.64	0.84		
Carnalite	1.65	-0.39	-0.29	0.01	0.81		
	a	Contraste de den	sité en profonde	ır.			
	calcaire grès argile alluvion						
	densités	2.8	2.7	2.4	1.6		
anhydrite	2.88	0.08	0.18	0.48	1.28		
gypse	2.32	2.24	2.14	1.84	1.04		
halite	2.15	-0.09	0.01	0.31	1.11		
sylvite	1.95	2.04	1.94	1.64	0.84		
carnalite	1.65	-0.39	-0.29	0.01	0.81		
<b>b-</b> Contraste de densité à la surface.							
Ta	b.II.3: Variation	du contraste de	densité en fonctio	on de la profonde	eur.		

#### II.3.3.2. L'extension régionale

Les reconstructions paléo- bathymétriques des histoires de croissance des diapirs salifères en mer et en Luisiane côtière(USA) ont montré que les diapirs déclenchent dans les pieds des failles régionales de croissance qui sont nées pendant une extension régionale. La modélisation analogique a prouvé que les diapirs peuvent se développer indépendamment du rapport de densité et que 1'extension du socle a une influence indirecte sur le diapirisme en créant 1'espace pour 1'extension de couverture qui est la cause directe du diapirisme (JACKSON 1994).

Les grabens au-dessus des diapirs sont généralement attribués au retrait ou à la dissolution des sels.

Récemment on a montré (Vendeville ; 1992 a) que la plupart des grabens ou demi grabens audessus des diapirs sont formés pendant l'extension régionale (Fig. II.7). Ces conclusions sont soutenues par la modélisation dynamique, le raisonnement théorique et des observations sur sections sismiques (in D. Boubaya 2006). L'extension du bassin implique généralement le rifting (extension du socle) ou 1'extension post rift (extension de couverture). Les failles se forment au-dessus des sels dans les terrains de recouvrement créant des vides qui favorisent la remontée des sels.

La montée des sels était une réaction remplissant l'espace vide en exploitant le décalage des blocs de failles provoqué par l'extension des terrains de recouvrement. L'espace entre les plans des failles augmente sous la pression des sels remontés donnant naissance à une structure de dimension kilométrique d'une forme plus ou moins cylindrique enveloppée par une structure tectonique en graben ou demi-graben.

Durant le stade actif la couverture sédimentaire s'amincit et le sel continue à fluer vers le haut et l'lorsqu'il arrive à la surface de la terre il se déborde horizontalement donnant naissance à un glacier de sel ou cap rock. Ce stade correspond au stade passif du diapirisme (Fig. II.8).



Fig. II.7. Effet du taux d'extension et de la viscosité de la couche source sur la structure du style du graben. (A) la vitesse de l'extension compresse le fluide au-dessous du graben. (B) une extension lente permet au fluide de monter réactivement au-dessous du graben (d'après B.Vendeville 1992a).



Fig. II.8. Trois modes de percement pour les diapirs salifères(en bleu) et leurs caractéristiques. a)réactif, b) actif et c)passif. P, V et B sont respectivement la tension provoquée par la pression du sel, la viscosité du sel et l'intensité de la fragilité de la couverture (d'après Jackson et al.1994).

#### II.3.4. Etapes de formation du diapir

Le diapirisme peut s'amorcer dès le dépôt d'une couverture sédimentaire suffisante pour entraîner le mécanisme du diapir (halocénèse) et il dépend aussi des modalités du jeu de la subsidence à travers le bassin. En outre, l'étude géologique des bassins salifères montre qu'en fait l'halocénèse démarre seulement lorsqu'une couche de sel épaisse de 300 m au moins est enfouie sous une couverture de 1000m au moins d'après plusieurs auteures. Les schémas en dessous (Fig. II.9) expliquent comment se forme un diapir salifère. Sur une couche de sel de plusieurs centaines de mètres se déposent d'autres sédiments de nature variés (schéma A).les sédiments déposés s'empilent avec le temps et se compactent progressivement.au début leurs densité sera inférieure à celle du sel (2,16) car elles ne sont pas compactés et contiennent de l'eau. Avec le temps ; l'empilement continu et il en forme une couche de plus en plus épaisse au-dessus du sel (schéma B). Ils se compacteront et se transformeront progressivement en roche sédimentaire ; leur densité augmentera de ce fait. Lorsque l'épaisseur dépasse au moins 450 à 600 mètres, la densité des roches au-dessus du sel sera égale à celle du sel. Et on sait que si on a du moins dense sur du plus dense, ou si leur densité est égale, l'ensemble des masses sera en équilibre. Quand l'épaisseur de la couche recouvrant le sel atteint quelques milliers de mètres, en raison de la compaction la densité de la couverture augment et devient supérieure à celle du sel (de l'ordre de 2,7) (schéma C). Il y aura donc du plus dense sur du moins dense ce qui crée un sérieux déséquilibre entre les masses de sel et de roches sédimentaires. Les sels en raison de leur plasticité, pour rééquilibrer les densités commencent à fluer vers le haut avec une vitesse estimée entre 0.1 à 1 mm par an .C'est aussi que le sel s'injectera sans interruption dans la couverture sédimentaire sous forme de grands diapirs (schéma D).


#### **II.3.5.** Formes typiques des diapirs

Selon les auteurs les formes des diapirs salifères sont liées à la nature des terrains, c'est-à-dire tout dépend de la rigidité des terrains traversés par le sel, et les différentes formes résultantes sont donc dues à la nature des terrains, tendres ou rigides. Dans ce sens les auteurs confirment l'existence de trois formes (Fig. II.10) typiques de bulbes dues à la remontée du sel.

- 1. En forme de doigt de gant : si la couverture des sels est moins dure que les sels (Fig. II.10.a).
- 2. En forme de ballon (sphérique) : si la couverture est plus rigide que les sels (Fig. II.10.b).
- 3. Sous forme de champignon : si les sels ont la même viscosité que la couverture (Fig. II.10.c).

Ces trois types de formes peuvent se développer en profondeur avant que le diapir rencontre une limite supérieure.



Fig. II.10. Schémas montrant les formes typiques des diapirs (d'après T.Christpher et al, (1987)

### II.3.6. Zonalité d'un diapir et formation d'un cap-rock

Aux Etats Unis les diapirs salifères de la Gulf Coast sont généralement surmontés par une formation résiduelle appelée "cap-rocks" qui résulte de la dissolution du piston salifère. Ce cap-rock est composé d'une zone anhydritique, d'une zone gypseuse et d'une zone calcitique (Fig. II.11).

Pratiquement tous les caps-rocks contiennent une zone anhydritique, mais la zone gypseuse et calcitique peuvent ou ne pas être présentes.

Les différents stades de formation d'un cap-rock et des concentrations minérales associées, se résument dans la figure (II.12).





Fig. II.12. Différents stades de formation d'un Cap- rock et des concentrations minérales associées. Les flèches indiquent les zones de circulations des fluides. (D'après Kreitler et Button, 1983).

Chapitre III Géologie régionale

# III.1. situation des hautes plaines sétifiennes dans le dispositif structural de la chaîne alpine d'Algérie Nord-orientale

La région étudiée appartient aux hautes plaines sétifiennes de la chaîne des Maghrébides de l'Afrique du Nord. Cette chaine fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen (Durand- Delga, 1969) d'âge Tertiaire qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km de l'Espagne du Sud à l'arc calabro-sicilien en Italie.

Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.

Le domaine de la chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso- cénozoïques aboutissant à la mise en place de nappes de charriages. C'est le domaine des nappes ou domaine allochtone.

En Algérie, la chaîne des Maghrébides montre du Nord au Sud les domaines suivants (fig.III.1) :



# ➢ Le domaine interne

Correspond au massif primaire de petite et grande Kabylie : représenté par le socle Kabyle métamorphique et la dorsale Kabyle sédimentaire.

Le socle est par endroits recouvert en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'âge Oligocène supérieur–Miocène inférieur, appelés Oligo-Miocène Kabyle. Les formations du domaine interne chevauchent le domaine des flyschs et le domaine externe tellien.

## Le domaine des flyschs

Ce domaine est constitué par des nappes de flyschs crétacés-paléogènes. Il s'agit essentiellement de dépôts de mer profonde mis en place par des courants de turbidités.

On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs, les flyschs maurétaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs numidiens d'âge Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur.

# ➢ Le domaine externe

Appelé aussi domaine tellien constitué par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de km vers le Sud. On distingue du Nord au Sud :

- les nappes ultra-telliennes.
- les nappes telliennes sensu-stricto.
- les nappes péni-telliennes.

Dans le domaine externe existe des unités encore plus externes et d'allochtonie notable, mais moindre, structurées au Miocène moyen qu'on appelle séries de l'avant-pays allochtone ou tellien et se placent entre les nappes telliens au Nord et l'autochtone ou para-autochtone atlasique au Sud. On distingue ainsi d'Ouest en Est : l'ensemble allochtone sud-sétifien, la « nappe néritique constantinoise » à matériel carbonaté épais et massif du Jurassique–Crétacé, et plus au sud, l'unité des « écailles des Sellaoua ».

Les nappes telliennes et l'ensemble sud sétifien reposant en discordance angulaire sur l'ensemble autochtone et parautochtone hodnéen.

Les hautes plaines Sétifiennes dont fait partie notre zone d'étude sont situées entre le domaine interne cristallophyllien, le domaine des flyshes au Nord, et 1'ensemble autochtone et parautochtone hodnéen au Sud. Au point de vue géologique, du Nord au Sud et de haut en bas, on peut distinguer les ensembles structuraux suivants (fig. III.2, 3et 4):

- Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées.
- Les nappes de flyschs.
- Les nappes telliennes
- Les nappes issues de l'avant-pays tellien.
- L'ensemble parautochtone et autochtone hodnéen.
- Le Trias exotique ou extrusif.



Fig.III.2.extrait de la carte géologique de Sétif 1/200000 (J.M. Vila .1977)



# III.2. Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées : III.2.1. Le quaternaire

Les formations quaternaires se localisent, sur la bordure méridionale et au centre de la feuille, à l'Est de la feuille et sur les revers septentrionaux des monts du Hodna. Elles sont représentées par des éboulis et formations de pentes, des alluvions récentes, des glaciers polygéniques, des formations du Villafranchiens, des sebkha et sols sales, des formations dunaires et tufs hydrothermaux. Ces formations reposent en discordance angulaire sur les formations les plus anciennes.

Les formations quaternaires récentes sont représentées par une alternance d'argiles et de marnes à passées de graviers associes à des calcaires lacustres. Ce sont les formations les plus caractéristiques des hautes plaines Sétifiènnes.

#### III.2.2. Le Mio-pliocène:

Les formations du Mio-pliocène affleurent sur de grandes surfaces, sur l'angle Nord-Est de la feuille et sur les bordures Sud de la nappe de Djamila, affleurent aussi à l'Est et au Sud-est de la feuille. Pour le Miopliocene continental elles sont représentées par des marnes, et des cailloutis renfermant des lentilles conglomératiques et des niveaux de sel ou gypse, et des calcaires lacustres ; pour le Miocène marin, il s'agit des grès calcareux, des calcaires gréseux, des brèches et des conglomérats. L'ensemble repose en discordance angulaire sur le Crétacé supérieur.

#### III.3. Les nappes de flyschs

• la nappe numidienne : cette nappe affleure sur la bordure septentrionale de la feuille de Sétif et dans les deux massifs isolés du Chouf Karoun et du Djebel Mégriss. Elle correspond à une alternance de grès grossiers et d'argiles d'âge Oligocène à Miocène.

• la nappe de flysch maurétanien : cette nappe affleure à l'extrême Ouest de la feuille de Sétif et constitue l'élément supérieur des klippes de Ras el Fedh (Ain Roua) et de l'Oued Chertioua. Elle est constituée d'un ensemble argilo- conglomératique crétacé à Lutétien et de grès micacés priabono-oligocènes.

• la nappe de flysch massylien : sa répartition géographique est la même que celle du flysch maurétanien et comprend des grès, argiles à microbrèches et à blocs crétacés.

#### **III.4.** Les nappes telliennes

• la nappe ultra-tellienne (u) : elle est représentée par de minuscules témoins dans les régions de Djemila et Kherrata. Elle est constituée de marnes claires du Sénonien, de calcaires siliceux éocènes et de marnes noires et grises de l'Eocène-Oligocène.

• la nappe de type Barbacha (b) : cette unité affleure au Nord d'Ain Roua et comprend une alternance de calcaires gris-clairs et de lits marneux du Lias et des schistes métamorphiques sombres du Crétacé inférieur. • la nappe de type Draa el Arba : elle affleure à la bordure septentrionale de la région (Kherrata et Ain Roua) et comprend une puissante série marneuse à boules jaunes à intercalations calcaires du Sénonien et des marnes brunes et des marno-calcaires du Cénomanien.

• la nappe de type Béni-Abdallah : Cette unité constitue les klippes des Béni- Abdallah et de Ras el Fedh au Nord d'Ain Roua, un lambeau sous le Numidien du Djebel Chouf Karoun. Elle est constituée de dolomies brunes et calcaires compacts gris-clair du Jurassique (Lias-Dogger) et des marnes noirs à intercalations calcaires du Sénonien.

• l'unité supérieure à matériel éocène : cette unité est bien représentée dans les feuilles au 1/50.000 de Djemila, de Kherrata, de Sétif, d'El Eulma, de Bousellam et d'Ain Taghrout. Elle est constituée de marnes noires fini- crétacées et paléocènes à boules jaunes, de calcaires marneux schistosés à patine blanche de l'Yprésien-Lutétien et d'une série marneuse riche en boules jaunes et en bancs dolomitiques du Lutétien-Priabonien.

• la nappe bibanique : elle affleure à l'Ouest de la région et comprend une série pélitique à intercalations marno-calcaires schisteuses du Crétacé inférieur, des alternances de calciares marneux noirs et de marnes grises de l'Albien- Vraconien-Cénomanien basal, une série marno-calcaires à silex du Cénomanien-Turonien, des marno-calcaires puis des marnes à boules jaunes du Sénonien (Coniacien à Maestrichtien).

• la nappe de Djemila et l'unité inferieure à matériel éocène : elle couvre des surfaces considérables dans la moitié nord de la wilaya où elle constitue l'essentiel des affleurements. C'est la seule unité tellienne représentée par une série complète allant du Lias à la fin de l'Eocène à faciès marno-calcaires et marneux.

• la nappe de Djebel Sattor et les unités éocènes à Nummulites et à Huîtres : la nappe de Djebel Sattor est développée depuis le bord ouest jusqu'à la dépression située entre le Djebel Zdimm et le Djebel Hassane. Elle comprend essentiellement des séries marneuses à intercalations lumachelliques du Sénonien supérieur au Lutétien et de grès calcareux roux du Miocène qui repose avec une forte discordance angulaire sur les formations sous-jacentes.

• la nappe péni-tellienne : La nappe péni-tellienne apparait au Djebel Hellel, au Djebel de Halfa, aux Djebel Bou-Cherf et Ouakissène, dans le massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel Grouz. Elle comprend des séries marno-pélitiques, calcaire, marneuses et micritiques du Crétacé.

#### III.5. Les nappes issues de l'avant-pays tellien

• la nappe néritique constantinoise : la nappe néritique constantinoise est visible en fenêtre sous la nappe de Djemila à la Koudiat Touachra, au Djebel Grouz et chevauche clairement l'ensemble allochtone sud-sétifien du Djebel Hammam dans le massif montagneux du Rokbet el Djemel au Sud de Tadjenant (Saint-Donat). La série débute par du Jurassique carbonaté (dolomies et calcaires dolomitiques), surmontée de dolomies, calcaires dolomitiques, calcaires massifs et marno-calcaires du Crétacé (Néocomien à Sénonien).

• l'ensemble allochtone Sud-sétifien : cet ensemble comprend les séries des Djebels Guergour, Anini, Zdimm, Youssef, Braou, Tnoutit, Sékrine, Tafourer, Agmérouel, Zana, Azraouat, Hammam, d'Ain el Ahdjar, de la Koudiat Tella et série supérieure du Djebel Kalaoun. Il comprend des séries argilo-marneuses, dolomitiques, calcaro-dolomitiques, de calcaires massifs et marneuses dont l'âge va du Lias à l'Eocène. Ces séries sont surmontées en discordance par du Miocène marin conglomératique à la base puis calcaires gréseux et marneux au sommet.

#### III.6. Le parautochtone et l'autochtone hodnéen

Les formations parautochtones sont représentées par la série renversée et tronquée basalement du col de Tifelouine et par les terrains du compartiment nord des failles inverses d'El Bahira-Hadjar Labiod-Ain Azel-Djebel Gouzi au Sud de la région. Il comprend des séries marneuses, calcaro-dolomitiques et gréseuses qui vont du Lias au Lutétien supérieur. Ces séries sont surmontées en discordance par du Miocène marin qui débute par des poudingues rouges et des grès, suivies de calcaires gréseux puis d'une puissante série marneuse.

#### III. 7. Trias exotique ou extrusif:

Les formations du Trias affleurent en pointements exotiques et chaotiques d'argiles bigarrées à blocs carbonatés, de roches vertes et à lentilles gypsifères et ceci en de nombreux endroits: au Nord de Ain-Oualmene (Guellal), au Nord-Ouest de Ain Azel (Koudiet El Bassour) et à l'Est des Ouled Tebben (El Bahira), dans les monts du Hodna, au nord de Ain Azel et au front de l'allochtone sud sétifien, au Sud Est de Ain Azel le long de l'axe anticlinal Gouzi-Debba – Talkhempt, et au Sud-Ouest du massif de Hadjar Labiod ; au nord de la feuille plusieurs pointements jalonnent les fronts de nappes telliennes.

D'après ORGM (1984) le Trias traversé par sondage est de type « germanique » avec de bas en haut: des grès, des évaporites à intercalations de roches vertes volcaniques et de marnes silteuses gris-verdâtres (in Boutaleb 2001).

D'après Vila (1977) les masses triasiques jalonnent les contacts anormaux tangentiels à l'exception des secteurs autochtones méridionaux où le Trias occupe une position anticlinale clairement extrusive.

L'affleurement triasique de Koudiet El Bassour situé au Nord de Ain Azel (Fig. III.2) a été décrit par J .Glaçon, en (1967). Ce complexe triasique a un aspect d'un chaos de rochers noirâtres dispersés dans des marnes rougeâtres plus tendres (Fig.III.5). Il renferme des roches très variées : Des argilites bariolées, verdâtres, lie de vin, sans litage visible ; des argiles gypsifères ; des brèches dolomitiques ; des cargneules jaunâtres assez dure, avec des Hématites en grandes lamelles ; des calcaires gris ou noirs argileux alternant avec des calcaires dolomitiques ; des amas de roche à Kaolinite; octaèdre de magnétite oxydée, et fente de quartz ; un grès verdâtre à ciment argileux, feldspaths en partie altérés ; des roches vertes résultantes de la transformation des roches éruptives.



Fig.III.3. Schéma structural simplifie de la région d'étude (J.M. Vila 1980).



L'affleurement triasique de Koudiet El Bassour situé au Nord de Ain Azel (Fig. III.2) a été décrit par J .Glaçon, en (1967). Ce complexe triasique a un aspect d'un chaos de rochers noirâtres dispersés dans des marnes rougeâtres plus tendres (fig.III.5). Il est composé des roches très variées : des argilites bariolées, verdâtres, lie de vin, sans litage visible ; des argiles gypsifères ; des brèches dolomitiques ; des cargneules jaunâtres assez dure, avec des Hématites en grandes lamelles ; des calcaires gris ou noirs argileux alternant avec des calcaires dolomitiques ; des amas de roche à Kaolinite; octaèdre de magnétite oxydée, et fente de quartz ; un grès verdâtre à ciment argileux, feldspaths en partie altérés ; des roches vertes résultantes de la transformation des roches éruptives.



# III.8. La Tectonique de la région

Deux phases tectoniques majeures caractérisent la région d'étude (fig.III.3) : la première est fini-éocène, c'est la phase atlasique ; la seconde est la phase « alpine » proprement dite. Un troisième évènement s'intercale entre ceux-ci, c'est une phase d'âge Miocène basal (Vila 1977).

a) La phase atlasique : marquée par l'arrêt des séries à la fin de l'Eocène. L'Oligocène qui y fait suite ne reflète plus du tout l'appartenance à une quelconque unité. Cette phase est mieux définie à l'Est de la région d'étude où existe des formations à blocs syntectoniques associées aux formations telliennes et datées du Priabonien qui traduisent des rapprochements considérables indiquant une tectonique tangentielle.

**b)** La phase du Miocène basal : marquée par un hiatus dans la sédimentation, lequel n'est rompu que par la transgression du Burdigalien supérieur. Dans certains secteurs, ce Burdigalien fossilise des structures plissées à flancs verticaux évoquant des plis coffrés au Sud du Djebel Sékrine.

c) La phase alpine : est responsable des grands chevauchements méridionaux où le Miocène est largement impliqué. Dans le domaine tellien, cette phase est responsable des nombreux contacts qui semblent se recouper ou se relayer sans laminage apparent. C'est la phase alpine qui est responsable des torsions d'axes, décrochements et compressions supplémentaires de l'autochtone hodnéen. Les nappes telliennes présentent des phénomènes analogues de torsion de plis. La tectonisation simultanée des nappes telliennes et de leur substratum parautochtone ou autochtone prouve que leur mise en place ne peut être attribuée à un phénomène purement gravitatif.

**d)** Une vigoureuse néotectonique : est responsable de l'orographie actuelle. Elle a déterminé le comblement des bassins mio-pliocènes, alimentés par des reliefs environnants. C'est à cette époque que l'on doit situer la formation des grands anticlinaux du Nord de Sétif : les « dômes sétifiens ». Elle s'est poursuivie par la déformation des assises villafranchiennes, peut-être faillées au Nord de Djebel Youssef et nettement bombées en anticlinal par la montée récente des gypses triasiques de Guellal entre les Djebel Zdimm et Youssef (D'après Vila 1977).

Chapitre IV Géologie locale

# IV.1. La stratigraphie : (fig.IV.1, 2 et 3)

La stratigraphie de Guellal est représentée par des formations géologiques allant du Quaternaire au Trias, on a de haut en has : les dépôts peu ou pas tectonisées du Quaternaire et Mio-pliocène, les nappes telliennes, l'ensemble allochtone sud sétifien du Crétacé et du Jurassique et les formations triasiques.

#### IV.1. 1. Les formations peu ou pas tectonisées

## IV.1.1.1. Le Quaternaire:

• Alluvions récentes ou actuelles (A): développés le long des grands oueds ; représentés surtout par des limons et des graviers.

• Terres arables, formations de pentes, alluvions anciennes et Quaternaire indéterminé (Q): Ce sont des placages limoneux ; elles sont développées surtout sur la moitié sud de la feuille de Mezloug et se développent sur les basses terrasses actuelles.

• Glacis polygéniques nappant les reliefs (Q): c'est la forme la plus caractéristique des Hautes plaines sétifiennes, ils correspondent à des surfaces très faiblement pentées près des plaines dont la pente augmente progressivement vers la montagne. Ils sont recouverts d'un un matériel clastique faiblement calibré et très fragmenté vers le bas.

• Sols de sebkha : ce sont des vases salées occupées en hiver par une faible plan d'eau et asséchées pendant l'été donnant naissance à une faible couche de sel couvrant la Sebkhet Melloul.

• Les dunes ((f) : deux cordons de quelque dizaine de mètres de large sont individualisés à l'Est de la Sebkhet Melloul. II s'agit d'amas éolisés, de sables et de poussières limoneuses.

• Villafranchien probable (Q<sup>c</sup>) : ce sont des formations caractéristiques des hautes plaines sétifiennes. Il est représenté par des calcaires lacustres, sols à croutes et cailloutis fluviatiles une alternance d'argiles et de marnes à passées de galets et de graviers avec des calcaires lacustres dont l'épaisseur varie de 1 à 10 m. Les forages effectués sur le secteur de Guellal ont recoupés des formations villafranchiens dont l'épaisseur totale est d'environ 100 m. La carte géologique de J. Savornin (1932) ne montre pas le Villafranchiens, et on a les dépôts du pliocène. Alors que J. M. Vila (1977) sur sa carte, ne montre pas le Pliocène, et c'est le Villafranchien qui est présent.

Notons aussi que la limite inferieure n'est pas bien définie. La limite définie par SONAREM lors des travaux de sondages c'est le toit des argiles brunes rouges qui datent du Mio-Pliocène.

#### IV.1.1.2. Le Mio-Pliocène:

• Le Mio-Pliocène continental: ces formations sont répandues dans le Nord et le Nord-Ouest de la feuille de Mezloug, au centre de la feuille et autour du Trias de Guellal .Ceux qui se situent à l'Est et au sud

sont de faibles dimensions. C'est une puissante accumulation de cailloutis et de limons rougeâtres argilo-sableux ou marno-calcaire dont la puissance totale est de 500 m. Les forages effectués dans le pourtour du diapir recoupent ces formations et l'épaisseur recoupée varie de 5 à 25 m (SONAREM).

#### **IV.1.2.** Les nappes telliennes

Dans la région de Guellal uniquement la nappe de Djemila et la nappe de Djebel Sattor qui affleurent, elles reposent sur l'ensemble allochtone sud sétifien.

#### IV.1.2.1. La nappe de Djemila :

Elle est représentée par deux groupes d'affleurements de moins de 1 kilomètre carré chacun, ces groupes sont attribués à cette nappe par leur facies qui est largement développée sur les feuilles voisines (au Nord). Elle est composée par les formations suivantes:

• **Yprésien - Lutétien inferieur** : Il est représenté par des calcaires massifs bitumineux blancs à cassures noires et silex noir (facies à globigérines et à débris). Il affleure uniquement à la limite nord de la feuille sur la berge gauche de l'Oued Bousellam, près de la Mechta Sidi Zouaoui.

• Sénonien supérieur : près de l'angle nord-est de la feuille un petit groupe d'affleurements occupe la rive gauche de l'oued Tajera, qui est représenté par des calcaires fins à ciment cristallin et débris d'Ostréidés séparés par des marnes feuilletées claires ou grises très peu visibles.

#### IV.1.2.2. La nappe de dj. Sattor :

Affleure à l'angle Sud-Ouest de la feuille de Mezloug, où elle repose sur l'ensemble allochtone sud-sétifien. Elle s'étend sous la nappe de Djemila et sous les unités à matériel éocène. Constituée principalement par des formations d'âge allant du Miocène au Sénonien:

• **Miocène marin transgressif** (**m**): il affleure à Koudiat Sotara dans l'angle sud-ouest de la feuille. Ce sont des formations constituées à la base par des conglomérats rougeâtres de puissante faible, surmontés par des grès calcareux roux et de biosparites gréseuses dont la puissance est de 250m à 300m avec des petites intercalations marneuses. J.Vila rapporte ces formations au Miocène l anté-nappe décrit par M.Kieken dans le Titteri ou l'Ouarsenis.

• Lutétien supérieur  $(e^{6-7})$ : représenté par un seul affleurement de marnes jaunes à cassure grise riche en intercalations lumachelliques, qui est visible à l'angle sud-ouest de la feuille de Mezloug.

• **Yprésien - Lutétien inférieur (e<sup>4-5</sup>)**: présent en trois affleurements au pied nord de la Koudiet Sotara (au sud-ouest de la feuille) en faible dimension. Il est constitué de calcaires blancs phosphatés à silex noirs et débris.

• Sénonien supérieur ( $\mathbb{C}^{5-6}$ ) : ce sont représentés par des marnes jaunâtres et de gros bancs de calcaires bio-détritiques roux riches en microfossiles. Il affleure à la limite Ouest de la feuille, au pied de Koudiet Sotara.



Fig.IV.1. Carte géologique de Guellal (ORGM 1979 légèrement modifiée).



Fig.IV.2. Schéma structural simplifie de Mezloug (J.M. Vila 1977)



	Légende pour	la figure IV.3				
TERRAINS SÉDI	MENTAIRES	ENSEMBLE AL	LOCHTONE SUD-SÉTIFIEN			
FORMATIONS PEU OU PAS TECTONISÉES. Quaternaire		Masse chevauchante des Djebels Zdimm et Youssef, séries chevauchées (Indice S) du Djebel Zdimm et écaille d'Aïn el Ahdjar				
A Alluvions récentes ou	actuelles	c <sup>1-2</sup> Cénomanie avec interc	en et Turonien : corniche calcaire alations marneuses au sommet.			
Q Terres arablas, formar anciennes et Quatern Glacis porygéniques n	tions de pente, alluvions aire indéterminé. appant les reliefs.	n <sup>6</sup> -c <sup>1</sup> Vraconien- calcaires m	Vraconien-Cénomanien inférieur : marnes et calcaires marneux.			
Q <sup>c</sup> a Villafranchien probabl sols à croûte, cailloutis a - principaux niveaux	e : calcaires lacustres fluviatiles. de croûte.	n <sup>6-5</sup> Aptien ter grès et bio	Aptien terminal (?) - Albien : argiles, marnes, grès et biosparites à Mélobésiées.			
S Sol de Sebkha.		n <sup>5</sup> Aptien cal Ovalveolin	Aptien calcaire à Orbitolines et couches à Ovalveolina reicheli au sommet.			
Dunes (lunettes).		n <sup>5a</sup> Aptien ma	rneux jaune.			
Mio-Pliocène		n4 Barrémien et grès.	Barrémien : calcaires massifs, dolomies marnes et grès.			
rougeâtres, cailloutis,	conglomérats.	n <sup>1-3</sup> Néocomie bio-détritiqu	n : marnes à petits bancs calcaires ues.			
NAPPES TELL	IENNES					
Aappe de Djemila Yprésien-Lutétien inférieur : calcaires massifs bitumineux blancs à cassure noire et silex		j <sup>6</sup> Jurassique jurassica.	Jurassique superieur calcaire à Clypeina jurassica.			
c <sup>5</sup> -ed C <sup>5</sup> -ed	jerines et a debris. marnes et calcaires Ostréidés.	dj Jurassique	a dolomitique (Dogger à Malm).			
Nappe du Djebel Sattor		ls Lias supéri	ieur : marnes et calcaires marneux.			
Miocène marin : grè: et marnes	s calcareux à Mélobésiées	dl Lias dolom	itique.			
Lutétien supérieur : lumachelles à Huîtres.	marnes jaunâtres et					
Yprésien-Lutétien in phosphatés à silex no	férieur : calcaires blancs irs et abondants débris.	TRI	AS EXOTIQUE			
c <sup>5:6</sup> Sénonien supérieur détritiques en gros ba	: marnes et calcaires bio- ancs.	t Argiles, gy calcaro-dol	pses broyés et gros ''glaçons'' omitiques (dt).			

#### CONTACTS NORMAUX



 $\begin{array}{c|c} & & \\ \hline 1 & 2 \\ \end{array} \begin{array}{c} 1 & - \\ 2 & - \\ \end{array} \begin{array}{c} \text{Limite d'affleurement visible} \\ 2 & - \\ \end{array}$ CONTACTS ANORMAUX



 $\frac{a}{1 \sum_{b=2}^{a} a}$  1 - Contact anormal : a - visible, b - 2 - Faille : a - visible, b - cachée

# IV.1.3. L'ensemble allochtone sud Sétifien

L'ensemble allochtone sud Sétifien est formé par des masses chevauchantes des djebels Zdimm et Youssef, séries chevauchantes du Djebel Zdimm et écailles d'Ain el Ahdjar. Les formations de cet ensemble allant du Jurassique au Crétacé supérieur sous forme d'écailles isolées chevauchantes.

• Cénomanien et Turonien ( $c^{1-2}$ ): plusieurs affleurements signalés au sud de Dj. Zdimm et à celui qui est recouvert anormalement par le Jurassique dolomitique du Dj. Youssef. Ils sont représentés par une barre de calcaires épaisse de 150 à 200 m à la base avec intercalations de marnes grises, surmontée par 15 à 20 m de marnes beiges ou grises

• Vraconien - Cénomanien inferieur  $(n^6-c^1)$ : affleure seulement à la limite ouest de la feuille, au versant nord de djebel Zdimm. II s'agit de 150 à 200 m de marnes claires et calcaires marneux.

• Aptien terminal ?- Albien  $(n^{6-5})$ ; sur la feuille deux affleurements sont connus l'un affleure au Nord du Zdimm. L'autre apparait en fenêtre sous le chevauchement du Dj. Youssef à la Koudiet Mrikhi. C'est une série gréseuse de 130 à 140 m à bancs décimétriques à métriques de grès quartzites fins localement à ciment argilo carbonate, de grès fins homogènes à ciment dolomitique, calcaire dolomitique et de minces joints marneux verdâtres.

• Aptien (n<sup>5</sup>) : il s'agit de calcaires micritiques à Orbitolines en bancs de 3m et d'une puissance totale de 250 à 300 m avec intercalations de niveaux marneux minces. Il affleure au Nord du Dj. Zdimm, au Nord du Dj. Youssef et à la Koudiat Mrikhi.

• Aptien  $(n^{5a})$  marneux : il est représenté par un niveau de marnes jaunes à petites intercalations de calcaires biosparites et de calcaires sparitique finement sableux, affleurent sur les revers nord du Dj. Zdimm et du Dj. Youssef.

• Le Barrémien  $(n^4)$ ; le Barrémien calcaro - dolomitique et gréseux constitue l'essentiel du versant sud du Dj. Zdimm, la pointe Ouest du Dj. Youssef, quelques affleurements à Koudiet Mrikhi et à la limite est de la feuille aux environs du Dj. Gustar.

II s'agit d'environ 300 m de série à grosses barres dolomitiques rousses de 25 à 30 m de puissance. Les dolomies sont variées, biogéniques ou finement sableuses, accompagnées de calcaires microcristallins et de grès quartzitiques. Au sommet la série est franchement calcaire sur 80 m.

• Le Néocomien (n<sup>1-3</sup>): ce sont des assises de marnes à petit bancs de calcaires bio-détritiques, leur puissance est faibles (quelques dizaines de mètres).Un hard-ground minéralisé les sépare des calcaires massifs du jurassique .Sur la feuille de Mezloug elles ne sont visibles que sur le flanc sud du dj. Youssef et également à son extrémité oriental.

• Le Jurassique : le jurassique affleure en puissance à dj. Youssef et dj. Zdimm, ses dépôts

recouvrent les dépôts calcaires plus récents. On y distingue le Jurassique supérieur calcaire, le Jurassique dolomitique (Dogger à Malm), le Lias supérieur (marneux et calcareux) et le Lias dolomitique.

• Le Jurassique supérieur calcaire  $(j^6)$ : ce sont des calcaires graveleux à algues et d'une puissance de 70 à 80 m.

• Le Jurassique dolomitique (Dogger à Malm) (j<sup>d</sup>) : l'essentiel de la masse de dj Youssef est formé par des calcaires et des dolomies noires ou grises litées en gros bancs de 1 à 15 m d'épaisseur .La puissance totale est de 250 à 300 m. Ces formation sont azoïques, elles sont post-toarciennes et ante Kimméridgiennes.

• Le Lias supérieur (l<sup>s</sup>): il affleure au Djebel Youssef et au Sud du Teniet Kesira, il est représenté par une barre de marnes et de calcaires marneux barre peu épaisse (jusqu'à 20 m).

• Le Lias dolomitique (l<sup>d</sup>): représenté par une centaine de mètres de dolomies grises très cristallines dont la puissance n'est pas déterminée, affleure près de Teniet Kesira.

#### IV.1.4. Le Trias exotique ou extrusif:

Les formations triasiques affleurent au Sud du Village de Guellal le long de la route de Guellal à Ain Oualmene. Il s'agit du diapir de Guellal depuis les anciens travaux de J. Savornin. C'est un chaos de roches hétéroclites : calcaires cristallins dolomitiques sombres, cargneules, argiles, gypses rouges, blanc ou roses en amas irréguliers. À l'Ouest de cet affleurement affleure une masse calcaire fracturée, qui pourrait appartenir à l'infra Lias (Vila J.M 1977).

Durant nos visites de terrain nous avons observé des amas de roche blanche dans la couverture argileuse (voir Annexe), qui est observé à l'occasion de la réalisation d'un front de taille par une compagne privée de production de gypse. Des échantillons de cette roche blanche ont soumis à l'analyse par diffractométrie aux rayons X, et ont montré la présence de kaolinite, alors que J.Glaçons (1967) a signalé la présence des amas de roches à kaolinite dans le trias de Koudiat El-Bassour déjà décrit dans le chapitre précédent.

Les forages réalisés par la SONAREM (1970-1978) sur ce diapir et à ses limites, ont recoupé une couche de sel gemme d'environ 100 m de puissance (la limite inférieure des sels n'a pas été atteinte) sous un recouvrement d'argiles et brèches argilogypseuses, de 70 à 80 m d'épaisseur (O. Khapkine et Loukianov, 1978). La figure (IV.3) ci-dessous montre une coupe schématique passant par le centre de l'affleurement triasique dressée par l' SONAREM en 1976.



# IV.2. Tectonique de Guellal

Les ensembles de Structures tectoniques qui règnent la région de Guellal sont, (fig.IV.5)

#### 1. Les formations quaternaires et miopliocenes :

Elles occupent une grande partie du secteur étudié. Ces formations faiblement affectées par la tectonique et reposant en discordance sur le Crétacé supérieur de l'ensemble allochtone et de l'ensemble des nappes.

#### 2. Les nappes telliennes :

Dans le secteur de Guellal elles sont représentées par les nappes du Djemila et du Dj. Sattor.

• La nappe de Djemila : situé dans le Nord de la feuille. Il s'agit des dépôts d'âge Eocène et Crétacé supérieur reposant en discordance angulaire sur l'ensemble allochtone Sud Sétifien.

• La nappe de Dj. Sattor : apparue au Sud-Ouest de la feuille et est représentée par le matériel marin de l'Eocène, du Miocène et du Crétacé supérieur. Ces formations (éocènes et crétacées) plissées (en chiffons) reposent en discordance sur l'ensemble allochtone Sud Sétifien.

#### 3. L'ensemble allochtone Sud Sétifien :

C'est une unité très complexe qui renferme des écailles chevauchantes et des lames isolées affectées elles-mêmes par des accidents tectoniques verticaux et inclinés. Cet ensemble comprend les formations étalées du Jurassique inferieur au Crétacé supérieur. Par ailleurs, les formations jurassiques chevauchent celles du Crétacé supérieur, et en partie, du Crétacé inferieur.

#### 4. Le Trias de Guellal:

La structure du trias de Guellal reste discutable et jusqu'à présent n'est pas bien définie. Cette masse triasique à contours arrondis a été interprétée comme diapir depuis les travaux de J. Savornin 1920.

D'après J. M. Vila, il s'agit d'une lame assez mince de 150 à 200 m et n'a aucune racine ni pédoncule qui la prolonge vers le bas. D'après lui cette accumulation est associée soit au front des nappes telliennes, soit sous le chevauchement de l'ensemble Zdimm -Youssef. Son hypothèse est basée sur des observations de terrain (présence d'accumulations triasiques analogues au voisinage des contacts anormaux précédemment cités dans les régions voisines) et sur des données de la prospection électrique. Ainsi il a interprété la déformation du Villafranchien qui est bombé autour du Trias, par un phénomène purement anecdotique et ce n'est pas diapirique.

Plus récemment les travaux de géophysiques gravimétriques établies par A. Zerdazi, (1990), et Bendal A. M. et Bouafia A. E. (2002) ont permis de mettre en évidence une masse triasique d'une puissance atteignant 1800 m de profondeur en son centre et une extension de 5200m, localisée à Guellal (in Chabbi A. 2008) ce qui soutenir l'hypothèse diapirique.



Légende :

- 1 : Autochtone
- 2 : Ensemble allochtone sud-sétifien (2a, 2b, 2c, 2d)
- 3 : Nappe de Djemila
- 4 : Dépôt post-nappes

# Chapitre V Pétrographie & minéralogie

# V.1. Caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des évaporites au niveau du diapir :V.1.1.Le gypse

D'après l'étude microscopique et macroscopique sur les différents échantillons prélevés au niveau du diapir de Guellal, le gypse étudié présente 04 variétés principales : saccharoïde, cristalline, microcristalline et fibreuse. En réalité, chacune de ces variétés regroupe des types morphologiques et génétiques fort différents dont les plus fréquents seront décrits ci-dessous.

Ce gypse est caractérisé aussi par des couleurs variables, généralement blanchâtres, parfois grisâtres, jaunâtres, rougeâtres ou verdâtres, selon les impuretés qu'il contient ou selon la roche encaissante. (Planche. 01-02)

1-le gypse cristallin :

Le gypse cristallin est caractérisé par l'association de deux cristaux de grande taille ou en fer de lance. Ce sont des plaques souvent transparentes et incolores présentant la propriété de se laisser cliver parallèlement à la surface en minces lamelles qui ont l'éclat du verre.

2-Le gypse fibreux :

Ce sont de longues fibres cristallines. Ils forment généralement le remplissage des fractures et des diaclases. Ce gypse se développe dans les principales discontinuités sédimentaires (plan de stratification, fractures...etc.).

3-Le gypse saccharoïde :

Ce gypse est caractérisé généralement par une structure moyennement cristallisé. Il est de couleur blanche.

4-Le gypse microcristallin ou alabastrite :

II s'agit habituellement de gypse blanc, microcristallin, à grain très fin, d'aspect nodulaire. On observe généralement des nodules isolés dans un matériel non évaporitique (Argileux ou carbonate), parfois le gypse nodulaire microcristallin se forme par transformation d'une masse gypseuse composée de grands cristaux.

Il existe des gypses microcristallins massifs, souvent parfaitement homogènes et présentant l'aspect d'une pâte, ce gypse est dit alabastrite, il est également appelé aussi albâtre.

Planche 01 : l'observation macroscopique de quelques échantillons de gypse



Photo. 1. Échantillon de gypse saccharoïde



Photo. 2. Gypse sélenitique (cristallin) mono cristal



Photo.3. gypse cristallin transparent et gypse verdâtre moyennement cristallin





Photo.5. Gypse en rosettes (cristallin)



Photo.6. gypse fibreux remplissant les fissures

Planche 02 : l'observation microscopique des échantillons de gypse



Photo. 1. Dolomie fissurée remplie par du gypse fibreux (lumière polarisé).



Photo. 3. le front de remplacement de gypse par l'anhydrite(L.P).



Photo. 2. Dolomie très fine, notant que la fissure est cicatrisée par du gypse(L.P)



Photo. 4. l'aspect du gypse microcristallin en contact avec de l'anhydrite (lumière polarisé).



Photo. 5. gypse cristallin (sélénite) monocristal (L.P).

# Planche 02 (suivant) :



Photo. 6. l'aspect microscopique d'un échantillon de gypse polycristallin (L.P).



Photo. 8. passage dolomie-gypse-anhydrite(L.P).



Photo. 7. deux générations de gypse : le gypse fibreux est au milieu de gypse microcristallin (L.P).



Photo. 9. transformation de gypse en anhydrite(L.P).

Trois échantillons ont été analysés au RX présenté sous forme de difractogrammes. Ces difractogrammes ont traités à l'aide d'un logiciel appelé X'Pert HighScore qui est utilisé pour déterminer l'origine x qui met les valeurs de chaque pic et qui est représenté par une valeur de 2. La valeur de d est obtenue par la loi de Bragg (**N**  $\lambda$ =2dsin ).

Après les différents calculs des raies importantes de chaque spectre, ces dernières sont dépouillées à l'aide des fichiers ASTM (Américain Society for Testing Minerais), on utilisant la liste de minéraux rencontré dans les dépôts évaporitiques.

L'analyse des diagrammes des trois échantillons a mis en évidence l'existence des minéraux suivant: gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O), anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), calcite (CaCO<sub>3</sub>).

Le spectre de diffraction des rayons x de l'échantillon EGI2M prélevés de la masse de gypse du gisement, a montré la présence de gypse et surtout de la calcite. Le spectre de l'échantillon AGS1 prélevé d'une masse de gypse saccharoïde a révélé l'existence de gypse, d'anhydrite de de la calcite. Les observations de cet échantillon montrent également le contact gypse-anhydrite, suivant des fronts de remplacement du gypse en anhydrite (Pl 02, Photo. 3et 9). Le spectre de diffraction des rayons x de l'échantillon CD6M prélevé au sein d'une masse de gypse cristallin a montré la présence de gypse et de d'anhydrite (Pl 02, Photo. 4).la présence de cette dernière est liée à la déshydratation du gypse sous l'influence de la compaction et/ou par exposition prolongée à des conditions d'ensoleillement rigoureux. Réhydraté, ce matériel donnera un gypse microcristallin blanc alabastrite).

L'analyse chimique des variétés de gypse pur offre les résultats suivants : CaO=30,4-31,6% ; SO3=39,5-42,3% ; Fe2O3=0,3-0,5%.(SONAREM 1971)

Les résultats d'analyses par diffractométrie aux rayons X des trois échantillons prélevés sont représentés par les difractogrammes et les tableaux suivants :

#### Résultat pour l'échantillon EGI2M



#### Résultat pour l'échantillon AGS1



Tab.V.2. Résultat et interprétation de l'analyse DRX pour l'échantillon AGS1

2000 2001	<pre>sog gg g</pre>									
N°	l(counts/s)	1%	2 <del>0</del> °	<del>9</del> °	<mark>∂</mark> (Rad)	Sinช	d=λ/2Sinϑ	minéral		
1	1000,00	1063,83	11,99	6,00	0,10	0,10	7,37	gypse		
2	224,00	238,30	20,98	10,49	0,18	0,18	4,23	gypse		
3	237,00	252,13	23,68	11,84	0,21	0,21	3,75	gypse		
4	278,00	295,74	29,38	14,69	0,26	0,25	3,04	gypse		
5	102,00	108,51	31,35	15,68	0,27	0,27	2,85	gypse		
6	23,00	24,47	32,37	16,19	0,28	0,28	2,76	gypse		
7	117,00	124,47	33,69	16,85	0,29	0,29	2,66	gypse		
8	23,00	24,47	34,86	17,43	0,30	0,30	2,57	gypse		
9	12,00	12,77	37,70	18,85	0,33	0,32	2,38	gypse		
10	55,00	58,51	40,85	20,43	0,36	0,35	2,21	gypse		
11	40,00	42,55	43,84	21,92	0,38	0,37	2,06	gypse		
12	34,00	36,17	45,81	22,91	0,40	0,39	1,98	gypse		
13	87,00	92,55	48,08	24,04	0,42	0,41	1,89	gypse		
14	35,00	37,23	48,66	24,33	0,42	0,41	1,87	gypse		
15	34,00	36,17	50,56	25,28	0,44	0,43	1,80	gypse		
16	30,00	31,91	51,58	25,79	0,45	0,44	1,77	gypse		
17	45,00	47 <i>,</i> 87	56,99	28,50	0,50	0,48	1,61	gypse		
18	18,00	19,15	58,38	29,19	0,51	0,49	1,58	gypse		
19	9,00	9,57	61,30	30,65	0,53	0,51	1,51	gypse		
20	16,00	17,02	64,00	32,00	0,56	0,53	1,45	anhydrite		
21	28,00	29,79	68,90	34,45	0,60	0,57	1,36	anhydrite		
22	14,00	14,89	75,10	37,55	0,66	0,61	1,26	anhydrite		
23	16,00	17,02	76,93	38,47	0,67	0,62	1,24	anhydrite		
24	15,00	15,96	79,93	39,97	0,70	0,64	1,20	anhydrite		
Tab	Tab.V.3. Résultat et interprétation de l'analyse DRX pour l'échantillon CD6M									

#### V.1.2.Le sel gemme :(données SONAREM 1971)

Le sel gemme est de couleur grise, gris claire et gris foncé, moins souvent de teinte blanche, translucide ou rosâtre. Le sel gemme se présente le plus souvent sous forme de cristaux petits et moyens, moins souvent sous celle de cristaux grands à macro, encore plus rarement sous l'aspect de cristaux lamellaires et d'agrégats grenus. La structure du sel gemme est polygonale pennée, litée, trochoïde, brécho-rubanée, rarement filamenteuse.

Les cristaux de halite présentent des faces striées .quelques fois on constate des cristaux de configuration tourmentée témoignant des remaniements secondaires du sel. Les cristaux de halite sont souvent étirés dans le sens du rubanement, ce qui montre qu'ils se sont recristallisés sous l'effet d'une pression unilatérale.la roche renferme une quantité variable d'enclaves de roches non salines (argilites, marnes, anhydrites argileuses, dolomies argileuses et des anhydrites dolomitiques).La taille de ces fragments est variable, passant de millimètre à 5-6 cm.

#### V.1.3.L'anhydrite :

Les anhydrites sont gris foncé et grises, elles ont structure cristalline fine et sont par endroits vaguement rubanées, fortement fissurées. Les fissures sont cicatrisées par du sel gemme. L'observation microscopique des échantillons de gypse (pl. 1, fig. 5et6) nous laisse apparaître des fronts de remplacement du gypse par l'anhydrite très net.

Chapitre VI Gîtologie
Ce chapitre est consacré pour le gisement de sel gemme de Guellal (Guergour Lamri).

# VI.1.Historique :

Le gisement fut découvert en 1917, lors du creusement d'un puits d'irrigation.la première récolte a été réalisée en 1920 (8000 tonnes).à la nationalisation en 1970 le salin a été renommé «unité de Guergour Lamri». Il a été transféré de SONAREM à ENASEL en juillet 1983.

### VI.2. Calcul des réserves de sel gemme:

Les réserves de sel gemme ont été calculées avec la moyenne arithmétique.

Elles sont calculées pour toute la profondeur de la coupe de sel gemme reconnue par les sondages.

La puissance moyenne du sel gemme comprise dans le calcul est de 75.1 m. Le poids volumétrique moyen, défini en laboratoire, est de 2.05 t/m3. La teneur en NaCl de l'ensemble du gîte est la valeur moyenne de toutes les teneurs. Elle est 80.9%. La superficie du gîte de sel a été calculée par la méthode géométrique.

La limite des réserves géométrisées passe par les sondages 1,2,6,12,7,5. Les sondages 9, 10,11 arrêtés dans le toit du gîte ne sont pas compris dans le contour du calcul des réserves.

L'état de la connaissance du gisement permet de classer les réserves de sel gemme en catégorie  $C_1$  (réserves probable). Les données du calcul sont exposées dans le tableau suivant(Tab.IV.1):

Catégorie	Superficie	Puissance	Volume,	Poids	Réserves	Teneur	Réserves sel
des	du gite de	moyenne	mille m <sup>3</sup>	volumétrique	sel	moyenne	gemme pour
réserves	sel (mille	(m)		moyen(t/m <sup>3)</sup>	gemme	NaCl	100% NaCl
	m <sup>2)</sup>				(mille	%	(millions
					tonne)		tonnes)
C <sub>1</sub>	2113.5	75.1	158700	2.05	325.3	80.9	263.0
	Tab.VI.1 : données de calcul des réserves de sel gemme						

Les réserves du gisement de sel gemme de Guellal dans les contours des sondages de reconnaissance et sur la puissance moyenne reconnue, sont évaluées à 263.000.000 t (calculées en 100% NaCl). Un accroissement des réserves peut être obtenu aussi bien aux dépend des profondeurs que par l'extension horizontale du gîte.

#### VI.3. Résultats des essais et argumentation des réserves en eaux souterraines :

Les études géologiques et hydrogéologiques ont permis de dégager deux secteurs favorables, présentant des conditions géologiques les plus propices. Ces secteurs se caractérisant par une meilleure porosité des terrains aquifères (coefficient de filtration), par le plus grand débit de sondages et la plus haute teneur en NaCl dans les saumures.

1. Au voisinage du sondage N°2 la puissance du toit imperméable est de 5-6 m. celle des roches bréchiques aquifères de 21-24 m.

Au cours des essais, un débit régulier de 900 m3/jour a été obtenu avec un rabattement de 1,45 m. La densité des saumures au cours des essais s'est stabilisée à 1,20 (24°BE). Ce qui signifie qu'il faut extraire 2,89 m3 de saumure pour obtenir une tonne de sel de cuisine.

Lors de ces essais, un rabattement de niveau de la nappe de 0,32 m a été constaté dans le sondage N°8 et un rabattement de 0,98 m dans les puits d'exploitation. Ceci prouve qu'il est impossible de procéder simultanément au pompage des saumures dans le sondage N°2 et dans le puits d'exploitation. Les essais de nappe du sondage N°2 ne semblaient pas influencer le niveau des eaux souterraines dans le sondage N°7, du moins, ceci n'a pas été observé. L'évaluation des réserves exploitables des saumures a été faite en tenant compte le débit réel du sondage. Ainsi, le débit de 907 m3/jour qui est obtenu dans la période de mai à septembre y compris (comme le montre l'expérience des salines) pourra fournir 136000 m3 de saumures, ce qui après traitement approprié (évaporation, ...etc.) pourra donner 47000 t de sel de cuisine.

2. le sondage N°7 a rencontré des saumures à 50 m de profondeur, sous une assise puissante de roches imperméables représentées par des argiles gypseuses. La puissance des roches bréchiques aquifères (renfermant la saumure) est de 18 m. Le niveau statique de la nappe stabilise à 40 m au-dessus de leur toit. Le débit de sondage obtenu lors des essais de nappe, est de 1283 m3/jour pour un rabattement du niveau de 4,3 m.

La densité de la saumure obtenu au cours des essais restait invariable aux environ de 1,14 (18°BE). Ceci signifie qu'il faut extraire 4,37 m3 de saumure pour obtenir une tonne de sel de cuisine.

Il convient de souligner que les essais de nappe dans le sondage N°7 non aucunement influencé le niveau de la nappe dans les sondages N°2, 8, 9.

L'évaluation des réserves exploitables a été effectuée en se basant sur le débit réel du sondage. Ainsi, le débit de 1283 m3/jour permettra d'obtenir, dans la période d'exploitation donnée, un volume de 192000 m3 de saumure qui permettront d'extraire 44000 t de sel commun par évaporation.

Il convient de noter que dans les deux secteurs (sondage N°2 et sondage N°7) les débits indiquées ci-dessus ont été obtenus avec un rabattement insignifiant du niveau des eaux souterraines qui, dans le sondage N°2 n'a pas dépassé 10% de la puissance de la nappe aquifère et dans le sondage N°7 a prouvé une perte de charge partielle (11% de la grandeur initiale).

#### VI.4. Conclusion :

A l'issue des travaux géologiques qui ont été accomplis par la SONAREM le gîte de sel reconnu est important et est en mesure de fournir du sel pour les besoins des industries chimique et alimentaire.

La manière la plus rationnelle de l'exploitation du gîte de sel serait le lessivage artificiel du sel gemme par les sondages avec transformation des saumures obtenues.

#### VI.5. Méthodes d'exploitation du sel :

On peut classer les procédés d'exploitation du sel en deux principales catégories :

- la méthode minière

- la méthode agricole.

#### VI.5.1. La méthode minière :

Les gisements de sel gemme se présentent à des profondeurs se situant de quelques mètres à plus de mille mètres, mais aussi affleurants en surface, à ciel ouvert.

- Cas des gisements affleurants ou peu profonds : Les gisements affleurants sont exploités par la méthode d'exploitation à ciel ouvert. Le gisement est exploité du niveau le plus haut vers le plus bas avec des gradins de 10 à 15 m de hauteur. L'abattage est réalisé au moyen de tir à l'explosif. Le sel abattu est par la suite chargé dans des camions à bennes de capacité de 10 à 18 m3 de charge utile et transporté vers la station de lavage.

Pour les gisements peu profonds (entre 100 à 300 m) la méthode d'exploitation est celle des chambres et piliers. Les piliers sont abandonnés. L'accès au gisement est effectué par plan incliné de section assez large (10 à 15 m2) pour permettre le passage des engins de transport.

- Cas des gisements profonds : Lorsque le dépôt de sel est très profond, on utilise la méthode minière par sondage. Par cette méthode, on injecte de l'eau fraîche à haute pression par l'intermédiaire d'une tuyauterie dans la couche de sel ou elle dissout le sel et forme une cavité.

La saumure saturée est ensuite pompée vers la surface ou elle est traitée et évaporée dans des évaporateurs sous vide pour donner un produit de haute pureté. Dans certain cas, la saumure qui est amenée en surface est évaporée par la chaleur solaire dans des bassins ouverts.

#### VI.5.2. La méthode agricole :

La fabrication du sel par la méthode agricole ou par évaporation solaire de la saumure de l'eau de mer ou de lac (chott) date depuis fort longtemps et cette méthode est basée sur l'utilisation de l'énergie solaire.

Le procédé consiste en l'évaporation progressive de l'eau de mer ou de lac pour obtenir une saumure de bonne concentration qu'on transfert après dans des tables salantes (bassins rectangulaires) où, sous l'effet encore de l'évaporation et du vent, le sel se cristallise en formant une croûte superficielle uniforme qu'on récolte ensuite, avant entreposage et égouttage.

Ce procédé est appelé agricole parce qu'il est lié aux facteurs climatiques naturels et aux

quatre saison de l'année : automne et hiver, pour l'entretien des terrains et ouvrages des sites de production, et printemps et été, pour la concentration des saumures et la production du sel.

# VI.5.3. Choix de la méthode d'exploitation :

En définitive il y a plusieurs facteurs techniques qui entrent dans le choix de la méthode d'exploitation du sel : Ces facteurs sont essentiellement :

- les données géologiques (réserves minérales, profondeur du gisement)
- les données hydrogéologiques de la zone d'étude,
- les données météorologiques et climatiques ...etc.

La décision d'opter pour une méthode d'exploitation est essentiellement d'ordre économique sur la base d'une étude de faisabilité qui devra déterminer en fonction d'une méthode arrêtée le niveau de production, les investissements à réaliser, les effectifs, le prix de revient théorique et réel comme le montre le schéma ci-dessous.

Le Prix de revient : comprend les éléments suivants :



# VI.6.Exploitation du gisement de sel gemme de Guellal

# VI.6.1.Rappels

Sachant que la production du sel par évaporation solaire passe par deux phases successives qui jouent un grand rôle dans la production d'un sel de bonne qualité, ce sont la concentration de la saumure jusqu'à saturation et la cristallisation. L'ordre de précipitation des évaporites se résume comme suit :

• Précipitation des carbonates : oxydes de fer et carbonates de calcium et éventuellement de magnésium de 3° Be à 13° Be (90%) ;(10% à 15°Be)

- Précipitation des gypses : de 13°Be à 25,4°Be (85%) ;(15% à la fin de l'évaporation totale de la saumure).
- Précipitation de chlorure de sodium : de 25,4 Be à 29 Be (72% à 79%), au-delà la cristallisation ralenti considérablement et ne se termine qu'avec l'achèvement total de l'évaporation.
- Précipitation des sels secondaires : sulfates de magnésium, le chlorure de potassium et le bromure de magnésium) au-delà 30° Be à 38° Be et plus.

# VI.6.2.Définitions :

<u>Concentration de la saumure</u> : est la quantité de sel dissout dans une unité de volume de saumure. <u>Degré Baumé (°Be)</u> :c'est le pourcentage de sel dans un poids donné de saumure (100 g de saumure à 15° Bé avec 15 g de sel dissout).

<u>Densité</u>: c'est le rapport de poids de 1 m<sup>3</sup> de saumure au poids de 1 m<sup>3</sup> d'eau pure.la formule de relation entre Bé et d est : °Be =144.32 (d-1)/d

<u>Partènement</u> : il s'agit d'un bassin en charge, sur lequel on pompe la saumure pour le pré concentration

<u>Tables salantes :</u> ce sont des surfaces sur lesquelles se fait la cristallisation de sel après la concentration de la saumure

### VI.6.3.Méthode d'exploitation du gisement

Au contraire à d'autres gisements de sel gemme le gisement de sel de Guellal est exploité par cristallisation des saumures pompées à partir du diapir dans des bassins artificiels (tables salantes ou cristallisoirs), ces saumures sont formées par dissolution naturelle du sel gemme suite au rechargement de la nappe par les pluies. La cristallisation due à l'évaporation solaire se déroule dans des tables salantes.la saumure pompée (actuellement un puits et un forage sont uniquement en activité) vers les partènements où se concentre jusqu'à un degré Baumé déterminé (élimination surtout des gypses par précipitation) puis se pompe vers les tables salantes où se cristallise le sel sous forme de mince couche. Le processus général de fabrication de sel (fig. VI.02) au niveau du gisement se fait comme suit :



#### VI.6.3.1. Le pompage :

Lorsque la saumure atteint dans les puits et dans les forages une concentration de 19°Bé (223.7Kg/m3 de saumure) il est procédé au pompage vers le partènement .L'évaporation requise dans les partènements est de 147.00 mm.

Lorsque la saumure dans le partènement atteint 25,5°B il est procédé au pompage vers les tables salantes(le salin du GUERGOUR Lamri comporte 08 tables salantes). La surface installée totale des tables salantes est de 125 357 m2 et se décompose comme présentée dans le tableau ciaprès :

				Surface (m <sup>2</sup> )	Surface (m <sup>2</sup> )	Surface (m <sup>2</sup> )
	Code table	Longueur(m)	Largeur(m)	installée	prévue	réalisée
Table 01	308	152.00	136.74	20784.48	20496.74	20496.74
Table 02	315	150.00	49.77	7465.50	7266.73	6267.80
Table 03	322	150.00	84.57	12685.50	12451.93	12220.36
Table 04	339	148.00	102.64	15190.72	14941.08	13612.32
Table 05	346	136.00	97.00	13192.00	12960.00	12730.00
Table 06	353	182.00	109.89	19999.98	19709.09	18901.08
Table 07	360	236.00	61.52	14518.72	14222.20	13927.68
Table 08	377	182.00	118.24	21519.68	21220.44	17534.88
total				125357	123268.21	115690.86
Surface du partènement (m <sup>2</sup> )						40000
Tab.VI.2.les dimension des tables salantes et du partènement.						

Il convient de souligner que le taux d'utilisation des capacités de concentration est de 92%. L'évaporation requise dans les tables salantes est de 496.78 mm. Les capacités de pompage sont composés de :

- quatre (4) pompes de marque POVAL et de débit horaire de 10m3/h : Les pompes 1et 2 sont utilisées pour les puits, et les pompes 3, 4 sont utilisées pour les forages 1 et 2.

- une pompe (Rouet) qui a un débit horaire de 60 m3/h ; Le Rouet est utilisé pour le pompage du partènement vers les tables salantes. (Tableau .VI.3).

Le rejet des eaux mères dans un bassin se fait par gravitation.

#### VI.6.3.2. Récolte et transport du sel :

La récolte est une opération en chaîne qui débute par l'extraction et se termine par le gerbage (stockage). La récolte commence lorsque la saumure est à 29°Bé. Il se forme alors une couche de sel de 17 cm d'épaisseur. Cette couche est enlevée au moyen de récolteur.

Les capacités de récolte de l'unité de GUERGOUR Lamri sont satisfaites par un (1) récolteur de 300T/h. Ce récolteur charge le sel cristallisé dans des remorques (six (6) attelages dont 4 privés) qui transporte le sel vers une (1) station de lavage.

La longueur d'un voyage (aller et retour) entre la table salante et la trémie de réception est de 1,5 Km.

#### VI.6.3.3. Le lavage primaire :

Cette phase technologique de lavage du sel fraîchement récolté, et avant qu'il ne sèche, et indispensable en vue des objectifs suivants :

- Eliminer du sel brut les impuretés physiques telles que sable, argiles et matières organiques tant que le sel est encore humide et avant qu'elles ne s'incrustent dans les cristaux de sel ;

- Eliminer du sel brut les eaux mères et leurs sels secondaires contaminants (sels de magnésium et de potassium) et avant qu'ils ne favorisent la cimentation des cristaux de sel entre eux.

#### VI.6.3.4. Le gerbage :

Le sel lavé est mis en stock par une (1) gerbeuse. Le stock final à la forme d'un haricot qui est appelé « camelle » (Fig. VI.3).



Le tableau suivant illustre les moyens matériels disponibles et leur capacité (tab.N°08).

Designation	Nombre	Capacité théorique	Capacité pratique		
Récolteur	01	300 T/Heure	200T/Heure		
Attelage	06(dont 04 privés)		04T		
Station de lavage	01		80T/Heure		
Gerbeuse	01		80T/Heure		
Tab.VI.3: Moyens matériels de récolte, de transport et de gerbage					

Après le gerbage et la mise en stock du sel brut dans des camelles, le sel va passer au lavage secondaire.

Chapitre VI : gîtologie

#### VI.6.3.5. Lavage secondaire :

Le lavage secondaire est constitué d'une vis-sans-fin inclinée et par injection à contrecourant de saumure saturée. La saumure circulera dans un circuit fermé de purification et sera traitée chimiquement dans des bassins de décantation

#### VI.6.3.6. Atelier de conditionnement : (fig.VI.4)

Il s'agit ici du traitement complet du sel récolté dans des tables salantes, au niveau d'une atelier qui est équipée par :

- Essoreuse
- Sécheur
- Deux (2) broyeurs B1 et B2
- Peseuse
- Quatre (4) machine M1, M2, M3 et M4
- Bandes transporteuses V

### VI.6.3.6.1. Essorage :

Le sel lavé sera accumulé dans une trémie de réception, puis passera à l'essoreuse par une bande transporteuse.

Le sel lavé sera essoré dans une centrifugeuse qui réduira son humidité à environ 2,5 à 4,5 %. La saumure rejetée par l'essoreuse sera recyclée dans le système de purification.

# VI.6.3.6.2. Séchage :

Le sel essoré sera dirigé dans un sécheur par V1, le sécheur sera suivi par un refroidissement par ventilation d'air filtré et forcé.

### VI.6.3.6.3. Iodation :

Le sel séché est dirigé vers un silo par deux (2) vis V2, V3 et puis l'iodation se fait par un système de goûte à goûte.

### VI.6.3.6.4. Broyage :

Le sel iodé est dirigé vers les deux (2) broyeurs B1 et B2. Le broyage se fait pour concasser les agglomérations de sel et les réduire.

#### VI.6.3.6.5. Conditionnement du sel :

Le sel broyé va passer vers les machines de conditionnement par V5. Le conditionnement du sel se fait selon les spécificités du marché du sel, on peut prévoir :

- soit sel alimentaire (1/1 coussins, 1/1 carré, 1/25 Big.Bag).

- soit sel industriel (1/25, 4/25 traité, 4/25 brut, poudre).



Planche .3. Salin de Guergour Lamri



Photo.1. montrant la table salante  $N^{\circ}$  06.



Photo.3. montrant le puits dont on pompe la saumure.



Photo.5. montrant le rouet utilisé pour pomper la saumure concentrée dans le partènement aux tables salantes.



Photo.2. montrant un partènement.



Photo.4. montrant le pompage de la saumure dans le partènement.



Photo.6. montrant la gerbeuse qui met le sel lavé en stock.

# VI.6.3. La production

L'unité de GUERGOUR Lamri produit deux types de sel ; alimentaire(SA) et industriel(SI), l'évolution de la production des dernières années (tableau.VI.4) se résume dans la figure suivante (Fig.VI.5) :

Année	2003	2004	2005	2006
Production totale (tonne)	14301	17179	22770	25028,5
SA	12334	15400	19384	24236,5
SI	1967	1779	3386	792



# VI.6.4. La qualité de sel

D'après les résultats d'analyses effectués sur les différents échantillons du sel récolté (avant lavage, après lavage, après iodage) on constate que la qualité de sel est très bonne (tableau 10).

Désignations	Formule chimique	Résultats d'analyses		
Humidité	H <sub>2</sub> O	0.220		
Résidu insoluble	RI	0.134		
Calcium	Ca <sup>+2</sup>	0.110		
Magnésium	Mg <sup>+2</sup>	0.024		
Sulfate	$SO_4^{-2}$	0.337		
Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	/		
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	/		
Sulfate de calcium	CaSO <sub>4</sub>	0.374		
Sulfate de magnésium	MgSO <sub>4</sub>	0.092		
Sulfate de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0		
Chlorure de calcium	CaCl <sub>2</sub>	0		
Chlorure de magnésium	MgCl <sub>2</sub>	0.022		
Chlorure de sodium	NaCl	99.37		
Carbonate de sodium	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0		
Bicarbonate de sodium	NaHCO <sub>3</sub>	0		
Iodate de potassium	KIO <sub>3</sub> (mg/kg)	08.42		
Ferrocyanure de sodium	$Na_2Fe(CN)_6$	0		
Tab.VI.5. Résultats d'analyse chimique d'un échantillon prélevé du Vis N°5 en mars 2009(labo- ENASEL)				

#### **II.3.** Diverses utilisations du sel :

Le sel, qui était utilisé dans le passé uniquement comme condiment et pour ses propriétés de conservation, est aujourd'hui présent dans tous les secteurs de l'activité humaine.

#### **II.3.1.** Alimentation :

Le sel joue un rôle essentiel dans l'organisme humain en maintenant l'équilibre hydrominéral et en intervenant dans la régulation de la pression et du volume sanguins. La consommation quotidienne individuelle varie habituellement de 0,5 g, minimum vital, à plus de 10 g selon les climats et les civilisations.

Le sel est aussi nécessaire à l'alimentation animale pour remplacer le chlorure de sodium éliminé par la sueur et les excréments, et transmis dans le lait (1 litre de lait de vache contient 2,5 g de sel). Les besoins journaliers en sel pour les animaux varient, selon les espèces, de 05 à 60 g par tête de bétail et sont satisfaits au moyen d'aliments composés ou sous forme de pierres à lécher.

Le sel s'est avéré un support idéal pour les besoins physiologiques en micronutriments d'une large population avec, notamment, la pratique très bénéfique de l'iodation du sel pour lutter contre la carence en iode (goitre, crétinisme, etc....).

#### **II.3.2.** Applications dans l'industrie :

En plus de la consommation habituelle de sel comme la consommation humaine, le NaCl trouve beaucoup d'applications dans l'industrie :

• Le sel est utilisé pour conserver les aliments ;

• La saumure (ou le sel) est utilisée pour le déneigement des routes.

• Le carbonate de sodium  $Na_2CO_3$  est utilisé dans les industries des cosmétiques, les détergents, papiers,... Une quantité de 1.5 à 1.7 T de NaCl permet de synthétiser 1T de  $Na_2CO_3$ .

• Le clore (Cl) : est utilisé dans l'industrie du papier (blanchiment), la chloration des eaux, l'industrie du textile, la préparation de HCl, la synthèse de PVC, la synthèse du CCl<sub>4</sub>,..., une quantité de 1.87 T de NaCl permet de synthétiser 1 T de Cl,

• La soude : est utilisé comme agent de transfert de chaleur et de préparation du peroxyde de soude ; une quantité de 01.8 T de NaCl permet de synthétiser 01 T de NaOH,

• Le sulfate de sodium  $Na_2SO_4$ : utilisé dans l'industrie des détergents, des médicaments, des sulfites, verre, sulfures,.....;

• Le chlorure de calcium (  $CaCl_2$  ): il est utilisé comme agent réfrigérants c'est un antigel et un dessicant ; une quantité de 01.45 T de NaCl permet de synthétiser 01 T de  $CaCl_2$ 

• L'oxyde de sodium  $NaO_3$ : qui est une interface d'échange de cations est utilisé pour la synthèse de HCl.

# II.3.3. Biologie des salins :

Il existe une vie très intense dans les milieux salins que ce soit pour des germes visibles ou invisibles, c'est une vie sélective par rapport à la concentration.

• Les algues (DUNALIELA) : la DUNALIELA vit à des concentrations de 7.8 à 21 –22° Be. Elles synthétisent le Bêta-carotène par l'accumulation des rayons solaires.

Lorsqu'elles meurent à 22°Bé elles prennent la couleur rouge (la couleur bêta carotène), utilisé par la chimie pharmaceutique pour la production du carotène.

• L'ARTEMIA : se nourrit de la DUNALIELA, appartient à la famille des brachiopodes.

L'artémia est une nourriture très riche en aqua – culture (pour les poissons), puisqu'elle est constituée d'acides gras polyinsaturés et de bêta – carotène, elle augmente NT l'indice d'appétence. Son système de reproduction est de type parthénogénétique.

• Sur les cristaux de sel vivent des bactéries halophiles extrêmes qui rejettent le sel et gardent l'eau (phénomène d'osmose).

• L'HEPHEDRA utilisée en chimie pharmaceutique pour synthétiser l'éphédrine (Médicine de psychotrope).

• Dans les milieux salés vivent également les flamants roses, les canards,...etc.

# <u>Deuxième partie</u> : comparaison avec un diapir de l'atlas saharien, diapir d'El-Outaya, wilaya de Biskra

# Chapitre VII Etude du diapir d'El-Outaya (Biskra)

# Vll.1. cadre géographique

Le diapir d'El-Outaya (Dj. El-Melah) se situe au Nord- Ouest de Biskra et à 07 km au Nord- Est du village d'El-Outaya (figVII.1). Il appartient d'une part au contrefort ouest du massif montagneux, de l'Aurès et d'autre part à la terminaison Est de la plaine d'El-Outaya.



Fig. VII. 1. Situation géographique du diapir d'El-Outaya ou Dj. El-Melah (Google maps, 2013)

Le diapir se dresse jusqu'à 626 m à son point culminant sans s'intégrer dans les autres alignements et domine la plaine d'El-Outaya qui s'étale au Sud-Ouest du Djebel Magraoua au pied de l'Aurès à des altitudes de 250 m à 480 m.

Le réseau hydrographique est caractérisé par des cours d'eau temporaires, à l'exception de Oued Biskra qui a un écoulement semi-permanent, et reçoit sur sa rive gauche quelques tributaires issus de l'Aurès et du Djebel El-Melah.

Toutefois, des filets d'eau saumâtres peuvent être mentionnés s'écoulant à la périphérie de Djebel El-Melah, presque en permanence, tel qu'Oued El-Melah. Deux sources chaudes, sont mentionnées dans la région, celle de Hemmam Salhin au Nord-Ouest de Biskra et celle du Hemmam Sidi El-Hadj (35°C à 45°C) à 5 Km au nord du Djebel El-Melah.

Le climat de la région est aride ; les reliefs et les plaines sont dépourvus de végétation, sauf sur les surfaces irriguées où on y trouve des touffes d'alfa ainsi que d'autres plantes.

La morphologie du Djebel El-Melah est très compliquée suite aux accidents tectoniques affectant la région. Ainsi en raison de la dissolution des sels un modèle de Karst salin est développé, donnant ainsi naissance à des entonnoirs de différentes tailles, des crevasses et fréquemment des affleurements de caractères de Lapiez.

# Vll.2. Cadre géologique

# **1. Introduction** :

Le Dj.El-Melah ou diapir d'El-Outaya fait partie du domaine sud de l'Atlas saharien. Qui est rattaché à la terminaison Sud-Ouest de l'Aurès est situé entre les deux feuilles d'El-Kantara au Nord et d'El-Outaya au Sud (à 1/50000).Pour une étude géologique bien précise il faut référer à ces deux cartes géologiques, notons aussi que la carte de Biskra à 1 :5000 00 qu'a publié R. Laffite ne permet pas dans notre cas que de donner un aperçu global sur la géologie de la région. En raison de l'absence de la carte géologique d'El-Outaya qui est probablement non publiée nous avons référé seulement sur la carte d'El- Kantara. Pour connaitre la position du diapir par rapport aux autres formations nous avons tracé une coupe géologique qui traverse la partie Nord- Est de ce diapir (Fig.VII.2), et referons sur les études antérieures faites par R.Laffite (1939) et R.Guiraud (1973,1990) qui sont considérées jusqu'à présent comme références de base ; des études plus récentes sont traites la régions dont l'objectif est différent (sédimentologique, tectonique, hydrogéologique ...etc), parmi eux M. Chebbah (2007) a présenté une thèse doctorat porte sur les formation néogènes de la région de Biskra d'où il a tracé une coupe NE-SW précisant bien la position du diapir d'El-Outaya par rapport aux unités géologiques de la région(Fig.VII.3.)

# 2. Lithostratigraphie (Fig.VII.2)

# 2.1. Trias

Les formations du Trias sont les plus anciennes formations reconnues dans la région. Il s'agit du dôme de sel (diapir) d'El-Outaya (Dj. El-Melah). Il est formé par du sel gemme qui est l'élément dominant, le gypse est fréquent en forme de plaquettes blancs grisâtre ; des lambeaux dolomitiques attribués au Lias sont associés au corps salifère (sel gemme) Le Trias du domaine atlasique est différent de celui de la plate-forme saharienne par l'absence des facies détritiques caractérisant la base du trias du Sahara et encore des hauts plateaux. Guiraud (1973, 1990) suppose que ces niveaux détritiques sont probablement restés solidaires avec le Paléozoïque lors du détachement de la couverture plastique .Il s'agit probablement de dépôts lagunaires



Fig.VII.2. Extrait de la carte géologique d'El-Kantra 1 /50000

# Quaternaire(q) : éboulis, glacis, terrasse, croute gypseuse

 $q^{5-6}$ ,  $q^{4-6}$ ,  $q^{4-5}$ : glacis polygéniques ;

q<sup>6</sup>: galets et lentilles argilo-sableuses ;

 $\boldsymbol{q}^{5}$  : alluvions argilo-sableuses à lentilles caillouteuses, conglomérat de base ;

q<sup>4</sup>, q<sup>3</sup> et q<sup>2</sup>: conglomérat très grossier

Pliocène(p) : grès et marnes gréseuses rosâtres

# Miocène(m) :

m<sup>4</sup> : marnes brunes, gypseuses ;

m<sup>3b</sup>: marnes gris-vert, gypseuses ;

m<sup>3a</sup> : calcaires à Algues et conglomérat de base

Miocène inferieur m<sup>2</sup>, m<sup>1</sup> et m<sup>1-2</sup>: marnes à gypse et calcaire parfois conglomérats, grès, et marnes rougeâtres **Éocène** :

Eocène moyen (e<sup>5-6</sup>) : conglomérats rougeâtres surmontant des marnes gypseuses

Eocène inferieur ( $e^{1-4}$ ) : calcaires et marnes blanchâtres ;( $e^{3-4}$ ) : calcaires et marnes lumachelliques ;

e<sup>1-2</sup>: marnes à passées gréseuses

# Crétacé :

Maestrichtien sup (C<sup>6b)</sup>: calcaires massifs

Campanien, Maestrichtien inf ( $c^{5-6a}$ ) : marnes grises à passées gréseuses ou calcaires

Santonien (c<sup>4</sup>) : alternances de marnes et calcaires à silex et Inocérames

Coniacien (c<sup>3</sup>) : marnes et rares calcaires-argileux

Turonien (c<sup>2</sup>) : calcaires graveleux, alternances de barres calcaires et de combes marneuses, calcaires à Rudistes Cénomanien supérieur, Turonien basal (c<sup>1d</sup>) : dolomies

Cénomanien moyen (c<sup>1c</sup>) : alternances de calcaires et de marnes

Cénomanien inferieur (c<sup>1ab</sup>) : marnes grises et rares calcaires-argileux

Trias supérieur (t<sup>3</sup>) : sel, gypse, argiles

**Trias moyen** (t<sup>2</sup>) : dolomies noires

: Faille





# 2.2. Jurassique

# 2.2.1. Jurassique inférieur et moyen

Le Lias constitue avec le dogger l'ossature calcaro- dolomitique de plusieurs chaines des monts de Hodna, qui appariaient grâce au diapirisme. Au sein de ces formations carbonates les coupures stratigraphiques sont difficiles à établir. Pour cela le regroupement de Lias et du Dogger afin de former une même unité morphologique parait préférable, dont la dolomie est foncé et également pyritifère souvent fissurée parfois bréchoides constitue à la bordure Sud et Nord - Ouest du Dj. El-Melah.

Des paquets en reliefs atteignent 500x200m et il en existe également plusieurs blocs (50-150m) dans le massif notamment à son point culminent (R. Laffite, 1923).

# 2.2.2. Le Jurassique supérieur

Ces formations sont mieux représentées que celles du Lias et du Dogger. Cependant, les limites lithostratigraphiques sont nettes sauf à la base de sa série (Lias, Dogger), leur positon stratigraphique est souvent difficile à établir que se place au toit des carbonates francs du Dogger (Guiraud, 1990), leur limite supérieure correspond à la disparition brutale ou à la forte diminution des carbonates au profil des éléments détritiques.

# 2.3. Le crétacé

# 2.3.1. Le crétacé inférieur

Ne montre aucun affleurement dans notre terrain d'études, ce dernier par ailleurs entoure la dépression du Hodna, marqué par des épisodes marno-gréseux alternant avec des formations carbonatés dont les associations faunistiques sont assez rares et limités. L'Albien qui affleure à Dj. El-Melah montre une série complète où l'on peut distinguer un ensemble à dominante marneuse surmonté par des grès fins, puis par des calcaires admettant des intercalations marneuses vers le sommet, avec un passage aux marnes cénomaniennes progressif.

# 2.3.2. Le crétacé supérieur

Cette série est complètement représentée dans le massif du Dj. El-Melah qui venu à l'affleurement grâce à la remonté du diapir salin. Il comporte des formations à dominantes marneuse puis calcareuse. Les dolomies surmontées par des calcaires correspondants probablement au Cénomanien qui sont rattachés au Turonien par analogie au Dj. Bourhezal et Dj. Modiane.

Le passage au Sénonien est formé par des calcaires marneux à l'Est de diapir. Du Coniacien au Campanien se poursuivre à l'Est où le Campanien est représenté par des marnes grisâtre intercalés par des bancs de calcaires. Cependant, le passage au Maestrichtien basale est marqué par l'affleurement de façon irrégulière des calcaires argileux de couleur gris clair et des marnes de couleur jaune - verdâtre, il constitue en effet, l'enveloppe du massif salin vers l'Est. Des brèches argileuses de couleurs gris verdâtre et argilites violacées ont été également observé à la bordure Ouest et Nord-Ouest du massif. Au contact du dôme de sel, les marnes sont de couleur jaune à verdâtre présentant des litages violacé et vert plus au mois onduleuse à grains très fins.

Les argilites violacées sont plus au moins friables, les grains son très fins de l'ordre de micromètre avec une couleur violacée tachetée par des grains d'oxyde de fer d'ordre millimétrique, la couleur est rouge brunâtre, l'oligiste se présente en lamelles dans des vacuoles, les grains sont d'une taille millimétrique.

### 2.4. Le Paléogène

En raison du caractère néritique, lagunaire et continental la stratigraphie du Paléogène établit d'une façon assez imprécise. On observe à Dj. El-Melah des formations de l'Oligocène marqué par les tenues suivantes (D'après R. Laffite, 1939):

• Des dépressions à dominante marno-gypseuse rouge à passer de silstones.

• Des alternances de roches argilo - gréseuse et grès ainsi que des poudings à l'Est et au Nord du Dj. El-Melah Entre l'anticlinal des Beni Ferrah et celui de Dj. El-Azereg, à la terminaison Nord occidentale d'El-Outaya affleurent des calcaires blancs jaunâtres plus au moins tendres d'une dizaine de mètres.

# 2.5. Miocène

Il s'agit des formations le plus souvent continentales parfois lagunaires localisées à l'Est et Nord-Est du Dj. El-Melah (Guiraud, 1990). Il existe également une épaisse série rougeâtre (plusieurs centaines de mètres) recoupée en cluse par l'oued Guecha, qui comporte des marnes surmontés par des conglomérats. Au Nord-ouest du massif affleurent des sables, des grès et des silstones.

A l'Est de ce dernier les séries détritiques rouges sont légèrement discordantes recouvertes par des marnes jaunes à verdâtre plus au moins gypseuses, ainsi que des calcaires argileux.

# 2.6. Le Pliocène

Il affleure au Nord-Ouest de la plaine d'El-Outaya, sur le piémont du Dj. Fellag. La série débute en fait par un gros banc de grès friable brun à jaunâtre à galet, que surmontent des alternances de sables marneux rougeâtres et de grès lins bruns jaunâtres avec une stratification oblique.

Au-dessus, il y a la présence d'un banc de gypse vient ensuite des marnes gypsosableuses rougeâtres à rares passées gréseuses et enfin une barre conglomératique à éléments assez grossiers, mal cimentés et épaisses de 20 à 30 m

A l'Est de la plaine d'El-Outaya, n'affleure plus que de façon très discontinue dans la zone fortement tectonisée qui sépare Dj. El-Melah du Dj. Mohar.

### 2.7. Le Quaternaire

Marqué par le dépôt des formations très peu épaisses et généralement étagées formant ainsi des alluvions et des éboulis avec des limons argileux, et sableux de la plaine. A proximité du Dj. El-Melah, il y a des limons à blocs et des poudingues.

### 3. Tectonique

La tectonique affectant l'Aurès, surtout à sa terminaison Ouest, a conduit à la formation du gisement de Dj. El-Melah, à la configuration du relief environnant, aux structures existant sous la plaine et à son potentiel en eau.

L'Aurès a été du domaine marin depuis le lias jusqu'à la fin du Lutétien, avec une interruption pendant le Crétacé inférieur (Barrémien); le Miocène inférieur (Burdigalien) est de nouveau marqué par une transgression marine. Cette dernière sépare deux phases de plissement: le Burdigalien est discordant sur tous les terrains antérieurs. La première phase affecte tout l'Atlas Saharien et a eu son maximum, sans doute, à l'Eocène supérieur; elle a été suivi à l'Oligocène, du dépôt de faciès continentaux ou lacunaires. La seconde phase a plissé tous les dépôts postérieurs, jusqu'aux formations conglomératiques du Pliocène

Les déformations paraissent se poursuivre jusqu'à nos jours et il faut leur attribuer l'instabilité séismique du parcours de l'Aurès.

Les plis principaux, dont la naissance remonte à la première phase de plissement, et leurs axes orientés de l'Ouest Sud-Ouest à l'Est Nord-Est; ils sont relativement peu allongés (brachyanticlinaux), et leur disposition indique l'existence d'ondulation et des failles transverses.

La structure de la région d'El-Outaya, du Nord au Sud est marquée par :

L'anticlinal du Dj. Metlili ; synclinal d'El-Kantara ; anticlinal de Beni Ferrah ; anticlinal de Dj: El-Azreg ; synclinal des Rassira ; anticlinal du Dj. Bourhezal, relais de l'anticlinal de l'Ahmer Khaddou.

Le crétacé (et le Jurassique dans le Dj Azreg) apparaît dans l'axe des anticlinaux ; les synclinaux cités montrent un remplissage pléistocène. Le dj. El-Melah peut être considéré comme un petit anticlinal intercalé entre ceux des Beni -Ferrah et du Dj.Azereg, mais il s'agit d'un élément assez étranger au contexte.

Les formations de la plaine d'El-Outaya ont également subi après l'Eocène moyen les mouvements tectoniques affectant toute la région y compris les plis et fractures transverses; les couches sont redressées, voir renversées, à la périphérie. Dans l'ensemble toutefois, le remplissage quaternaire y forme un plan incliné du Nord au Sud (Fig. VII.5).



Fig.VII.5. schéma structural de la région de Biskra (d'après Laffite et Guiraud, in Chebbah 2007)

# Vll.3. Géologie du gisement de sel d'El-Outaya

### Vll.3.1. Age de dépôt

La formation de ce gisement remonte à la première période salifère qui débute au Trias, âge de l'ouverture du bassin atlasique, et s'achève au début du Lias. Cela est témoigné par la présence de marnes et argilites bigarrées où bariolées comme enclaves dans le corps minéralisé.

Cependant, cet indice de bigarrure des argilites et des marnes de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, n'est caractéristique du trias que dans la mesure où elles renferment en plus au moins grande quantité de certains minéraux particuliers (quartz bipyramidé, oligiste, barytine, dolomite, etc.); résultat de transformations secondaires liées à la mise en place anormale du Trias.

Dans les argilites de ce gisement, des lamelles d'oligiste ainsi que des cristaux de la calcite sont vu à l'œil nu (SONAREM). Par ailleurs, cet indice ne témoigne pas seulement de l'âge triasique du dépôt mais aussi de l'origine continentale du dôme de sel d'El-Outaya.

### Vll.3.2. Age de mise en place

Pour R. Laffite (1939 a), l'abondance du sel d'El-Outaya ne tient pas à un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (postmiocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements qui sont anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps. Prenant à titre d'exemple celui de Maafa et Menaa, dont l'âge de leur mise en place est Eocène. Ils sont marqués par le manque du terme supérieur à Halite dominante, peut être enlevé par dissolution et érosion dès ou avant la transgression burdigalienne.

Selon R. Guiraud (1990), la mise en place récente (fini-pliocène) de ce diapir ne fait pas de doute, mais il existe bien d'autres raisons de la richesse de celui-ci en sel. La dissolution du sel en surface est néanmoins un phénomène possible et probable.

En toute circonstance, le dôme de sel d'El-Outaya n'a pas pu réaliser son percement du substratum marin durant la période anté-miocène, mais cela n'exclut pas que le diapirisme n'a pas engendré une tectonique synsédimentaires locale, voire un bombement sous-marin pendant cette époque.

### Vll.3.3. Mécanismes de mise en place

La mise en place du dôme de sel d'El-Outaya est rattachée au phénomène diapirique qui dépend de la subsidence et des accidents synsédimentaires. Le diapirisme peut s'amorcer dès le dépôt d'une couverture sédimentaire suffisante pour entraîner le mécanisme du diapir (halocénèse) et il dépend donc des modalités du jeu de la subsidence à travers ce bassin. En outre, l'étude géologique des bassins salifères montre qu'en fait l'halocénèse démarre seulement lorsqu'une couche de sel épaisse de 300 m au moins est enfouie sous une couverture de 1000m.

Djebel El-Melah a une épaisseur qui dépasse les 300 m. Son ascension a démarré postérieurement au Jurassique ou au Crétacé, c'est à dire après le dépôt d'une couverture sédimentaire qui dépasse les 1000 m d'épaisseur. Le diapir a engendré un bombement sous le substratum marin durant la période anté-miocène. Autrement dit, avant son affleurement, le réseau des accidents synsédimentaires a participé d'un point de vue spatial à l'activation de la surrection du dôme, notamment les accidents de l'Aurès et de l'Atlas saharien de directions EW et NW-SE qui contrôlent à la fois la sédimentation dans les Aurès et le bassin de l'Atlas saharien (Fig. VII.5).

Toutefois, la tectonique de l'Aurès présente une très grande importance du moins dans sa terminaison Ouest, car elle a conduit à la formation du gisement du Djebel El-Melah, à la configuration du relief environnant, aux structures existantes sous la plaine et aussi par son potentiel en eau.

# Vll.3.4. Etude de la minéralisation

# Vll.3.4.1. Localisation et morphologie du dôme

Le massif triasique présente un diapir avec disposition concentrique et rebroussement en dôme dissymétrique des couches encaissantes. Il s'allonge du W-NW en E-SE et mesure environ plus de 5,5 Km de long, suivant son grand axe, et plus de 2,5 Km en largeur. Toute autour du massif de sel s'ordonnent en couronne et en pitons des terrains récents du Crétacé et du Tertiaire.

La crête présente une altitude de 500 m sur une longueur de 2 Km et une largeur de 500 m. Elle a tendance à s'élever vers le Sud-est, où se trouve le point culminant d'une hauteur de 626 m. Les versants montrent une certaine dissymétrie.

Au Nord, où le Djebel EL-Melah se raccorde aux contreforts de l'Aurès, la pente moyenne est faible par rapport à celle du versant Sud qui confine avec la plaine d'El-Outaya.

Le versant Sud-Ouest présente un réseau de ravins qui ont déchiqueté le massif. Au versant Est où l'ancienne mine est installée, les courbes de niveau s'incurvent vers l'Est puis progressivement vers le NE. Au-dessus de la courbe de 500 m, la pente est de l'ordre de 40% entre les anciennes installations et la future carrière et elle se réduit à 15% à hauteur du point culminant. Toutefois, au voisinage de 600 m, la pente s'accentue de nouveau (D'après

les levés de la mission de l'ENASEL, plan de 79/2/017 et des cartes de L'I.G.N).

Au-dessous de 500 m, la pente est de plus en plus forte jusqu'au niveau de 430 m, entre 430 m et 330 m la pente moyenne est de 60%, plutôt faible vers l'Ouest et d'avantage vers l'est. Le profil présente en son milieu une sorte de corniche où pour 40 à 60 m de dénivellation, la pente atteint 80 à 100%. La corniche s'efface dans le versant uniformément redressé à 100% que l'on observe dans la partie Est du site de la carrière. D'autres contreforts, moins marqués, constituent des sortes d'accès au flanc de La montagne.

Plus bas, la pente de versant s'atténue, la dénivellation moyenne est de 20%, mais la surface est ballonnée. Il y a aussi des ravins encaissés et des contreforts. C'est d'ailleurs, dans ce secteur que se dressent les collines satellites constituées par des lambeaux de lias. Ces collines atteignent des altitudes de 360 m, soit une dénivellation de 60 m au-dessus du niveau de la plaine. Celle-ci se développe sous une rupture de pente située à la côte d'environ 300 m. Elle a l'allure d'un piedmont régulièrement incliné jusqu'à l'oued de Biskra.

# Vll.3.4.2. Composition du minerai

Les travaux réalisés par la compagne belge Tractionnel ainsi que les travaux de la SONAREM ont pu mettre en évidence les différents types de sel gemme, la composition chimique de ce dernier, les impuretés et enclaves qu'il contient ainsi que les réserves de ce gisement et la teneur en NaCl.

# A. Les différents types de sel (Halite)

La SONAREM a pu définir 4 catégories ou types de sel nommés A, B, C et D.

# • Type A. Sel massif

Texture grenue, taille des grains de 3 mm, couleur gris clair à plus foncé, avec taches blanches, aspect moiré, parfois les alternances de couleur sont régulières, en bandes dont l'épaisseur varie de 2-3 à 10-15 mm ; ce "rubanement" est plus souvent perpendiculaire à l'axe de la carotte, quelle que soit l'orientation du sondage . Ce type de sel est compact, la surface de la carotte est lisse.

# • Type B. Sel granuleux

Ce sel est plus friable, la surface de la carotte est rugueuse, les organes ayant été dissocié en surface lors du carottage avec une taille de 4 ou 5 mm.;

La couleur est blanche à gris clair, il n'y a pas de régularité dans la distribution de ces couleurs. La texture est grenue.

# • Type C. Sel chargé d'inclusion

La texture est grenue à vitreuse. Les grains de sel sont blancs ou gris, mais l'ensemble apparaît gris sale, à cause des impuretés de petite taille dispersées dans le sel : cette couleur apparaît plus au moins uniforme. Dans le cas où la couleur n'est pas uniforme, la couleur est propre des grosses inclusions, gris assez foncé du sel grenu dans les zones à fines inclusions, gris clair au blanc de sel plus pure, par tâches,

Ce sel est assez compact, mais présente d'assez nombreux vides ou fissures, parfois avec une recristallisation de la halite pouvant atteindre 2 à 3 mm.

# • Type D. Sel saccharoïde

La texture est finement grenue ou vitreuse. L'aspect est saccharoïde. Ce type de sel est blanc à transparent. Il est considéré comme une recristallisation dans les fissures ou autour des grosses enclaves ; parfois en taches irrégulières dans les autres types de sel cités ci-dessus.

Il est assez friable. La récupération de carotte dans ce type de sel est particulièrement basse.

# B. Composition du sel

Les constituants essentiels de la partie solide de sel sont la halite (NaCl) et l'anhydrite (CaSO<sub>4</sub>). Selon un rapport établi par l'ENASEL (1990), la première représente environ 90%

de la masse et la seconde environ 5% (2 à 10 % selon les échantillons). Signalons aussi l'absence totale d'autres sels habituels accompagnatrices des gisements évaporitiques tel que : Sylvine (KCl) et Sylvinite (KCl.NaCl), Kaïnite (KCL, MgSO<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O), Carnalite (KCl.MgCL.6H<sub>2</sub>O); le gypse n'est repéré qu'en surface.

Par contre de fins grains de quartz et de petits cristaux de carbonates peuvent se présenter sporadiquement.

#### C. Impuretés et enclaves

Ce gisement est constitué essentiellement de sel gemme. Il est chargé d'impuretés, qu'elles soient sulfatées ou rocheuses. Les impuretés sulfatées sont particulièrement de l'anhydrite et du gypse.

Les impuretés rocheuses sont des enclaves, le plus souvent, formées de marnes et d'argilites. Ces marnes dites bariolées sont de couleur grise à verdâtre dont la taille varie dans les différents types de sel. Dans le type A, la taille est inférieure à 1 mm ; elle est plus grande dans le type B pouvant atteindre 25 à 30 mm. Le type D présente des impuretés très nombreuses avec une taille comprise entre 30 et 50 mm, parfois plus. Deux types d'enclaves peuvent être distingués, les violettes et les verdâtres.

L'analyse par rayons X de ces enclaves réalisée par l'ENASEL, donne la composition minéralogique suivante : Il s'agit de chlorite, anhydrite, halite, oligiste (magnésite) et quartz. La proportion de ces constituants varie selon qu'il s'agit d'enclaves vertes ou violacées.

# **D.** Réserves et teneur en NaCl

Les réserves exploitable du gisement sont estimées à 03 millions de tonnes de toutvenant et de 2,5 millions tonnes de NaCl, avec une teneur moyenne de 83,70% en NaCl. L'expérience pratique de plusieurs années d'exploitation permet de considérer que la teneur moyenne effective ne devrait pas dépasser 82% en NaCl. La durée de vie calculée par la compagne Tractionnel est de 16 ans, à raison de 180,000 t /an.

Le gisement de sel gemme d'El-Outaya est exploité par l'ENASEL à ciel ouvert. L'exploitation est arrêtée en 2006.

#### Conclusion

Le diapir d'El-Outaya, appartient au domaine atlasique (flanc sud de l'atlas saharien) est un diapir typique actif, favorisé par la tectonique qui affecte le domaine. L'âge de mise en place est récent, probablement post-miocène. Le gisement est constitué principalement par le sel gemme avec la présence de l'anhydrite et peu de gypse. Il est exploité par la méthode minière dont l'exploitation est arrêtée.

# **Conclusion générale**

Le diapir de Guellal fait partie du domaine des hautes plaines sétifiennes, est situé dans le Nord-Est algérien à environ 20 km au Sud-Ouest de la ville de Sétif. Ce domaine est limité par les Monts de Djemila au Nord et par les contreforts des Monts du Hodna au Sud, et s'étend entre Dj.Zdimm à l'Ouest et le domaine néritique constantinois à l'Est.

La zone d'étude montre un dispositif structural très compliqué et affecté par l'orogenèse alpine sous forme de nappes reposant en discordance angulaire sur l'ensemble autochtone et parautochtone hodnéen. La stratigraphie de la région de Guellal est représenté par des formations allant du Trias au Quaternaire.

Les données de la géologie basés sur la position qu'il occupe ce diapir, la forme circulaire en surface et le bombement des terrains qu'il entourent ainsi, les données fournies par les travaux de sondages et forages (SONAREM 1971-1979) appuyer par d'autres travaux de géophysiques plus récemment (A. Zerdazi 1990 ...) convergent vers l'hypothèse diapirique de ce pointement triasique. La mise en surface de ce dernier est probablement facilitée par le système de failles qui affecte la région.

Les principales substances utiles de ce diapir sont représentées essentiellement par des dépôts évaporitiques (gypse et sel gemme). Les dépôts de gypse sont répandus en surface en amas et en masse isolés et /ou broyés, et sous forme de minces couches de quelques mètres en profondeur. Alors que le sel gemme (halite) est répandu uniquement en profondeur en formant un gisement d'une grande importance économique.

L'étude pétrographique des formations évaporitiques montre l'existence de quatres types de gypse, cristallin, microcristallin, alabastrite et fibreux de couleur blanchâtre, rougeâtre, rosâtre et grisâtre liés à des impuretés. Les minéraux accompagnateurs sont formés par de l'anhydrite, de la calcite et des oxydes et hydroxydes de fer. L'étude minéralogique (diffraction aux rayons X) a pu confirmer les données de la pétrographie en prouvant l'existence surtout du gypse, de l'anhydrite et de la calcite.

Le diapir de Guellal est exploité pour le sel gemme, d'où l'ENASEL le produit on procède le pompage de la saumure résultante de la dissolution du sel du gisement sous terrain (se fait par la recharge de la nappe par les eaux pluviales du bassin versant) vers des bassins conçus d'où et sous l'effet de l'évaporation la saumure se concentre et les ions qu'elle contient précipitent en donnant une couche de sel. Récolté, transporté le sel rentre dans un atelier de conditionnement qui débute par le lavage et se termine par la commercialisation. Des analyses se font quotidiennement et à chaque étape au niveau du laboratoire pour vérifier la qualité du sel. Les informations que nous avons obtenu indiquent une bonne qualité de sel. La production actuelle reste très modeste (généralement ne dépasse 20000 t/an) en tenant compte le tonnage du gisement (263 millions tonnes). Pour augmenter la capacité de production on recommande ce qui suit :

- la construction de nouveaux partènements ;
- l'entretien et la remise en état des tables salantes, notamment la reconstruction de la couche de contre sel pour les zones accidentés et le planchéiage des digues (par le boisage ou par d'autres matériaux convenables);
- la diminution des pertes au lavage primaire, par la rénovation de la station de lavage primaire ou selon les capacités financières l'acquisition d'une nouvelle station utilisant les techniques nouvelles de lavage (essorage), et aussi par l'utilisation d'une Saumure de lavage de 25.5 °B pour empêcher la dissolution de NaCl.

Il est possible d'augmenter la production en augmentant le pompage si on utilise la méthode minière par sondage. Par cette méthode, on injecte de l'eau fraîche à haute pression par l'intermédiaire d'une tuyauterie dans la couche de sel où elle dissout le sel et forme une cavité.

La saumure saturée est ensuite pompée vers la surface où elle est évaporée par la chaleur solaire dans des bassins ouverts. Dans ce cas l'extension du salin est très recommandée.

L'étude géologique des formations triasiques du Dj .El-Melah (Nord du Biskra) montre que ces formations avec une disposition concentrique et rebroussement en dôme des couches encaissantes, constituent un diapir typique, vient à la surface en faveur d'accidents importants affectant la région et peu après le jeu de ces derniers. Ce qui permet à Guiraud de lui attribuer un âge fini-pliocène et dont l'accession continue, probablement encore ; alors que Laffite lui attribue un âge post-miocène. Par comparaison on peut dire que le diapir de Guellal est un diapir sous terrain (son piston) et le diapir d'El-Outaya est un diapir apparent actif, le premier appartient au domaine des hautes plaines sétifiennes, et le second appartient au domaine de l'atlas saharien (les séries de l'avant pays atlasique autochtone). Le gisement de sel de ce dernier est exploité par carrière alors que l'exploitation du premier se fait par la méthode agricole (pompage et cristallisation).

# **Références bibliographiques**

# AKROUR, H., AOUADJRHANE., M. THIBIEROZE, J. OTMANINE, A et TOUAHRI, B.,

(**1991**) : Gîte et indices de fluorine d'Algérie du Nord : inventaire et reflexion.Bull.Off.Nat.Géol Algérie, vol.2, N°1, pp.11-28.

BOUANDEL N., (1999) : étude géologique du Dj.El-Mlah (w.de Biskra), mémoire d'ingé. Ist. Const

**BOUBAYA, D.,** (2006) : Etude géophysique multiméthode du Nord : implication sur le lien entre le diapirisme salifère et l'extension de couverture, Est algérien, Mémoire de magister USTHB, Alger.

**BOUDELLA, A., (1989)** : Etude gravimétrique des hautes plaines sétifiennes, Thèse de doctorat troisième cycle, USTHB, Alger.

**BOUTALEB, A., (2001)** : les minéralisations Pb-Zn du domaine sétifien-Hodna : Gîtologie, pétrographie des dolomies, microthermométrie et implications métallogéniques Thèse. Doct d'état. USTHB, Alger, Algérie.

**BOUZENOUN, A. (1993)** : Minéralisations péridiapiriques de l'Aptien calcaire : Les carbonates de fer du gisement hematitique de l'Ouenza (Algérie orientale). Thèse. Doc. Un. Paris IV.p206.

BOUDJAMAA, A., GONNARD, R., KAZI TANI, N. ET REYMOND, A., (1972): Etude géologique des dômes sétifiens. Rapport SONATRACH-BEICIP. Inédit.

**BOUILLIN, J.P., (1986) :** Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. Bull. Soc. Géol. France, 8(2) 547-558.

**BUSSON, G., (1974)** : le Trias évaporitique d'Afrique du Nord et d'Europe occidentale : données sur la paléogéographie et les conditions de dépots.Bull.Soc.Géol, n06, pp.653-665.

CALLIERE, HENIN et RAUTUREAU, (1982): Minéralogie des argiles, 2- Classification et nomenclature. Masson.

**CHABBI A., (2008)** : Caractérisation géophysique des intrusions salifères de Guellal, Sétif, Nord-Est algérien. Mémoire de magister .université Badji Mokhtar, Annaba.

**CHADI M., (1991) :** Géologie structurale des monts d'Aïn M'lila (Algérie NE). Thèse de Doctorat de l'Uni. Nancy I, 191 p. 1 carte géol. H T.

**CHADI M., (1999) :** Evolution mésozoïque et tertiaire de la plate-forme constantinoise (Algérie NE). Revue des Scies de la Terre et de l'Aménagement, Pub. De l'IST –Uni. Mentouri de Constantine, p. 1-10. **CHEBBAH M, (2007)**: Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat d'état de l'Université mentouri. 417p.

**CHRISTPHER, T. et MARTIN, J., (1987)** : Les remontées de sel. Pour la Sciences de Scientifique American. n120. Pp 47-55 ; 23 fig. Edition française.

**COJAN, I., RENARD, M., (1997)** : Sédimentologie. Masson Ed., Paris, Coll. Enseignement des Sciences de la Terre, 418 p.

DECOURT, M., TEFIANI, VILA, J.M., (1993) : Trias 93. Mém 6. Serv. Géol. Algérie.

**DOMZIG A., (2006) :** Déformation active récente et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse de Doctorat-Université de Bretagne Occidentale - France, 343 p.

**DUBORDIEU, G., (1956)** : Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens). Thèse. Sci. Paris. Serv. Carte. Géol. Algérie, n.s, Bull. n<sup>0</sup>10, 659 p.

**DURAND-DELGA M., (1969) :** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.

**FLANDRIN, J., (1938)** : Nouvelles observations sur le trias de Souk-Ahras(Algérie). B.S.G.F, 5, III, pp. 497-504, Paris.

**GLAÇON, J., (1952) :** Les monts du Hodna (Partie orientale) XIX e Congrès de Géologie, Alger ; Mon. Rég. 1ère Série, Algérie, n° 7.

**GLAÇON, J., (1967)** : Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifien (Algérie). Ibid. Nlle. Ser., Bull. n°32, 2 t. 750p.

**GUIRAUD, R.,** (1975) : L'évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Revue de Géographie physique et de géologie dynamique (2), Vol. XVII, fasc. 4, pp. 427-446. Paris.

**GUIRAUD, R., (1990) :** L'évolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines: Thèse Doct. Sci. Univ. Nice, 259 p. Mémoires n03, Publ. de l'ONIG, Alger.

**HENNI, A., (1998)** : Minéralogie, géochimie et métallogénie du gisement Pb-Zn de Kherzet Youcef. Mém. Serv. Géol. Algérie, 9, 77-116.

**KHALDI, A., (1987) :** Le gisement de Kherzet Youssef: une minéralisation Pb-Zn-Fe-(Ba) stratiforme dans le membre médian marno-carbonaté du Barrémien de la région, de Ain Azel (Hodna, Algérie), Th. Doct; 3 cycle, ENSG Nancy, 439 p.

**KIRECHE, O., (1993) :** Evolution géodynamique de la marge tellienne des Maghrébides d'après l'étude de domaine parautochtone schistosé (massif du Chélif, de l'Oranie, Blida-Bou Mad, des Babors et Biban) Thèse es Sc. USHB, Alger, 328p.

**KOWALSKI, W.M et HAMMIMED, M.,(2000)** : Diapirisme polyphasé ou glacier de sel Albien ? Dilemme de matériel triasique des confine algéro-tunisien. Bull. Serv. Géol. Algérie vol 11, n<sup>0</sup>1, pp 29-60.

**KOWALSKI, W.M et HAMMIMED, M., (2002)** : Les étapes d'effondrement des grabens dans les confins algéro-tunisiens. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol 11, n<sup>0</sup>1, pp 29-60.

LAFFITE, R., (1939) : Etude géologique de l'Aurès. Publ. Serv. Carte géol. Algérie. Bull, n 5, 451 p, Alger.

**PERTHUISOT, V., (1978)**: dynamique et pétrogenèse des extrusions triasiques en Tunisie septentrionale. Thèse Sc. Paris, 312 p, 91 fig. 49 pl. 4 pl. h. t.

**PERTHUISOT, V., (1991)**: Diapir et halocinèse. Comment les évaporites refont surface. Géochronique, n0 40, pp. 13-16.

**PERTHUISOT, V. et ROUVIER, H., (1992)** : Les diapirs du Maghreb central et oriental : des diapirs variés, résultat d'une évolution structurale et pétrographique complexe. Bull. Soc. Géol., France. T. 163, n<sup>0</sup> 6, pp. 751-760.

**ROUVIER, H., (1990)** : les concentrations polymétalliques liées aux diapirs évaporitiques des confins algéro-tunisiens. Rapport interne EREM, Boumerdes, Algérie, 71 p.

**ROUCHY, J. M., BERNET-ROLLANDE, M. C. et MAURIN, A., (1986) :** Pétrographie descriptive des évaporites. Applications sur le terrain en subsurface et au laboratoire. Les séries évaporitiques en exploration pétrolière. Tome 1 : Méthodes géologiques. Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel, Comité des Techniciens et Greco 52 (CNRS), Édition Technip, Paris, pp. 73-122.

**ROUCHY J. M., (1988) :** Relations évaporites - hydrocarbures : l'association laminites - récifs évaporites dans le Messinien de Méditerranée et ses enseignements. In : G. Busson (ed.), Évaporites et Hydrocarbures, Mém. Mus. natn. Hist. nat. (C), 55: 43 - 69, Paris.

**ROUCHY J. M., BLANC-VELLERON M., (2006)** : Les évaporites. Matériaux singuliers, milieux extrêmes, Collection Interactions, Société Géologique de France, Paris : Vuibert, 190 p.

SAMI, L., (2003) : Contribution à l'étude géologique et gîtologique des minéralisations à Pb-Zn, Ba etF dans la région de Meskiana (Atlas saharien oriental, Algérie). Thèse de magister. USTHB. Alger.125 p.

**SALMI-LAOUAR, S., LAOUAR, R., (2004)** : Rapports isotopiques du soufre, d'oxygène et du carbone dans le massif de Boudjeber NE algérien : Origine des minéralisations à Pb-Zn-Ba et source des fluides. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol 15, n<sup>0</sup> 1, pp 3-25

**SAVORNIN J., (1913)** : carte géologique détaillée de l'Algérie aux 1/50 000 feuilles N° 93, Sétif avec notice explicative.

**SAVORNIN J., (1920) :** Etude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien. Bull. n° 7, Serv. Carte Géol. Algérie, 2<sup>ème</sup> série.

SAVORNIN J., (1930) : Schéma structural de la Berbérie et du Sahara Nord. Carbonel Edit. Alger.

**SONAREM, (1979)** : Rapport sur les travaux de recherche et de prospection pou l'approvisionnement en eau de Sallin de Guellal (wilaya de Sétif). Inédit.

**TOUAHRI, B.,** (1987) : Géochimie et métallogénie des minéralisations à Pb-Zn du Nord de l'Algérie. Th. Doct. Sc. Univ. Paris VI, 380 p.

VELDE, (1995) : Origine and mineralogy of clays. Clays and the environment. Springer.

**VENDEVILLE, B. C., and JACKSON, M. P. A., (1992 a)**: The rise of diapers during thin-skinned extension: Marine and Petroleum Geology, vol. 9, p. 331-353.

**VENDEVILLE, B. C., and JACKSON, M. P. A., (1992 b)**: The rise of diapers during thin-skinned extension: Marine and Petroleum Geology, vol. 9, p. 354-371.

**VENDEVILLE, B. C., GE, H., and JACKSON, M. P. A., (1995):** Models of salt tectonics during basement extension: Petroleum Geoscience, v. 1, p. 179-183.

**VYDRINE, V., (1972)** : Géologie et lois de distribution des gisements de métaux non ferreux dans le NE de l'Algérie (SONAREM rapport interne inedit).

VILA, J. M., SIGAL J., COIFAIT P. E., LAHONDER J. C. et QUINIF Y. (1975) : Sur l'allochtonie du Tell sétifien : la fenêtre de la Koudiat Touachra et la nappe de Djemila. Bull. Soc. Géol. France, (7), XVII, n° 6, p 1172-1175.

VILA, J. M., (1977) : Notices explicatives des cartes au 1/200 000 de Constantine et de Sétif et des cartes au 1/50 000 de la même région.

VILA, J. M., (1980) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Docteur ès Sciences. Paris VI, 3 vol, 663 p. 199 fig., 40 pl., 7 pl.

VILA, J. M., (1996) : Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins algérotunisiens : Trias allochtone ' glaciers de sel' sous-marins et vrais diapirs. Mém. Serv. Géol. Algérie, n 6, pp. 105-152, 25 fig.
**VILA, J. M., (1996)**: Halocinèse distensive albienne à glacier de sel sous-marin et plissements tertiaires du secteur Ouenza-Ladjebel-Meridef. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol 7. n<sup>0</sup>1, pp 3-34, 10 fig.

WILDI, W., (1983) : La chaîne tello-rifaine (Algérie – Maroc - Tunisie): Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. de géol. dynam. et de géogra. physique, Vol. 24, Numéro spécial, pp. 201-297.

**ZERDAZI, A., (1990)** : Etude gravimétrique du Mole d'Aire de l'Atlas Sahraoui septentrional oriental (Nord-Est de l'Algérie), Thèse de doctorat Sciences. Univ de l'Ausane. Suisse. 213 p.

Figure. I.1.	situation géographique de la zone étudiée (Google maps 2013)	04
Figure. II.1.	L'ordre de précipitation des évaporites (Jaques.beauchamp, 2001)	11
Figure. II.2.	Schéma illustre la suite de minéraux quand s'évapore de l'eau de mer	13
Figure. II.3.	Répartition des faciès (A) évaporitique dans le cas d'un bassin fermé. (D'après Einsele, 1992 ; extrait Cojean & Renard 1997).	14
Figure. II .4 .	Répartition des faciès en carte (A) et en coupe (B) dans le cas d'un bassin marin à seuil (d'après Einsel, 1992). Variante du modèle dans le cas d'une alimentation par infiltration d'eau de mer (C). (Extrait Cojean & Renard, 1997).	15
Figure. II.5.	Modèle de précipitation subaquatique dans les bassins profonds (Modifié d'après Cojan et Renard, 2006)	16
Figure. II.6.	Les environnements de dépôts et de diagenèse des différents types de gypse et d'anhydrite (D'après, Turcker, 1995 ; Cojean & Renard, 1997).	17
Figure. II.7.	Effet du taux d'extension et de la viscosité de la couche source sur la structure du style du graben. (A) la vitesse de l'extension compresse le fluide au-dessous du graben. (B) une extension lente permet au fluide de monter réactivement au-dessous du graben (d'après B.Vendeville 1992a).	20
Figure. II.8.	Trois modes de percement pour les diapirs salifères(en bleu) et leurs caractéristiques. a)réactif, b) actif et c)passif. P, V et B sont respectivement la tension provoquée par la pression du sel, la viscosité du sel et l'intensité de la fragilité de la couverture (d'après Jackson et al.1994).	21
Figure. II.9.	Schémas montrant les étapes de formation d'un diapir salifère. (A.B.C.D).	22
Figure. II.10.	Schémas montrant les formes typiques des diapirs (d'après T.CHRISTPHER et al. (1987)	23
Figure. II.11.	Disposition des différentes zones minéralogiques d'un Cap-rock (D'après Posey, 1988, modifiée)	24
Figure. II.12.	Différents stades de formation d'un Cap- rock et des concentrations minérales associées. Les flèches indiquent les zones de circulations des fluides. (D'après Kreitler et Button, 1983)	25
Figure. III.1.	Situation de la région d'étude dans le dispositif structural de la chaîne alpine d'Algérie Nord-orientale. (Wildi, 1983)	26
Figure. III.2.	extrait de la carte géologique de Sétif 1/200000(J.M. VILA .1977)	28
Figure. III. 3.	Schéma structural simplifie de la région d'étude (J.M. Vila 1980)	33
Figure. III.4.	Coupes interprétatives Nord-Sud au 1/200000 à l'Ouest (1) et(2) à l'Est de Sétif (LM, VII A 1977)	34
figure. III.5.	Carte schématique de Koudiet el Bassour (Glaçon 1967)	35
Figure. IV.1.	Carte géologique de Guellal (ORGM 1979)	39

Schéma structural simplifie de Mezloug (J.M. Vila 1977)	39
Coupes interprétatives au 1/50000 ;1) N-S ,2) NNW-SSE (feuille de Mezloug, LM,VILA 1977)	40
Coupe schématique passant par le centre de l'affleurement triasique (ORGM 1976)	44
Coupe schématique des différents ensembles tectoniques des hautes plaines Sétifiennes (ORGM 1979)	45
les éléments déterminants le prix de revient	58
Processus général de fabrication de sel	60
schema d'un stock final « camelle»	62
schéma du traitement de sel du gisement de Guergour Lamri (ENASEL. 1983 modifié)	64
l'évolution de la production du sel (sel alimentaire et sel industriel)	66
Situation géographique du Dj.El-Mlah, El-Outaya, w.de Biskra	69
Extrait de la carte géologique d'El-Kantara 1 /50000	71
Coupe AB sur la carte géologique d'El-Kantara 1/50000	72
Coupe synthétique NE-SW passant par le diapir d'El-Outaya (M. Chebbah, 2007)	72
schéma structural de la région de Biskra (d'après Laffite et Guiraud, in Chebbah 2007)	76
	Schéma structural simplifie de Mezloug (J.M. Vila 1977) Coupes interprétatives au 1/50000 ;1) N-S ,2) NNW-SSE (feuille de Mezloug, J.M.VILA 1977) Coupe schématique passant par le centre de 1'affleurement triasique (ORGM 1976) Coupe schématique des différents ensembles tectoniques des hautes plaines Sétifiennes (ORGM 1979) les éléments déterminants le prix de revient Processus général de fabrication de sel schema d'un stock final « camelle» schéma du traitement de sel du gisement de Guergour Lamri (ENASEL. 1983 modifié) l'évolution de la production du sel (sel alimentaire et sel industriel) Situation géographique du Dj.El-Mlah, El-Outaya, w.de Biskra Extrait de la carte géologique d'El-Kantara 1/50000 Coupe AB sur la carte géologique d'El-Kantara 1/50000 Coupe synthétique NE-SW passant par le diapir d'El-Outaya (M. Chebbah, 2007) schéma structural de la région de Biskra (d'après Laffite et Guiraud, in Chebbah 2007)

Planche .1.	l'observation macroscopique de quelques échantillons de gypse	47
Planche .2.	l'observation microscopique des échantillons de gypse	48
Planche .3.	Salin de Guergour Lamri (Guellal)	65

Tab. II.1.	Abondance relative des ions dissous dans l'eau de mer et l'eau de rivière (D'après Mason, 1966 et Livingstron, 1963)	12
Tab.II.2.	Densité des roches.	18
Tab.II.3.	Variation du contraste de densité en fonction de la profondeur.	19
Tab.V.1.	Résultat et interprétation de l'analyse DRX pour l'échantillon EGI2M	51
Tab.V.2.	Résultat et interprétation de l'analyse DRX pour l'échantillon AGS1	52
Tab.V.3.	Résultat et interprétation de l'analyse DRX pour l'échantillon CD6M	53
Tab VI 2	les dimensions des tables salantes et du partènement	55 61
Tab.VI.3:	Moyens matériels de récolte, de transport et de gerbage	62
Tab.VI.4.	l'évolution de la production du sel (sel alimentaire et sel industriel).	66
Tab.VI.5	Résultats d'analyse chimique d'un échantillon prélevé du Vis N°5 en mars 2009 (labo- ENASEL)	67

## Annexe



Amas d'argiles blanches (photos 1,2 et 3)





Argiles violacées caractérisant la couverture du trias (photos 4)



Difractogramme correspondant à l'échantillon N 01 de l'argile blanche



