

REBUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIQUE ET DE  
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° de série :.....

N° d'ordre :.....

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

THESE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN  
GEOLOGIE

OPTION : GEOLOGIE DES SUBSTANCES UTILES

**Thème : Etude des formations carbonatées du versant Sud du massif  
de l'Oum Settas : Approche quantitative et qualitative**

Présenté par :

Wassila Nacer

Jury :	Boumezber	A	MC. Université de Tébessa	Président
	Benzagouta	M.S	MC. Université de Constantine	Encadreur
	Marmi	R	MC. Université de Constantine	Examinateur
	Chadi	M	MC. E. N. S Constantine	Examinateur

Année 2005

# Dedicaces

**Je tiens à dédier ce modeste travail de magister à :**

**A mes très chers parents,**

**A mes frères et sœurs surtout mon frère Saber ,**

**A toute la famille Nacer,**

**A toutes les amies ( Selma , Sihem ,Wassila, Ilhem, Soltana et Sondra).**

## **Remerciements :**

Au terme de cette étude qui a abouti à ce modeste travail, je tiens à remercier en premier dieu le tous puissant. « Merci mon dieu »

J'exprime aussi mes remerciements les plus sincères à Mr Benzagouta M.S. qui a accepté de me guider et qui m'a apporter beaucoup de soutien.

Un grand merci à Mr Boularak.M, pour sa précieuse aide que se soit sur le plan scientifique que moral, Je lui suis très reconnaissante.

Merci à : Mr Marmi .R, Mr Chadi .M, Boumerber. A, d'avoir accepter de faire partie de mon jury de thèse.

Je remercie aussi tous mes enseignants de graduation et de post – graduation.

Je remercie également mes collègues géologues et aménageurs pour leurs soutien morale.

Un grand merci au personnel de la carrière géante (ENG) surtout l'ingénieur géologue Melle Achouche Wassila qui a beaucoup contribué à l'établissement de ce travail.

Mme Bououd qui à accepter de consulter mes lames minces, je la remercie pour les déterminations paléontologiques et aussi pour son encouragement.

Melle Gebbar .M, merci pour son soutien moral et ses encouragements qui mon permis de terminer ce travail de recherche.

R ,je la remercie pour son aide dans le domaine informatique.

Enfin, je remercie tous ceux et celles qui m'ont aidé à l'établissement de cette thèse.

## TABLEAU DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

### CHAPITRE I

I- Cadre géographique.....	2
II- Géologie régionale.....	2
A- Le domaine interne.....	2
1 - Le socle kabyle .....	2
2 - La dorsale kabyle .....	5
B-Le domaine des flyschs.....	5
1-Le flyschs massylien.....	5
2-Le flyschs mauritanien.....	6
3-Le flyschs numidien .....	6
1- Les séries télliennes.....	6
1-1-Les unités utratelliennes.....	6
1-2-Les unités télliennes sensu stricto.....	8
1-3-Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites.....	8
2-les série de l'avant pays allochtones.....	8
2-1-L'organisation sétifiennne.....	8
2-2-L'organisation constantinoise .....	8
2-2-1-Les série néritiques constantinoises.....	8
2-2-2-Les unités des sellaoua.....	9
2-3-L'organisation Algéro-Tunisienne.....	10
3-L'avant pays atlasique.....	10
D-La structure de la chaîne alpine.....	10

### CHAPITRE II

I- Lithostratigraphie.....	13
Introduction .....	13
A-La stratigraphie du constantinois .....	13
1-Le Mézosoïque .....	13
1-1-Le Trias.....	13
1-2-La Jurassique.....	14
1-3-Le crétacé .....	14
1-3-1- Le Néocomien .....	14
1-3-2- Le Barrémien .....	14
1-3-3- L'Aptien.....	14
1-3-4- L'Albien- Vraconien .....	17
1-3-5-Le Cénomanienn .....	17
1-3-6-Le Turonien .....	17
1-3-7-Le Sénonien inférieur .....	17
1-3-8-Le Sénonien supérieur .....	17
1-4-L e Paleogène.....	18
1-4-1-Le Paléocène.....	18

1-1-2- L'Eocène .....	18
1-4-3- L'Oligocène .....	18
1-5-Le Néogène.....	18
1-5-1-Le Miocène marin .....	18
1-5-2-Le Mio-pliocène.....	19
1-6-Le Quaternaire .....	19
B-La paléogéographie des massifs constantinois .....	19
C-La géologie locale.....	20
D-1-La stratigraphie du massif de L'Oum Settas.....	20
1-1-Le Barrémien .....	20
1-2-L'Aptien.....	20
1-3-L'Albien-Vraconien.....	21
1-4-Le Cénomaniens.....	21
1-5-Le Turonien.....	21
1-6-Le Sénonien supérieur .....	21
1-7-Le Paléogène.....	22
1-8-Le Néogène .....	22
1-9-Le Quaternaire .....	22
• Remarque .....	22
D-2-Généralité sur la gisement d'El Khroub .....	22
2-1-La géomorphologie, orographie et climat .....	22
2-2-Les particularités économiques et infra-structurelles.....	23
2-3-L'Hydrogéologie.....	23
2-4-La morphologie et structure du gisement.....	23
2-5-La stratigraphie et lithologie du gisement d'El Khroub.....	23
2-5-1-Le Cénomaniens .....	29
2-5-2-Le Sénonien supérieur.....	29
2-5-3-Le quaternaire .....	29
2-6-La matière première exploitée.....	29
2-6-1-La méthode d'exploitation .....	29
2-6-2-La capacité annuelle.....	30
• La capacité installée .....	30
• La production annuelle .....	30

### CHAPITRE III

I-Notions générales sur la sédimentologie.....	31
A-Méthodologie .....	31
• Travaux de terrain .....	31
• Travaux de laboratoire.....	31
B-Classification des roches carbonatées et nomenclature utilisée.....	31
1-La nomenclature de terrain .....	31
2-La nomenclature de laboratoire .....	32
C-Les principaux constituants de roches carbonatées.....	35
1-Les constituants chimiques.....	35
2-Les éléments figurés ou allochèmes.....	35
3-Les grains squelettiques .....	35

3-1-Les bioclastes .....	35
4-Les grains non squelettiques.....	35
5-Les grains non squelettiques sans <i>nuclus</i> .....	35
5-1-Les pellets fécaux .....	36
5-2- Les pelletoides.....	36
6-Les grains non squelettiques composés .....	36
6-1-Les agrégats.....	36
6-2-Les intraclastes.....	36
6-3-Les lithoclastes.....	36
6-4-Les exoclastes .....	36
6-5-Les endoclastes .....	36
6-6-Les oolithes .....	36
D-Les milieux de dépôt marin et ces caractéristiques .....	36
Introduction .....	36
1-Le milieu de plate forme .....	37
1-1-Influence de la morphologie .....	37
1-2-Influence de facteurs dynamiques .....	37
1-3-Le chimisme des eaux .....	37
1-4-L'influence de la lumière .....	37
2-La plate forme carbonatée barrée.....	37
2-1-La plate-forme interne .....	38
2-2-La barrière.....	38
2-3-La plate-forme externe.....	38
E-Notion de faciès .....	41
F-Pétrologie des roches carbonatées exploitées au niveau du gisement d'El Khroub.....	41
1-Analyse sédimentologique .....	42
1-1-Aptien .....	43
1-2-Albien-Vraconien .....	43
1-3-Cénomaniens .....	44
1-4-Sénonien supérieur.....	49
• Remarque .....	50
G-Interprétation lithostratigraphique .....	50
1-L'Aptien .....	50
2-L'Albien.....	56
3-Le Cénomaniens .....	56
4-Le Turonien .....	56
5-Le Sénonien inférieur .....	56
6-Le Sénonien Supérieur .....	56
H-Essai de modélisation sédimentologique.....	56
1- La zone externe proximal.....	57
2-Le complexe de barrière.....	57
3-La zone interne .....	57
II- Notion de diagenèse et les différents phénomènes diagénétiques.....	57
Introduction .....	57

A-Les phénomènes diagénétiques .....	59
1-La compaction .....	59
2-La cimentation.....	59
3-La dissolution.....	60
4-La recristallisation .....	60
5-Le remplacement .....	60
B-Les phases diagénétiques.....	60
1-Diagenèse précoce :Eogenese.....	60
2-Diagenèse moyenne (Mesodiagenese ) .....	61
3-Diagenèse d'émersion (Telodiagenese) .....	61
C-La diagenèse des roches carbonatée et le phénomène de lithification.....	61
1- la zone supratidale et le domaine continental .....	62
1-1- En zone vadose .....	62
1-2-En zone phréatique .....	62
1-3- Dans la zone intertidale .....	62
1-4- Dans la zone subtidale .....	62
D-Description est interprétation des phénomènes diagénétiques ( Cas gisement d'El Khroub).....	63
1-La compaction mécanique.....	63
2-Les cimentations.....	63
2-1-Le ciment calcitique .....	63
2-1-1-Le ciment calcitique drusique.....	64
2-1-2-Le ciment calcitique syntaxique .....	64
2-1-3-La ciment micritique .....	64
2-1-4-Le ciment de fractures .....	64
2-2-Le ciment aragonitique .....	64
2-3-Le ciment ferrugineux .....	64
3-Les autres transformation diagénétiques .....	65
3-1-La micritisation .....	65
3-2-La dissolution .....	65
3-3-La recristallisation .....	65
3-5-La silicification .....	66
3-6-La Dolomitisation .....	66
4-Chronologie des phénomènes diagénétiques .....	66
4-1-Eogenese : phases synsédimentaires et/ou immédiatement post sédimentaires.....	66
4-1-1-La micritisation .....	66
4-1-2-Les ciments .....	66
4-1-3-Le néoformisme de l'aragonite.....	66
4-2-Mésodiagenèse.....	67
4-2-1-La compaction mécanique .....	67
4-2-2-Compaction chimique .....	67
4-3-Telodiagenèse.....	67
4-3-1-Fracturation.....	67
4-3-2-Cimentation des fractures .....	67
5-Relation entre évolution diagénétiques et histoire géologique des formations carbonatées.....	68
III- Relation sédimentologie diagenèse et qualité du produit exploité .....	68

## CHAPITRE IV

I-Généralités sur les carbonates de calcium.....	70
Introduction .....	70
A-Les carbonates de calcium .....	70
1-Le calcite .....	70
1-1-Calcaire.....	70
1-1-1-Calcaire pur.....	70
1-1-2- Calcaire magnésien .....	70
1-1-3-Calcaire dolomitique .....	70
2-L'aragonite .....	70
3-La dolomite .....	70
B-Formation des roches carbonatées.....	71
C-Spécification des calcaires(caractéristiques, propriétés ,qualité).....	71
1-Composition chimique.....	71
2-Densité.....	72
3-Porosité .....	72
D-Origine des pores dans les roches sédimentaires.....	73
1-Intérêt de la porosité .....	73
E-Autres caractéristiques des roches carbonatées .....	74
1-Blancheur.....	74
2-Couleur des roches.....	74
3-Couleur des roches sédimentaires.....	75
II- Chronologie des études antérieurs au niveau du gisement.....	76
A-Etude U.R.E.G-E.N.D.M.C(1978) .....	76
1-Les essais physico-mécaniques.....	76
2-Essais d'usure (LA).....	77
3-Analyses chimiques.....	77
B- Etude URRG-ENDMC (1991) .....	78
1-Degré de blancheur.....	78
2-Volume et type de travaux de caractérisation.....	79
3-Analyses chimiques.....	79
C-Etude ENG (1999 à 2003).....	80
1-les travaux de caractérisation réalisés.....	80
1-1-Degré de blancheur .....	80
1-2-Teneur en $\text{CaCO}_3$ .....	80
1-3-Les essais physico –mecaniques .....	81
III-Interprétation des résultats de mesures physique .....	81
A-La porosité.....	81
B-porosité-poids volumique .....	81
C Le poids volumique .....	81
D-Interprétation des cartes iso-poids volumique et iso-porosité.....	84
E-les réserves .....	84
1-Méthode de calcul .....	84
2-L' Assise utile .....	84
IV- Interprétation des résultats de mesures chimiques.....	89
A-Teneur en oxyde de calcium CaO .....	89



B-Teneur en oxydes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ et $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).....	89
C-Teneur en $\text{SiO}_2$ .....	90
D-Teneur en $\text{MgO}$ .....	90
E-Teneur en Alcalins ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ).....	92
V-Recherche des paramètres de corrélation .....	92
A-Histogrammes de fréquence .....	92
B-Traitement Bimodale et La matrice de corrélation de Pearson .....	92
C-Les cartes d' isotoneurs en éléments chimiques et leurs interprétation.....	101
D-Qualité ou propréité de la roche dans le gisemnt d'El Khroub.....	104
1-Test de blancheur .....	104
1-1-Préparation de l'échantillon et de la surface d'essai .....	104
1-1-1-Le broyage et séchage de la matière.....	104
1-1-2-Mesure de la blancheur .....	104
1-2-Expression des résultats .....	105
2-Test de calcimétrie.....	105
2-1-Principe de la calcimétrie.....	105
2-2-Préparation du sédiment .....	105
2-2-1-Broyage .....	105
2-2-2-Séchage .....	105
2-2-3-Appareil utilisé.....	105
2-3-Mesures et manipulations .....	106
3-Interprétation des résultats de calcimétrie et de blancheur au niveau du gisement d'El Khroub.....	106
4-La diffractométrie des rayons X.....	108
4-1-Méthodologie.....	108
4-2-Réparation de l'échantillon.....	108
4-2-1-Broyage .....	108
4-2-2-Analyse .....	109
4-3-Les résultats .....	109
4-4-Interprétation .....	109
5-La qualité de carbonate de calcium .....	109
VI- Conclusion .....	115

## CHAPITRE V

I- Analyse structurale et photo-interprétation .....	116
A- La tectonique de l'ensemble Oum Settas -Mazela .....	116
1-La distension Albo-Cénomanienne .....	116
2-La compression N-S ( Sénonienne).....	116
3-La phase compressive Eocène.....	117
4-Les phases compressives Miocènes .....	117
4-1-La phase compressive N 20°-30°E .....	117
4-2-La phase compressive N 170°E du Miocène terminal .....	117
5-Les phases plio-quatérnaires.....	118
5-1-L'accident Meimel – Oum Settas.....	118
B-Etude photogéologique.....	120
1-Présentation de l'étude .....	120
1-1-Cartes topographiques.....	120
1-2-Cartes géologiques .....	120
1-3-Photographies aériennes.....	121
2-Méthode d'étude.....	121

2-1-Carte linéamentaire .....	121
2-2-Carte d'isofracturation .....	121
3- Résultats et analyses .....	122
3-1-Les rosaces directionnelles et de longueur cumulées .....	122
3-1-1-Ensemble Oum Settas –Mazela.....	122
3-1-1-1-La direction NS .....	122
3-1-1-2-La direction NE-SW.....	123
3-1-1-3-La direction NW-SE.....	123
3-1-1-4-La direction E-W .....	124
3-1-2-Le massif de L'Oum Settas.....	124
3-1-2-1-Le bloc West.....	125
3-1-2-2-Le bloc Est .....	127
3-1-3-Interprétation .....	127
C-Relation fracturation-sédimentation .....	131
D-Relation fracturation –répartition de l'oxyde de fer .....	131
E-La relation fracturation –répartitions des oxydes en profondeur .....	134
F-Conclusion .....	134

## **CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS**

A-Conclusion générale.....	139
B-Recommandations.....	141

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau .1</b> : Classification des roches carbonatées.....	33
<b>Tableau .2</b> : Classification des roches carbonatées selon les textures.....	34
<b>Tableau. 3</b> : Montrant quelque composés dérivant des calcaires.....	72
<b>Tableau. 4</b> : Porosité des grés et carbonates.....	73
<b>Tableau.5</b> : Intervalles de porosité et de masse volumique de plusieurs pierres communes.....	74
<b>Tableau.6</b> : Valeurs moyenne des paramètres physiques mesurés (compagne 1978).....	77
<b>Tableau.7</b> : Moyenne des paramètres d'usure et de rendements d'agrégat (compagne 1978).....	77
<b>Tableau.8</b> : Analyses chimiques du calcaire d'El Khroub (ENG, compagne 1978).....	78
<b>Tableau.9</b> : Programme de caractérisation du calcaire d'El Khroub (compagne 1991).....	79
<b>Tableau .10</b> : Analyse chimique du calcaire d'El Khroub (campagne 1991).....	79
<b>Tableau .11</b> : Mesure de blancheur (campagne 1999).....	80
<b>Tableau.12</b> : tableau donnant les résultats de teneurs en CaCO <sub>3</sub> (Compagne ENG, 1999).....	80
<b>Tableau.13</b> : Moyenne des paramètres d'usure d'agrégat (2003).....	81
<b>Tableau.14</b> : Calcul des réserves au niveau du gisement d'El khroub.....	86
<b>Tableau .15</b> : La matrice de corrélation du gisement d'El Khroub.....	98
<b>Tableau.16</b> : tableau des fréquences et des longueurs cumulées de l'ensemble Oum Settas –Mazela.	123
<b>Tableau .17</b> : Tableau des fréquences et des longueurs cumulées du massif de l'Oum settas.....	124
<b>Tableau .18</b> : Tableau des fréquences des deux blocs du massif de l'Oum Settas.....	125

## LISTE DES FIGURES

<b>Fig.1</b> : Situation géographique de la région d'étude.....	3
<b>Fig.2</b> : Cadre structural africain et ibérique de la chaîne tello-rifaine.....	4
<b>Fig.3</b> : Schéma structural simplifié des magrébides.....	4
<b>Fig.4</b> : Localisation de l'avant pays « allochtone » dans le cadre maghrébin.....	7
<b>Fig.5</b> : Situation actuelle de la plate forme néritique constantinoise par rapport aux domaines des zones externes de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale.....	9
<b>Fig.6</b> : Coupe géologique schématique illustrant les relations structurales entre les différentes unités de la chaîne alpine orientale.....	12
<b>Fig.7</b> : Carte géologique simplifié montrant les monts de Constantine dans leur cadre régional.....	15
<b>Fig.8</b> : Tableau de corrélation des séries néritiques des régions de Constantine et d'Ouen El Athmania.....	16
<b>Fig.9</b> : Carte géologique du massif de l'Oum Settas.....	24
<b>Fig.10</b> : Carte géologique simplifiée du sud du massif de l'Oum Settas.....	25
<b>Fig.11</b> : Coupes géologiques sériées AB , CD et EF du massif de l'Oum Settas sud.....	25
<b>Fig.12a</b> : Carte géologique du nord du massif de l'Oum Settas.....	26
<b>Fig.12b</b> : Les principales coupes prélevées sur la bordure nord du massif de l'Oum Settas....	26
<b>Fig.13a</b> : Carte géologique du N-E du massif de l'Oum Settas (Secteur de Henchir El Melah)	27
<b>Fig.13b</b> : Les coupes réalisées à l'Est et au S-E du massif de l'Oum Settas.....	27
<b>Fig.14</b> : Représentation schématique de la série de l'ensemble Oum Settas –Mazela.....	28
<b>Fig.15</b> : Caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés.....	39
<b>Fig.16</b> : Caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés.....	40
<b>Fig.17</b> : Répartition des environnements sur une plate forme avec barrière.....	41
<b>Fig.18</b> : Carte de position des coupes géologiques.....	42
<b>Fig.19</b> : Coupe géologique de la région d'étude.....	47
<b>Fig.20</b> :Log lithologique synthétique du terrain d'étude.....	51
<b>Fig.21</b> : Les deux logs lithologiques effectués au niveau du Cénomaniens du terrain d'étude.....	52
<b>Fig.22a</b> : Caractéristiques sédimentologique du gisement d'El Khroub.....	54
<b>Fig.22b</b> : Caractéristiques sédimentologique du gisement d'El Khroub.....	55
<b>Fig.23</b> : Modèle sédimentologique du gisement d'El khroub.....	58
<b>Fig.24</b> :Diagenèse des sédiments carbonatés dans les principaux milieux littoraux.....	62
<b>Fig.25</b> : Chronologie des phénomènes diagénétiques affectant le gisement d'El Khroub.....	69
<b>Fig.26</b> : Echelle de pigmentation des sédiments montrant la couleur des roches comme fonction du rapport $FeO : Fe_2O_3$ .....	75
<b>Fig.27</b> : Variation de la porosité en profondeur.....	82
<b>Fig.28</b> : Relation poids volumique-porosité.....	82
<b>Fig.29</b> : Variation du poids volumique en profondeur.....	83
<b>Fig.30</b> : Cartes de variation du poids volumique (-a-) et de porosité (-b-).....	85
<b>Fig.31</b> : Carte de situation des coupes (1-1') (2-2') et (3-3').....	86
<b>Fig.32</b> : Répartition de l'élément CaO en profondeur.....	91
<b>Fig.33</b> : Répartition de l'élément $Fe_2O_3$ en profondeur.....	93
<b>Fig.34</b> : Répartition de l'élément $Al_2O_3$ en profondeur.....	94
<b>Fig.35</b> : Répartition de l'élément $SiO_2$ en profondeur.....	95
<b>Fig.36</b> : Répartition de l'élément MgO en profondeur.....	96
<b>Fig.37</b> : Répartition de l'élément des alcalins en profondeur.....	97
<b>Fig.38</b> : Histogrammes de fréquence des éléments majeurs.....	99
<b>Fig.39</b> : Corrélations binaires entre l'élément CaO et les éléments majeurs ( $Fe_2O_3/CaO$ , $MgO/CaO$ , $Fe_2O_3/SiO_2$ , $Fe_2O_3/Al_2O_3$ ).....	100
<b>Fig.40</b> : Carte d'isoteneur en $Fe_2O_3$ .....	101

<b>Fig.41</b> : Cartes d'isoteneur en CaO (-a-) et Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (-b-).....	102
<b>Fig.42</b> : Cartes d'isoteneur en SiO <sub>2</sub> (-a-) et MgO (-b-).....	103
<b>Fig.43</b> : Cartes d'isocalcimétrie (-a-) et d'isoblancheur (-b-).....	107
<b>Fig.44</b> : Relation calcimétrie-blancheur.....	108
<b>Fig. 45</b> : relation teneur en CaO et teneur en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	110
<b>Fig.46</b> : Illustration de la loi de Bragg.....	111
<b>Fig.47</b> : Schéma récapitulatif synthétisant les différents phases tectoniques méso-cénozoïques, les états de paléocontraintes et les structures majeures associées.....	119
<b>Fig.48</b> : Carte linéamentaire de l'ensemble Oum Settas –Mazela.....	126a
<b>Fig.49</b> : Rosace directionnelle et de longueur l'ensemble Oum Settas –Mazela.....	126
<b>Fig.50</b> : Rosaces Directionnelle et de longueur massif de l'Oum-Settas.....	128
<b>Fig.51</b> : Rosace Directionnelle des deux blocs du Massif Oum-Settas.....	129
<b>Fig.52</b> : Photo aérienne au niveau du flanc Sud-West du massif de l'Oum Settas.....	130
<b>Fig.53</b> : Image aérienne du gisement.....	132
<b>Fig.54</b> : Carte d'isofracturation gisement d'El khroub.....	133
<b>Fig.55</b> : Carte de zonation du gisement d'El Khroub.....	133
<b>Fig.56 a</b> : Log composite du sondage S22.....	135
<b>Fig.56 b</b> : Log composite du sondage S22.....	136
<b>Fig.57 a</b> : Log composite du sondage S21.....	137
<b>Fig.57 b</b> : Log composite du sondage S21.....	138

## INTRODUCTION

Depuis toujours, l'homme utilise des matériaux naturels pour la construction de son habitat et l'aménagement de son environnement. De ces deux nécessités premières découlent, aujourd'hui le grand secteur de l'industrie des carrières.

L'enjeu de la qualité est de notre jour primordial dans l'industrie minière. En effet, les carrières sont de plus en plus averties des normes qualitatives de leurs produits qu'ils doivent mettre sur le marché et satisfaire ainsi leurs clients potentiels.

Le problème majeur de l'exploitant est donc d'estimer la rentabilité et la qualité de son gisement, alors que la seule vision qu'il ait est en surface. C'est pourquoi, la connaissance du gisement, de sa variabilité, de l'impact de ses caractéristiques (géochimiques) de surface et sub surface sur les outils de traitement est recommandée.

Les massifs néritiques carbonatés présentent un potentiel en agrégats et poudre en de carbonates de calcium très prometteux.

Le gisement d'El Khroub est l'un des exemples type où l'exploitation des agrégats et la poudre de carbonates de calcium est très développée.

L'objectif du présent travail porte sur le contrôle de la sédimentologie, de la diagenèse, de la géochimie et de la fracturation sur la qualité de la matière exploitée au niveau du gisement d'El Khroub.

Pour cette raison, nous avons fait une étude sédimentologique et diagénétique des formations carbonatées cénomaniennes (formations exploitées). Une étude pétrographique par des lames minces nous a permis de reconstituer les variations des milieux de dépôts et de définir les différents phénomènes diagénétiques ayant affectées les formations exploitées. Cette même étude a abouti à l'établissement d'un modèle sédimentologique.

Une étude géochimique des teneurs en éléments majeurs des formations cénomaniennes exploitées s'avère indispensable pour mieux déceler les anomalies géochimiques en surface et en sub surface au niveau du terrain d'étude afin de cerner la nature du produit exploité.

Dans la mesure où nous sommes en présence d'un terrain très fracturé, une quantification de cette fracturation affectant le terrain d'étude reste un objectif essentiel pour mieux connaître la qualité de la matière exploitée au niveau de la carrière géante d'El Khroub.

## **I- Cadre géographique:**

Le massif de l'Oum settas fait partie des massifs septentrionaux du môle néritique constantinois. Il appartient aux zones externes de la chaîne alpine Nord orientale.

Le terrain d'étude (carrière géante d'El Khroub) se situe au Sud-Est de la ville de Constantine, à 8 Km de la Daïra d'El Khroub (Fig. .1). Administrativement, elle appartient à la commune de l'Ouled Rahmoun.

Les coordonnées Lambert au centre du gisement sont :

$$X= 866.100$$

$$Y=334.960$$

$$Z=780$$

Il s'agit d'un monoclinale à pendage de 15 à 25 ° vers le Sud-West. La série stratigraphique de la carrière est représentée par des formations crétacées avec la prédominance de bancs calcaires.

La région est soumise à un climat semi aride caractéristique de l'ensemble néritique avec deux saisons bien définies, la première froide et humide débutant au mois de décembre et allant jusqu'au mois de Mai. La deuxième saison chaude et sèche commence dès la fin de Mai jusqu'au la fin de Novembre. La pluviométrie est de 500 mm (Guellal et al, 1973).

## **II- Géologie régionale :**

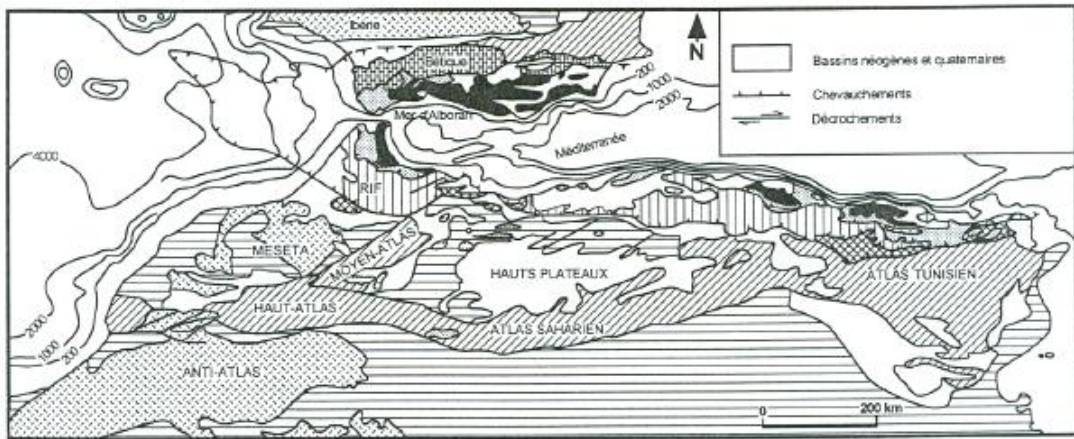
La chaîne alpine d'Algérie Nord orientale s'articule sur le rif et constitue la chaîne tello-rifaine (W.Wildi, 1983) qui représente le segment occidental de la chaîne des maghrébides ( M..Durand-delga et J.Aubouin,1971 ;Durand-Delga,1980) (Fig : 2,3). Cette chaîne alpine s'étend sur plus de 2000 Km, on y distingue de nord vers le sud.

### **A- Le domaine interne :**

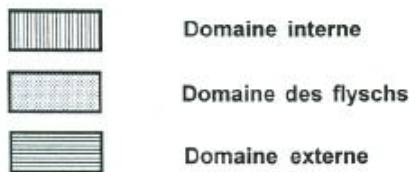
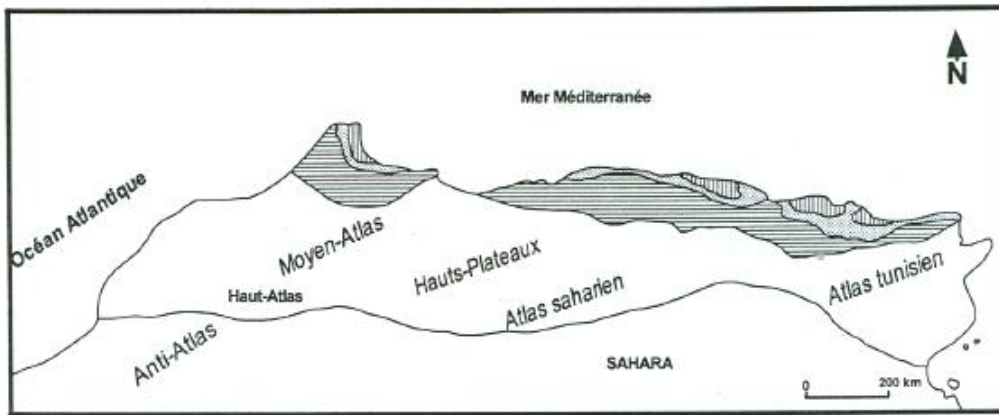
Il est représenté en Algérie par un chapelet de massifs, anciens littoraux bordés au sud par la dorsale kabyle (chaîne calcaire)(Fig.4).

#### **1- Le socle kabyle :**

Le socle kabyle est caractérisé par quatre ensembles lithologiques, qui sont :



**Fig. 2 : Cadre structural africain et ibérique de la chaîne tello-rifaine (d'après W. Wildi, 1983).**



**Fig. 3 : Schéma structural simplifié des Maghrébides (d'après M. Durand-Delga et J.M. Fonboté).**



- Un ensemble crustal profond appartenant aux faciès granulites (J.P.Bouillin, 1976 ; P.Peucatet G.Bossier, 1978).
- Les gneiss à intercalations de quartzites et d'amphibolites
- Des phyllades peu métamorphisées.
- Un ensemble essentiellement sédimentaire qui débute au cambrien et atteint le carbonifère (Baudelot et Gery, 1979).

## **2-La dorsale kabyle :**

La dorsale kabyle doit son nom de chaîne calcaire à L.Glaugeaud (1983) du fait de la sédimentation carbonatée dominante. Cette dorsale est localisée à la bordure méridionale du domaine interne qu'elle transgresse. Ultérieurement, M.Durand-Delga (1969) a proposé le terme de dorsale kabyle (fig.4).

En petite Kabylie, et sur des considérations paléogéographiques et structurales, la chaîne calcaire a été subdivisée en trois unités (M.Durand-Delga, 1969 ; J.F.Raoult, 1974 ; J.M.Vila, 1980) :

- La dorsale interne
- La dorsale médiane
- La dorsale externe

Elle affleure au sud d'Annaba (Djebel Abiod) d'où on peut la suivre d'une manière continue jusqu'au nord de Constantine (Kef Sidi Driss).

## **B-Le domaine des flyschs :**

Le domaine des flyschs se caractérise par des formations de la plaine abyssale mise en place par des courants de turbidites (J.P.Bouillin, 1986). Ces formations furent par la suite subdivisées en trois groupes (M.Durand-Delga, 1969).

1. Le flysch de « guerrouch ».
2. Le flysch schisto-quatzeux ou flysch « albo-aptien » de (L.Glaugeaud, 1932).
3. Le flysch numidien.

J.F.Raoult (1969) propose de la dénomination flysch massylien pour les flyschs schisto-quatzeux tandis que J.P.Gelard (1969) propose le terme mauritanien pour les flyschs de guerrouch.

## **1-Le flysch massylien :**

Le flysch massylien a été défini par J.F.Raoult (1969) au Kef Sidi Driss, dans le nord constantinois. Ce flysch comporte des argiles quartzitiques à la base d'âge crétacé inférieur et une alternance d'argiles et de microbrèches au sommet d'âge crétacé supérieur (J.F.Raoult, 1972).

## **2-Le flyschs mauritanien :**

Il est représenté par une série assez variée, à la base des radiolarites rouges du Malm (J.M.Vila, 1980) surmontée par un calcaire d'âge crétacé inférieur. Ce flysch se continue par une puissante série argilo-gréseuse à la base et surmonté par des calcaires d'âge crétacé supérieur et se termine par des formations conglomératiques et microconglomératiques d'âge Ypresien.

## **3-Le flyschs numidien :**

Le flysch numidien doit sa nomenclature à E.Ficheur (1980) pour désigner la trilogie suivante :

- Des argiles varicolores à Tubotomaculum dites sous numidiennes.
- Des bancs de grés épais à grains hétérogènes.
- Des argiles, marnes et silicites dites supra numidiennes.

Des datations ont été effectuées sur les formations numidiennes affleurant dans la région de Mahouna (J.C.Lahondere et al, 1979). Ces datations ont données un âge Oligocène moyen à supérieur, aux argiles sous numidiennes un âge aquitain au bancs gréseux et un âge burdigalien au argiles supra-numidiennes.

## **C-Le domaine externe :**

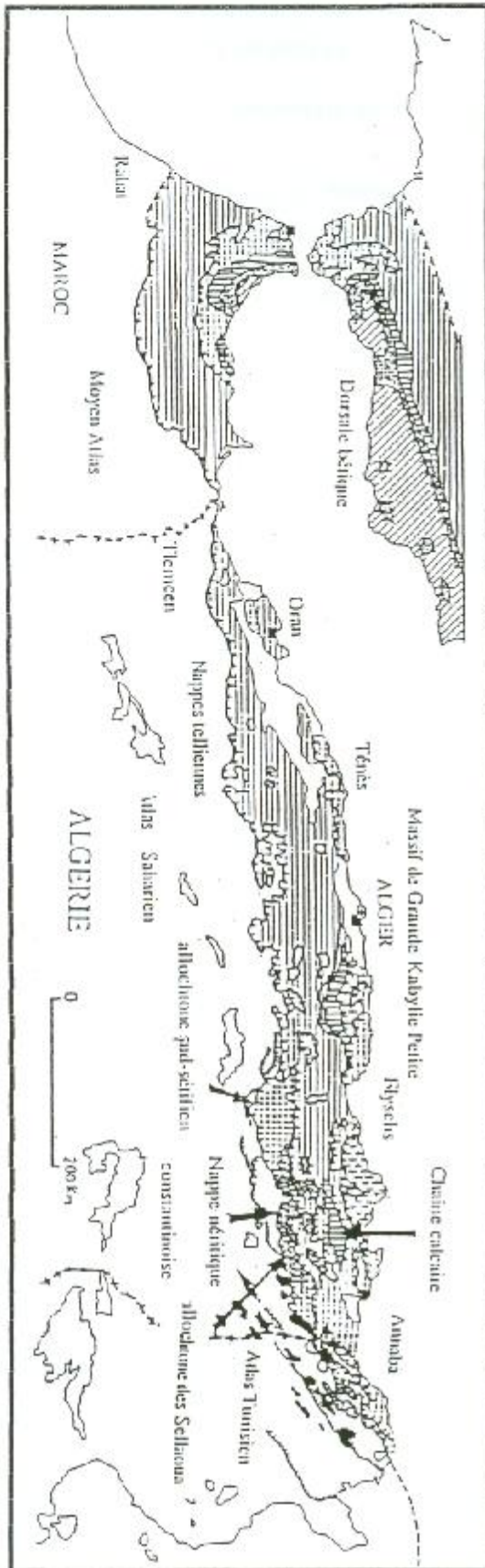
En Algérie orientale, le domaine externe est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays puis les séries de l'avant pays atlasique (Fig4).

### **1- Les séries télliennes :**

Elles englobent des formations épaisses marneuses d'âge jurassique à Eocène. Les séries rattachées à ce domaine sont subdivisées en trois grands unités (M.Durand-Delga, 1969 ; J.F.Raoult, 1969 ; J.M.Vila, 1968 ; Guellal et al ).

#### **1-1-Les unités ultra telliennes :**

Les formations typiques comportent un crétacé inférieur marno-calcaires clairs à ammonites, un crétacé moyen à *rotalipores*, un sénonien marneux et micritique riche en microfaunes de *Globotruncana* et *Heterohelicides* et un Eocène à trois termes : marnes noires à boules jaunes Dano-paléocènes, Ypresien, lutétien inférieur à calcaire à silex et un lutétien supérieur marneux sombre.



**Fig. 4 : Localisation de l'avant pays « allochtone » dans le cadre maghrébin (d'après J.-M. Vila , 1980 )**

### **1-2-Les unités télliennes sensu stricto :**

Elles ont été définies par J.M.Vila (1980) et représentent l'équivalent de la série meso-téllienne dans la nomenclature de M.Durant.Delga (1969). Ces unités se caractérisent par un crétacé inférieur riche en dépôts terrigènes ou les intercalations des faciès néritiques restent modérés du crétacé supérieur à l'Oligocène

### **1-3-Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites :**

Les séries péni-telliennes se caractérisent par des faciès néritiques prépondérants du crétacé supérieur à l'oligocène et montrent une grande affinité avec l'avant pays méridionaux.

Les unités méridionales à nummulites ne sont localisées que dans les confins méridionaux du môle néritique constantinois. Ces unités ne comportent que du Sénonien et des formations Eocènes riches en Nummulites. J.M.Vila (1980) pense que ces unités représentent la couverture Eocène des séries péni-telliennes charriées sur le néritique constantinois et donne ainsi une extension considérable vers le sud aux nappes telliennes.

### **2-Les séries de l'avant pays allochtones :**

Les séries de l'avant pays allochtone ont été regroupées selon J.M.Vila (1980) en trois grandes familles « une organisation sétifienne », « une organisation constantinoise », « une organisation algéro-tunisienne ».

#### **2-1-L'organisation sétifienne :**

Les séries sétifiennes présentent un caractère de plate-forme, seule leur frange méridionale décèle des variations significatives qui annoncent l'autochtone hodnéen plus méridionale à l'ouest (Djebel Tafour) et les séries des sellaoua à l'Est (Djebel Hamouda ou Anouda).

#### **2-2-L'organisation constantinoise :**

Elle regroupe les séries néritique constantinoise au nord et les séries des sellaoua au sud.

#### **A-Les séries néritiques constantinoises (Fig.5) :**

Elles représentent l'essentiel des massifs calcaires qui constituent le môle néritique constantinois et sont caractérisés par d'épaisses formations carbonatées à caractères de plate forme subsidante. D'après J.M.Vila (1980) la série des massifs calcaires méridionaux ne dépasse pas le Cénomaniens et se termine par un contact anormal.

## **B-Les unités des sellaoua :**

Elles ont fait l'objet d'étude entreprises par J.Blays (1912) ; L. David (1956) et C.Voute (1967). Les unités de sellaoua se caractérisent par une sédimentation argilo-marneuse durant tout le crétacé. Le Djebel Djaffa offre une image de transition entre les séries néritiques constantinoises méridionales et les séries septentrionales des sellaoua.

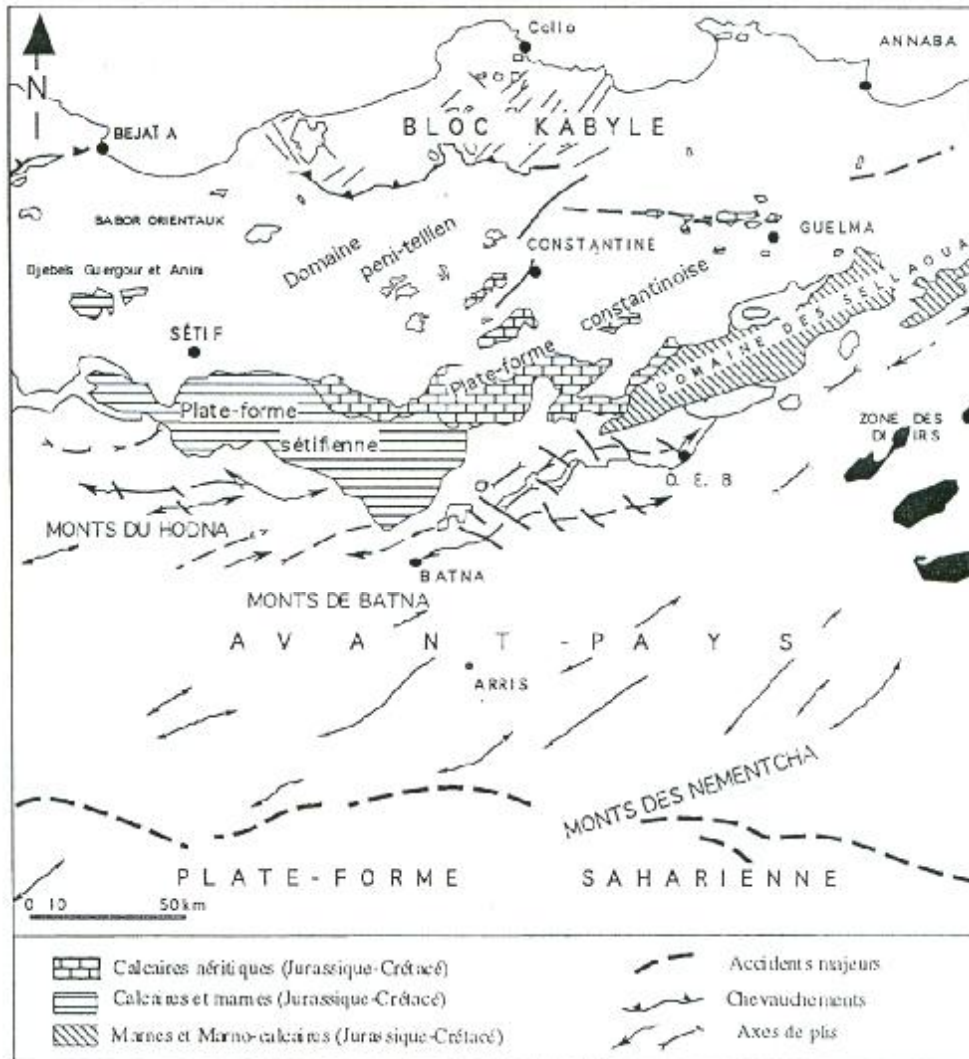


Fig.5 : Situation actuelle de la plate forme néritique constantinoise par rapport aux domaines des zones externes de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale (carte modifiée d'après D.Bureau ,1970 et J.M.Vila, 1980)

### **2-3-L'organisation Algéro-Tunisienne :**

Elle est propre aux confins algéro-tunisiens et à la Tunisie septentrionale .Elle a fait l'objet d'une étude entreprise par H. Rouvier (1977).

Cette organisation montre une sédimentation analogue à celle des nappes telliennes ou celles des séries septentrionales de type sellaoua.

### **3-L'avant pays atlasique :**

Les séries de l'avant pays atlasique sont représentées d'Ouest en Est par les Monts de Hodna, les Monts de Batna et les massifs de l'Aurès. L'avant pays atlasique se distingue par la série mésozoïque très épaisse, la sédimentation y est resté très homogène et se caractérise par des faciès de plate forme subsidante envahie par la sédimentation gréseuse qui débute au Berriasien et se termine à l'Albien (R. Guiraud, 1973 ; G. Busson ,1972 ; J. Delfaud ,1974et1986 ; J.M.Vila, 1980).

### **D-La structure de la chaîne alpine :**

Plusieurs géologues se sont intéressés à la chaîne alpine Nord orientale parmi eux, on peut citer : L.Glaueud (1932,1952), A.Caire (1954,1957), M.Mattauer (1954,1956), J.Polchéve (1959)et ultérieurement keiken (1962), M.Durand –Delga et J-M.Fonboté (1980).

M. Durand-Delga (1969) replace l'ensemble des domaines de la chaîne alpine au sein d'un ensemble logique : L'orogénèse alpine péri-méditerranéen.

En Algérie orientale, M.Duand -Delgua distingue (Fig.6) :

- Les écaïlles pré-kabyles du Nord-Constantinois ;
- La zone sous-kabyle, représentée principalement par les babors ;
- L'autochtone infra-tellien des Biban ;
- L'autochtone néritique du constantinois ;
- L'autochtone sud-tellien.

L'allochtone est représenté par les nappes telliennes (infra-méso-épitelliennes) situées au Nord et au Sud de la chaîne des Baban.

Leikine et al, 1975 ont montré que la chaîne des Babors est constituée par la superposition de plusieurs unités télliennes largement déplacées les unes par rapport au autres.

L'autochtonisme du bâti téllien à constamment été remise en question.

Dans les travaux entrepris par J.M.Vila et al (1976) et Ph-E-Coiffait et J.M.Vila (1976) dans la chaîne des Biban, ils ont montres la nature allochtone de la chaîne des Biban.

J.M.Vila (1972-1980) vient confirmer cette idée d'allochtonisme dans ses travaux sur les zones externes de la chaîne alpine d'Algérie Nord orientale.

Au niveau du méridien de Constantine, l'auteur met en évidence un « avant pays allochtone » et observe une extension considérable vers le sud des nappes telliennes.

L'existence d'une couverture sénonienne réduite dans les massifs néritique septentrional propre aux séries néritiques constantinoises et l'absence d'une formation d'âge éocène, amènent J.M.Vila (1980) à conclure l'allochtonie de toutes les formations crétacées telliennes marno-calcaires localisées dans les massifs néritiques méridionaux.

L'observation d'un rouleau frontal au front de la nappe néritique constantinoise par le même auteur (J.M.Vila) chevauchant le Miocène permet de conclure aussi son allochtonie et de l'inclure dans l'avant pays allochtone et d'en faire l'élément structural majeur de la chaîne alpine d'Algérie orientale.

Les études menées par J.C.Lahondère (1987) et P-E.Coiffait (1992) au niveau du synclinal de taxas (massif de Gérioun) et M.Chadi (2004) au niveau des monts de Ain M'Lila contredit les avis de J.M.Vila et concluent l'autochtonie de la série néritique constantinoise.

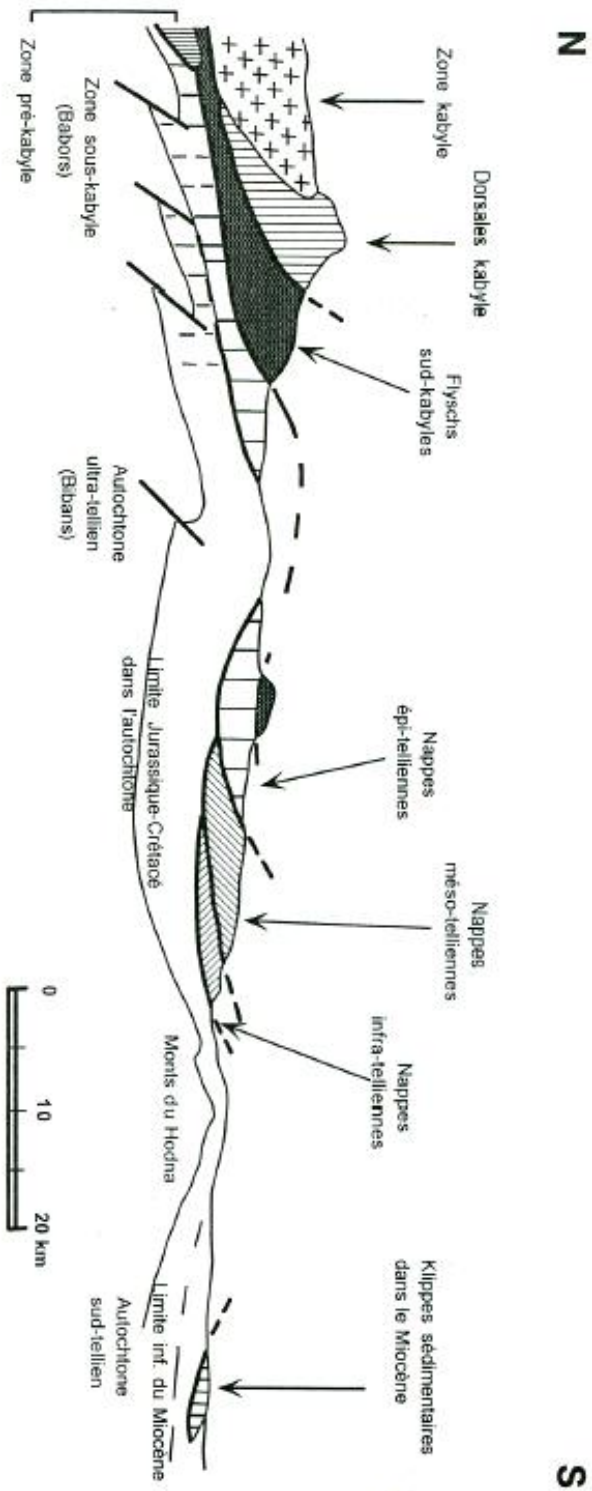


Fig. 6 : Coupe géologique schématisant les relations structurales entre les différentes unités de la chaîne alpine d'Algérie orientale (d'après M. Durand-Delga, 1969).



## **I-Lithostratigraphie :**

### **Introduction**

Depuis le début du siècle des études ont été faites sur les massifs néritiques Constantinois par : E.Ficheur ,1900 - L.Joleaud ,1911- J.Darest de la Chavanne, 1910-J.Blayac, 1912-P.Deleau, 1938-T.raven, 1957 – C.B.Bar, 1957- J.R.Van de Fliert,1955- G.Durozoy,1960-C.Voute,1967.

Mais c'est à partir des années soixante que la stratigraphie et la paléontologie des massifs septentrionaux du môle néritique Constantinois furent étudiées par: J.M.Vila et J.Magné, 1969-P.Macoin et al ,1970-E.Fourcade et J.F.Raoult, 1973 - Schroeder et al, 1975.

Ces auteurs ont pu montrer à partir d'études stratigraphiques des variations de faciès entre les séries néritiques et les séries des selloua (Djebel Djaffa), ainsi qu'entre les séries du néritiques et les séries situées au NW (Djebel Akhal et le massif de Chettabah).

Le concept de variation de faciès fut par la suite abandonné par J.M.Vila (1980) et qui ,suite à des études faites sur les massifs néritiques ,dans le cadre de travaux pétroliers au profit de la Sonatrach, a conclu à l'allochtonie du mole néritique Constantinois et sa couverture sénonienne.

Ces vues allochtonistes furent vivement contestées par : J.C.Lahondere (1987) ; M.Chadi (1991) ; P.E.Coiffait (1992), Y.Aris (1994) et enfin par M.Chadi (2004) qui ont optés pour une superposition d'ordre stratigraphique et non structural.

### **A-La stratigraphie du constantinois :**

Les massifs du constantinois appartiennent aux domaines externes de la chaîne des maghrébides (Fig.7). Les grands traits stratigraphiques des séries néritiques constantinoises sont actuellement bien connus. Il s'agit essentiellement de formations calcaires Jurassico-crétacé et une couverture marno-calcaire d'âge Sénonien supérieur à Eocène avec la présence de lacunes de sédimentation (Y.Aris, 1994) (Fig.8).

### **1-Le Mésozoïque :**

#### **1-1-Le Trias :**

Il est essentiellement évaporitique et se présente en pointements diapiriques et en lames éjectées le long des accidents.

Il s'agit de masses de gypses et d'argiles de couleur rouge lie de vin très caractéristique qui contiennent le plus souvent des blocs calcaro-dolomitiques , des cargneules ,des marnes bariolées verdâtres , des minéraux libres tels le quartz bipyramidé et des dolomites en rhomboèdres sont associées à ces évaporites.

## **1-2-La Jurassique**

Il affleure en bordure des massifs du Djebel Kheneg ,du Djebel Akhal , au nord de Constantine et dans les massifs d'Ain M'lila ; par contre sur la région d'étude, il est absent au moins en affleurement.

Il s'agit en général de dolomies et de calcaires à silex, dont la puissance peut dépasser 600m. Ces formations sont localement associées à des calcaires massifs oolithiques et parfois à des marnes .le sommet de la série est riche en *Calpionella alpina*, *Clypeina jurassica*, *Thaumatorella parvavesiculifera*, *conicosperillina* et d'autre formes qui caractérisent le Jurassique supérieur (Y.Aris, 1994).

Le Jurassique se présente au Djebel Timetlass (au nord ouest d'Ain M'lila) par une série de calcaires massifs a intercalations de biomicrites, des mares vertes et rouges et des calcaires a débris de coquilles ; cet ensemble est daté du Lias (Y.Aris, 1994).

## **1-3-Le crétacé :**

### **1-3-1-Le Néocomien :**

Le néocomien débute au dessus d'un Hard-ground au Dj Kheneg , au Dj Frikitia , et au Dj Kerkeria (J.M.Vila, 1980).

Il s'agit d'une épaisse série de marnes, de calcaires argileux et de marno-calcaires contenant des niveaux jaunes d'Ammonite pyriteuses. L'épaisseur de ces niveaux ne dépasse pas les 250m. Le néocomien a été daté au dessous des couches à coprolites dans des calcaires massifs par des *Lithocodium. sp*, *Salpingoporella annulata .cuncolina.sp* et des formes qui rappèlent *Clypeina solkani* ( Y.Aris ,1994). Le néocomien est absent dans le secteur d'étude.

### **1-3-2- Le Barrémien :**

Le barrémien affleure dans les massifs du Djebel Kheneg, du Dj Chettabah, du Dj Felten et du Dj Oum settas. Il est représenté par une épaisse série de calcaires massifs, clairs dans lesquelles s'intercalent de rares passées de marnes grises.

Les calcaires contiennent une riche microfaune dont les *Lituolidés*, les *Textularidés*, *Choffatella decipiens*, *Orbitolinopsis capuensis*, *Salpingoporella muchlbergi* (Y.Aris, 1994).

### **1-3-3-L'Aptien :**

Il est généralement représenté par des calcaires homogènes comprenant une série épaisse de calcaires gris en bancs réguliers très riche en Miliolidés et débris de rudistes. Au sommet de cette série, on rencontre une association à *Ovalveolina*, *Orbitolina sub concava* (J.M.Vila, 1980).

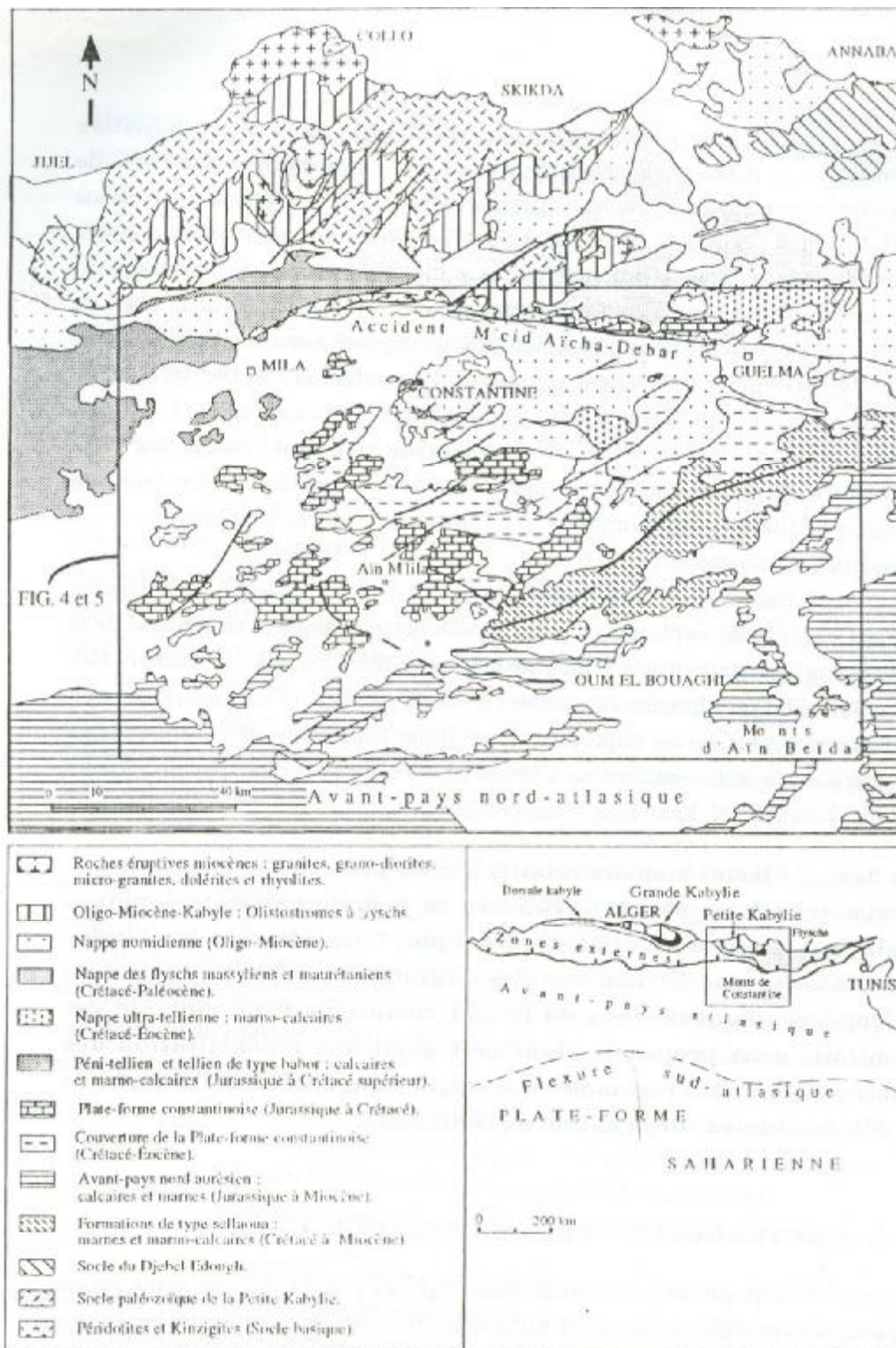


Fig. 7 : Carte géologique simplifiée montrant les monts de Constantine dans leur cadre régional ( d'après J.M.Vila,1980 modifiée)

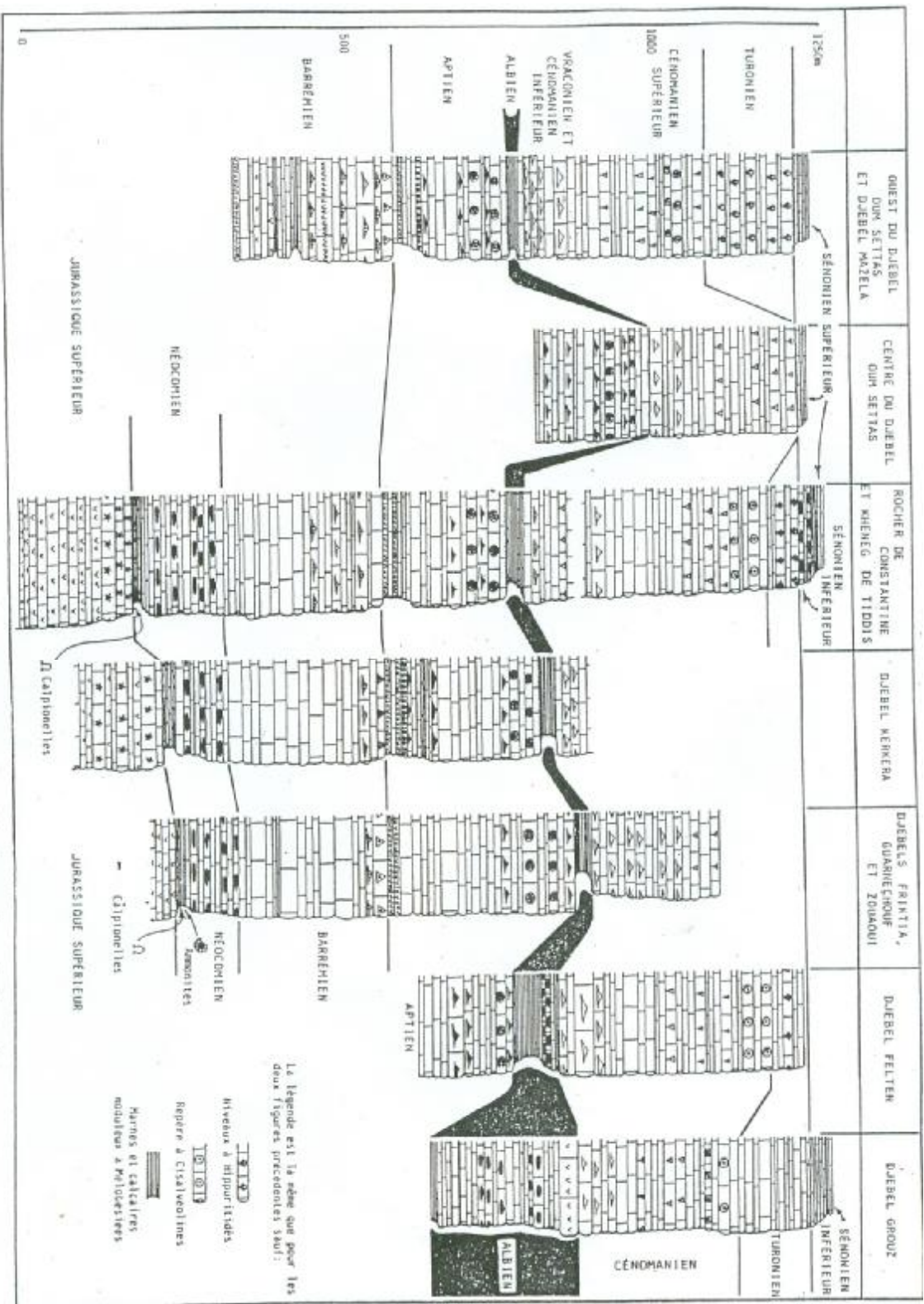


Fig.8 : Tableau de corrélation des séries néritiques constantinoises des régions de Constantine et d'Oued Athménia (J..M.Vila ,1980).

#### **1-3-4-L'Albien- Vraconien :**

Décrit par T.Raven (1957) dans le massif de l'Oum settas, il est constitué de marnes, marno-calcaires glauconieux et légèrement phosphates. Les calcaires glauconieux livrent d'abondantes *Melobesidés*, Rudistes, *Echinides* et *Hedbergella.sp.* L'ensemble de la série ne dépasse jamais la centaine de mètres. Un épisode érosif la réduit parfois à une dizaine de mètres et peut disparaître comme c'est le cas au nord du Djebel Oum settas (J.M.Vila, 1980).

#### **1-3-5-Le Cénomaniens :**

Il est représenté dans les massifs du Kheneg, du Grouz, du Felten, du Rocher de Constantine, et Dj Kellal et de l'Oum settas, par une épaisse série de calcaires blancs massifs associés à des barres biodétritiques à rudistes, des niveaux de biomicrites à Miliolidés et localement des calcaires rubanés (J.R.Van de Fliert, 1957 ; Th.Raven, 1957). Dans cette série on rencontre des *Orbitolines* roulées, *Orbitolina conica*.

#### **1-3-6-Le Turonien :**

Le Turonien montre dans le rocher de Constantine, dans les massifs de l'Oum settas et du Felten une lithologie comparable à celle du cénomaniens. Il comprend des calcaires rubanés, incluant de grosses barres de calcaires massifs clairs à rudistes (Radiolarites, Hippurite) et à minces intercalations des calcaires sombres.

#### **1-3-7-Le Sénonien inférieur :**

Le sénonien inférieur est essentiellement marno-calcaires. Au niveau du synclinal du Texas, il montre une épaisse série marno-calcaire et des marnes à *Globotruncana* dans laquelle sont localement signalés des niveaux à Ammonites et à *Huitres* (C.Voute, 1967).

Selon J.M.Vila (1980), le sénonien inférieur situé au sud de Constantine et à l'Est et l'Ouest d'Ain M'lila appartient à une unité allochtone méridionale. Cependant cette idée reste vivement contesté, dans les travaux ultérieurs, ou le sénonien inférieur, âge qui correspond à la couverture de la plate-forme constantinoise (J. C. Lahondere, 1987 ; M. Chadi ,1991 ; P.H.Coiffait, 1992).

#### **1-3-8-Le Sénonien supérieur :**

Il est représenté par des formations marno-Calcaires. Il peut reposer en discordance sur plusieurs termes inférieurs d'âge différents (Aptien à Turonien).

Au Nord et au Nord ouest du massif de l'Oum settas, dans le Rocher de Constantine et plus au N-E dans les massifs de Guelma, le sénonien supérieur est représenté par une série condensée de calcaires biomicritiques.

La présence de *Rotalina*, *Heterohelix.sp*, *hedbergella.sp*, permet de dater le sénonien supérieur (J.M.Vila,1977). Il débute par une discontinuité importante caractérisant une surface d'érosion d'extension régionale (M.Chadi, 1991).

#### **1-4-Le paleogène :**

##### **1-4-1-Le Paléocène :**

Le paléocène est représenté par des formations marneuses faisant suite aux séries du Maestrichtien. Les affleurements les plus septentrionaux des zones externes décrites par J.M.Vila (1977) au N-W de Constantine et repris par l'étude de P.E.Coiffait (1992), comportent une centaine de mètres de marnes noires dans lesquelles s'intercalent des calcaires en boules jaunes. Le sommet de la série est souligné par des calcaires à concrétions phosphatées et des marnes à *Globigerinides* dans les quelles se fait le passage paléocène terminal-Yprésien.

##### **1-4-2- L'Eocène :**

Au environ de Constantine, l'éocène est représenté par une série épaisse à dominance calcaire. Cette série débute par des marno-calcaires, des calcaires bitumineux à rognons et lits de silex noirs, puis des calcaires phosphatés attribués à l'yprésien. Par dessus cet ensemble, vient une puissante série de marnes brunes à passées calcaires jaunes parfois lumachéliques du Lutétien (J.R.Van de Fliert, 1955).

##### **1-4-3- L'Oligocène :**

Les rares affleurements attribués à l'Oligocène, décrits à Kherrata (M.Leikine,1971), à Djemila (J.M.Vila,1977), à oued Zenati (J.C.Lahondere,1987) et à Est de la Chebka des Sellaoua (C.Voute,1967), correspondent à des marnes claires, grises et verdâtres (J.M.Vila,1977C). P.E.Coiffai (1991), décrit à l'Est de la ville de Sedrata une trentaine de mètres de marnes grises de l'Oligocène moyen sur lesquelles reposent une cinquantaine de mètres de grés parfois quartzifiés alternant avec des niveaux marneux d'âge Oligocène –Aquitaniens.

Les marnes ont livré une microfaune à *Globigerina.gr*, *Globigerinita unicavabolli*, *Globigerina-oprina-oprina*.

#### **1-5-Le Néogène :**

##### **1-5-1-Le Miocène marin :**

Il s'agit de puissantes séries sédimentaires marines, transgressives, formées de grés, de calcaires gréseux à pectinidés et de marnes. Elles débutent le plus souvent par des formations détritiques, parfois grossiers, ravinantes et discordantes sur des terrains créacés à Eocène (Y.Aris, 1994).

Ces séries livrent une microfaune significative à *Globigerina*, *Pa .chyderme*, *Globorotatolina mayeri*, *Globoquadrina dehiscens* (J.M.Vila,1977).

### **1-5-2-Le Mio-pliocene:**

Ces faciès sont assez varies , il est caractérisé par l'abondance d'éléments grossièrement détritique .dans la région de Constantine ,d'El Aria et du Khroub ,les affleurements pliocènes comportent des argiles ,des marnes gypsifères , des calcaires lacustres , des conglomérats, des grés et des sables.

Des gastéropodes pliocènes ont été récoltés (Van de Fliert, 1955 ; J.M.Vila, 1977).Il s'agit de *Helix numidica*, *Lunnea jobae*, *lunnea thomasi*.

### **1-6-Le Quaternaire :** (Benabbes et al, 2000)

Le quaternaire est représenté par :

- Des éboulis, des alluvions et des formations de pente.
- Les éboulis sont surtout développés en bordure des massifs numidiens et des massifs calcaires comme le djebel Oum settas.
- Les alluvions récentes des Oueds correspondent à des limons, des graviers et des galets roulés. Les alluvions anciennes des Oueds se composent de cailloux, de limons et de graviers, parfois encroûtés provenant d'anciennes terrasses. Les alluvions anciennes des plateaux sont composées de cailloux roulés, limons et graviers .Elles sont souvent cimentées par une croûte calcaire. les formations de pente correspondent à des glacis polygéniques qui forment des surfaces très faiblement inclinées près des plaines recouvertes d'un matériel élastique .Les glacis anciens de Constantine,dans la régions d'El Aria ,sont constitués exclusivement de blocs numidien bien roulés.
- Les croûtes calcaires du Villafranchien sont directement disposées sur des calcaires et des conglomérats fossilifères.
- Les tufs calcaires (tufs du Mansourah) correspondent à des zones de sources chaudes, présentant un aspect concrétionné plus ou moins vacuolaire.

### **B- La paléogéographie des massifs constantinois :**

Les études lithostratigraphiques faites sur les massifs constantinois ont permis de dégager les grandes lignes de la paléogéographie de massifs Constantinois.

Les premiers traits de la paléogéographie de ces massifs ont commencés à se dégager dès le Jurassique, ou ils apparaissent comme une plate forme bordée au Sud-Est par un sillon caractérisé



par une sédimentation pélagique (sillon des sellaoua). Ils ont été le siège d'une sédimentation de plate forme carbonatée sous faible tranche d'eau ou la dolomitisation y était importante.

Au crétacé la sédimentation au niveau de la plate forme était récifale à péri récifale spécialement du Néocomien au Maaéstrichien. L'extension maximale de la plate forme a été atteinte au Barrémo- Aptien pour disparaître au Maaestrichien ou n'existent plus que les faciès marneux.

Vers le Nord de la plate forme la sédimentation était marno-calcaire à rare influence récifale. C'est le domaine péni-tellien (J.M.Vila 1980).

Enfin l'héritage structurale mézosoïque a bien marqué la paléogéographie de la plate forme constantinoise qui s'est trouvée structurée par des accidents NE-SW, E-W et NW-SE. Cette structuration a permis à la plate forme d'avoir des dimensions variables au cours des temps, dont la structuration en horsts et grabens (Kazi –Tani ,1986).

### **C- La géologie locale**

Le massif de l'Oum settas est un anticlinal de direction ENE-WSW dont la tectonique est fortement manifesté par des failles sub-verticales pour la majorité. La série stratigraphique est représentée par des formations crétacées avec la prédominance de bancs calcaires (Fig.9).

C'est un puissant massif montagneux (1326m) coupé par une faille NE-SW bien visible. Le prolongement de cet anticlinal se poursuit vers le WSW au niveau de la ferme de Bentellis ou on note un affleurement du Cénomaniens.

#### **C-1-La stratigraphie du massif de L'Oum Settas : (Fig.10,11,12 , 13 et 14 )**

##### **1-1-Le Barrémien** :(> 40m)

Le Barrémien est composé de calcaires à débris et à oolithes avec *Orbitolina conoida* (Th.Rven, 1957). Il débute par des couches carbonatées à *chofatella decipiens*, *salpingorella muhbergii*. Au sommet ce sont des calcaires à *Palorbitolina Lenticularis* et *Dictyoconus arabicus*.

##### **1-2-L'Aptien** : (300m)

L'Aptien est formé de calcaires micritiques à *Sapingoporella dinarica* et *archaeolveolina reicheli*.

Dans la partie West de Djebel Oum settas, l'Aptien correspond à des calcaires fins a milioles, des marno-calcaires et des marnes verdâtres à *Orbitolina discoidea-cnoidea*, *Toucasia standerensis* (Th.Raven, 1957).



Les calcaires Aptiens sont de teintes gris clair ou gris bleuté à miliolites et débris de bivalves. Il se termine par des niveaux calcaires plus clairs à *Huitres* et à *Orbitolines* et des ovalvoline « reicheli » (Y.Aris ; 1994).

### **1-3-L'Albien-Vraconien :(10m)**

Il est localisé dans la moitié est du massif et contient des Mélobésiées (*Aghardiopsis cretacea*, *lithophyllum. sp.*).

Il est représenté par des calcaires sombres noduleux parfois a aspect bréchiqque incluant quelques minces intercalations de marnes indurées de couleur grise à galets calcaires (Y.Aris, 1994).

Au niveau du flanc nord de Djebel Oum settas l'Albo-vraconien est absent (Y.Aris, 1994). Selon Th.Raven (1957), Il est représenté par une série marneuse d'environ 1,5m. J.P.Masse admet que l'Albo-vraconin montre une abondance de bioclastes à *Inocerame*, *orbitolines*, des *Calciapharulida* et des foraminifères pélagiques assez mal développés.

### **1-4-Le Cénomaniien :(250m)**

Le Cénomaniien est transgressif sur l'Aptien à l'Ouest du massif .Il est représenté par des bancs calcaires blancs massifs à *Rotalipora appenninica*, *Thalmaninella Brotzeni*, *Orbitolina gr, concava* et *O.gr, conica*. Il se poursuit par des biomicrites à *chysalidina gradata*, *Cisalveolina fallax* et de rares *Praeglobotruncana stephani* et se termine par des niveaux à Rudistes à nombreux sections de *Caprina shiosenis* .La limite stratigraphique avec le Turonien a pu être déterminé a l'aide des Rudistes en un point seulement dans Oued Ch guengit au centre du Djebel Oum Settas (Th.Raven,1957).

### **1-5-Le Turonien :(250m)**

Il est représenté par des calcaires récifaux blanchâtres à débris très cristallins parfois oolithiques. Il livre surtout des *Glotruncana helvetica* et des Rudistes en places formant des trottoirs (Th.Raven, 1957).

Au niveau du flanc sud du massif de l'Oum settas, le Turonien est absent à l'Ouest de la faille de l'Oum settas (Y.Aris, 1994).

### **1-6-Le Sénonien supérieur :(250 a300m)**

Il est marno-calcaire, parfois conglomératique. Il débute par un niveau de marnes grises a jaunâtres a galets, au dessus de ces marnes succède un niveau de calcaires biomicritiques livrant une abondante microfaune constituée essentiellement de *Globotruncanides* dont *Globotruncana*

*arca, Globotruncanita cf, Globotruncana lincina ,Rosita-Fornicata plicata ,Heterohelicidae* (J.M.Vila,1977).

Le Sénonien supérieur repose soit sur le Turonien, soit sur le Cénomaniens, mais par l'intermédiaire d'un contact anormal (Y.Aris ,1994).

### **1-7-Le Paleogène**

Observé dans la Machtat Darkela, il est représenté par des marnes grises ( sans aucune microfaune),sur les quelles on a une série de calcaires argileux clairs jaunâtres en alternance avec des marnes grises indurés puis des calcaires tachetés de phosphates qui s'alternent avec des marnes grises à jaunâtres indurées (Ypresien) (Y.Aris,1994).

### **1-8-Le Néogène : (LE MIOPLIOCENE CONTINENTAL)**

Il est représenté par des faciès assez variés essentiellement détritiques (marnes, limons, conglomérats, brèches).Il repose en discordance sur les différents termes déposés antérieurement. Th.Raven (1957) a remarqué un passage latéral de faciès au Turolien dans les niveaux inférieurs. Par contre par endroits les termes supérieurs pourraient représenter l'équivalent strictement continental du Pliocène.

### **1-9-Le Quaternaire :**

Les dépôts Quaternaires correspondent essentiellement à des alluvions. Ils se composent de limons, graviers, sables et des galets roulés.

Ces formations ne sont bien visibles que le long des principaux Oueds comme le Rhumel , le Boumerzoug. Les sommets des terrasses sont formés de cailloutis et des limons.

- **Remarque :**

Au Niveau du flanc Sud-Ouest de Djebel Oum settas, et a l'Ouest de la failles de l'Oum settas-Meimel, le Sénonien inférieur et le Turonien sont absents (Y. Aris, 1994).

### **C-2-Généralité sur la gisement d'El Khroub :**

Le gisement d'El Khroub exploite le flanc Sud-West du massif de l'Oum Settas. La matière exploitée au niveau de ce gisement est de très bonne qualité (surtout la poudre de carbonate de calcium).

### **2-1-La géomorphologie, orographie et climat :**

Géomorphologiquement la région d'El Khroub est attribuée au Djebel Oum settas. Il est sillonné par des ravins et des Oueds.

Les côtes absolues 800 à 1000m, la région est caractérisée par un climat froid et humide en hiver et chaud et sec en été. En hiver, les oueds : le Rhumel et Oued El Berda sont souvent en crue, par contre en été ils sont presque à sec.

## **2-2-Les particularités économiques et infra-structurelles**

Le réseau routier régional est très développé, la carrière actuelle (El Khroub) est bien desservie. La voie ferrée et la route nationale N°20 menant de Constantine à Guelma passe à 1,5Km au Sud du gisement. Une route départementale menant d'El khroub à El-Aria et une ligne à haute tension (10 000 V) passent respectivement à 3Km au NW et 1Km au sud de la carrière .Plusieurs carrières de granulats appartenant à des entreprises publiques et privées sont situées a proximité et exploitent la même roche.

## **2-3-L'Hydrogéologie :**

A 1.5 -2 Km au sud de la carrière se trouve Oued Berda, pendant la période pluviale, ce dernier est plein d'eau.

Les eaux souterraines attribuées aux dépôts alluviaux de la vallée de Oued Berda sont exploitées de source pour l'approvisionnement de la région en eau potable .Les eaux superficielles de Oued Berda sont utilisées pour des besoins industriels et agricoles surtout.

## **2-4-La morphologie et structure du gisement :**

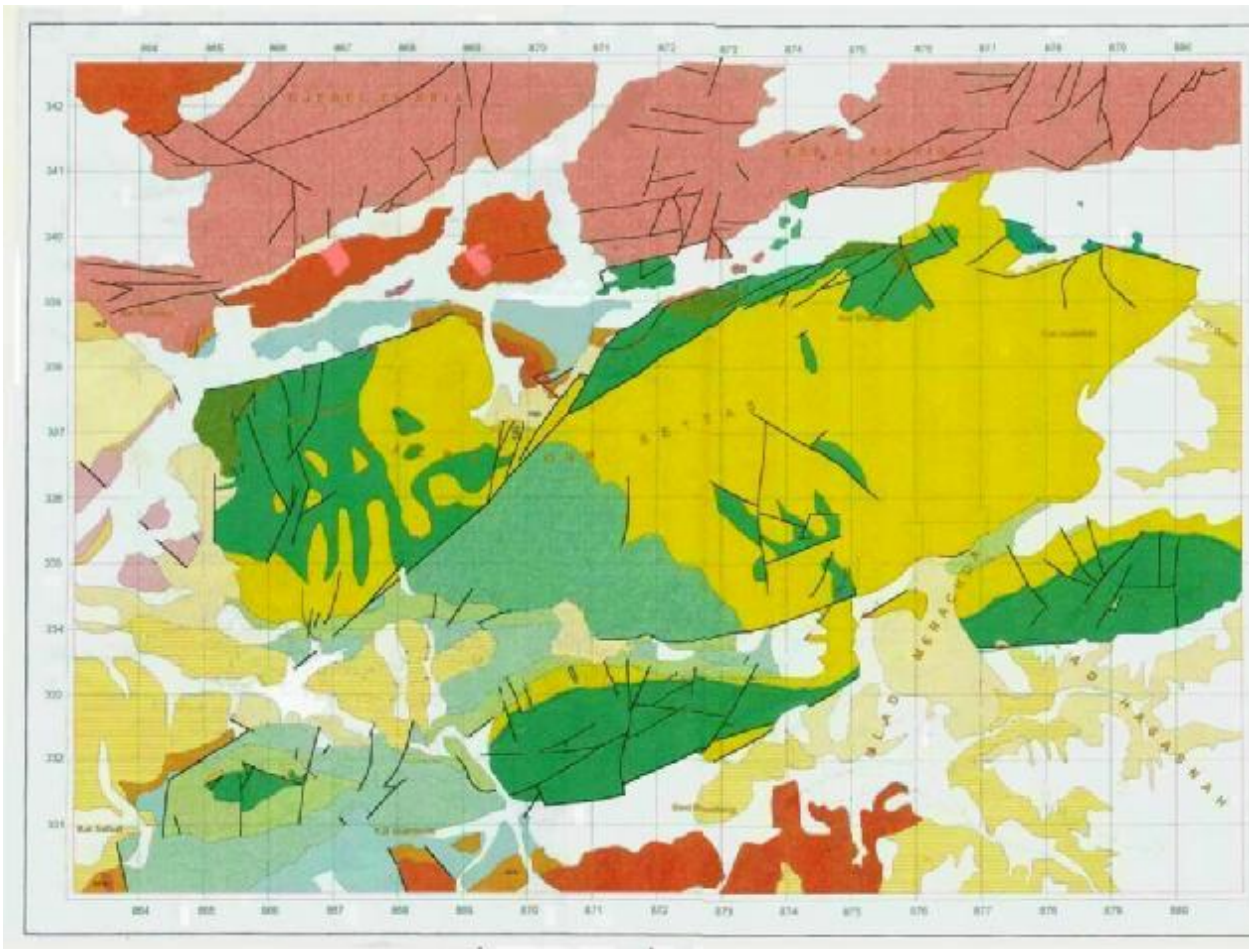
Le gisement d'El Khroub se situe dans la partie Sud-West du Djebel Oum Settas. Il forme une structure Monoclinale assez simple a pendage incliné de 15 à 25° vers le Sud-Ouest. Son relief est représenté par une pente d'une forme presque ronde qui est entourée de ravins.

Le gisement s'étend sur une superficie 800\*1000 (0.8km<sup>2</sup>). Les côtes absolues du Gisement varient de 702 à 870 m (Rapport R.N.D.M , E.N.G,1979).

## **2-5-La stratigraphie et lithologie du gisement d'El Khroub**

Stratigraphiquement le gisement est constitué de roches carbonatées, essentiellement des calcaires massifs d'âge Crétacé, de couleur blanche à blanc grisâtre renfermant de petites fissures et de grandes fractures remplies de calcite et d'Oxydes (Rapport carbonates de calcium, E.N.G, 1991).

Les calcaires exploités sont d'âge Crétacé Moyen .Les alluvions Quaternaires ne sont observés qu'au pied de la colline au delà des limite du gisement.



**Légende :**

- Quaternaire : Conglomérats et sables continentaux et alluvions caillouteuses et limons
- Pliocène lacustre : marnes rouges ou grises, calcaires blancs, roses ou gris
- Mio-Pliocène : Limons, conglomérats
- Oligocène : m<sup>1</sup>grès jaunes ou rouges e<sup>3-2</sup>marnes et argiles multicolores
- Lutétien supérieur : (localement de Priabonien ?), marnes avec quelques bancs calcaires
- Calcaires à silex et marno-calcaires phosphatés
- Maastrichtien-Montien : Marnes gris-noires à
- Maastrichtien : Calcaires à et marno-calcaires à Inocérames 2.marnes bleu-noires
- Campanien et sommet du Santonien : Calcaires à et marno-calcaires 2.marnes grises et bancs calcaires
- Turonien : Calcaires à Hippurites tabuni
- Cénomanién : calcaires néritiques
- Albien : Calcaires néritiques , marno-calcaires à glaugonie
- Aptien : Calcaires néritiques
- Barrémien : Calcaires néritique

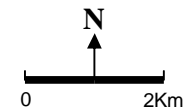


Fig.9 : la carte géologique du massif de l'Oum Settas

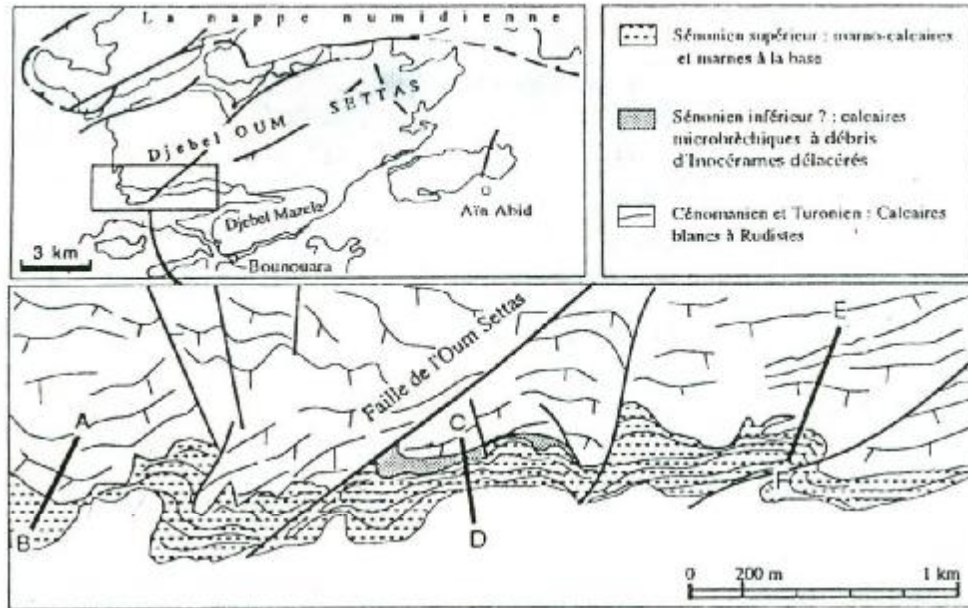


Fig.10 : Carte géologique simplifiée du sud du massif de l'Oum Settas

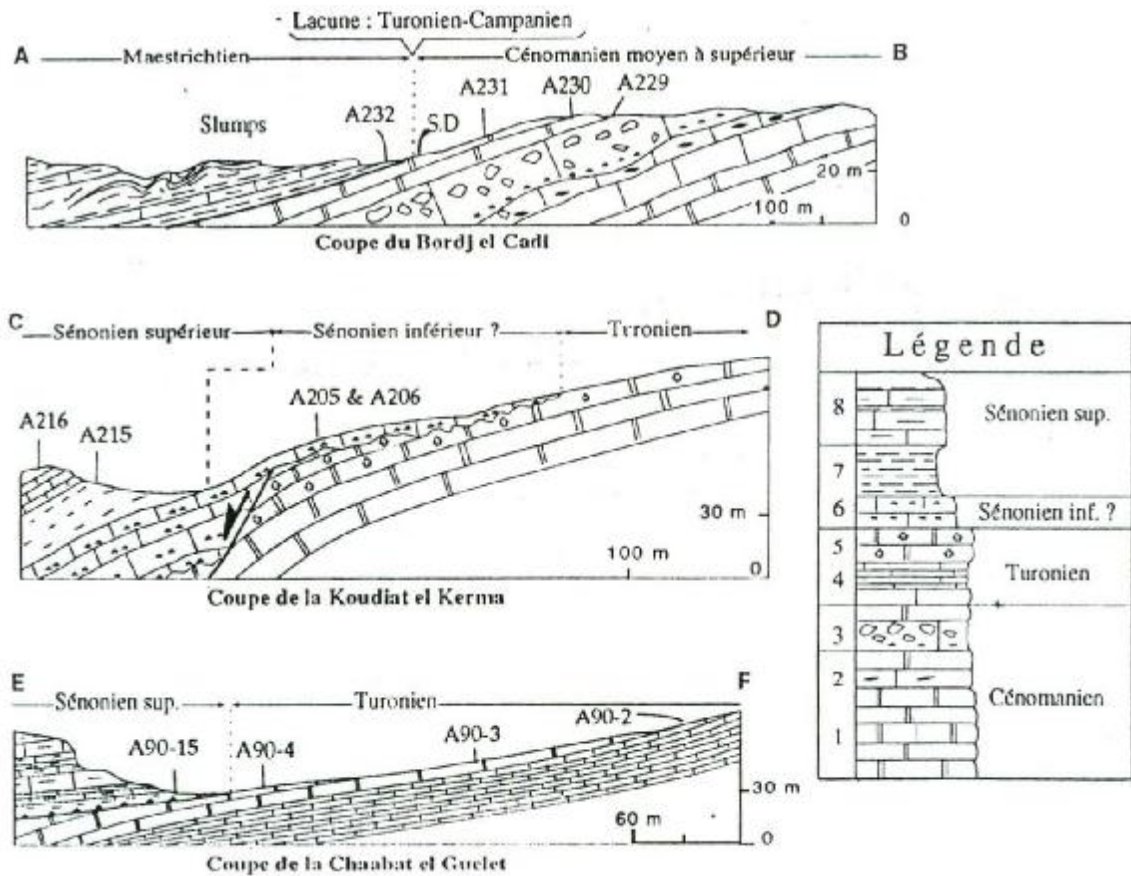


Fig.11 : Coupes géologiques sérieées AB , CD et EF du massif de l'Oum Settas sud (d'après Y.Aris ,1994)



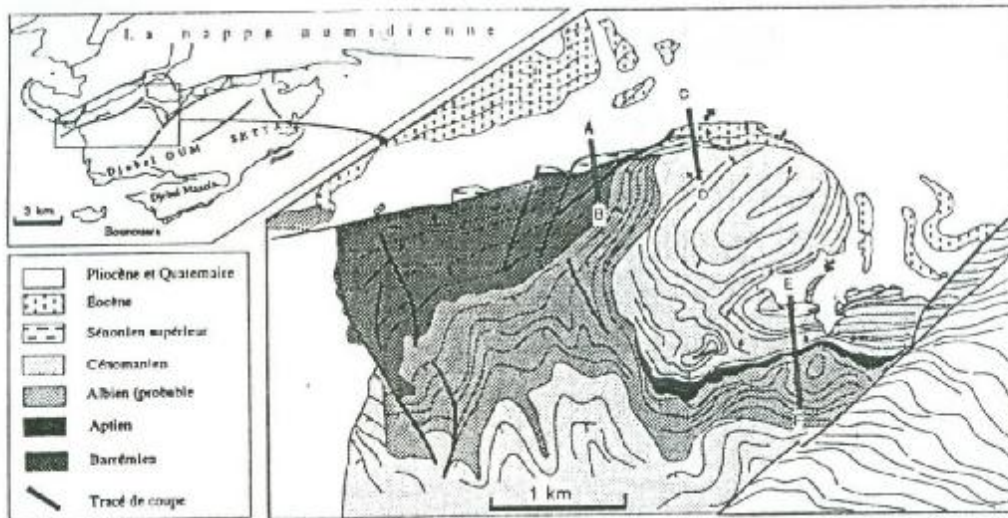


Fig.12a : Carte géologique du secteur nord du massif de l'Oum settas

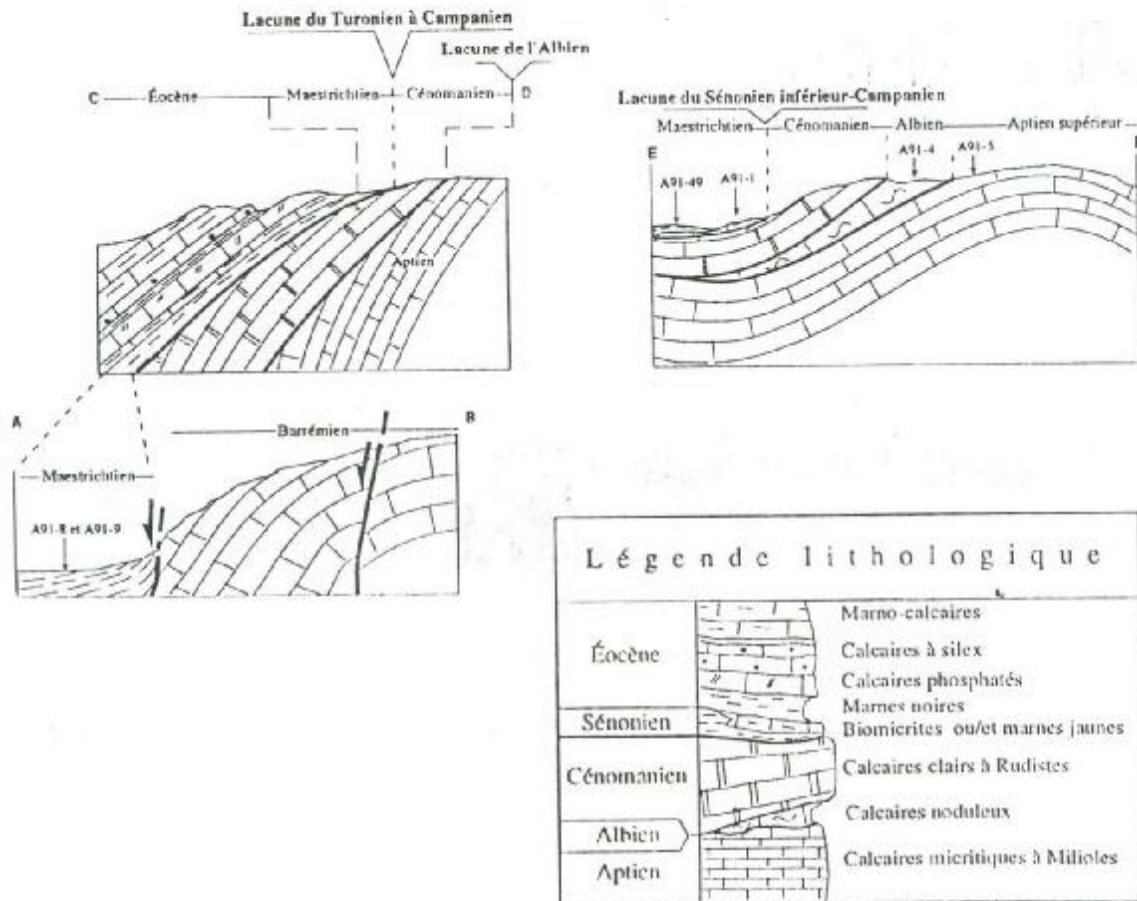


Fig.12b : Les principales coupes prélevées sur la bordure nord du massif de l'Oum Settas (Selon Y. Aris ,1994)

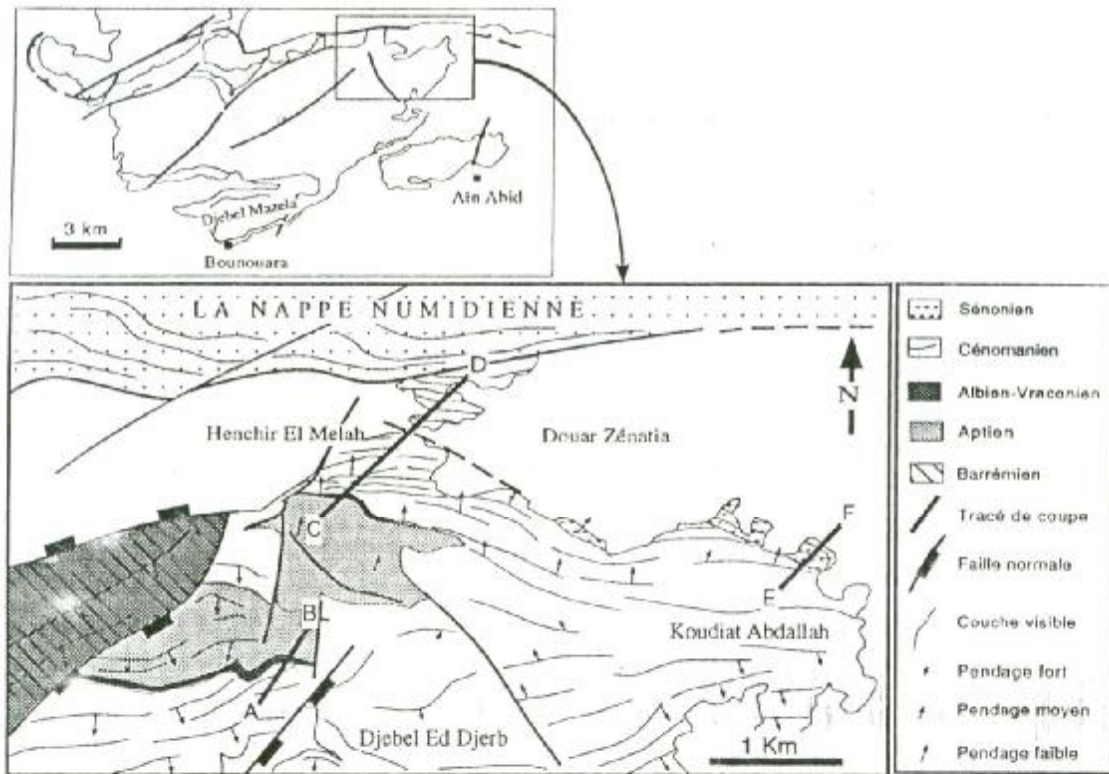


Fig13a : Carte géologique du N-E du massif de l'Oum Settas (Secteur de Henchir El Melah)

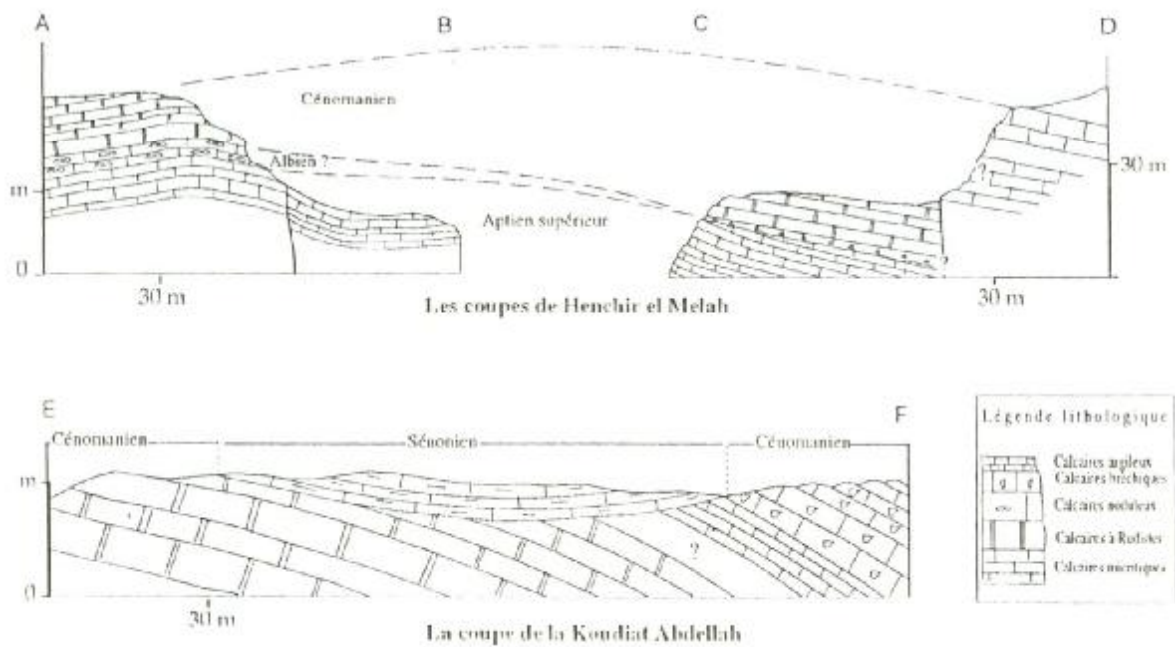


Fig13b : Les coupes réalisées à l'Est et au S-E du massif de l'Oum Settas (Selon Y.Aris ,1994)

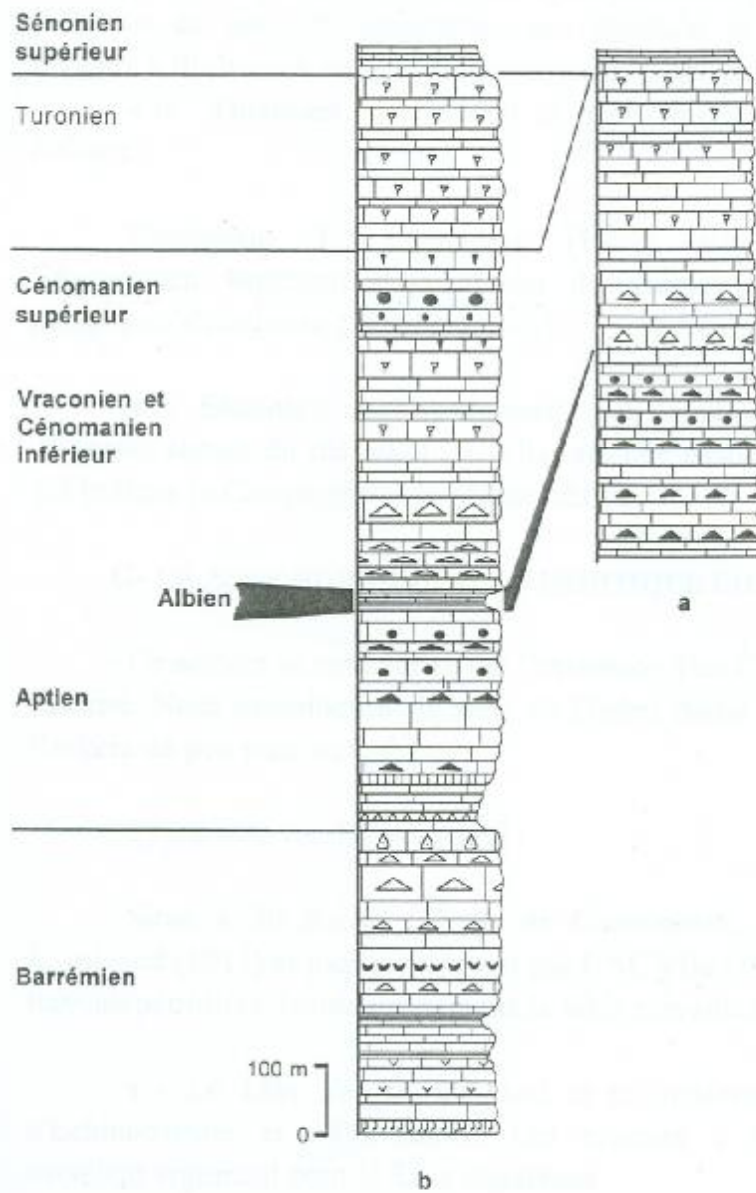


Fig.14 : Représentation schématique de la série de l'ensemble Oum Settas-Mazela (d'après J. M. Vila ,1980).

a : Ouest du Jebel Oum Settas .

b : Centre du Jebel Oum Settas et Jebel Mazela.



### **2-5-1-Le Cénomaniens :**

Les calcaires exploités sont essentiellement d'âge Cénomaniens moyen .Ce Cénomaniens comprend des dépôts faisant partie de l'assise utile. Ces dépôts sont constitués de trois types de calcaire :

- Des calcaires gris foncés micritiques affectés par des fractures remplies de calcite de recristallisation et d'oxydes.
- Des calcaires gris clairs à blancs massifs marmorisés microsparitiques à sparitiques.
- Des calcaires crayeux très blanc riches en débris de Rudistes.

Les deux premiers types de calcaires sont affectés généralement par des fissures remplies de calcite et d'oxydes, des taches noires (MnO), des Microkasts ainsi que des stylolithes.

### **2-5-2-Le Sénonien supérieur**

Constituant le pied de la colline au Sud-Ouest du gisement. Les dépôts du Sénonien supérieur reposent en discordance sur le Cénomaniens. Il faut noter que le Sénonien supérieur est discordant et transgressif sur les formations du Cénomaniens- Turonien.

### **2-5-3-Le quaternaire :**

Ces dépôts sont observés sur de petites zones à l'Ouest du gisement ou ils reposent sur des formations crétacées. Les dépôts sont représentés par des argiles et des Limons avec des débris de calcaire .Leur puissance est de 5 à10 m.

### **2-6-La matière première exploitée**

Le gisement exploite le versant Sud-Wuest de Djebel Oum settas .Il est constitué par des roches carbonatées du crétacé moyen et supérieur. L'assise utile correspond au crétacé moyen.

### **2-3-1-La méthode d'exploitation :**

L'exploitation du Gisement se fait selon une méthode classique à ciel ouvert et par des gradins de 15 m de hauteur adaptée aux caractéristiques des roches.

Les éléments généralement adoptés sont :

- Un angle du talus des gradins en exploitation de 70° a80°.
- Un angle de liquidation des gradins de 60° a 65°.
- Un angle de liquidation de la carrière de 53°.
- Une largeur des voies de transport supérieur à 8 m.
- Une largeur de la plate-forme de travail supérieur à 50 m.
- Le planché de la carrière est arrête à la cote 735 m.

Les paramètres de formation généralement adoptés sont :

- Profondeur du trou 16.5 m.
- Sur-profondeur 1.5 m.
- Maille du trou 3x4 à 3.5x5.
- Diamètre du trou 105 mm a106 mm.

Les trous de mines sont forés par une sondeuse hydraulique ou à l'aide de chariot de formation dont le fonctionnement est assuré par l'air comprimé par compresseurs mobiles .Une bonne fragmentation est recherchée a l'abattage car elle conditionne à la fois la reprise des matériaux et le rendement du concasseur primaire.

En outre, il est nécessaire que les matériaux soient suffisamment étalés au pied du front pour que les engins de chargement puissent travailler en toute sécurité. La reprise des produits d'abattage s'effectue à l'aide de pelles hydrauliques sur chenilles ou des chargeurs sur pneus de capacité de godets de 2.5 à 5 m<sup>3</sup>.

Des camions de carrière de 35t environ assurent l'évacuation de la matière abattue jusqu'au concasseur primaire, ou elle est déversée dans une trémie de réception en béton .Les dimensions admissibles des blocs à l'alimentation sont comprises dans la fourchette 0-1000 mm.

Les matériaux dont les dimensions sont hors gabarit et donc incompatibles à l'ouverture d'entrée du concasseur primaire sont débités à l'aide d'un brise roche monté sur pelle hydraulique ou par petardage.

Une station de concassage/criblage de production de granulométries plus fines permet la commercialisation de la poudre de carbonates de calcium.

#### **2-6-2-La capacité annuelle :**

- **La capacité installée :**

La capacité installée au niveau de la station de concassage est de 400t/h représentant une production annuelle de 80 000 t.

- **La production annuelle :**

La production annuelle varie le long des années en fonction de la demande du marché. On peut l'estimer en moyenne de 50 000 à 70 000 t/an.

## **I-Notions générales sur la sédimentologie :**

### **A-Méthodologie :**

Une étude sédimentaire se réalise en plusieurs étapes, qui sont :

- **Travaux de terrain :**

Les travaux de terrains consistent à représenter et à définir les différentes unités lithologiques en levant des coupes géologiques et en récoltant des échantillons, qui sont positionnés, orientés, numérotés et décrits. Une description macroscopique préliminaire est faite sur terrain.

- **Travaux de laboratoire**

Les échantillons prélevés sur terrain sont traités au laboratoire en confectionnant des lames minces et en faisant des lavages de marne.

L'un des buts de l'étude pétrographique, consiste à définir les différents constituants de la roche tel :

- La nature, la fréquence, la forme et la taille des particules.
- La matrice et le ciment.
- La texture de la roche.
- La nomenclature des microfacies ainsi que la définition de leur milieu de dépôt.

### **B- Classification des roches carbonatées et nomenclature utilisée:**

- Plusieurs ouvrages ont traité ou proposé des classifications des roches carbonatées. Parmi ces ouvrages on peut citer ceux de L.Cayeux (1935), R.Lfolk (1959), R.J.Dunham (1962), les géologues de la chambre syndicale (1961), de la S.N.P.A (1967) et du B.R.G.M (1973) .

En fonction de l'échelle d'observation deux types de nomenclature ont été retenus :

- Une nomenclature de terrain utilisée pour la description lithologique réservée à la stratigraphie ;
- Une nomenclature analytique détaillée, basée sur l'étude au microscope optique polarisant. Elle intéresse la partie traitant surtout de la pétrographie, de la sédimentologie et de la diagenèse.

#### **1-La nomenclature de terrain :**

La nomenclature utilisée pour les roches carbonatées repose sur la nature du carbonate et sur la nature et la granulométrie des constituants.

La classification de L.Cayeux (1935) a permis de subdiviser les roches carbonatées en deux types (les calcaires et les dolomies) en se basant sur :

- La nature des constituants carbonatés qui est précisée en complément du nom de la roche (exemple : calcaires oolithiques).

	% Calcite	% dolomite
Calcaire	> 95	<5
Calcaire magnésien	90 à 95	5 à 10
Calcaire dolomitique	50 à 90	10 à 50
Dolomie calcaire	10 à 50	50 à 90
Dolomie	< 10	> 90

- La granulométrie dont les classes granulométriques ont été définies par Folk et les géologues de la chambre syndicale.

Calcirudite	>2 mm
Calcarenite	<2 mm et > 0,063 mm
*Calcilutite	<0,063 mm

**\*Calcilutite : calcaire fin.**

Les roches constituées de mélange de carbonatés d'origine détritiques et terrigène : prennent le nom du constituant principal, le terme subordonné intervient comme adjectif ( exemple calcaires argileux).

	% Calcite	% Argile
Calcaire	> 95	< 5
Calcaire argileux	65 à 95	5 à 35
Marne	35 à 65	35 à 65
Argile calcaire	5 à 35	65 à 95
Argile	< 5	> 95

## **2-La nomenclature de laboratoire :**

Deux classifications ont été adoptées pour les roches carbonatées, la première établie par FOLK (1959)(Tab. 1 ) ,qui tient compte de la nature des éléments figurés (grains) ainsi que la nature et la cristallinité du ciment (phase de liaison).

La deuxième classification proposé par Dunham (1962) (Tab. 2), elle concerne la disposition présente des composants de la roche, reflétant l'arrangement lors du dépôts .Elle est fondée sur trois critères essentiels :

- La présence ou l'absence de la boue carbonatée (fraction < 20  $\mu$ m).

- La proportion des grains présents dans la roche (taille des éléments > 20µm).
- La disposition « Jointive » ou non –jointive.

### **C- Les principaux constituants de roches carbonatées :**

Dans les classifications modernes, deux principaux éléments constitutifs des roches carbonatées sont retenus : les constituants chimiques (ciment-matrice) et éléments figurés (allochèmes).

#### **1-Les constituants chimiques :**

Le ciment et la matrice peuvent être en calcite ou en dolomite, selon la taille (classification du groupe ELF-AQUITAINE, 1975) trois types peuvent être distingués :

- La **micrite** ou dolomicrite :( moins de 10 microns).
- La **microsparite** ou dolomicrosparite : (de 10 à 80 microns).
- La **sparite** ou dolosparite : (plus de 80 microns).

#### **2-Les éléments figurés ou allochèmes :**

Les éléments figurés définis dans l'analyse pétrographique des microfacies sont répartis dans deux grands groupes de grains carbonatés qu'on désigne habituellement par (B.H.PURSER, 1980) :

- Les grains squelettiques
- Les grains non squelettiques.

#### **3-Les grains squelettiques :**

##### **3-1-Les bioclastes (ELF-AQUITAINE, 1975)**

Ce terme désigne tout élément fossile entier ou fragmentaire, d'origine végétale ou animale, enrobé ou non dans une gangue carbonatée. Souvent les plus abondants dans les roches carbonatées, ils peuvent se présenter sous forme d'individus :

- De plus ou moins grande taille ;
- Entiers, fragmentés ou roulés ;
- Isolés, abondants ou formant des colonies ;
- De la même espèce ou association d'espèces différentes.

#### **4-Les grains non squelettiques :**

Ils sont répartis en deux groupes (B.H.PURSER, 1980) :

- Les grains squelettiques sans *nucleus* ;
- Les grains non squelettiques composés.

#### **5-Les grains non squelettiques sans *nuclus* :**

Il s'agit principalement de pelletoides, qui de par des processus de formation différents, ont été scindés en deux groupes :

- Les pellets fécaux ;
- Les pelletoides.

**5-1-Les pellets fécaux** : se sont des grains carbonatés, sans structure, qui se présente sous forme ovoïde ou en bâtons courts et arrondis. Ces grains sont souvent d'origine fécale (B.H.Purser, 1980).

### **5-2- Les pelletoides**

La plupart des pelletoides distingués dans les microfacies sont formés par micritisation de grains carbonatés surtout des bioclastes. Ce processus aboutit à une destruction progressive de la structure primaire du grain, commençant à la périphérie, en progressant vers l'intérieur, provoquant finalement la création d'un élément cryptocristallin sans structure (R.G.C.Bathurst, 1971 ; B.H.Purser, 1980).

### **6-Les grains non squelettiques composés** :

Il s'agit principalement de grains de taille d'un sable grossier ou du gravier, de forme généralement irrégulière, composés d'agrégats de pelletoides et plus fréquemment de bioclastes.

**6-1-Les agrégats** : de forme généralement irrégulière, ils se composent de deux ou plusieurs pellets, oolithes, ou de bioclastes.

**6-2-Les intraclastes** : se sont des fragments de sédiment carbonatés pénécontemporains du sédiment qui les contient et remanié sur place ou à faible distance ( Folk ,1959 ; Flugel ,1982).

**6-3-Les lithoclastes** : comprennent l'ensemble des débris de roches carbonatées remaniés dans un sédiment de même nature, ils sont de deux types :

**6-4-Les exoclastes** : leur composition diffère de celle des sédiments encaissants, et sont présumés être exotiques du bassin sédimentaire et plus anciens que les sédiments associés.

**6-5-Les endoclastes** : La composition des endoclastes est semblable à celle des sédiments encaissants (FOLK, 1959), sont relativement communs des provinces carbonatées actuelles.

**6-6-Les oolithes** : se sont des grains carbonatés qui possèdent un cortex à laminations concentriques, régulières, d'épaisseur relativement constante. Ils se différencient les uns des autres par un certain nombre de caractéristiques secondaires : présence ou non de micro végétaux dans le cortex, taille, épaisseur et type de laminations du cortex.

### **D-Les milieux de dépôt marin et leurs caractéristiques** :

#### **Intoduction** :

Le milieu marin comprend le milieu de plate forme et un milieu de bassin séparés par un talus. La différence entre ces termes est morphologique ou du point de vue bathymétrique.

La profondeur varie de 0 à environ 200 m sur la plate forme, elle est plus grande au niveau des bassins.

### **1-Le milieu de plate forme :**

La variation de certains facteurs, comme la morphologie, l'hydrodynamisme, la pénétration de la lumière, est responsable de la grande diversité de la répartition des dépôts carbonatés au niveau des plates forme carbonatées (Fig.13).

Bon nombre d'auteurs se sont consacrés à l'étude des différents types de plates formes, on peut citer : FERRANDINI et al (1985), PLATEL et al (1994), ARNAUD-VANNEAU et al (1990), CATTANEO et al (1993), BERNET-ROLLANDE et al (1994) JAMES .V (1998), OLIVIER .N (2000), BOIROT. E (2000) RIBOULLEAU .A (1999), ROUSSEAU .M (2001), COLOMBIE. C (2002), PUIZ .A (2004). Les facteurs qui conditionnent la répartition des dépôts carbonatés au niveau des plates-formes carbonatés sont :

#### **1-1-Influence de la morphologie :**

La morphologie d'une plate forme est contrôlée essentiellement par l'existence, l'absence ou la localisation variable d'une barrière ou d'un haut fond plus ou moins continue .L'existence de cette barrière influe directement sur le niveau d'énergie, le chimisme des eaux (salinité ,oxydation) et l'activité biologique. Il entraîne la distinction entre un milieu de plate forme interne et un milieu de plate forme externe ou de bassin.

#### **1-2-Influence de facteurs dynamiques :**

Les facteurs dynamiques comprennent les vents, courants de vagues et de marrée. Leur résultat est surtout un tri granulométrique. La granulométrie des sédiments et certains types de figures sédimentaires donnent des informations importantes quant au niveau d'énergie du milieu souvent en relation avec la profondeur et le degré de protection.

#### **1-3-Le chimisme des eaux :**

La sursalure, le manque d'oxygénation des eaux entraînent de profondes modifications dans le contenu faunistique, ce qui peut conduire à distinguer :

- Un milieu ouvert : la circulation des eaux marines n'est pas entravée ;
- Un milieu restreint : la circulation des eaux marines se faisant au ralenti entraînant des modifications sur leur qualité.

**1-4-L'influence de la lumière :** la pénétration de la lumière permet également de distinguer deux domaines entre lesquels les conditions biologiques varieront considérablement : domaine photique et un domaine aphotique.

### **2-La plate forme carbonatée barrée :**

La plate-forme littorale est généralement coupée par une barrière parallèle à la côte qui isole une plate-forme interne protégée d'une plate-forme externe soumise à l'action des vagues. Comme

sur les plages à sédimentation silico-clastique, le balancement des marées détermine les zones supra-, inter- et sub-tidales (Turcker ,1995) (Fig.15, 16).

### **2-1-La plate-forme interne**

L'hydrodynamisme est faible, il augmente à marée haute, quand les vagues franchissent la barrière, et en face des passes. La zone intertidale correspond à un niveau d'énergie moyen à faible. Sur la plage s'accumulent un sable bioclastique, formé de débris de squelettes et coquilles calcaires. Des débris moyens à grossiers et des oolites se déposent dans les chenaux de marées. Dans la partie supérieure de la zone intertidale peuvent se développer des encroûtements ou des constructions algaires (stromatolites). La zone supratidale peut inclure des dunes éoliennes, des marécages et des lagunes à tendance évaporitique (sebkha littorale). La zone subtidale est un milieu très calme de décantation; il s'y dépose une vase calcaire.

### **2-2-La barrière**

La barrière est généralement construite par les coraux; elle est recouverte à marée haute mais partiellement émergée à marée basse; elle est localement interrompue par des passes qui mettent en communication la plate-forme interne avec le large. Le récif corallien représente une bioconstruction complexe dont la charpente est constituée par les coraux eux-mêmes (de nos jours des Hexacoralliaires) auxquels s'adjoignent des éponges, des bryozoaires, des algues encroûtantes, d'autres coelentérés. Ils s'installent généralement sur un support solide, dans des eaux chaudes, agitées, limpides et de faible profondeur. Un très grand nombre d'espèces vivent dans le biotope particulier que constitue le récif: mollusques, échinodermes, poissons. (biocénose corallienne). La face externe de la barrière, du côté de la haute mer, est détruite par l'action des vagues; les éléments fins sont mis en suspension, des blocs s'écroulent sur la pente du récif.

### **2-3-La plate-forme externe**

L'énergie sur le fond est moyenne dans la zone d'action des vagues. A partir d'une certaine profondeur, une cinquantaine de mètres, l'hydrodynamisme est très faible. Les sédiments se déposent en fonction de ce gradient d'énergie: éléments grossiers à proximité de la barrière, boue calcaire ou argilo-carbonatée au large. La faune comprend des espèces benthiques et pélagiques de haute mer. Lorsque la production et l'apport de carbonates sont importants, la plate-forme s'étend vers le large et prograde dans le bassin marin.



Critères physico-chimiques de caractérisation des milieux de dépôt  
*Diagnostic physico-chemical characteristics of depositional environments*

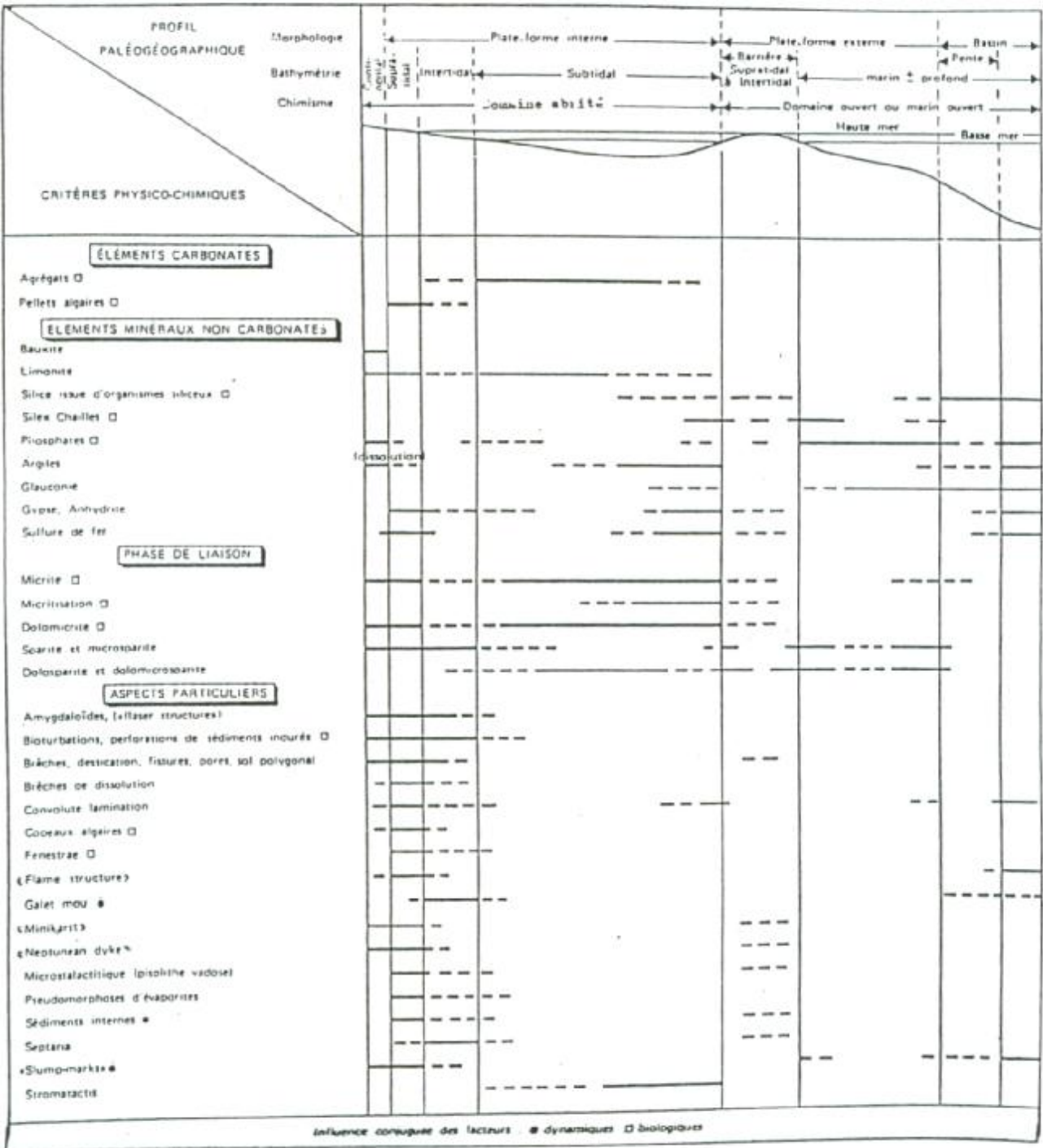


Fig .15 : Caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés  
 (d'après Elf-Aquitaine ,1977)

Critères dynamiques de caractérisation des milieux de dépôt  
 Diagnostic physical characteristics of depositional environments

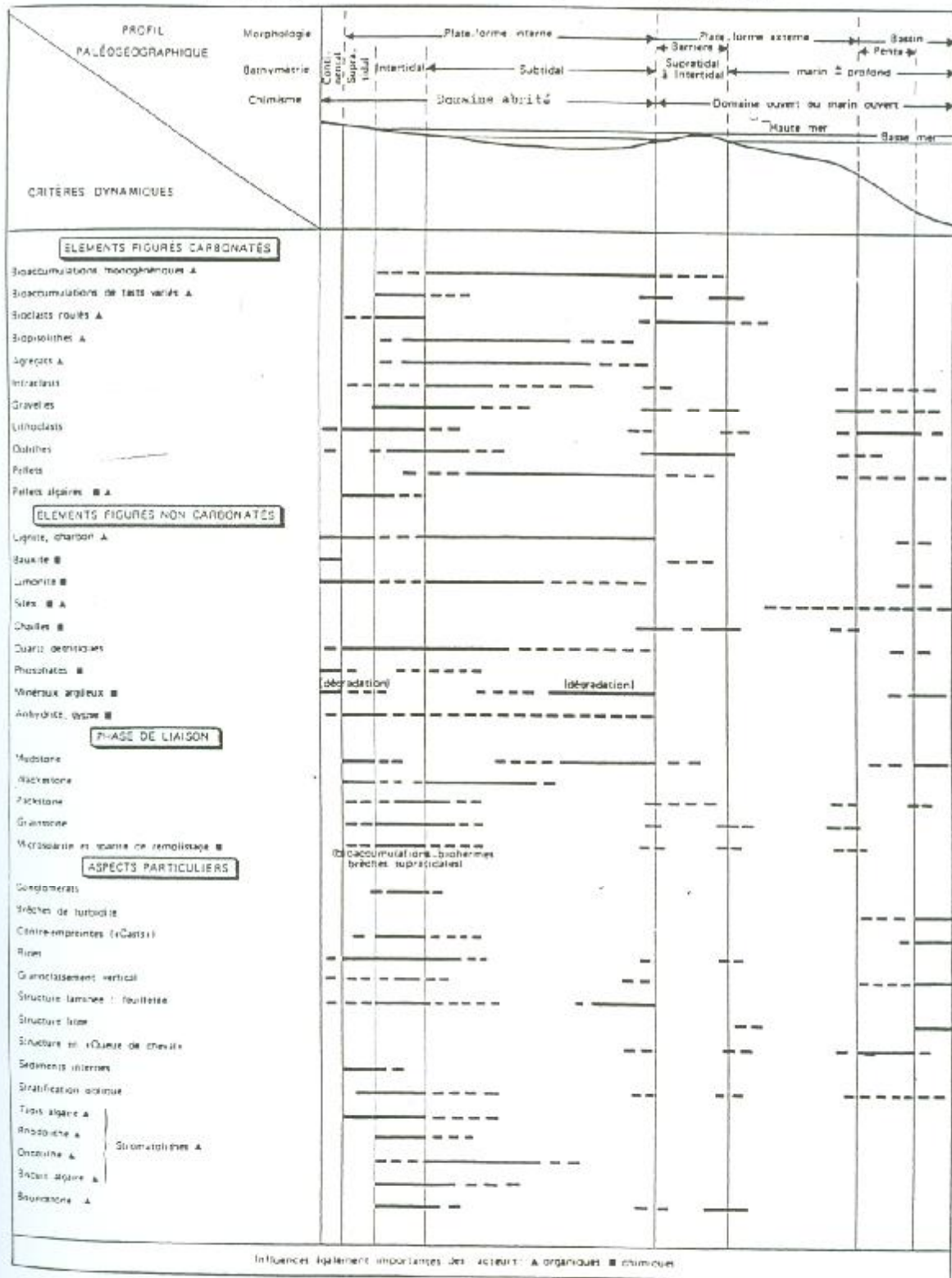


Fig .16 : Caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés  
 (d'après Elf-Aquitaine ,1977)

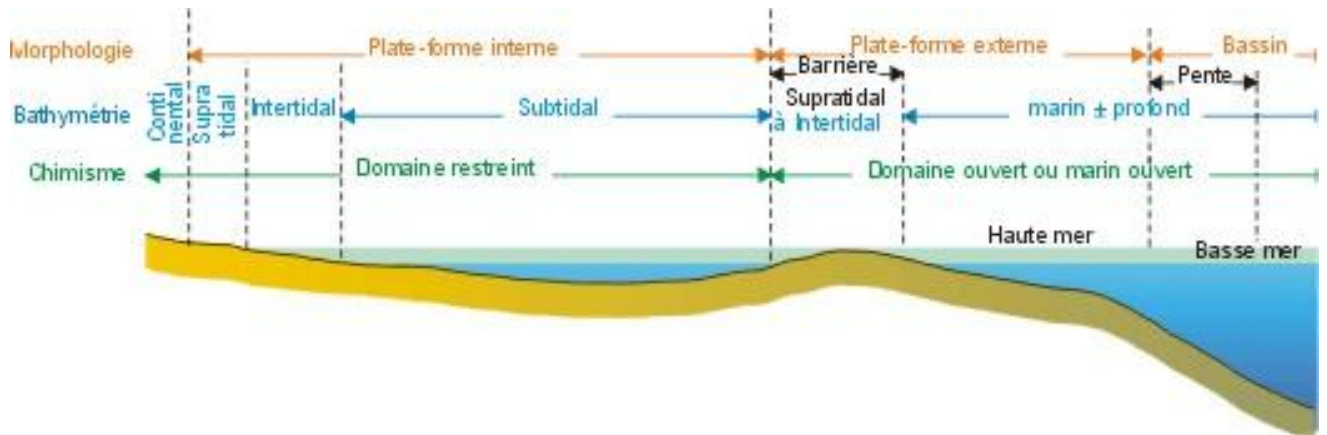


Fig.17 : Répartition des environnements sur une plate forme avec barrière (d'après Turcker ,1995)

#### **E- Notion de faciès :**

En 1908 HAUG définit le faciès comme la somme des caractères lithologiques et paléontologique que représente un dépôt en un endroit donné. Cette notion a été adoptée par l'ensemble des auteurs. MOORE (1949), en tenant compte des caractères lithologiques et paléontologiques séparément distinguera le lithofaciès et le biofaciès respectivement. Donc on admettra qu'un faciès est défini par cinq paramètres à savoir la géométrie, la lithologie et la paléontologie....etc.

#### **F- Pétrologie des roches carbonatées exploitées au niveau du gisement d'El Khroub :**

Les formations rencontrées sur terrain sont essentiellement représentées par des carbonates et spécialement des calcaires, dont la tectonique est fortement manifestée.

L'assise géologique du gisement et d'âge Cénomaniens moyen, mais on peut rencontrer aussi sur terrain des formations d'âge Aptien, Sénonien supérieur et quaternaire. Les formations d'âge Sénonien sup et quaternaire se localise au pied du gisement.

L'étude sédimentologique a nécessité la réalisation de plusieurs coupes (Fig.18) de terrain afin de déterminer le milieu de dépôt des calcaires exploités et aussi les phénomènes diagénétiques ayant affectés ces derniers.

La corrélation entre les faciès rencontrés est très difficile vu l'intensité de la tectonique.

Nous avons réalisé deux coupes au niveau du gisement exploité et une autre coupe synthétique. Ces coupes ont été comparées à celles réalisées antérieurement par J.M.Vila (1980) et Y.Aris (1994) au compartiment Sud-West du Massif de L'Oum Settas.

L'échantillonnage a été effectué par la méthode systématique.

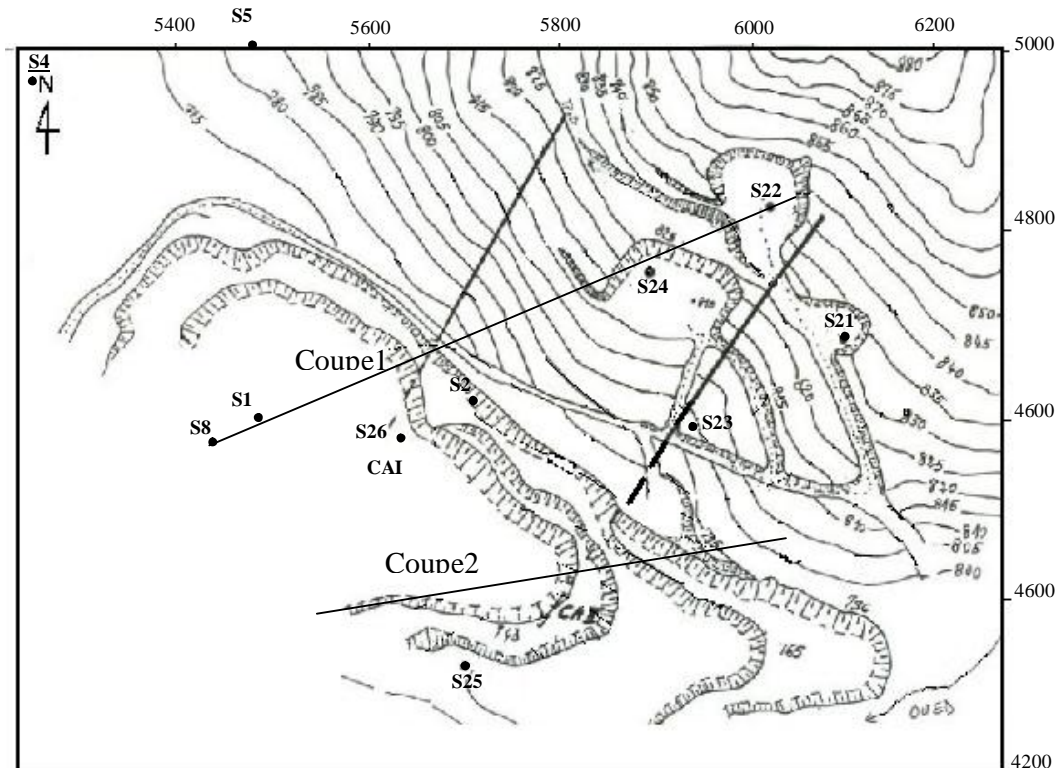
Les dolomies ont été mises en évidence par la coloration à l'alizarine.

Les microfaciès définis ont été déterminés d'après la classification de Dunham (1957).

### **1-Analyse sédimentologique :**

L'analyse sédimentologique s'est effectuée à partir d'une description macroscopique et microscopique de chaque entité lithologique appartenant aux différents étages constituant notre terrain d'étude.

L'objectif de cette analyse est de préciser les caractéristiques du milieu de dépôt en tenant compte des travaux antérieurs réalisés sur la région d'étude.



**Fig.18: Carte de position des coupes géologiques**

### **1-1-Aptien :**

Au niveau du flanc Sud-West du massif de l'Oum Settas et précisément au N-W du gisement , on a réalisé une coupe dont l'Aptien affleure(Fig.19).

Cette Aptien est représenté par des formations carbonatées dont l'épaisseur dépasse la centaine de mètre .Le sommet de cette étage est constitué de bancs de calcaire micritique à patine grise et cassure gris-bleuté , riche en Miliolles et fissures remplies de calcite.

La surface de discontinuité qui couronne ces calcaires est peu visible sur le terrain, d'où la limite avec le Cénomaniens n'est pas nette.

A l'échelle microscopique (Lame 1 et 2), il s'agit d'une biomicrite a intraclastes et pellets de texture packstone. Le microfacies livre une abondante microfaune, il s'agit de Miliolles de type *Quinquelocolina*, *Orbitolina.Sp*, *Ovavolines Textularia* , *Cuniolina Pseudocyclamina*, *Choffatelle decipiens* et des *Lituolodés*. Toute cette association caractérise l'Aptien On rencontre aussi dans ce microfacies des algues de type *Dasycladacé* et de type *Boueina* (algue rouge), des débris de *Lamellibranches* et *Echinodermes* (CHUSMANJ. A, 1928).

On la présence de microfissures remplies de calcite ainsi que de petits joints stylolitiques qu'il faut signaler.

La texture packstone et la matrice micritique témoignent d'une énergie moyenne à relativement forte surtout au sommet de l'étage supposé Aptien.

L'abondance de débris de bioclastes et de microfaune benthique sus -citées militerait en faveur d'une faible profondeur correspondant à un milieu de plate forme interne.

Selon la coupe réalisée par J.M.Vila (1980), la série Aptienne correspond à des formations d'une épaisseur de 300 m de calcaires micritiques (Fig14).

Cette série comprend de bas en haut les formations suivantes :

- Des calcaires, de faible épaisseur, micritique à *Carpathoporella fontis*, *Salpingoporella dinarrica*, *praeorbitolina crmyi* et *palorbitolina lenticularis*, et localement riches en *Charophytes*.
- Une autre formation qui surmonte la précédente en présentant des bancs épais de calcaires micritiques à *Ovavolina reicheli* en abondance et aussi des *charophytes* et *salpingoporella dinarica*.

### **1-2-Albien-Vraconien :**

Selon les travaux antérieurs (Vila.J.M ,1980 et Aris .Y ,1994), l'Albien est absent le long du flanc sud du massif de l'Oum Settas (Fig.14). Cependant, sur la coupe réalisée au niveau de la

carrière Géante d'El Khroub (Fig.19), on a pu mettre en évidence la présence de formations marneuses.

Ces formations sont d'une épaisseur très réduite (ne dépasse pas 1m) représentées par des marnes de couleur gris verdâtre à gris sombre.

Ces marnes ont livrés (lavage N° :1) : *Ticenella primulan*, *Thalmaninella subcinensis*, *Hedbergella planispira*, *Hedberfella sp*, *Lenticulina* (BELIER J.P,1985) et des débris de *Lituolidés* et aussi des grains de glauconie et d'abondants *Echinodermes*. Ce contenu faunistique peut caractériser l'Albien supérieur.

Ces formations marneuses sont surmontées par des calcaires cénomaniens.

Même si le contenu faunistique de ces formations peut indiquer l'Albien, deux possibilités se présentent pour expliquer leur disposition :

- Une disposition structurale, pouvant être liée à la présence d'un décrochement senestre à composante verticale qui a mis en affleurement l'Albien. L'épaisseur de ces formations est très réduite, par conséquent on est en présence d'une série très condensée dont les termes carbonatés sont absents. Cette réduction d'épaisseur est probablement liée à une période d'émersion au cours de l'Albien et au caractère transgressive des formations Cénomaniennes.
- Remaniement des fragments de roches d'ages Albien dans des formations Cénomaniennes

Selon J.M.Vila (1980) et Th.Raven (1957), l'Albien est localisé seulement dans la partie Est du massif de l'Oum Settas .Il est essentiellement représenté par des marnes à couleur gris foncé et des calcaires noduleux contenant des Mélobesiées ( *Aghrdillopsis cretacea*, *lithophylum sp.*)

Selon Y.Aris (1994), l'Albien se rencontre au nord du massif (Fig.12). Il correspond à des calcaires sombres noduleux parfois à aspect bréchiq (1à2m) montrant quelques minces intercalations de marnes indurés de couleur gris sombre à galets calcaires.

Les calcaires noduleux montrent une abondance de bioclastes contenus dans une matrice à *Favusella Wachitensis* et *Calcisphaerulideas*.

Au NE du massif de l'Oum Settas (Fig.13) l'Albien est représenté par une dizaine de mètres de calcaires noduleux à aspect conglomératique. Ces calcaires ont une épaisseur de 2 à 3m, séparés le plus souvent par des interlits marneux de couleur grise. Le microfacies montre une abondance de bioclastes d'*Inocérames*, *Orbitolines*, *Calcisphaerulida* et des foraminifères pélagiques mal développés.

### **1-3-Cénomaniens :**

Au Sud -West du massif de l'Oum settas, le Cénomaniens correspond a une série carbonatée d'une épaisseur pouvant atteindre 300m (Fig.20, 21 : Coupes 1,2)

La limite entre le cénomanien et l'Aptien est peu visible surtout au niveau du secteur d'étude. Tandis que la limite supérieure est bien nette. Elle est représentée par une surface durcie.

Du point de vue lithologique, le Cénomanien de la région d'étude est caractérisé de bas en haut par :

Un niveau épais d'environ 50m d'épaisseur, comprenant des bancs décimétriques à patine grise et cassure blanchâtre, il s'agit de calcaires microsparitiques à sparitiques.

Au microscope (Lame 3), le microfaciès est biomicrosparitique à biosparitique, packstone à grainstone. Les éléments figurés sont représentés par : *Orbitolina Neoiraquia*, *Echinodermes*, *Lamellibranches*, *bryozoaires*, *Gastéropodes* et des algues rouges de type *Rhodophycés*.

La présence de grands débris de macrofaune (Bryzoaire et gastéropode) est révélateur d'un milieu de dépôt pouvant être au niveau de la zone externe proximale c'est à dire l'arrière barrière (plate forme externe proximale). Cette zone est généralement caractérisée par une énergie modérée à forte.

Ce niveau est surmonté par 25m de calcaires sparitiques d'épaisseur décimétrique de couleur gris clair et cassure gris foncé. Ces calcaires sont affectés à leur base par des tâches noires pouvant être de MnO et au sommet par des fractures remplies de calcite de recristallisation.

Ces calcaires montrent au microscope (Lames, 4, 5, 6,7) une sparite de texture grainstone à packstone. Ce microfaciès est caractérisé par la rareté des bioclastes qui ne subsistent qu'à la base de ce niveau. Néanmoins, on rencontre des *Lamellibranches* et aussi des *Bryozoaires*. Les éléments clastiques sont arrondis et indiquant une forte énergie. On constate aussi le phénomène de dissolution affectant surtout le ciment calcitique et recristallisation au niveau des fissures. La zone de dépôt correspondant peut être à la zone externe proximale (arrière barrière).

Ce niveau est suivi par 10 m de calcaire banc crayeux riches en débris de rudistes qui passe latéralement (vers l'est du gisement) à des calcaires de couleur gris à la patine et de cassure gris clair de type sparitique. Au microscope (lame 8) les calcaires crayeux montrent une biosparite à texture rudstone riches en débris de rudistes. La lame prise dans les calcaires gris montre une continuité du faciès sous jacents.

La présence de rudistes peut indiquer que le milieu de dépôt est au niveau de la barrière à avant barrière où l'énergie est généralement variable.

Le niveau suivant est représenté par 50m de calcaires sparitiques d'épaisseur métriques affectés à la base par des tâches noires pouvant être de MnO et des microkarsts remplies d'oxydes de couleur rouge brun et d'argiles.



Au microscope (lame 9), on rencontre une biosparite à biomicrosparite à texture packstone. La matrice de ces roches renferme des *orbitolines* (*Orbitoline Néoiraquia*), *Textularia*, *Valvulamina* et des débris de *Lamellibranches* et *Bryozoaires*, *Echinodermes* et algues vertes de types *Dasygladacé*.

La présence des formes benthiques peut indiquer un milieu intertidal à subtidal à énergie faible à modérée.

Un autre niveau de calcaire crayeux surmontant le niveau précédent et qui passe latéralement à un calcaire gris sparitique affecté par des fractures remplies de calcite de recristallisation et d'oxydes de fer (couleur rouge brique et rouge brun) d'une épaisseur égale à 20m. Au microscope (lame 10), le calcaire crayeux montre une biosparite à texture rudstone caractérisée par la présence d'*Orbitolines* et des débris de *Lamellibranches*.

Les calcaires gris (lames 11), montrent au microscope une oosparite caractérisée par la présence d'un grand débris de coraux. Ce microfacies rudstone peut être indicateur d'une sédimentation récifale à péri récifale au niveau de la barrière, où l'énergie est généralement variable à forte.

Au dessus de ces formations une autre série de 20m de calcaires sparitiques biodétritiques (Ouest du gisement) passant latéralement à des calcaires sparitiques affectés par des taches noires pouvant être du Mn. L'analyse microscopique (lame 12) montre une biosparite à texture boundstone riches en débris de coraux. Ce microfacies est caractérisé par la présence de pellets et intraclastes vers l'est le microfacies devient riche en orbitolines (*Orbitolina conica*), *Textularia*, *Valvulamina* et des débris d'*Echinodermes*, *Lamellibranches*. La présence de coraux indique que le milieu de dépôt à l'Ouest peut être de type avant barrière qui passe à un milieu subtidal vers l'Est du gisement, avec une énergie généralement faible.

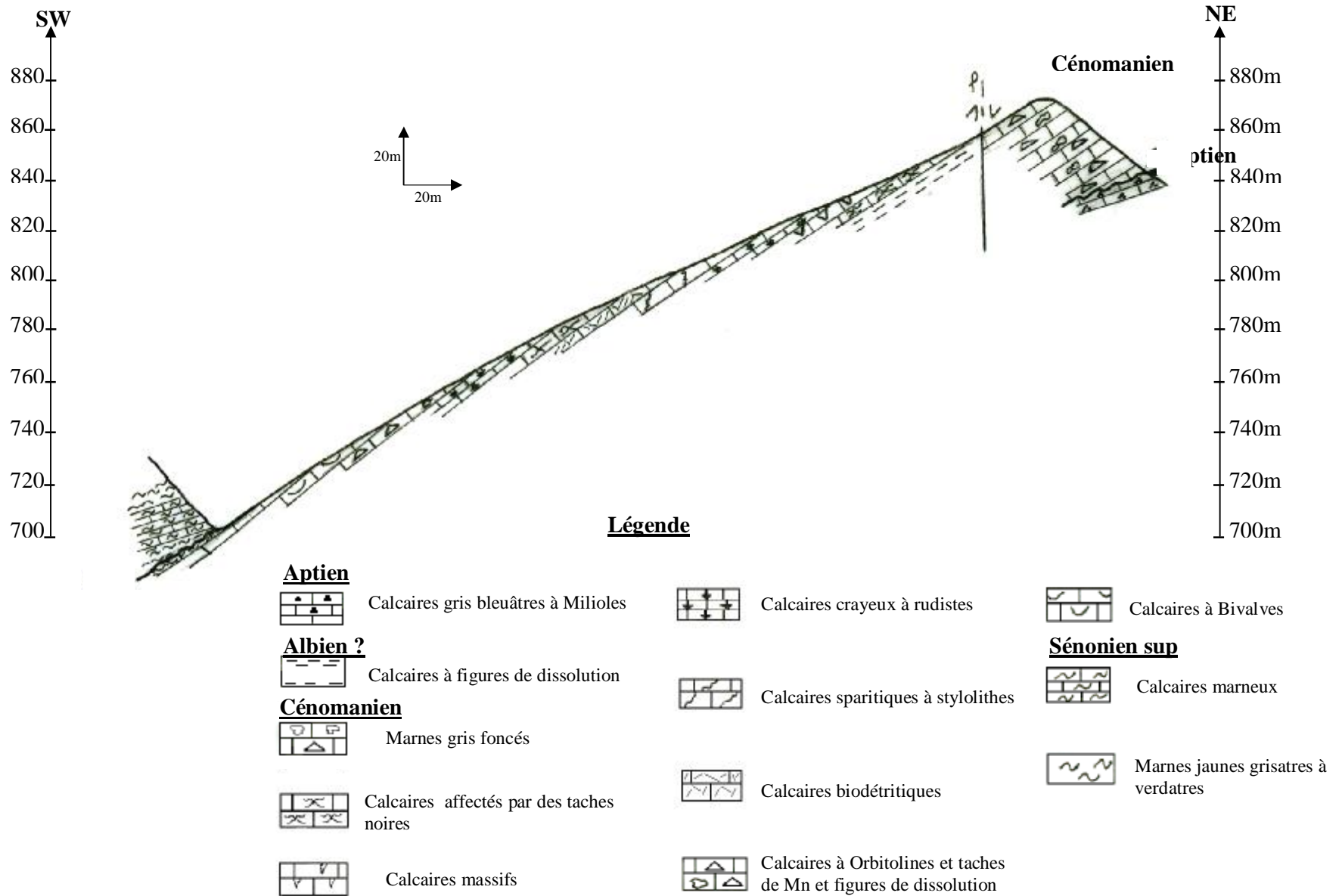
Au dessus, on a une série (50m) de calcaire massif à patine gris clair et cassure blanchâtre affecté par des figures de dissolution, des fissures remplies de calcite et d'oxyde de fer.

L'étude microscopique (lame 13, 14, 15, 16) montre une biomicrosparite à texture packstone à grainstone riches en orbitolines avec la présence de *téxtularidés*, débris d'échinodermes, gastéropodes et algues vertes de types *Dasygladacés*. La richesse en orbitolines peut indiquer qu'on est dans un milieu subtidal calme.

La série se poursuit par des calcaires blancs durs (20m) biodétritiques vers l'Ouest. Vers l'Est du gisement ces calcaires deviennent affectés par une pigmentation noire et oxydation rouge brique ainsi que des fissures remplies de calcite, MnO et d'oxydes.

Au microscope (lame 17, 18), ces calcaires montrent une biosparite à texture grainstone à packstone. La matrice renferme des *Ovalvéolines*, *Téxtularidés* et des débris d'*Echinodermes*, *lamellibranches*, *Bryozoaires*. Vers l'Est du gisement le microfacies devient biomicrosparitique riches en *lamellibranches*.





**Fig .19 : Coupe géologique de la région d'étude**

La présence de foraminifères benthiques (*Ovalveolins* et *textularides*) peut indiquer que le milieu est subtidal à supra-tidal dont l'énergie est modéré à forte.

Vers le sommet de la série, les calcaires sparitiques montrent un amincissement progressif des bancs qui deviennent décimétriques

Un niveau (20m) débutant par des calcaires de couleur gris caractérisés par la présence de fissures à remplissage ferrugineux et aussi des veines de calcite.

Au microscope (lame 19,20), les calcaires montrent une biomicrite à texture wackstone. Le microfacies contient des *Lamillibranches*, *Annélides Cuniolina*, *Mmilioles*, *Ttextularia*, *Pseudorhipionina* et *Cialveolina*. Ces formes benthiques indiquent le Cénomaniens supérieur.

On note l'influence de la compaction qui est très intense, représentée par des joints stylolitiques.

La micritisation est aussi fortement manifestée.

La microfaune benthique présente témoigne d'une sédimentation de très faible profondeur pouvant être subtidale et une énergie modérée (milieu subtidal).

Ce niveau est surmonté par des calcaires gris clair. L'examen microscopique révèle un microfacies béchique (lame21) à éléments totalement micritisés. L'existence de joints stylolitiques soulignés par des oxydes et des éléments interpénétrés sont des révélateur de phénomène de compaction. Ces calcaires sont surmontés par des calcaires de couleur gris clair biodétritique affectés par des figures de dissolution et d'oxydation. Ce niveau montre au microscope (lame22) une biosparite affecté par l'oxydation qui touche partiellement les bioclastes et intraclastes.

Le microfacies livre des débris de *Lamellibranche* *Algues vertes*, *Ostracodes* *Bryozoaires*, *Orbitolina conica*, *Echinodermes*. Le contenu faunistique peut indiquer un milieu supratidal à intratidal peu profond à haute énergie.

A la fin de ces calcaires une autre surface durcie s'observe au toit de la série cénomaniens. Elle est caractérisée par la présence de concrétions ferrugineuses et galets polygéniques de taille variant de 10cm à 20cm. Ce microfacies est micritique à texture mudstone à wackstone (lame 23,24). Il montre un encroûtement algaire avec la rareté des bioclastes. Il est caractérisé aussi par la présence de fentes de dessiccation à remplissage microsparitique en mosaïque.

La matrice renferme quelques *Milioles* et *Pseudorhopidiomina*, *Nonion*, *textularides* et des *Characée*. Ce type de sédimentation caractérise une très faible tranche d'eau et une énergie très élevée.

Par comparaison à notre description et Selon J.M.Vila (1980), le cénomaniens présente une épaisse série de 300m.

Il débute par des calcaires blancs massifs à *Rotalipora appenninica*, *Thalmaninella Brozeni*, *Favusella washitensis*, *Orbitolina gr.concava* et *orbitolina gr.conica*. Il se poursuit par une

alternances de biomicrites à *Chrysalidina gradata*, *Cuneolina pavonia*, *Valvulammina cf. pcardi*, *pseudolituonella reicheili*, *Biplanata paneropliformis*, *cialveolina fallax*, *Thaumatoporella steplani*, *pseudorhapydionina dubia*, accompagnés de très rares *Praeglobotruncana stepeni*.

Les niveaux riches en rudistes contiennent de nombreuses sections de *Caprina schiosensis*. Les couches de base du Cénomaniens sont transgressives et discordantes, ce qui supprime l'Albien et quelques mètres de l'Aptien à l'Ouest du massif.

La coupe réalisée par Y. Aris (1994) au SW du massif de L'Oum Settas (Fig. 11), dans le secteur de Bordj El Cadi montre que le Cénomaniens est essentiellement carbonaté. Il est caractérisé par des calcaires clairs à rudistes puis des calcaires à bivalves surmontés par un ensemble de calcaires à orbitolines. Cet ensemble est surmonté par 20m de calcaires bréchiques à éléments granoclassés qui se terminent par un niveau biomicritique livrant des *Miloles*, *Trochospira araimelchi*, *Biplanata paneropliformis*, *nazzazata simplex*, *Cuneolina gr. conica*, *trochospira avainnalchif* et *Rhapydionina dupia* caractéristiques du Cénomaniens supérieur (J.P. Masse dans Y. Aris, 1994). La série est couronnée par une surface durcie à éléments ferrugineux.

#### **1-4-Sénonien supérieur :**

Au niveau du secteur de Bordj El Cadi (coupe .19), l'ensemble marno-calcaire débute au dessus d'une surface durcie, caractérisée par un niveau conglomératique, ferrugineux.

Au dessus de cette surface s'observe des bancs décimétriques de calcaires marneux de couleur gris clair et cassure beige affectés par des oxydations de couleur rouge brique.

Au microscope (lame 21,22), le microfaciès est une biomicrite à microfissures remplies de calcite microsparitique. Il présente une texture wackstone et livre : *Globotruncana calcarata*, *globégérine*, *héterohélix américaine*, et des Annélides et des spicules d'éponges.

Au dessus de ce niveau on rencontre un terme épais de 20m à 25 m de marnes jaunes marqué par une oxydation jaunâtre à rouge brique .

Ces marnes ont livrées (ech 2,3) : *Hedbergella planispira*, *Hedbergella hechti mitiuk*, *Verneuilina kasachtanica*, *Hétérohélix américaine*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana linneiana textulareilla*, - *Navarella*, *lagena*, *lenticulina*, *Globégerina*, *Cyclamina cancellata*, *Globorotalia timida*, *Hétérohélix globulosa*, *Froductularia*, *Bolivina*, *Nodosaria* et de grains de *Glauconie*.

Ce paquet de marnes renferme quelque passées centimétriques de calcaire de couleur beige rosâtre qui présente des cassures remplies de calcite et d'oxydes de fer. Ces calcaires ont montré à l'échelle microscopique une biomicrite riche en microfaunes pélagiques : *Globotruncana arca*, *hétrérohélix américaine*, *Globigérina* des annélides et spicules d'éponges.

La microfaune citée en dessus caractérise le sénonien supérieur et spécialement le Campanien (BELIER J. P, 1985 & CUSMAN J. A ,1982).

De la base au sommet, on note une diminution des épaisseurs des bancs calcaires par rapport aux niveaux marneux, ce qui signifie un approfondissement progressif du milieu de dépôt.

La richesse en microfaune pélagique et la rareté de la faune benthique militent en faveur d'un environnement marin ouvert faiblement agité.

Selon J.M.Vila (1980), le Sénonien supérieur est généralement mince (30m) représenté par des biomicrites. Il repose en discordance sur les termes antérieurs parfois conglomératiques à la base.

Quant aux coupes réalisées par Y.Aris (1994), au sud du massif de l'Oum settas elles montent :

Une série marno-calcaire discordante sur le Cénomaniens par l'intermédiaire d'un niveau conglomératique ferrugineux dans le secteur de Koudiat el Kerma. Il s'agit d'une centaine de mètres de marno-calcaires qui débutent par des marnes grises jaunâtres à intercalations de calcaires beiges.

Au dessus de ces marnes s'observe un terme marneux (50m) contenant des niveaux argileux à traces d'Inocérames.

L'étude microscopique a permis de reconnaître des formes du sénonien supérieur : *Hétérohélicidae*, *Globotruncana arca* , *Rosita plicata fornicata et globotruncana stuartformis*.(détermination de G.tronchitti ,dans Y.Aris ,1994)

- **Remarque :**

Le Turonien et le Sénonien inférieur sont absents au niveau du secteur d'étude ; mais le Turonien est présent a la partie Est du Massif de l'Oum Settas .Il est caractérisé par des calcaires blancs à rudistes souvent en position de vie (Y.Aris 1994), par contre le Sénonien inférieur est localisée au niveau du flanc sud du massif vers la partie Est de celui-ci .Les formations sont représentées par une vingtaine de mètres de calcaires microbréchiques qui scellent un paleorelief de failles normales se terminant par une surface durcie (Y.Aris ,1994).

### **G-Interprétation lithostratigraphique :**

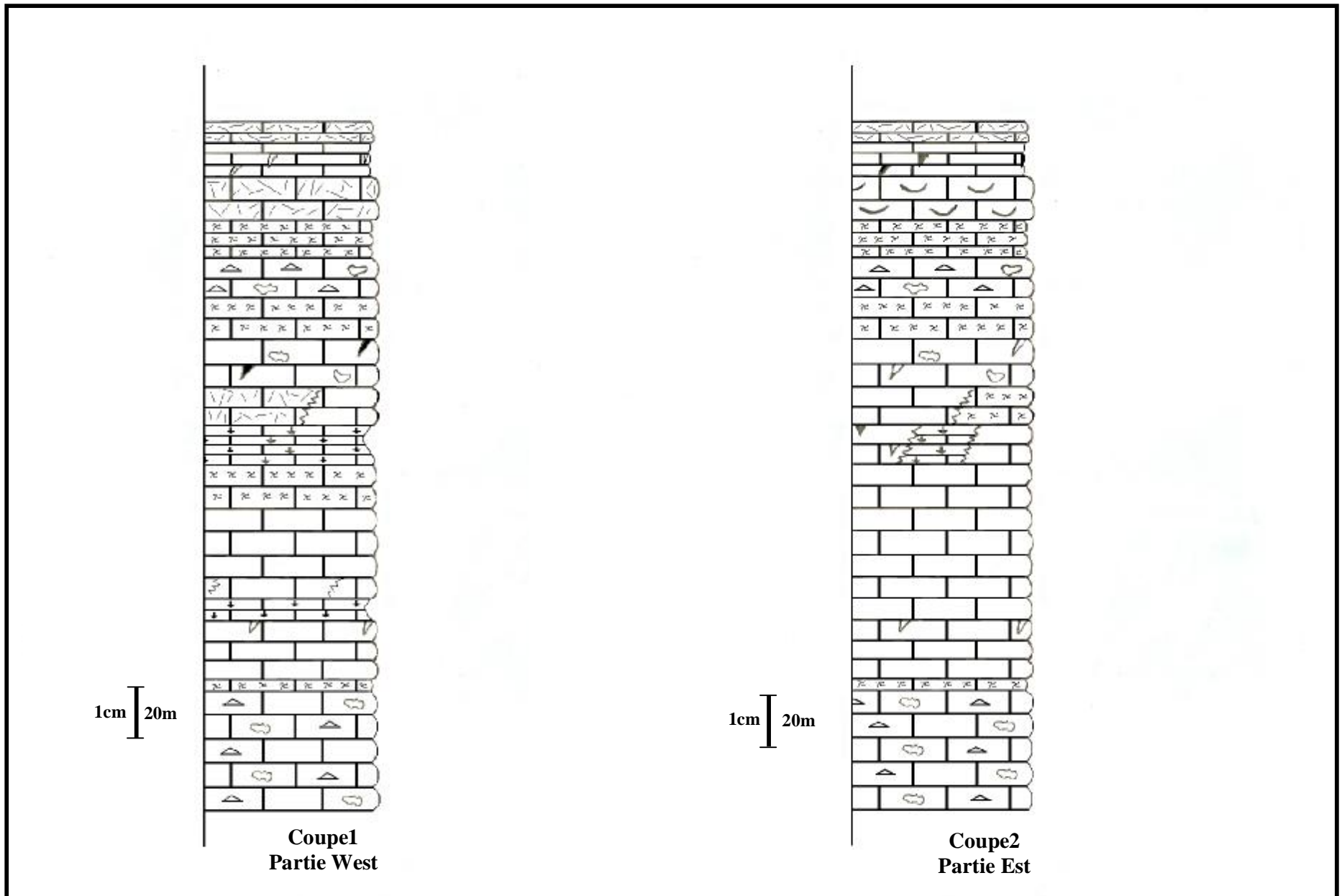
Les coupes réalisées dans la région d'étude ainsi que l'étude pétrographique ont permis de caractériser une série lithologique allant de l'Aptien au Sénonien supérieur avec certaines lacunes stratigraphique.

#### **1-L'Aptien :**

L'Aptien montre une sédimentologie de type plate forme interne, Il s'agit de calcaire riche en microfaune benthique avec la prédominance des Miliolles.

Système	Etage	Ech	Log	Description lithologique
Crétacé	Campanien			Calcaires marneux et marnes jaunâtres à verdâtres affectés par l'oxydation
	Cénomanién			Calcaires biodétritiques
				Calcaires micritiques affectés par des fractures remplies de'oxvdes et de calcite
				Calcaires biodétritiques / calcaires à bivalves
Calcaires sparitiques à Orbitolines et figures de dissolution et taches de Mn				
Calcaires sparitiques à taches noires de Mn et figures de dissolution				
Calcaires biodétritiques / calcaires à taches noires de Mn				
Calcaires craveux/ calcaires affecté de fractures/ calcaires craveux				
Calcaires sparitiques affectés de taches noires de Mn				
Calcaires affectés de stvolithes/calcaires sparitiques				
Calcaires craveux / calcaires blanc massif				
Calcaires sparitiques affectés de fractures remplies de calcite				
Calcaires microsparitiques affectés par une pigmentation noire (Mn)				
Calcaires sparitiques à figures de dissolution				
Albien?	Albien	Marnes Gris foncés affectés par l'oxydation		
Aptien		Calcaires bleuâtres à Miliolés		

Fig.20 :Log lithologique synthétique du terrain d'étude



**Fig .21 : Les deux logs lithologiques effectués au niveau du Cénomaniens du terrain d'étude**

**Légende :**



Calcaires gris bleuâtres à Miliolites



Calcaires crayeux à rudistes



Calcaires à Bivalves



Calcaires à figures de dissolution



Calcaires sparitiques à stylolithes



Calcaires marneux



Marnes gris foncés



Calcaires biodétritiques



Marnes jaunes grisâtres à verdâtres



Calcaires affectés par des taches noires



Calcaires à Orbitolines et taches de Mn et figures de dissolution



Calcaires massifs

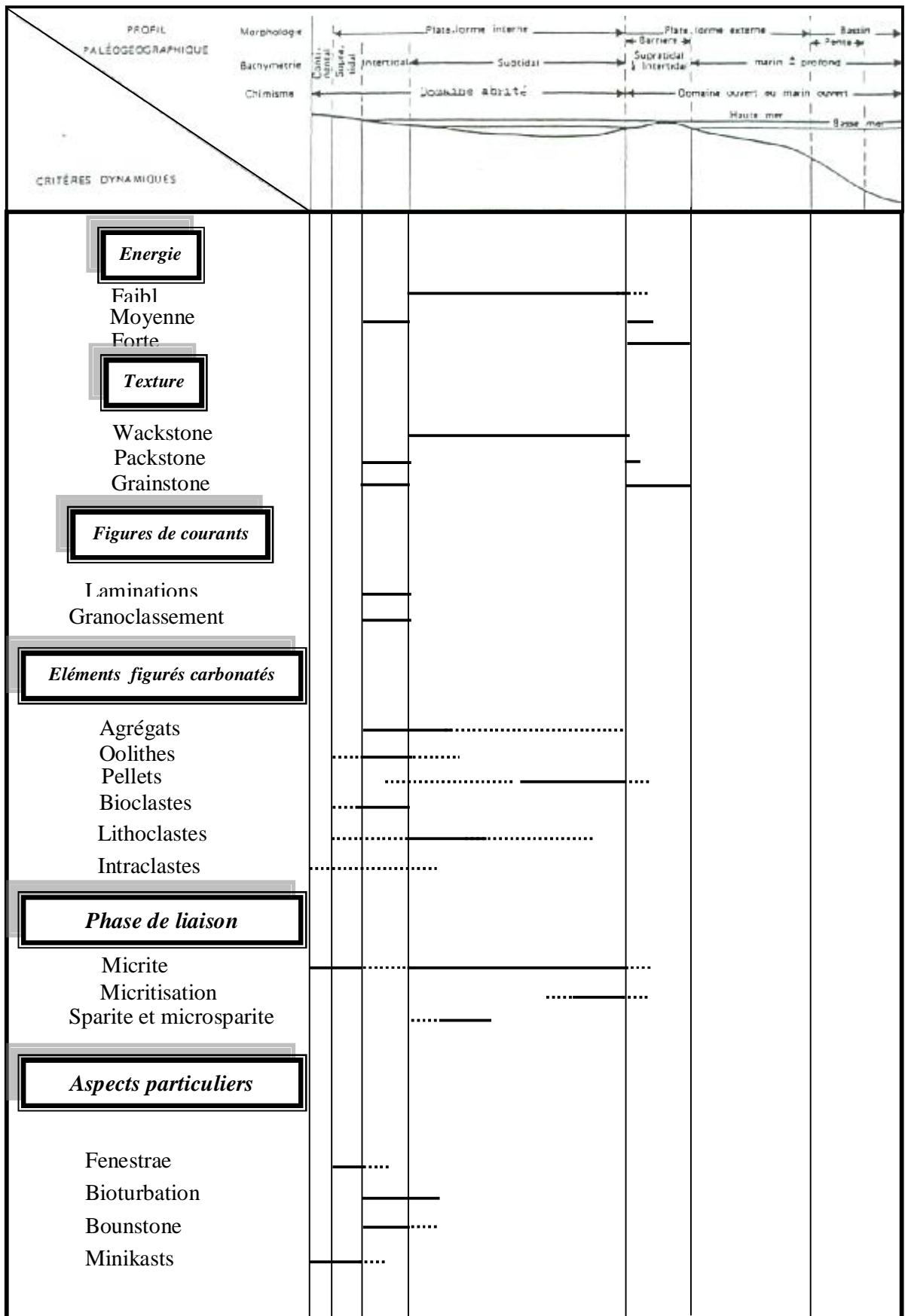


Fig.22a : Caractéristiques sédimentologique du gisement d'El Khroub



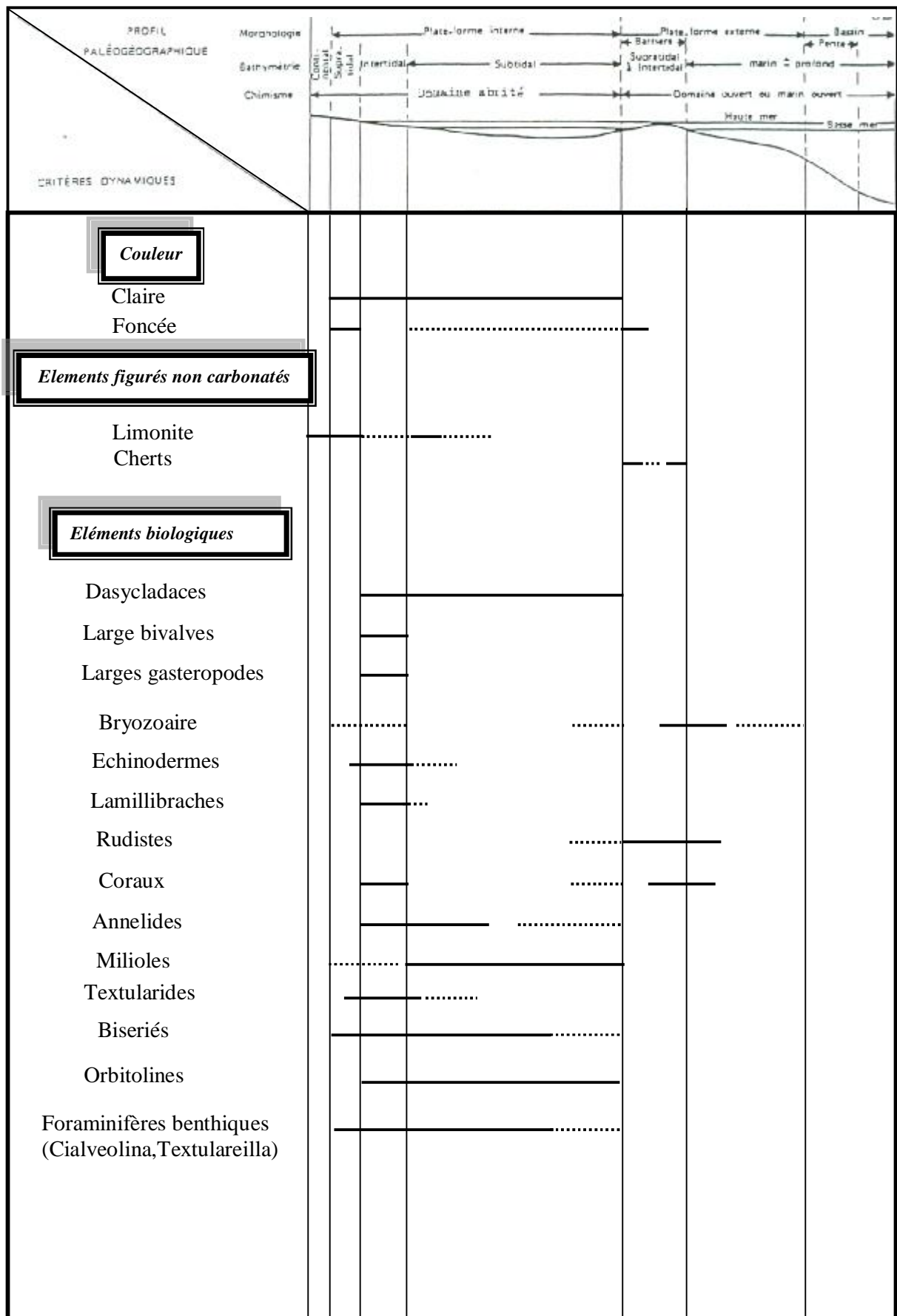


Fig.22a : Caractéristiques sédimentologique du gisement d'El Khroub

## **2-L'Albien :**

Suite à l'étude pétrographique et la datation des marnes recueillies sur terrain, l'Albien est mis en évidence; mais cela reste probable. L'Albien est caractérisées par des marnes sombres à grains de glauconie et une microfaune essentiellement pélagique. L'épaisseur de cette formation est très réduite. Les marnes datées Albien montrent une sédimentation de bassin.

## **3-Le Cénomaniens : (Fig.22a et 22b)**

Au Sud West du massif de l'Oum Settas, le cénomaniens est caractérisé par une sédimentation à influence néritique. Il présente des variations d'épaisseurs et de faciès.

L'étude pétrographique a permis de distinguer trois types de faciès carbonatés allant du faciès de L'arrière barrière au faciès de plate forme interne (voir le modèle sédimentologique).

## **4-Le Turonien :**

En ce qui concerne le Turonien il est absent au Sud West du massif de l'Oum Settas. Par contre, il est présent à la partie Est de ce massif. Le Turonien correspond à une sédimentation de plate forme essentiellement récifale.

## **5-Le Sénonien inférieur :**

Le Sénonien inférieur est représenté par une vingtaine de mètres de calcaires microbréchiques qui scellent un paléorelief de failles normales se terminant par une surface durcie ( Y.Aris,1994) .Il apparait seulement au Sud Est du Djebel'Oum Settas.

## **6-Le Sénonien Supérieur :**

Le Sénonien supérieur se caractérisé par un ensemble marno-calcaire qui repose en discordance sur des formations variées (Aptien, Cénomaniens...).

Selon Y.Aris (1994) ,la série marno-calcaire du Sénonien supérieur au niveau du secteur de Bordj El Cadi débute au Maastrichtien . Cependant il faut noter que la campanien est mis en évidence dans le secteur d'étude caractérisé par des faciès a grains de glauconie et microfaune pélagique.

La sédimentation du Sénonien supérieur s'est effectuée dans un environnement marin ouvert.

## **H-Essai de modélisation sédimentologique :(Fig.23)**

L'étude pétrographique des microfaciès du cénomaniens a permis de déterminer 3 types de faciès de barrière, qui sont :

- Un faciès de la zone externe proximal ;

- Un faciès du complexe de barrière ;
- Un faciès de la zone interne.

### **1-La zone externe proximal :(Zone 1)**

Elle est représentée par des faciès proximaux de milieu marin franc. Les dépôts proximaux sont caractérisés par des sédiments à textures packstone. Les associations de faunes sont dominées par des communautés autochtones de larges foraminifères benthiques, de *Bryozoaires*, d'*Echinodermes* et une flore riche en algues rouges.

Les éléments intraclastiques et bioclastiques sont grossiers, ils sont présents à proximité de la barrière et traduisent son démantèlement. La plus part des grains sont bien arrondis et les bioclastes sont encroûtés par un film micritique.

### **2-Le complexe de barrière :(Zone 2)**

Caractérisé par un microfacies rudstone .La forte variabilité de l'énergie produit des zones constituées d'oolithes. Le complexe de barrière est recoupé par des chenaux tidaux simples ou limités par des structures tectoniques (failles, décrochements).Les bancs sont généralement massifs et les sédiments contiennent des rudistes, *Coraux* ,*Bryozoaires*, et quelques *Orbitolines* .L'énergie de l'eau diminue rapidement derrière la barrière constituant la zone interne.

### **3-La zone interne :(Zone3)**

Elle est marquée par des associations d'*Orbitolines* (Rat. P,1960 ) , miliolles et d'algues vertes. Elles sont associées à des dépôts d'énergie faible à modérée dans des milieux de plus en plus confinés à faible taux de sédimentation.

Les microfaciès caractérisant cette zone sont micritisés et riches en pelletoides. Ce type de dépôt caractérise un milieu subtidal peu profond évoluant vers un milieu intertidal avec une salinité croissante et une turbulence faible.

On note aussi l'absence des microfacies de bassin profond.

Après cet essai d'analyse sédimentologique, on peut constater que la tectonique à eu un grand rôle dans la structuration de la région d'étude en trois zones, marquées par l'installation de faciès de barrière sur les points hauts.

Cette disposition est peut être la résultante de blocs basculés limités par des failles qui sont originelles du socle.

## **II- Notion de diagenèse et les différents phénomènes diagenétiques :**

### **Introduction :**

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de la diagenèse, elle à ainsi fait l'objet d'une multitude d'interprétations au cours du temps.

Vers la pleine mer

Vers le Continent

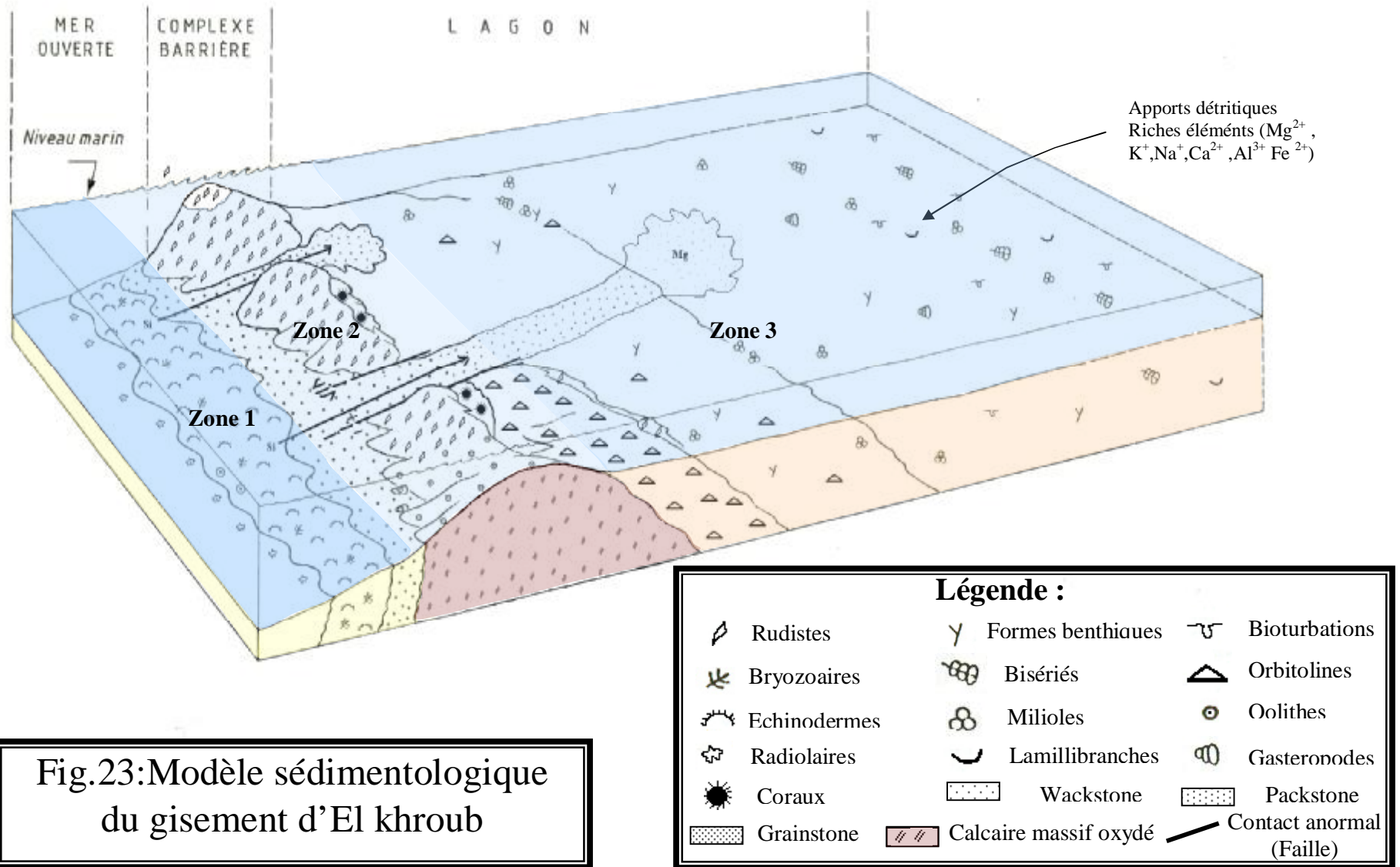


Fig.23:Modèle sédimentologique du gisement d'El khroub

La diagenèse concerne l'ensemble des processus physiques et chimiques, physico-chimiques et biologiques qui transforment un sédiment fraîchement déposé (meuble) en une roche sédimentaire consolidée. Il s'agit de toutes les modifications syn et post-dépositionnelles affectant un certain volume de roche qui va alors correspondre à un environnement diagénétiques (Ginburg ,1957).

Cet environnement nécessite certaines conditions de températures, de pression, de profondeur d'enfouissement et la présence de matériaux ou matière première (Choquette et Pray ,1972).

### **A-Les phénomènes diagénétiques :**

Les phénomènes diagénétiques se font selon plusieurs mécanismes, on a :

#### **1-La compaction :**

C'est la conséquence directe de l'enfouissement du sédiment par subsidence progressive au cours du temps et par la charge des sédiments ultérieurs.

Le dépôt successif des sédiments entraîne une surcharge progressive faiblement compensée par une augmentation de la pression d'eau interstitielle.

Ce mécanisme se manifeste d'abord par une compaction mécanique qui correspond à une perte de porosité associée à l'expulsion de fluides aboutissant à un réaménagement texturale du sédiment (Fax et Davis, 1912 ; Athy , 1930).

En effet les grains qui sont en premier lieu à contacts ponctuels ou flottants se retassent pour approcher l'arrangement le plus stable sans modification importante de leurs formes, la texture devenant alors compacte à contacts ponctuels à droit.

Les contraintes devenant de plus en plus élevée, les hautes pressions créent de fortes tensions entre les contacts de calcite aboutissant au phénomène de pression- dissolution. Cette compaction chimique entraîne donc une dissolution au niveau des contacts calcite-calcite accompagné d'une dolomitisation. Cette compaction aussi mécanique que chimique, s'accompagne d'une diminution de la porosité primaire contribuant ainsi à la réduction du volume de la roche. La compaction peut également entraîner le développement de la fracturation et de la stylolisation ( Maxwell ,1964).

#### **2-La cimentation:**

Elle correspond à une précipitation cristalline dans les espaces poreux tels que les ciments carbonatés (ciments aragonitiques, dolomitiques et calcitiques), ou un accroissement syntaxial autour des grains.

La précipitation des ciments est la conséquence de la saturation des fluides de certains éléments en excès ; ce processus chimique est lié aux variations de température, de la pression et du PH.

Cette précipitation peut également être due aux phénomènes de décantation d'éléments en suspension dans les eaux, suite à une chute relative du niveau d'énergie tel que argileux ( Black .M,1973).

### **3-La dissolution :**

Certaines conditions de températures, de PH et de composition chimique des eaux entraînent une rupture de l'équilibre entre les solides présents et les solutions interstitielles ; ainsi l'introduction d'eau météorique acide et agressive affecte les particules carbonates et les premiers ciments. Elle provoque leur dissolution en favorisant la création de porosité secondaire( Louk ,1977).

**La pression dissolution** est un processus de dissolution suite à une augmentation de la pression aux points de contact entre les grains .C'est un processus qui est responsable du développement de structures comme les stylolithes (dans les calcaires purs) et les « joints de pression-dissolution » dans les calcaires riches en insolubles (par concentration d'insolubles le long de la surface de dissolution préférentielle) ( Mayes ,1987).

### **4-La recristallisation :**

Elle implique un changement de cristallinité de la phase préexistante, sans modification chimique .Exemple nous avons une augmentation de la taille moyenne des cristaux par coalescence dans la masse déjà cristallisée « inversion » de l'aragonite en calcite. L'aragonite étant plus dense que la calcite, du  $\text{CaCO}_3$  est disponible pour des processus de cimentation ( Evamy.B.D,1973).

### **5-Le remplacement :**

Ce processus conduit à un changement de minéralogie et de cristallinité des minéraux préexistant.

Ces modifications sont entre autre liées à l'introduction des fluides interstitiels qui interagissent avec les solides présents tendant ainsi vers l'équilibre chimique de la roche, ces remplacements peuvent se produire à tous les stades d'évolution du sédiment (Purser.B.H ,1980).

## **B-Les phases diagenétiques**

On distingue généralement trois étapes de diagenèse (Choquette et Pray ,1972) (Fig.25) :

### **1-Diagenèse précoce :Eogénèse**

Elle se manifeste aussitôt après le dépôt du sédiment par l'état encore meuble Elle est caractérisée d'une part par une importante quantité d'eau interstitielle expulsée très lentement et d'autre part par de grandes variations de PH et de EH . Ce type de diagenèse n'affecte que quelques

dizaines de mètres de sédiments. C'est durant cette phase que les sédiments se transforment en roches cohérentes et résistantes. D'une façon générale, elle correspond à l'intervalle entre le dépôt final et le début de l'enfouissement effectif.

La zone éodiagénétique correspond à l'intervalle de profondeur où la chimie des eaux est exclusivement contrôlée par l'environnement de surface.

### **2-Diagenèse moyenne (Mesodiagenèse) :**

Cette phase correspond à la phase de compaction et la maturation qui est caractérisée par l'expulsion et la migration per ascensum le plus souvent des eaux. Elle est caractérisée par des conditions réductrices.

Elle correspond à la période post-dépositionnelle comprise entre le début de l'enfouissement et le début de processus diagénétiques liés à une érosion. La zone mésodiagénétique correspond à l'intervalle de profondeur où agissent les processus diagénétiques liés à l'enfouissement.

### **3-Diagenèse d'émersion (Telodiagenese) :**

La troisième phase finale d'émersion (telodiagenèse ou épidiagenèse selon les auteurs) est caractérisée par la modification des eaux interstitielles à la suite de la pénétration et de la migration per descensum des eaux météoriques et par la réintroduction des conditions oxydantes. Les phénomènes de dissolution et de formation des « HARDS GROUNDS » apparaissent durant cette phase. Elle s'applique à la période durant laquelle les roches ayant préalablement subies un enfouissement effectif et sont influencées par des processus diagénétiques dus à l'émersion subaquatique ou subaérienne.

La zone télodiagénétique définit l'intervalle de profondeur correspondant. Il y a lieu de noter que ces trois phases coïncident parfaitement avec l'histoire tectonique et l'enfouissement.

### **C-La diagenèse des roches carbonatée et le phénomène de lithification :**

La diagenèse des sédiments carbonatés commence très précocement. Elle comprend deux aspects principaux: (1) la cimentation, (2) la transformation isochimique des éléments ou néomorphisme. Des changements de composition chimique conduisent à la silicification ou à la dolomitisation de la roche. Enfin l'enfouissement produit des dissolutions locales qui constituent des stylolithes. La cimentation diffère selon la zone littorale considérée. Elle a été bien étudiée dans les milieux actuels (Purser.B.H,1980 ; Maxwell.W.G.H,1962).

## 1- la zone supratidale et le domaine continental :

Dans ces zones les pores du sédiment sont remplis alternativement d'eau douce ou d'air dans la zone vadose ou constamment remplis d'eau douce dans la zone phréatique plus profonde.

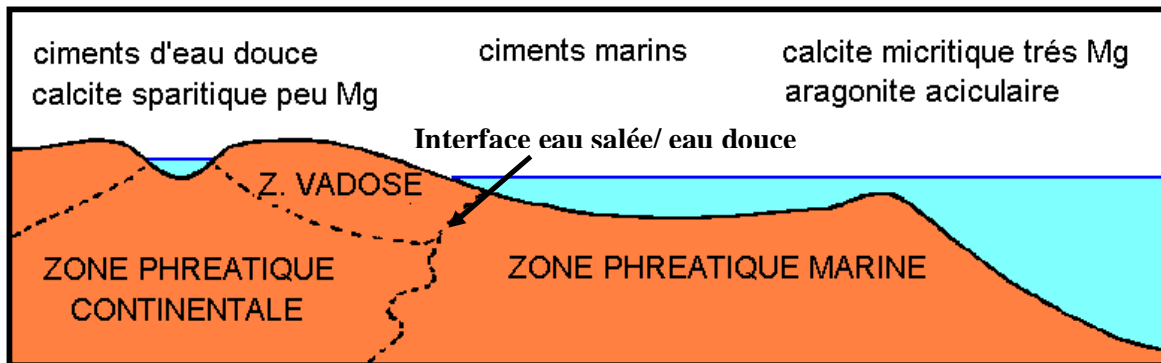


Fig .24: Diagenèse des sédiments carbonatés dans les principaux milieux littoraux ( Purser,1980)

**1-1- En zone vadose :** le carbonate précipite dans les vides d'abord sous forme de ciment gravitaire (ou stalactitique) à la face inférieure des grains et de ciment en ménisque entre les grains. La précipitation se poursuit sous forme de calcite peu magnésienne en grands cristaux irréguliers (sparite drusique) qui peuvent se développer de façon syntaxiale (en continuité avec le réseau cristallin de l'élément entouré par le ciment); ce phénomène affecte surtout les débris d'échinodermes. L'aragonite des débris d'organismes est dissoute; le magnésium des grains en calcite magnésienne est lessivé.

**1-2-En zone phréatique :** le ciment est d'abord isopaque, en frange autour des grains; la sparite remplit ensuite les vides.

### **1-3- Dans la zone intertidale :**

Des sables de plage sont cimentés par des cristaux aciculaires d'aragonite et de calcite magnésienne; le ciment est isopaque dans la zone phréatique marine; il est en ménisque dans la zone vadose.

### **1-4- Dans la zone subtidale :**

Des cristaux aciculaires d'aragonite et des petits cristaux de calcite magnésienne remplissent les cavités des fragments calcaires d'organismes. Les grains sont rassemblés en agrégats, le fond peut être induré en surface ("hard-ground" ou surface durcie). En milieu plus profond, la calcite magnésienne microcristalline domine.



Les phénomènes de cimentation continuent pendant l'enfouissement; la calcite sparitique précipite dans les pores. Les cristaux changent de forme et de structure par recristallisation (néomorphisme): remplacement aragonite/calcite, calcite fibreuse/calcite micritique, recristallisation des grains squelettiques...La transformation de calcite en dolomite peut apparaître précocement, peu après le dépôt, ou dans les derniers stades de la diagenèse. La silicification est un phénomène plus restreint; la silice, sous forme de calcédoine ou de quartz, remplace les éléments squelettiques, se concentre en nodules ou couche ou cimente les grains; elle provient surtout de la dissolution des spicules d'éponges et des tests de radiolaires (Purser.B.H,1980). Elle peut provenir aussi des milieux marins ouverts riches en SiO<sub>2</sub> dissout et provenant des planchers océaniques.

#### **D- Description et interprétation des phénomènes diagénétiques (Cas gisement d'El Khroub)**

L'étude des lames minces effectuées sur les échantillons recueillies du terrain d'étude a permis d'observer les phénomènes diagénétiques suivant :

##### **1-La compaction mécanique :**

La première conséquence de l'enfouissement est la compaction mécanique des sédiments. Cette compaction est variable selon la nature des roches.

Les formations cénomaniennes objectif principal de la présente étude, sont composées essentiellement de calcaires. L'effet de la compaction sur ces formations se présente sous deux aspects :

- Des stylolithes sédimentaires, ils sont issus du tassement des sédiments (Planche VI, Photo 4).
- Des stylolithes tectoniques qui résultent des phénomènes tectoniques (Planche V, photo 6).

La compaction mécanique a provoquée aussi la fragmentation des éléments figurés (bioclastes et intraclastes).

##### **2-Les cimentations**

Les principaux ciments existants au sein des calcaires exploités sont

- Le ciment calcitique.
- Le ciment aragonitique moins abondant.
- Le ciment ferrugineux moins abondant.

##### **2-1-Le ciment calcitique :**

Le ciment calcitique observé sur les lames minces se présente sous quatre types :

### **2-1-1-Le ciment calcitique drusique :**

En général, le ciment drusique se développe dans les vides sous forme de calcite sparitique ou microsparitique (Planche V, Photo 3).

Ce ciment est observé essentiellement au niveau des microfaciès inférieurs (cénomaniens inférieurs). Il est présent aussi au niveau des microfaciès moyens.

### **2-1-2-Le ciment calcitique syntaxique :**

Il affecte surtout les débris d'échinodermes. Il se développe en continuité avec le réseau cristallin de l'élément qui l'entoure.

Ce ciment est présent au niveau des microfaciès sommitaux de la série Cénomaniens (Planche V, Photo 2).

### **2-1-3-Le ciment micritique :**

S'observe en général autour des éléments figurés et se concentre dans les vides. Il est souvent sombre.

Ce ciment micritique est présent dans les microfaciès sommitaux (Planche IV, Photo 1).

### **2-1-4-Le ciment de fractures :**

Ce ciment précipite surtout dans les fissures et les fractures. Le remplissage est essentiellement calcitique. La taille des grains de calcite est généralement grande.

Ce ciment affecte pratiquement la majorité des microfaciès (Planche VII, Photo 1).

### **2-2-Le ciment aragonitique :**

Le ciment aragonitique se présente généralement en fibres, par contre il est moins abondant. Il se développe dans les coquilles de bivalves essentiellement les lamellibranches (Planche VI, Photo 6). Ce ciment est fréquent dans les microfaciès médians (cénomaniens moyens)

Une autre forme du ciment aragonitique est observée au niveau des derniers microfaciès, sous forme de ciment aragonitique microstalactitique caractérisant un ciment d'émergence (Planche VII, Photo, 2).

### **2-3-Le ciment ferrugineux :**

Ce ciment est relativement peu abondant. Il touche le plus souvent les éléments bioclastiques (Planche V, Photo 5).

Selon les analyses chimiques, il s'agit essentiellement de l'hématite ( $Fe_2O_3$ ), sa couleur est généralement rouge .Il se concentre aussi dans les fractures et soulignes les stylolithes (tectoniques et sédimentaires).

Cette ferrugénisation est plus accentuée au sommet de la série cénomanienne proche de la surface durcie.

### **3- Les autres transformations diagénétiques :**

Parmi les ces transformations, on peut citer les transformations de certains éléments figurés et aussi certains ciments ainsi que les phénomènes de dissolution.

#### **3-1-La micritisation :**

Ce phénomène touche essentiellement les éléments figurés. Il est le plus souvent partiel et parfois total transformant les éléments carbonatés en pellets ou pelletoides.

Cette micritisation implique la mise en place d'un ciment micritique sur les parois d'un test ou il y a disparition de la structure initiale du test (Planche VII, Photo3).

Plusieurs processus sont à l'origine de cette micritisation, on peut citer :

- Le contrôle de film organique (Loreau , 1970).
- La dissolution sélective des coquilles.
- La décomposition de la matière organique des particules.

Ce phénomène (surtout la micritisation partielle) est presque observé dans les microfaciès inférieurs et supérieurs.

#### **3-2-La dissolution**

La dissolution est moins réponde au niveau des formations cénomaniennes. Elle affecte surtout les bioclastes et le ciment calcitique des microfaciès inférieurs du CénoManien (Planche IV, Photo 6).

Elle génère des pores intergranulaires .Le fait que la dissolution soit moins marquée dans les microfaciès observés est peut être du à la cimentation tardive par le ciment calcitique.

#### **3-3-La recristallisation :**

Elle touche spécialement l'aragonite qui se transforme en calcite (phénomène d'inversion), ce phénomène est moins abondant.

Ce phénomène affecte aussi des éléments figurés (oolithes) en masquant les éléments texturales de ces derniers. Dans ce cas la recristallisation est faite par la calcite drusique. (PlancheV,Photo4).

### **3-5-La silicification :**

La silice secondaire se présente sous forme de cherts (Planche VI, Photo1). Cette silicification est très peu abondante.

La silice peut provenir de sources telles que :

- Les eaux connées chargées en éléments expulsés des argiles colmatant les minikarsts.
- La dissolution des spicules d'éponges.
- Le milieu marin ouvert (riche en silice dissoute)

### **3-6-La Dolomitisation :**

Ce ciment est très peu développé. Il se localise seulement dans quelques vides au niveau des microfacies moyens de la série cénomaniennne (Planche VI, Photo5).

## **4-Chronologie des phénomènes diagénétiques :**

La nomenclature de Choquette et Pray (1972) a été choisie pour regrouper les produits diagénétiques et les phases définies (Fig.25).

Les transformations diagénétiques observées peuvent être regroupées en 3 étapes :

### **4-1-Eogenèse :phases synsédimentaires et/ou immédiatement post sédimentaires :**

Trois phases eogénétiques ont été définies :

#### **4-1-1-La micritisation :**

La micritisation des clastes est extrêmement répandue dans les sédiments du Céno-manien au flanc Sud-West du massif de l'Oum settas. Ce phénomène qui aboutit à la dégradation de la structure des clastes peut être lié à l'importance de l'activité bactérienne des niveaux étudiés (Planche III, Photo4).

#### **4-1-2-Les ciments :**

Dans les calcaires céno-manien, les ciments existants sont : le ciment calcitique sous trois formes : drusique, syntaxique et fibreux, et à moindre degré le ciment aragonitique.

#### **4-1-3-Le néoformisme de l'aragonite :**

L'aragonite des tests est métastable dans l'eau de mer et se dissout rapidement après mort des organismes (Palmer et al, 1988 ; Durlet, 1996).

Dans les sédiments Cénomaniens l'aragonite n'a pas subi une dissolution mais un remplacement par la calcite (PlancheVI, Photo6).

Des fantômes de structures internes des tests d'organismes en aragonite initiale sont observés notamment les lamellibranches. Il y a remplacement néoformique de L'aragonite par la calcite (Folk, 1965 ; Bathurst, 1975).

#### **4-2-Mésodiagénèse :**

##### **4-2-1-La compaction mécanique :**

Il s'agit des effets de la compaction liés aux premiers recouvrements sédimentaires. Trois types de figures de compaction sont observés : les microstylolithes (PlancheVI,Photo5), les impressions des grains ,et les microfissures (PlancheIV,Photo1).

##### **4-2-2-Compaction chimique :**

Ce phénomène est associé à l'enfouissement maximum .Les figures de pression dissolution (stylolithes, joints de dissolution) sont caractéristiques de ce stade.

Elles sont associées à des phases de dolomitisation et silicification. La dolomite est plus développée à proximité des niveaux argileux (expulsion de fluides interfoliaires des argiles riches en Mg, Fe et Mn) ,et la silicification concerne les niveau riches en spicules d'éponges et d'oursins.

#### **4-3-Telodiagénèse :**

##### **4-3-1-Fracturation :**

Des fractures recouperont l'ensemble des phases précédentes et leurs sont donc postérieures.

##### **4-3-2-Cimentation des fractures :**

Elle correspond au remplissage des fractures, la calcite non ferrugineuse est le colmatant dans la majorité des cas (Planche VI, Photo2).

Un autre ciment secondaire existe, il s'agit du ciment ferrugineux qui se trouve au centre du ciment calcitique, donc il lui est postérieur .Ce ciment est plus intense au sommet de la série Cénomaniennne près de la surface durcie.

Il existe un autre ciment ferrugineux entourant les éléments clastiques qui est peut être lié à l'infiltration des eaux météoriques (Planche VII, Photo4).

### **5-Relation entre évolution diagénétiques et histoire géologique des formations carbonatées :**

La chronologie relative, des phases diagénétiques proposées à partir des observations pétrographiques, peut être affinée ou complétée par une étude des éléments précipités à partir des fluides marins initiaux.

Le début de la compaction mécanique (phase mésodiagénétique) a eu lieu probablement entre le Cénomaniens supérieur et le Turonien.

La fracturation qui recoupe les ciments précédents est postérieure à la compaction maximum. Le remplissage est aussi postérieur à cette compaction.

La discontinuité Sénonienne qui correspond à une phase de déformation active dans le constantinois pourrait être à l'origine de cette fracturation. De plus cette discontinuité est associée à une érosion importante qui touche le Cénomaniens supérieur et le Turonien.

La cimentation des fractures et les figures de compaction pourraient être datée du crétacé moyen. Les figures de compaction chimique peuvent être formées au crétacé Moyen et Crétacé supérieur.

Enfin la dissolution de la calcite qui nécessite la circulation d'eaux météoriques agressives est initiée lors de la surrection du domaine néritique probablement à la fin du Crétacé supérieur.

### **III- Relation sédimentologie diagenèse et qualité du produit exploité :**

L'étude sédimentologique et diagénétique réalisée au niveau du gisement d'El Khroub a permis de dégager une relation entre l'héritage sédimentologique et diagénétique et la qualité du produit exploité (carbonate de calcium et agrégats).

La relation sédimentologie-qualité du produit réside dans le milieu de sédimentation de ces carbonates, où on constate une bonne qualité des calcaires déposés au niveau de la barrière surtout les calcaires à rudistes et à coraux. Le produit de moindre qualité est observé pour les calcaires sédimentés au niveau de la plate forme interne et en avant barrière.

Les phénomènes diagénétiques affectant les calcaires du gisement d'El Khroub tels que l'Oxydation, Micritisation, recristallisation, type de ciment (ciment drusique, micritique ...) permettent aussi une valorisation du produit exploité.

Il faut noter aussi que la nature texturale joue aussi un rôle dans la valorisation du produit exploité, où on constate que le calcaire sparitique, grainstone est plus favorable à l'exploitation de la poudre de carbonate de calcium que le calcaire micritique (détériore la blancheur du sédiment carbonaté).

<b>Phases diagenétiques</b>	<b>Chronologie des phénomènes diagenétiques</b>
<b>Eogénese</b> <b>Diagenèse de faible profondeur</b> <b>Diagenèse précoce</b>	Micritisation Ciments synsédimentaires Remplacement néophormique ( Aragonite –calcite)
<b>Mésodiagenese</b> <b>Diagenèse d'enfouissement</b>	Compaction mécanique  Compaction chimique  Dissolution Recristallisation Dolomitisation Silicification
<b>Télodiagénese</b> <b>Diagenèse d'émersion</b> <b>Diagenese tardive</b>	Fracturation Circulation des eaux acides et agressives  Dissolution de la calcite Ciment de remplissage de fracture 1 (calcite )  Oxydation  Ciment de remplissage de fractures 2 (ferrugineux)

**Fig.25 : Chronologie des phénomènes diagenétiques affectant le gisement d'El Khroub**

## **I-Généralités sur les carbonates de calcium**

### **Introduction :**

Les spécificités requises en matières de qualité et de régularité des produits fabriqués, conduisent à rechercher une connaissance de plus en plus poussée du gisement.

Cette connaissance passe à la fois par la connaissance appropriées et par le traitement adéquat des résultats obtenus pour en tirer le maximum d'informations.

Les études géologiques fondées sur les résultats des roches extraites par sondages, sont indispensables pour optimiser le contrôle de la qualité.

### **A-Les carbonates de calcium :**

Les carbonates de calcium sont des minéraux caractérisés par l'ion  $\text{CO}_3^{2-}$ . Ces carbonates sont nombreux mais seuls certains d'entre eux sont importants.

**1-La calcite** :  $\text{CaCO}_3$  qui cristallise dans le système rhomboédrique sous forme de cristaux xénomorphes ou automorphes. Elle est incolore et transparente lorsqu'elle est très pure. Elle est plus souvent blanche à éclat vitreux ou diversement colorée par des impuretés. Elle fait effervescence avec l'acide chlorhydrique HCL dilué à froid et produit un dégagement gazeux  $\text{CO}_2$  en présence de cet acide. C'est un minéral ubiquiste caractérisant les calcaires et toutes les roches métamorphiques en dérivant.

**1-1-Calcaire** : mot d'origine latin « calcarius » qui signifie chaux. C'est une roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de calcite. Selon la proportion de la calcite et la dolomite on peut distinguer :

**1-1-1-Calcaire pur** : 95% à 100% de calcite (5% maximum de dolomite).

**1-1-2-Calcaire magnésien** : calcite avec 5 à 10% de dolomite ou avec 5 à 10% de  $\text{Mg}^{2+}$  non exprimé sous forme de dolomite.

**1-1-3-Calcaire dolomitique** : calcaire avec 10 à 50% de dolomite.

**2-L'aragonite** :  $\text{CaCO}_3$  du système orthorhombique, en petits prismes ou plus souvent en aiguilles, métastable à  $T^\circ$  ordinaire et se transforme en général en calcite. On la trouve dans le même gisement que la calcite mais en cristaux isolés ou en petits amas.

**3-La dolomite** :  $(\text{Ca-Mg})\text{CO}_3$  du système orthorhombique, en prismes souvent nets, à clivage parfait. Elle est d'un éclat vitreux, de couleur variable, souvent blanchâtre ou jaunâtre. Elle n'est pas effervescente.

Les roches carbonatées représentent 20% des roches sédimentaires. Elles couvrent de vastes surfaces de continents et ont une grande importance pratique.



## **B-Formation des roches carbonatées :**

Toutes les roches calcaires résultent de la fixation et de la précipitation du carbonate de chaux contenu en faible quantité dans les eaux océaniques et lacustres (in Mamillan ,1994).

Les roches sédimentaires sont constituées de dépôts organiques : matière d'origine biologique, débris d'animaux (os, dents écailles), végétaux et de cristaux. Ces éléments plus ou moins cimentés entre eux, constituent une micro structure comportant un volume de vides plus ou moins important, favorisant l'accès et la rétention de l'eau.

La diversité des fragments de roches, de concrétions de nodules , de fossiles qui forment les roches ,explique leurs diverses compositions chimiques même si le minéral de base est le carbonate de calcium .Au cours de leur formation, ces roches ont été l'objet de nombreux phénomènes physico-chimiques qui ont provoqué des transformations de cette matière. Les roches carbonatées par exemple , qui sont légèrement solubles dans l'eau chargée de CO<sub>2</sub> peuvent se transformer en bicarbonate de calcium très soluble.



Quant aux oxydations, elles transforment les carbonates de fer et de manganèse en oxydes ou en hydrates .Ces transformations chimiques s'accompagnent généralement d'un changement de couleur correspondant au changements d'état du fer.

La coloration des roches en jaune est causée généralement par la limonite (hématite FeOOH, nH<sub>2</sub>O), en rouge par la turgite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1/2 H<sub>2</sub>O), brune ou verte , elle est due aux oxydes de fer (in Mamillan,1994).

## **C-Spécification des calcaires (caractéristiques, propriétés, qualité):**

### **1-Composition chimique :**

La composition chimique d'un carbonate de calcium dans la nature est rarement pure. Très souvent, des éléments chimiques tels que le fer, aluminium, silicium se trouvent associés dans la roche carbonatée lors de son dépôt (sédimentation).

Les principales dénominations des composés calcaireux sont données dans le tableau 3 :

Composés chimiques	Principaux composants	Formule chimique	Poids moléculaire (g)
Calcaire pur	Carbonate de calcium	CaCO <sub>3</sub>	100
Chaux vive	Oxyde de calcium	CaO	56
Chaux éteinte	Hydroxyde de calcium	Ca (OH) <sub>2</sub>	74

Chaux hydraulique Naturelle	Silicate dicalcique	2CaO, SiO <sub>2</sub>	172
ciment	Silicate tricalcique	3CaO, SiO <sub>2</sub>	228

**Tableau. 3 : montrant quelque composés dérivant des calcaires**

### **2-Densité :**

La masse volumique d'une roche est déterminée par la structure, en particulier l'existence de vides et par la masse volumique des minéraux constitutifs.

Selon la norme américaine C563-67 de l'ASTM (American Society for Testing and Materials), les calcaires peuvent être classés en 3 catégories (in Winkler E. M , 1994) :

- Faible densité  $1,76 \leq \gamma \leq 2,16 \text{ g/cm}^3$
- Moyenne densité  $2,16 \leq \gamma \leq 2,56 \text{ g/cm}^3$
- Haute densité  $\gamma > 2,56 \text{ g/cm}^3$

Selon les publications de l'école d'Avignon (France), pour un calcaire pur , le poids spécifique réel est de  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

La masse volumique d'un corps représente le poids d'un volume donné de ce corps alors que la poids spécifique caractérise le poids d'un volume donné auquel on a soustrait les vides.

### **3-Porosité :**

C'est une caractéristique essentielle des roches. Par définition, la porosité est le rapport du volume des vides sur le volume total considéré (R. Selley, 1986):

$$\mu = (V_v/V_t) \times 100 (\%)$$

$V_v$  : volume des vides.

$V_t$  : volume total.

La porosité peut d'exprimer aussi avec la masse volumique, de la manière suivante :

$$\mu = (1-\gamma/\gamma_s) \times 100 (\%)$$

$\gamma$ : masse volumique (=M/V).

$\gamma_s$ : masse volumique spécifique(=M/V<sub>s</sub>).

Avec M : la masse est  $V_s=V_t-V_v$  , le volume de la phase solide.

D'ou :

$$\gamma = (1-n)\gamma_s \times 100 \text{ (\%)}$$

**D-Origine des pores dans les roches sédimentaires:**

Du point de vue strictement structural, la porosité totale ne dépend que du volume et du nombre de pores et de fissures élémentaires. Par contre, l'ensemble des caractéristiques géométriques du système poreux (distribution granulométrique des pores, la forme des pores et de fissures, leur disposition mutuelle) est le témoignage de toute l'histoire de la roche (histoire de sa genèse initiale, et dans une certaine mesure le reflet des conditions de la formation), histoire des transformations ultérieures qu'elle a pu subir (diagenèse, compaction, déformation et rupture).

La porosité et l'espace de distribution des pores sont sujets à des grandes variations. Une variété presque illimitée de tailles et formes de pores est caractéristique des roches sédimentaires. Choquette et Prey (1970) distinguent entre méga pores (256 ÷ 0.062 mm de diamètre) et micro pores (0.062 ÷ 0.0001 mm). (Tab.4).

Propriété	Grés	Carbonates
Porosité originelle		
-Non cimenté	25-40 %	40-70%
-Cimenté	15-30%	5-15%
Dimension des pores	Lié à la taille des particules	peu lié à la taille des particules et type de pores
Forme du pore	Par la forme des particules	varie largement
Evaluation semi-quantitative	Facile	variable
Relation :porosité-permeabilité	Logique : dépend du type et Taille des particules	canaux imprévisibles

**Tableau .4 : Porosité des grés et carbonates (Choquette et Prey, 1970 ; in Winkler,E.M,1994).**

**1-Intérêt de la porosité :**

La porosité des roches aide à déterminer la résistance et la dureté , mais aussi à estimer la teneur en eau .La distribution de la porosité permet une évaluation globale de l'altération progressive vers la surface de la pierre (Fitzner,1988 ; in Winkler E.M,1994).

Le tableau 5 donne la masse volumique et la porosité de certaines roches communes.

Roche (pierre)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (%)
Granite	2,6÷2,7	0,5 ÷1,5
Gabbro	3,0÷ 3,1	0,1÷0,2
Rhyolite(felsite)	2,4÷2,6	4,0÷4,6
Andésite (felsite)	2,2÷ 2,3	10,0÷15,0
Basalte	2,8 ÷2,9	0,1÷1,0
Grés	2,0÷2,6	5,0÷25,0
Schiste	2,0÷2,4	10,0÷30,0
<b>Calcaires</b>	<b>2,2 ÷2,6</b>	<b>5,0÷20,0</b>
Dolomites	2,5÷2,6	1,0÷5,0
Gneiss	2,9÷3,0	0,5÷1,5
Marbre	2,6 ÷2,7	0,5÷2,0
Quartzite	2,65	0,1÷0,5
Ardoise	2,6÷2,7	0,1÷0,5

**Tableau. 5** : Intervalles de porosité et de masse volumique de plusieurs roches communes (Farmer E, 1968 ; In Winkler E.M, 1994).

## **D-Autres caractéristiques des roches carbonatées :**

### **1-Blancheur:**

La propriété importante dans la valorisation des carbonates est la blancheur. Sur le plan esthétique, un bon indice de blancheur permet de relever et de présenter la coloration de l'agrégat. Celle-ci est liée à la présence ou non d'éléments colorants (fer et titane principalement).

L'indice de blancheur précise une valeur comprise entre 0 et 100. Les corps très blancs ont un indice proche de 100. C'est le cas de la chaux aérienne. La couleur d'un calcaire pur (calcite) est blanche. Ce sont les impuretés et les inclusions qui donnent une coloration à ce calcaire, suite à l'altération météorique. Les chaux hydrauliques sont légèrement colorées. Cette coloration provient des oxydes contenus dans le calcaire employé.

### **2-Couleur des roches :**

Les pigments naturels proviennent d'une réaction d'oxydation des éléments métalliques (le fer), intervenue dans le milieu d'origine. Ces oxydes ont un fort pouvoir colorant et généralement une des causes de la coloration de la poudre de carbonate de calcium.

La variété des couleurs des minéraux contribue aussi à la détermination de la couleur des roches. Les formes ferreuses ( $\text{Fe}^{2+}$ ) et ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) du fer sont les agents de coloration les plus importants dans toutes les roches (Winkler E.M, 1988).

### **3-Couleur des roches sédimentaires:**

Dans le cas des roches sédimentaires les couleurs sont généralement causées par la concentration et la teneur en oxyde de fer (oxyde ferrique). Il s'agit du plus important et le plus intense des pigments. Bon nombre de colorants sont hérités des roches ignées comme le quartz et les feldspaths, lorsque ceux-ci subissent le processus d'altération et de sédimentation.

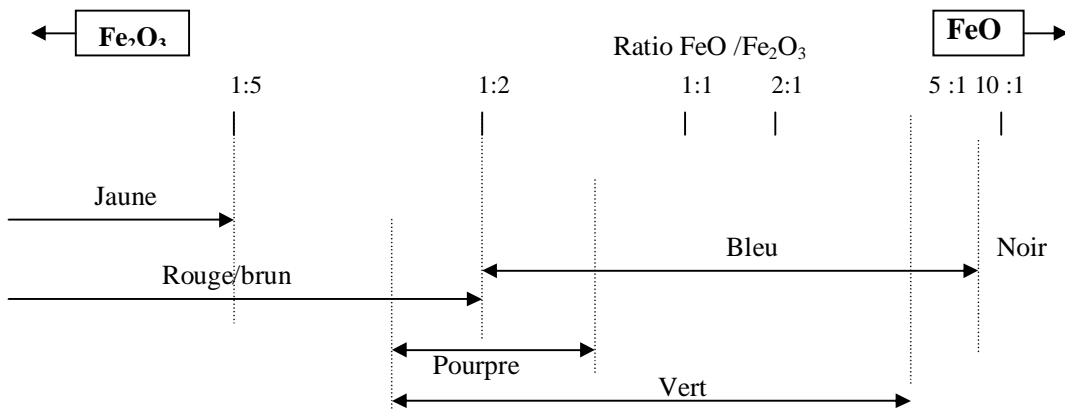
Le fer est le plus connu et le plus répandu comme pigment dans les roches sédimentaires (Winkler E.M, 1988). Cependant il peut s'étendre du rouge intense à l'orange, jaune, brun, au vert, ainsi que le noir. La variété de couleur dépend du taux et du degré d'oxydation. Un grand nombre de fer pourrait être introduit durant la lithification et durant le processus de l'orogénèse et aussi le phénomène d'altération. Le fer apparaît sous forme d'oxyde ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ou ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

Le fer sous forme ferrique peut se trouver dans l'hématite rouge ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), rouge brun sous forme de goéthite ( $\text{FeOOH}$ ) et le plus commun ferrosyde aqueux  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Le fer sous forme ferreux peut apparaître comme un pigment légèrement distribué du vert bleuté au noir ou comme la pyrite jaunâtre et marcassite. Légèrement disséminés, les sulfures ferreux ont été formés dans un environnement réducteur, en l'absence d'oxygène. Les zones réductrices grises ou vertes sont très communes dans les calcaires, schistes et ardoises.

La couleur de la plupart des roches sédimentaires et sols dérive des quantités variées de la plupart des hydroxydes de fer (Winkler E.M, 1994).

Le schéma de la figure 26 donne les colorations des roches sédimentaires et les ardoises métamorphiques comme fonction du ratio Ferrique : Ferreux dans la roche.



**Figure 26** : Echelle de pigmentation des sédiments montrant la couleur des roches comme fonction du rapport  $\text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$  (d'après Hughes, 1958 ; in Winkler E.M, 1994).

La plupart des roches sédimentaires ont retenu leur coloration originelle, durant leur formation, reflétant ainsi un environnement oxydant ou réducteur.

Keislinger .W (un Winkler E.M, 1994) donne l'explication suivante : le calcaire marin a été probablement déposé dans des conditions légèrement réductrices, oxydé plus tard en rouge clair durant l'activité tectonique régionale suivi d'une subsidence ou les eaux réductrices ont pénétré le long des fissures en changeant le fer ferrique rouge en gris ou verdâtre. Des légères traces de vert clair issu de traces de fer ferreux peuvent se disséminer dans la roche. Les solutions de fer ferrique ont circulé le long des fissures dans la roche.

Beaucoup de calcaires gris, calcaires marbrés et dolomites tendent à changer de couleur en jaune ou crème .Dans la nature , les roches carbonatées ,qui sont exposées à l'atmosphère, présentent un aspect jaunâtre .Quand la roche n'est pas exposée ou récemment exposée, elle devient grise ou gris bleutée. Le changement de la coloration peut prendre place très rapidement en quelques années. C'est à cause de l'oxydation des minéraux de fer que les calcaires augmentent leur teinte.

## **II- Chronologie des études antérieures au niveau du gisement d'El Khroub :**

### **A-Etude U.R.E.G-E.N.D.M.C (1978) :**

La caractérisation des calcaires du gisement d'El Khroub a essentiellement été axée sur les propriétés physico-mécaniques, compte tenu du secteur d'utilisation de ce matériau comme agrégat. Il a été reconnu que ce produit était apte à la production de ciment blanc.

Le gisement a été également reconnu par 8 sondage (S1,S2,....., S8),totalisant 712,8 m de longueur de carotte . Ces sondages ont mis en évidence près de 130 millions de tonnes de calcaires destinés aux agrégats. Ce volume de roche est délimité par le contour dont les côtes du polygone passe par les points :

S5-S4-tranchée 1

S4-S8-S3

S3-tranchée 2

**NB:** La distance entre les sondages par profil, est de 190 à 200m .Le sondage carotté s'effectuait verticalement ( $\Phi_{in}=108\text{mm}$  et  $\Phi=63\text{mm}$ ).

### **1-Les essais physico-mécaniques :**

Les essais physico-mécaniques ont été réalisés sur 208 échantillons dont 171 issus de carottes de sondages et 37 sont pris de la surface topographique Parmi ces essais, on retient essentiellement les valeurs moyennes données dans le tableau 6 ci dessous :

Paramètres physiques / Paramètres statistiques	Poids volumique (g/m <sup>3</sup> )	Poids spécifique (g/m <sup>3</sup> )	Porosité (%)
Moyenne	2,59	2,71	4.55
Ecart-type	0,078	0,037	3,00

**Tableau .6 : Valeurs moyenne des paramètres physiques mesurés (compagne 1978) .**

Ces résultats montrent que la valeur moyenne observée du poids volumique correspond à la catégorie des hautes densités définie par la norme A.S.T.M( normes américaine ,1978).Il s'agit aussi la limite supérieure de l'intervalle donné dans le tableau 6 .La porosité faible pour un calcaire mais la dispersion est importante ( $\sigma=3$ ).Cette porosité correspond à la limite inférieure de l'intervalle donné dans le tableau(5) .

**2-Essais d'usure (LA) :**

Seulement 15 échantillons issus des sondages 1, 2,8 ont fait l'objet de ces mesures et les moyennes sont données dans le tableau 7.

Les résultats montrent une haute dureté et de haute capacité. Des pertes de poids en faible quantité lors des essais Los Angeles, ont permis de constater la haute qualité des agrégats de calcaire.

Paramètres Physiques / Paramètres statistiques	Essai Los Angeles LA (%)
Moyenne	16,97
Ecart-Type	2,25

**Tableau. 7 : Moyenne de paramètre d'usure d'agrégat (compagne1978).**

**3-Analyses chimiques:**

L'analyse chimique a été réalisée sur 15 échantillons issus des sondages 1,2 et 8.

Les résultats de mesure sont donnés dans le tableau c. Ils ont montré que l'assise utile du calcaire est homogène et se caractérise par une haute teneur en CaO et une faible teneur en fer.

Compoition Chimique  Parametres stastistiques	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
	Moyenne	0,50	0,25	0,04	55,04	0,39	0,28	0,015	0,013
Ecart-type	0,26	0,13	0,04	0,59	0,33	0,11	0,004		0,27

**Tableau .8 : Analyses chimiques du calcaire d'El Khroub (ENG, compagne 1978).**

Les échantillons de ces analyses chimiques ont été prélevés des sondages 1,2 et 8 (compagne ENG ,1978) forés dans le calcaire supérieur .Ces résultats chimiques ont montrés de faible teneur en fer.

**B- Etude U.R.R.G-E.N.D.M.C (1991) :**

Constatant que la blancheur et la teneur en CaO présentent de hautes valeurs, une nouvelle compagne de sondage (1991) a été entreprise pour mieux caractériser le carbonate de calcium exploité. La zone du gisement retenue pour la production de la poudre de CaCO<sub>3</sub>, a été délimitée par 6 sondages ( 4 carottés :S21,S22,S23,S24 ; et 2 destructifs :DM25 et DM26).Ces sondages totalisent 345,65m, dont 250m carottés.

La sélection de cette zone a été faite sur la base de sa position éloignée de toute fracture et loin des zones oxydées, ainsi que sur la base des résultats d'analyses chimiques réalisées dans le projet d'agrégat. Cette zone a une forme carrée de 600m de coté totalisant 750m de longueur de carotte, un volume de 60 millions de tonnes ( ±31000 t).Cette estimation des réserves a été faite par la méthode géostratégique avec le logiciel GDM du BRGM.Ces calculs ont été réalisés par bancs horizontaux de 10m de la cote 750 à 870m.

**1-Degré de blancheur :**

Le test de blancheur a été réalisé sur deux échantillons broyés à moins de 63 µm, dans un broyeur de laboratoire en céramique .Ce test a donné un taux de 89% par rapport au sulfate de baryum (BaSO<sub>4</sub>).



Les résultats des essais physico-mécaniques réduits et l'étude des lames sont absents du rapport géologique.

## **2-Volume et type de travaux de caractérisation :**

Les carottes issues des sondages ainsi que les cuttings récupérés des sondages destructifs ont fait l'objet d'analyse et qui sont donnés dans le tableau suivant :

Type d'analyse	Volume (Nombre d'échantillons)
Analyse chimique à 13 éléments	85
Etude de lames minces	02
Degré de blancheur	02
Essais physico-mécaniques réduits	05

**Tableau .9: Programme de caractérisation du calcaire d'El Khroub (campagne 1991).**

## **3-Analyses chimiques :**

Le rapport géologique réalisé lors de cette campagne( campagne ENG ,1999), démontre par des résultats d'analyse chimique, qu'il s'agit d'un calcaire blanc titrant à plus de 98% de CaCO<sub>3</sub> .

Composition Chimique  Parametres statistiques	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub>	PF
	Moyenne	0,34	0,16	0,12	55,30	0,35	0,08	0,04	0,05	98,88
Ecart-type	0,33	0,21	0,14	0,81	0,42	0,04	0,04	0,01	1,05	0,37

**Tableau .10 : Analyse chimique du calcaire d'El Khroub (campagne 1991).**

Selon le tableau (10), on constate que les résultats d'analyse sont très intéressants car ils ont été réalisés sur un nombre important d'échantillons (85) beaucoup plus grand que celui de la campagne de 1978 (15).

On constate aussi que les valeurs moyennes de CaO et de PF (perte de feu) sont les mêmes pour les deux campagnes de caractérisation (1978 et 1991).Par contre pour les autres composants

chimiques les valeurs moyennes sont plus faibles à l'exception faite par l'oxyde de fer, qui lui a donné une valeur plus grande (0,12%).

**C- Etude ENG (1999 à 2003) :**

Sur la base des études précédentes, un programme d'étude « qualité » a été initié dans le but d'une meilleure reconnaissance des zones de carbonate de calcium de bonne qualité sur le terrain. Il a donc été décidé de réaliser une nouvelle campagne de sondage pour mieux apprécier la qualité de ce carbonate .Ce dernier exige des caractéristiques particulières du point de vu blancheur et teneur en CaCO<sub>3</sub>, ainsi qu'une faible quantité d'élément colorant (Oxyde de fer).

**1-les travaux de caractérisation réalisés :**

**1-1-Degré de blancheur :**

Les mesures ont été effectuées sur la fraction 100 µm, prélevés des déblais (cuttings) à chaque mètre du sondage et cela pour l'ensemble de 12 sondages. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Paramètre mesuré	Blancheur (%)
Paramètre statistique	
Moyenne	82.95
Ecart_Type	1.77

**Tableau .11 : Mesure de blancheur (campagne 1999).**

Selon les résultats du tableau 11 ,il a été affirmé dans cette campagne d'exploitation que la zone est formé d'un calcaire massif blanc à blanc grisâtre, renfermant très rarement des fissures remplies de calcite et d'hydrogoethite.

**1-2-Teneur en CaCO<sub>3</sub> :**

Les 12 sondages ont fait l'objet d'analyse de CaCO<sub>3</sub>. Il a également été signalé que les mesures ont été entachées d'erreurs dues à un mauvais étalonnage de l'appareil de mesure du poids de l'échantillon (balance).Les résultats de mesures sont donnés dans le tableau suivant :

Paramètre mesuré	CaCO <sub>3</sub> (%)
Paramètre statistique	
Moyenne	95,66
Ecart-type	1,15

**Tableau .12 : tableau donnant les résultats de teneurs en CaCO<sub>3</sub> (Compagne ENG, 1999).**

### **1-3-Les essais physico –mcaniques :**

Les essais de Los Angeles et Micro- Deval en présence d'eau ont été effectués sur des échantillons récoltés sur terrain en 2003. Les résultats de mesures sont représentés dans le tableau suivant :

Paramètre Physique	Essai Los Angeles LA (%)	Micro-Deval en prasnence eau (%)
Moyenne	27	17
Ecart-Type	1.9	2.1

**Tableau .13 : Moyenne des paramètres d'usure d'agrégat (2003).**

### **III-Interprétation des résultats de mesures physiques :**

Les résultats qui vont être présentés sont à l'origine des mesures effectuées sur les échantillons issus des sondages de la campagne de 1978. Quant aux sondages de la campagne 1991, ils n'ont pas fait l'objet d'analyse physique :

#### **A-La porosité :**

Le diagramme représenté dans la figure (27) montre que les points de mesure de la porosité sont dispersés autour de la valeur moyenne ( $n=4.55\%$ ). Cette valeur est très inférieure de l'intervalle donné dans le tableau (5). Donc il s'agit d'un calcaire peu poreux. La porosité totale englobe la porosité intergranulaire et la porosité de fissures. Cette dernière peut influencer considérablement la porosité totale des calcaires.

#### **C-Relation porosité- poids volumique :**

La représentation porosité - poids volumique naturel (Fig.28) montre une tendance négative. En effet, le poids volumique décroît avec l'augmentation de la porosité. Plus le volume des vides augmente plus le poids volumique diminue (en diminution de masse).

#### **B- Le poids volumique :**

La représentation graphique de l'évolution du poids volumique en fonction de la profondeur ne montre pas une tendance fonctionnelle (Fig .29). En effet, la plus part des mesures se groupent autour d'une valeur moyenne ( $\gamma = 2.59\text{g/m}^3$ ) (fig.29). Cette valeur moyenne correspond à la limite

supérieure de l'intervalle donné pour les calcaires dans le tableau (5). Cette valeur indique que c'est un calcaire très dense.

L'absence de tendance est due à l'échantillonnage, car la plus part des mesures sont faites sur d'échantillons peu profonds et que les phénomènes de compaction des terrain sédimentaires de type calcaire est inobservable pour de faible hauteurs de terrains de recouvrement.

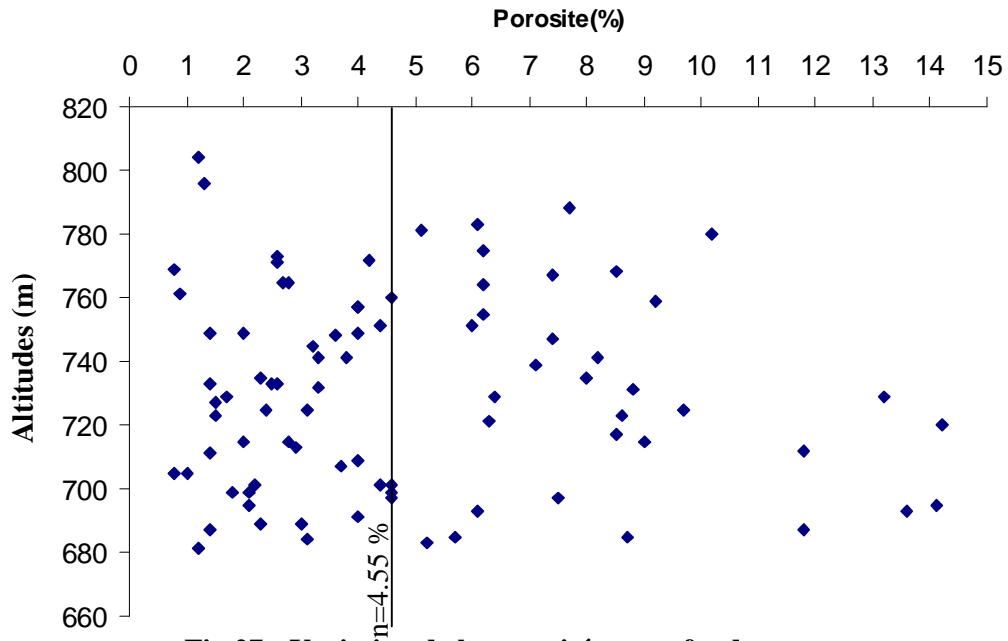


Fig.27 : Variation de la porosité en profondeur

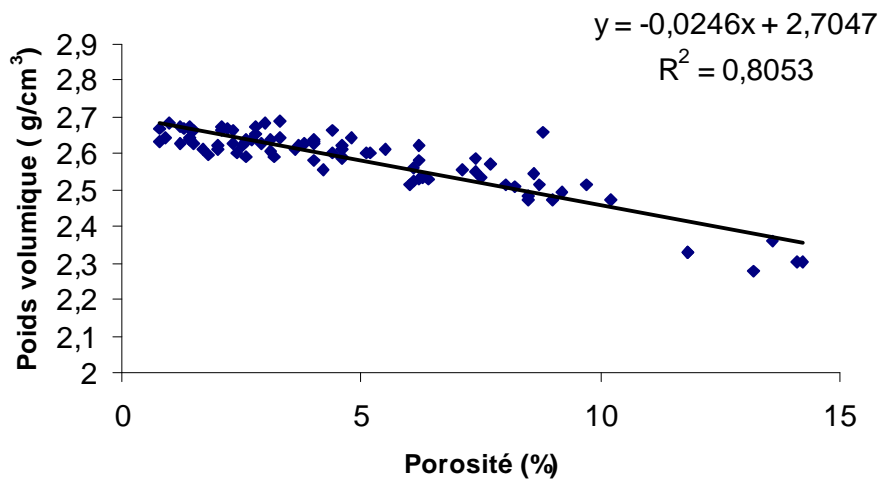
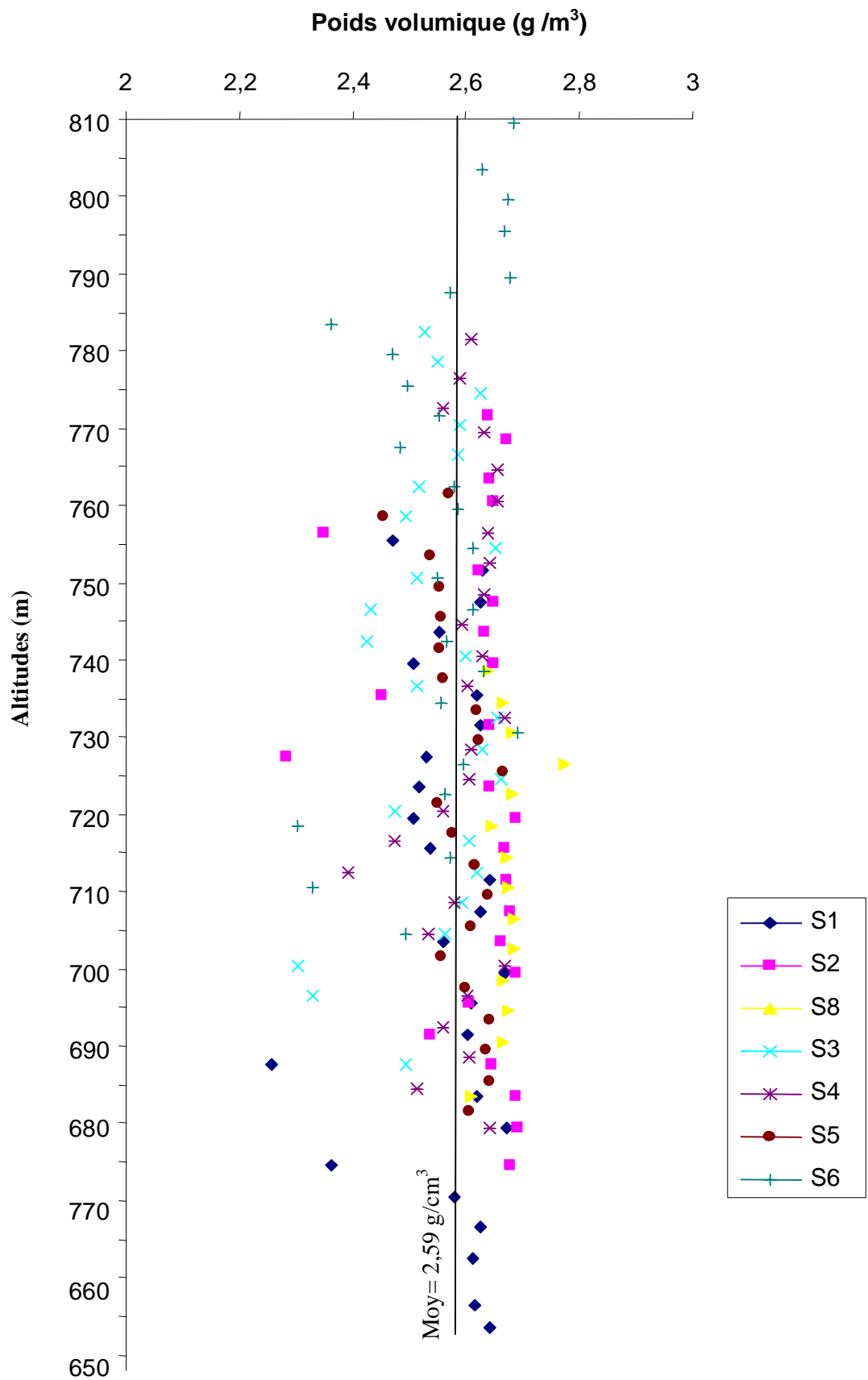


Fig.28 : Relation porosité – poids volumique



**Fig.29** : Variation du poids volumique en profondeur

## **D- Interprétation des cartes iso-poids volumique et iso-porosité**

La carte d'iso –poids volumique montre que les calcaires de la partie S-W du gisement présentent des valeurs plus grandes du poids volumique par rapport aux parties N-E ,S-E et N-W du gisement(Fig.30)

La partie N-W présente des valeurs faibles du poids volumique surtout au niveau du sondage S2.

Donc, on peut dire que les calcaires des parties inférieures du gisement sont plus denses ( $\gamma > 2.59\text{g/cm}^3$ ).

La carte iso –porosité (Fig.30) montre une tendance inverse de la carte d'iso- poids volumique. Ce ci peut être du à la présence des calcaires plus poreux situés dans les parties supérieures du gisement.

### **Les réserves :**

#### **1-Méthode de calcul :**

Compte tenu du fait que les sondages du gisement sont situés sur des profils parallèles, le calcul des réserves à été effectué avec la méthode des coupes géologiques 1-1` ,2-2` ,3-3` .

Dans les limites des blocs du calcul, les superficies des sections ont été déterminées à l'aide des graphes.

Pour calculer les réserves les coupes (1-1` ,2-2` ,3-3`) ainsi bien le plan de calcul des réserves au 1/4000 ont été utilisés (Fig.31).

Les réserves sont évaluées d'après la méthode de la moyenne arithmétique suivant la formule suivante :

$$Q = (S/2) \times L$$

Q : réserve en tonne.

S : Surface de chaque section

S/2 : Surface moyenne des sections

L : Distance entre deux sections.

#### **2-L'Assise utile :**

Les réserves comprennent les séries inférieures et supérieures des calcaires. C.a.d le relief de la surface du gisement (la limite supérieure du calcul des réserves).Les réserves sont calculées jusqu'à la profondeur de l'exploitation supposée (niveau 680m).les sondages ont été effectués jusqu'à la même profondeur. Le tableau suivant montre le tonnage calculé.

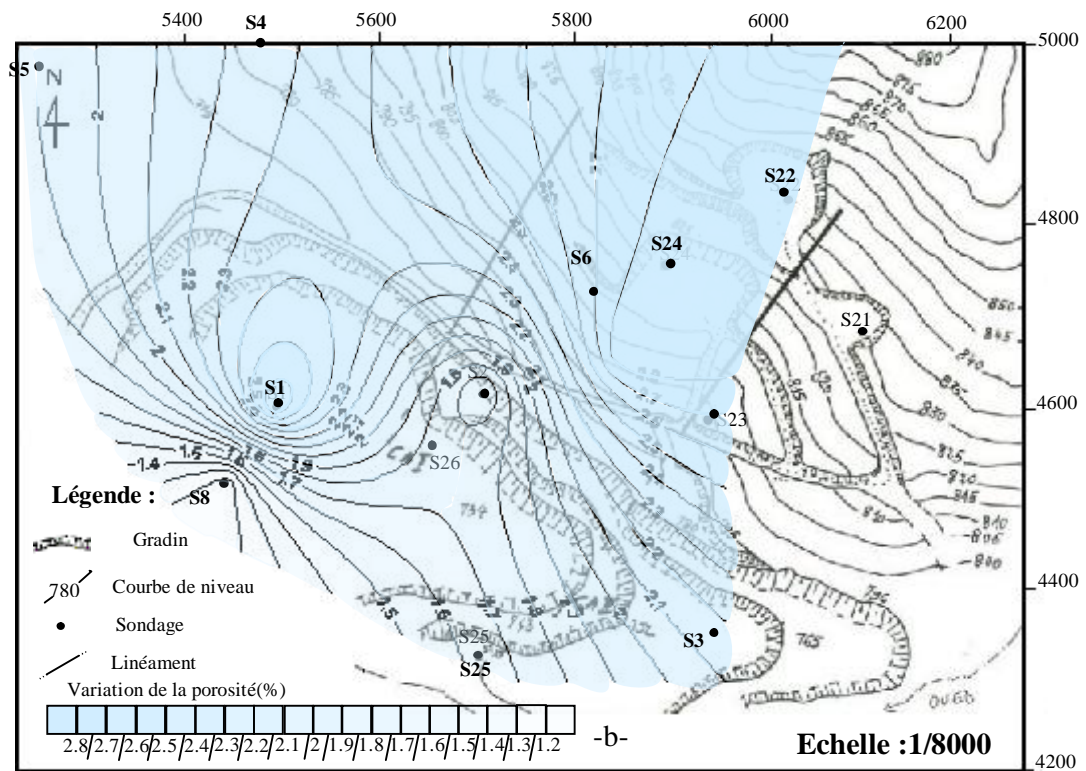
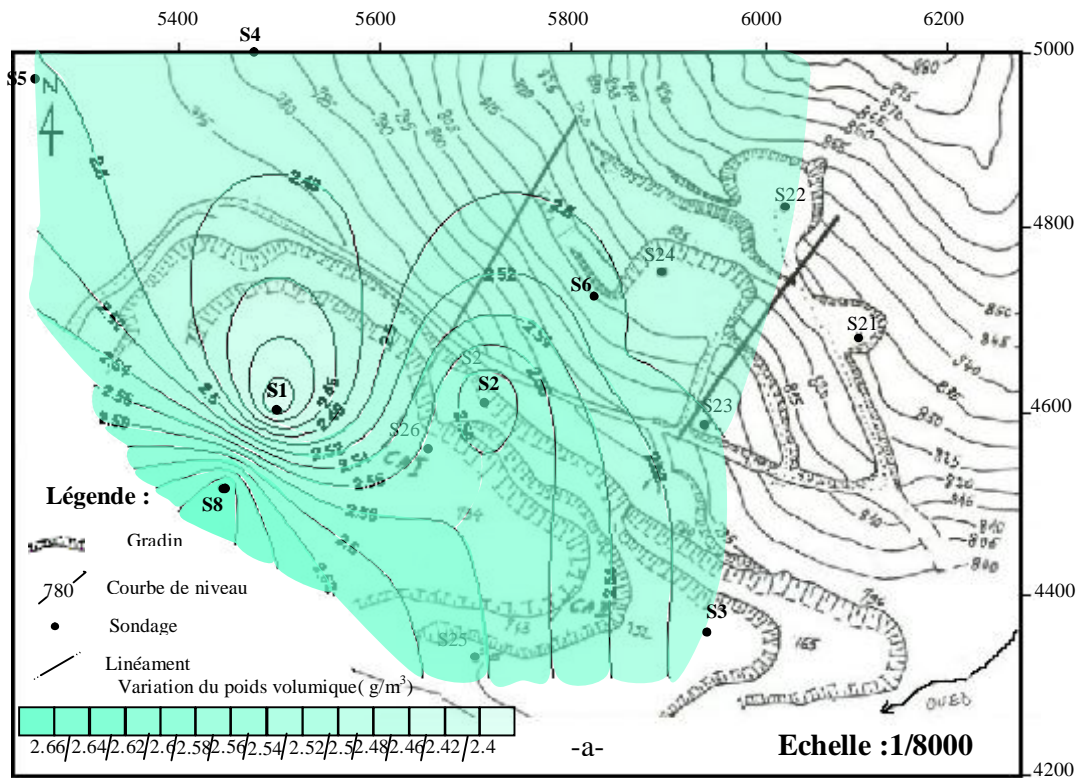
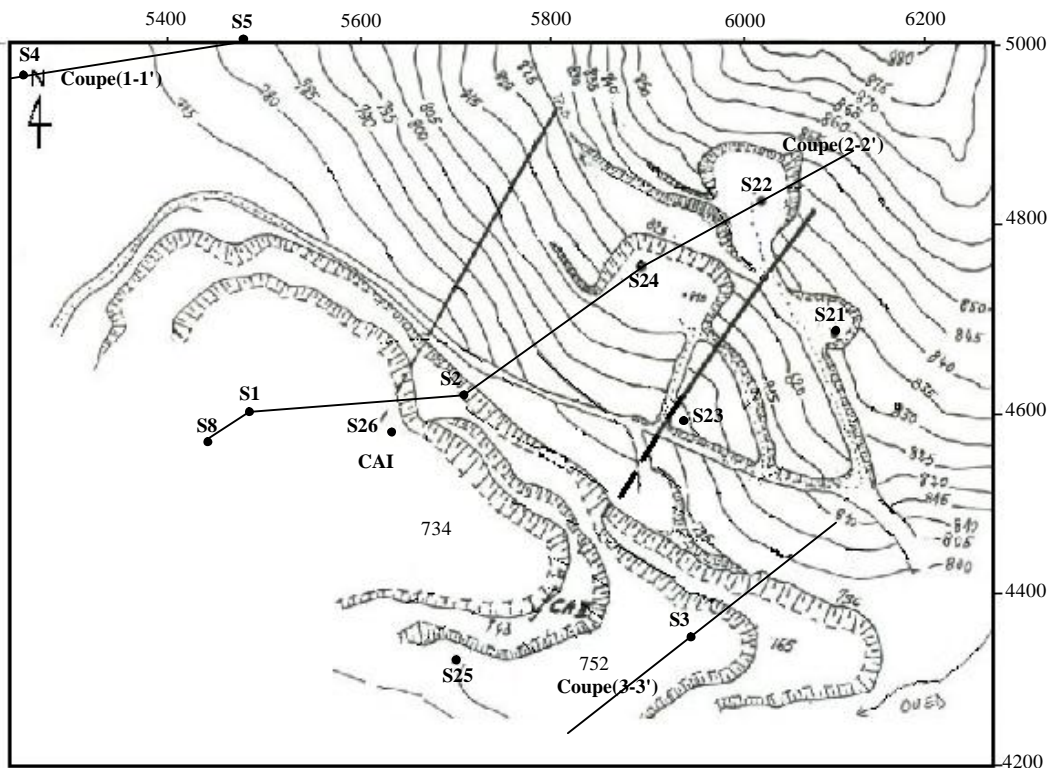


Fig.30 : Cartes de variation du poids volumique (a) et de porosité (b).

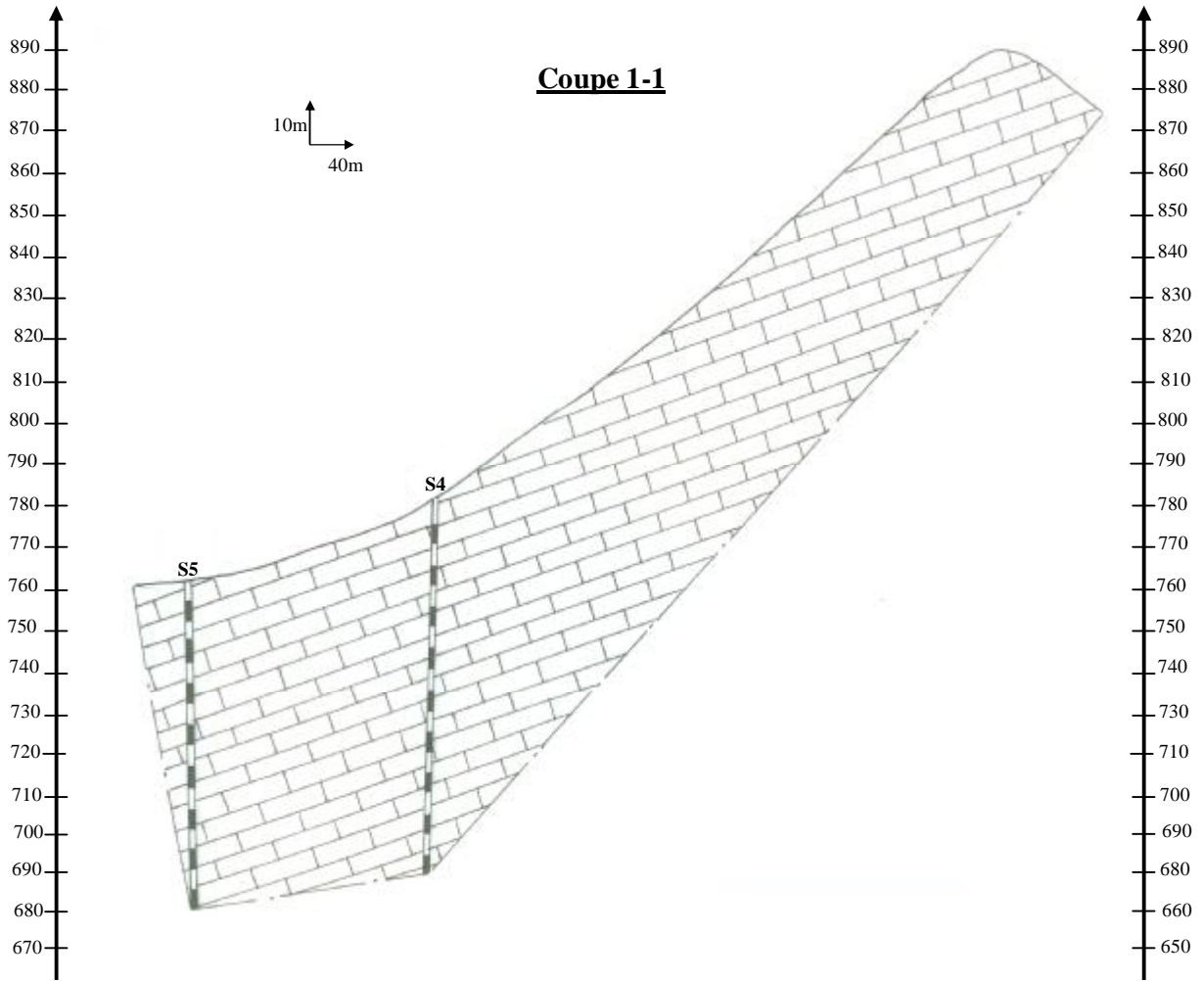
N° de Bloc	Coupe	Surface des sections (m <sup>2</sup> )	Surface moyenne des sections	Distance entre sections (m)	Volume de Bloc mxm <sup>3</sup>	Poids volumique (t/m <sup>3</sup> )	Reserves (t)
B-I	1-1`	64590	61522.5	440	27069.9	2.593	70192.3
	2-2`	58455					
B-II	2-2`	58455	42227.5	400	16891	2.593	43798.3
	3-3`	26000					
Total B-I+B-II							113990.3

**Tableau 14 : Calcul des réserves au niveau du gisement d'El khroub**

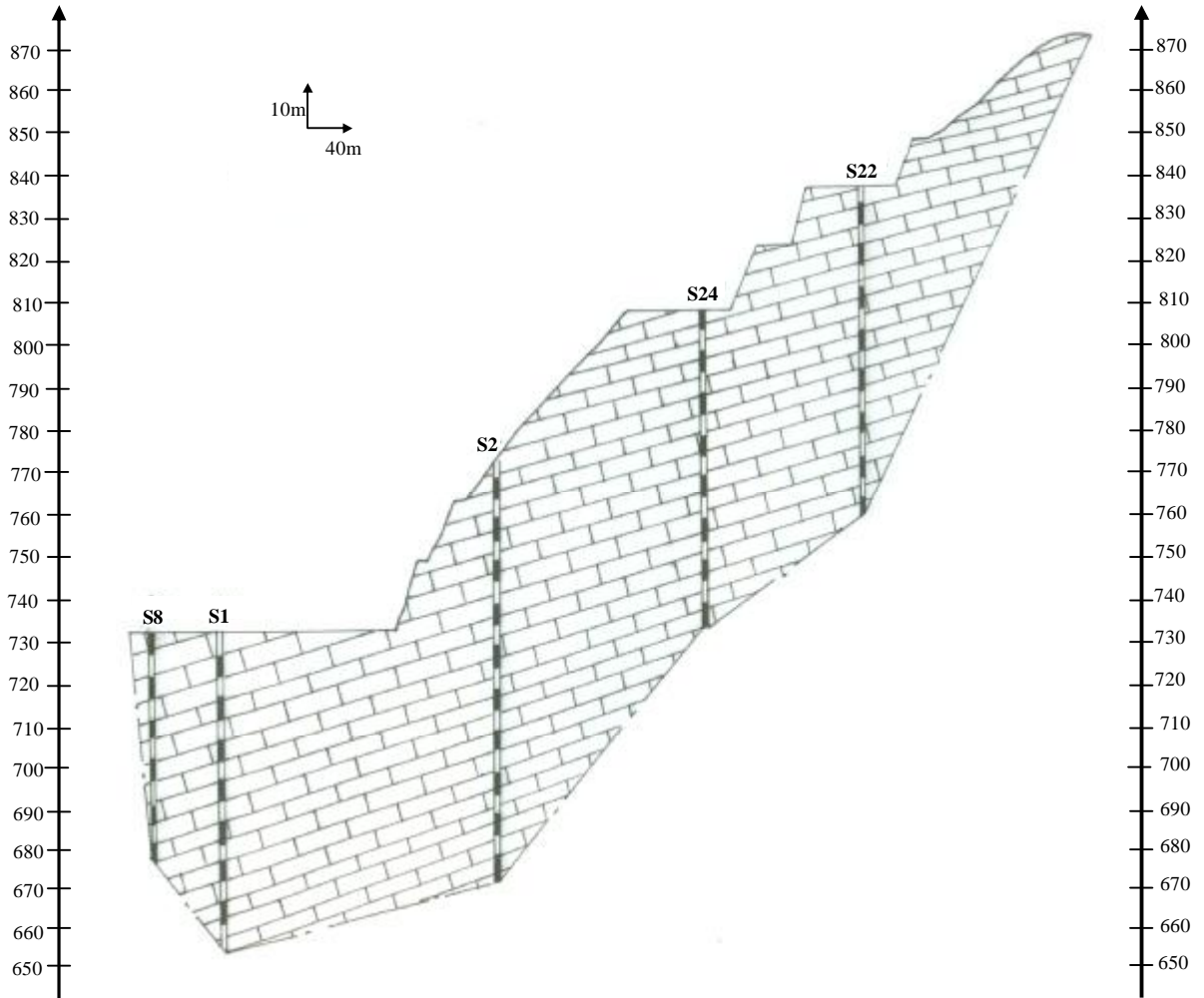


**Fig.31 : Carte de situation des coupes (1-1') (2-2') et (3-3')**

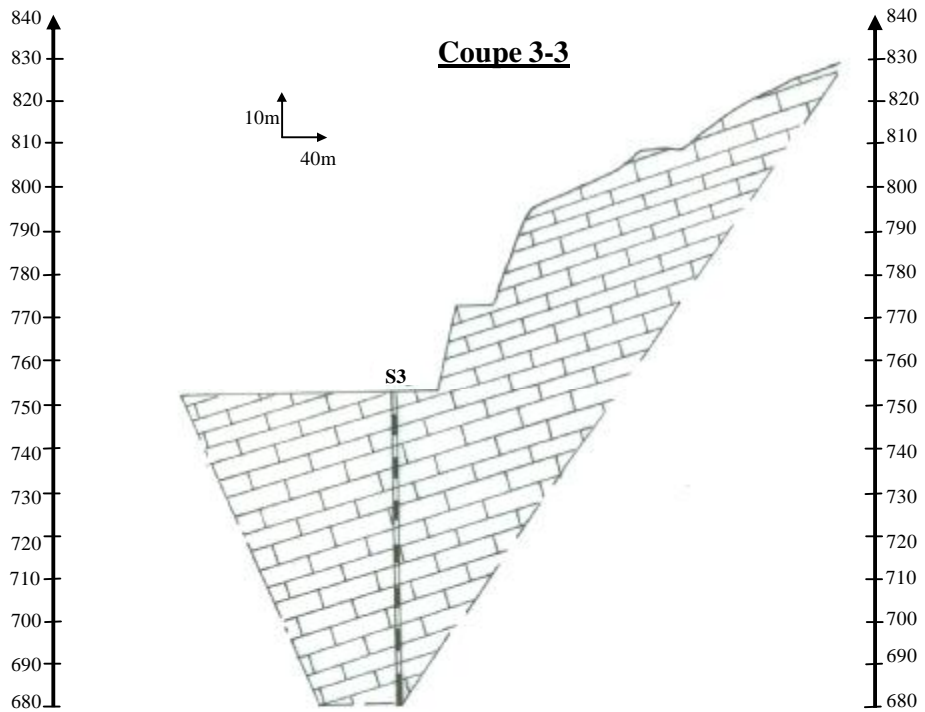




### Coupe 2-2



### Coupe 3-3



#### **IV- Interprétation des résultats de mesures chimiques :**

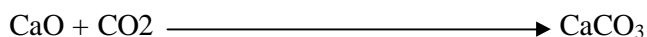
Un des buts de ces résultats est de connaître l'évolution géochimique en fonction de la profondeur. Il s'agit de connaître l'évolution des éléments chimiques constituant les calcaires exploités (surtout les éléments majeurs).

On a utilisé pour cette raison les mesures des échantillons pris des sondages de la campagne 1991 (4 Sondages carottés [S21, S22, S23, S24], 2 destructifs [S25, S26] ainsi que 3 sondages carottés de la campagne 1978 (S1, S2 et S8).

Pour voir l'évolution des éléments chimiques dans l'espace, on a aussi établies des cartes d'isoteneur des mêmes éléments chimiques ( $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  et les alcalins). Ces cartes ont été établies à partir des moyennes des teneurs de chaque élément chimique basés sur les données des sondages S21, S22, S23, S24 (campagne 1991) et les sondages S1, S2, S8 de la campagne 1978. Parmi nos résultats, on a :

##### **A-Teneur en oxyde de calcium CaO :**

L'oxyde de calcium constitue le composé essentiel de la formation carbonate de calcium, par précipitation dans une eau chargée en gaz carbonique, suivant la formule suivante :



La figure (32) montre la variation des teneurs en élément chimique  $CaO$  en fonction de la profondeur. Selon le graphe les teneurs de  $CaO$  au niveau des sondages S23 et S24 présentent une tendance constante, Tandis qu'elle est variable dans les sondages S21 et S22. On constate une diminution de la teneur en  $CaO$  au niveau du sondage S22 à la profondeur 796 m (pic 53.5%) et à 790 pour le sondage S21 (53.80%). Donc on peut s'attendre à un carbonate de moindre qualité entre la cote 780m et 810 m.

Les résultats de mesure de sondage S25 et S26 montrent également des valeurs très faibles en élément  $CaO$ , menant aussi aux mêmes interprétations.

##### **B-Teneur en oxydes ( $Fe_2O_3$ et $Al_2O_3$ ) :**

La variabilité de la teneur en  $Fe_2O_3$  et  $Al_2O_3$  en fonction de la profondeur, représentée dans les figures (33 et 34) montre trois ensembles:

- Un premier ensemble qui regroupe les valeurs très élevées en  $Fe_2O_3$  et  $Al_2O_3$  observées au niveau des sondages S25 et S26. Selon la géologie de ces sondages, on observe que la lithologie des deux sondages en question indique un calcaire blanc sans présence de fissures, ni stylolithes. Contrairement à ce que l'on observe sur terrain, ou un certain

nombre de fissures et failles remplies d'oxydes de fer et d'argiles ferrugineuses de couleur rouge et ocre ont été identifiées.

Les valeurs de  $Al_2O_3$  mesurés au niveau des sondages S1, S2, S8 sont relativement élevées et sont de même ordre que celles du sondage S21 de la campagne 1991. Ce ci contredit relativement la description géologique des sondages réalisés.

- Selon le même graphe, un deuxième ensemble montrant une même évolution que celle observée pour la CaO. Nous observons une anomalies chimique qui s'étend de la profondeur 810m à 780m et jusqu'à 760m pour le  $Al_2O_3$  avec des fortes valeurs ( $Fe_2O_3=0.4\%$  et  $Al_2O_3=0.6\%$ ) au niveau du sondage S22. La même observation est à noter au niveau du faite sondage S21. L'analyse de la lithologie des sondages S22 et S21 (figure 34) à la profondeur de l'anomalie chimique montre que le calcaire est cristallin grisâtre affecté par des stylolithes, taches noires Mn et fissures remplies d'argiles et d'oxydes ferriques. Ce qui nous amène à dire que la structure fissurée de ce calcaire qui permet la concentration en oxyde de fer, venant colorer le carbonate de calcium.
- Un troisième ensemble représenté par des valeurs faibles en  $Fe_2O_3$  observées dans les sondages S24, S23, S1 et S2. Effectivement la lithologie au niveau de ces sondages montre un calcaire blanc gris clair avec de rares fissures colmaté par la calcite de recristallisation.

### **C-Teneur en $SiO_2$ :**

L'ensemble des valeurs de mesures de la silice sont reportés sur la figure (35). Ces valeurs montrent une tendance presque constante au niveau des sondages S22 et S21.

Par contre, les sondages S21 et S22 montrent une dispersion dans les valeurs en  $SiO_2$  avec une augmentation à 790 m pour S21 et à 790 pour le sondage S22. Donc l'anomalie géochimique n'est pas accidentelle, elle se situe entre 810m et 760 m.

On ce qui concerne les valeurs de  $SiO_2$  au niveau des autres sondages (S26, S25, S1, S2, S8) sont relativement plus grandes surtout à la des profondeur faible.

### **D-Teneur en MgO :**

Le représentation graphique n° 36 montre la variation des teneur en MgO en fonction de la profondeur.

Cette représentation montre que les teneurs en élément MgO sont relativement faibles concernant les sondages S21, S22, S23, S24, S25, S2 et S8 (> 1%). Par contre au niveau des sondages S26 et S1 les valeurs sont plus élevées (2%).

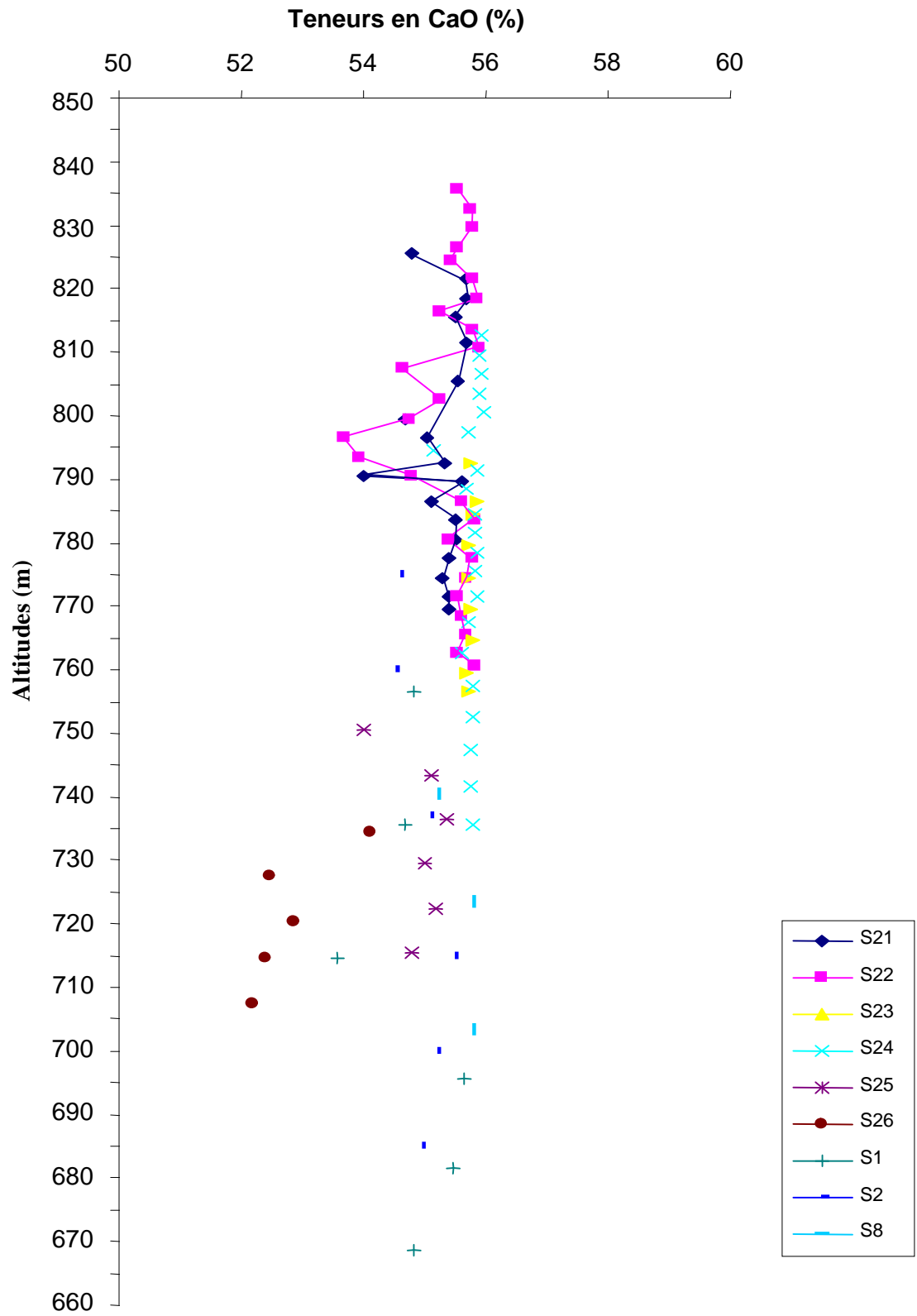


Fig.32 : Répartition de l'élément CaO en profondeur

Malgré les faibles teneurs de MgO en fonction de la profondeur, on observe une faible anomalie géochimique entre les cotes 780 et 810m.

#### **E- Teneur en Alcalins : (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)**

Le graphe (Fig.37) des résultats de mesure des teneurs en alcalins montre que les valeurs en alcalins sont relativement faibles dans la plus part des sondages, sauf pour les deux sondages S21 et S22. Ces deux sondages montrent une variabilité importante et qui est prononcée dans le sondage S22 avec un pic de 0.132%.

#### **V-Recherche des paramètres de corrélation :**

##### **A-Histogrammes de fréquence :**

L'histogramme est un outil fondamental pour déterminer le type de distribution d'une teneur en éléments chimique.

Au niveau du site d'étude et selon les données, des histogrammes de fréquences (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, SiO<sub>2</sub>, et MgO) (Fig.37), ont été réalisés en utilisant les valeurs arithmétiques. Ces valeurs ont données une bonne représentation graphique.

L'histogramme de fréquence de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> montre un type de distribution log normal, ce qui est non conforme à la réalité observée. La valeur modale est de 0.04% qui est très loin de la valeur moyenne globale (0.11%).

Pour l'histogramme de l'élément CaO il est mono-modal avec un pic important vers les grandes valeurs et un autre pic pour des valeurs moyennes

L'histogramme de fréquence de SiO<sub>2</sub> est complexe avec plusieurs pics. Les plus importants correspondent les valeurs faibles.

Pour le MgO, il présente un histogramme aussi complexe, avec un pic plus élevé vers les faibles valeurs.

##### **B-Traitement Bimodale et La matrice de corrélation de Pearson :**

Ce traitement permet de connaître les relation entre deux variables (éléments chimiques). Le coefficient de corrélation de Pearson permis de quantifié ces relations.

Il est représenté par l'équation suivante :

$$r = \frac{\sum [(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})]}{\sqrt{\sum (X-\bar{X})^2 \sum (Y-\bar{Y})^2}}$$

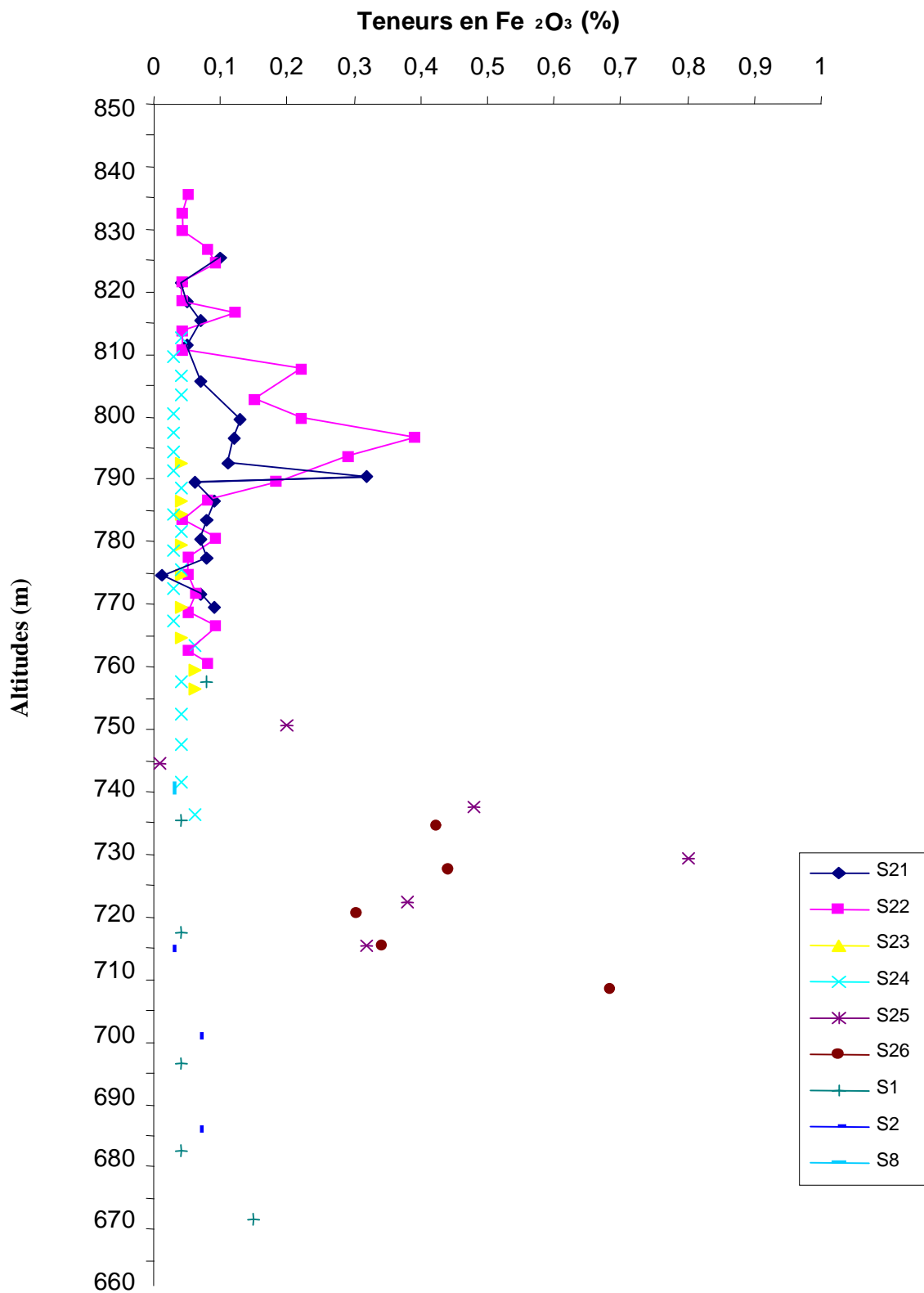
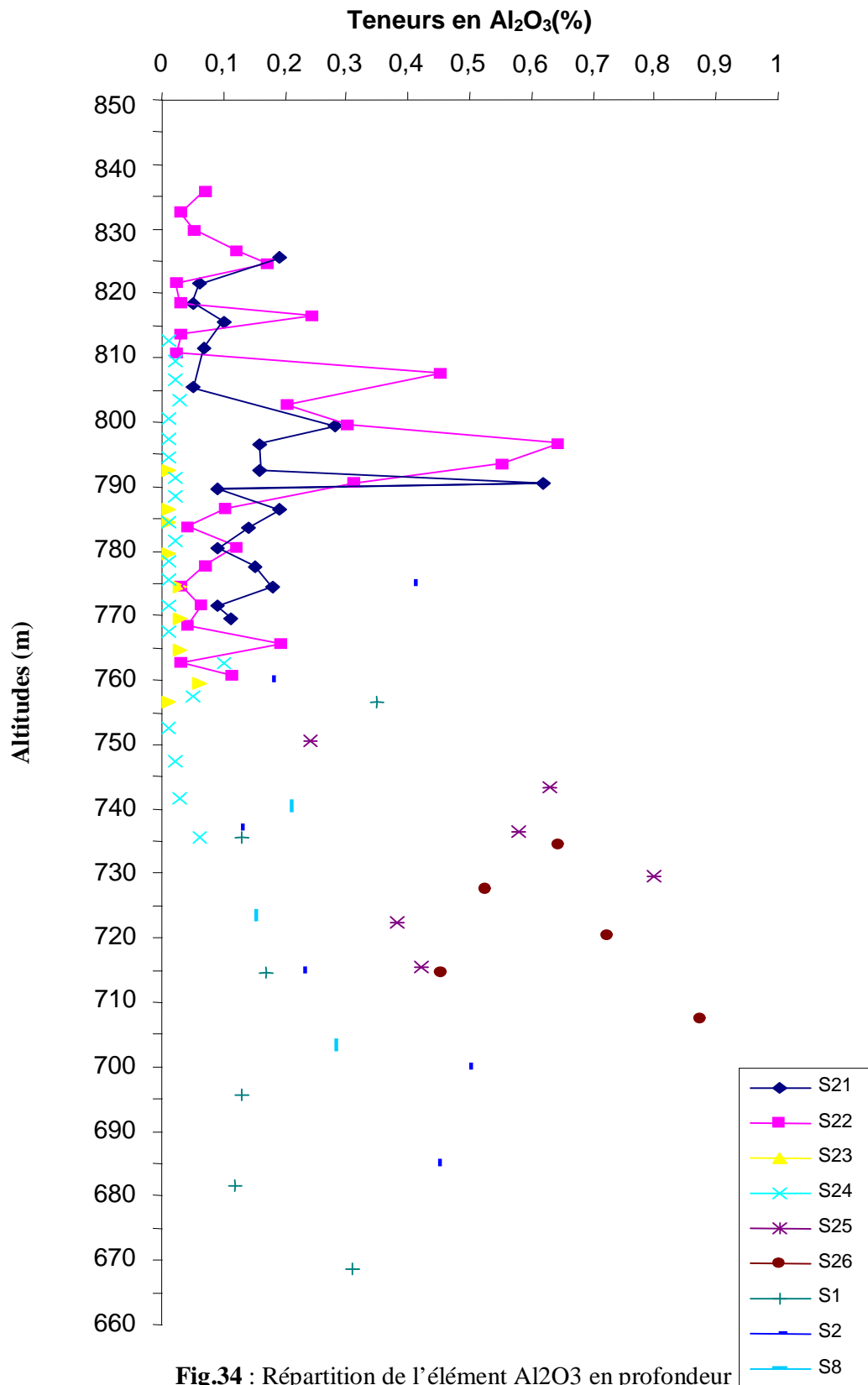


Fig.33 : Répartition de l'élément Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en profondeur



**Fig.34** : Répartition de l'élément  $Al_2O_3$  en profondeur



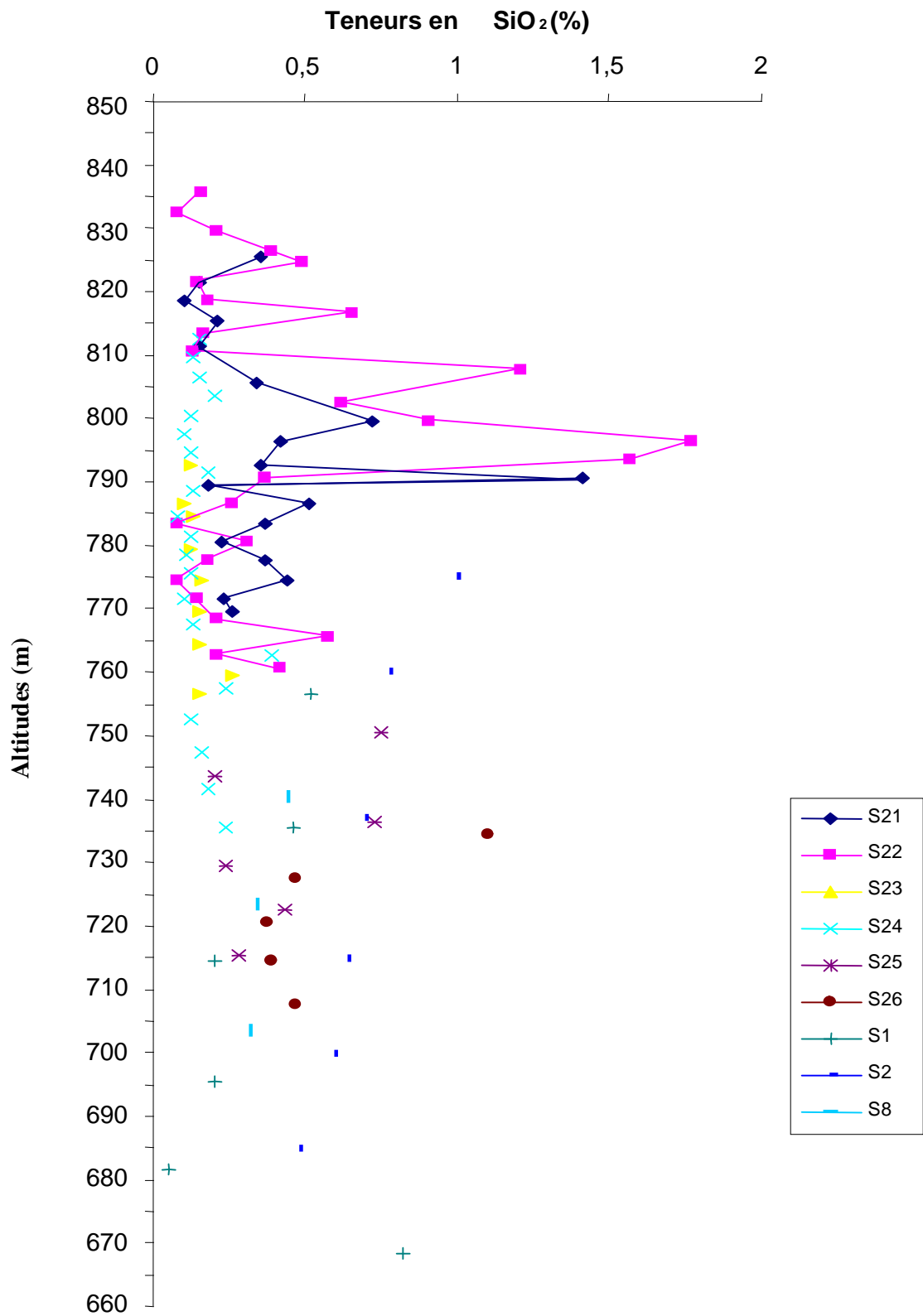


Fig.35 : Répartition de l'élément SiO<sub>2</sub> en profondeur

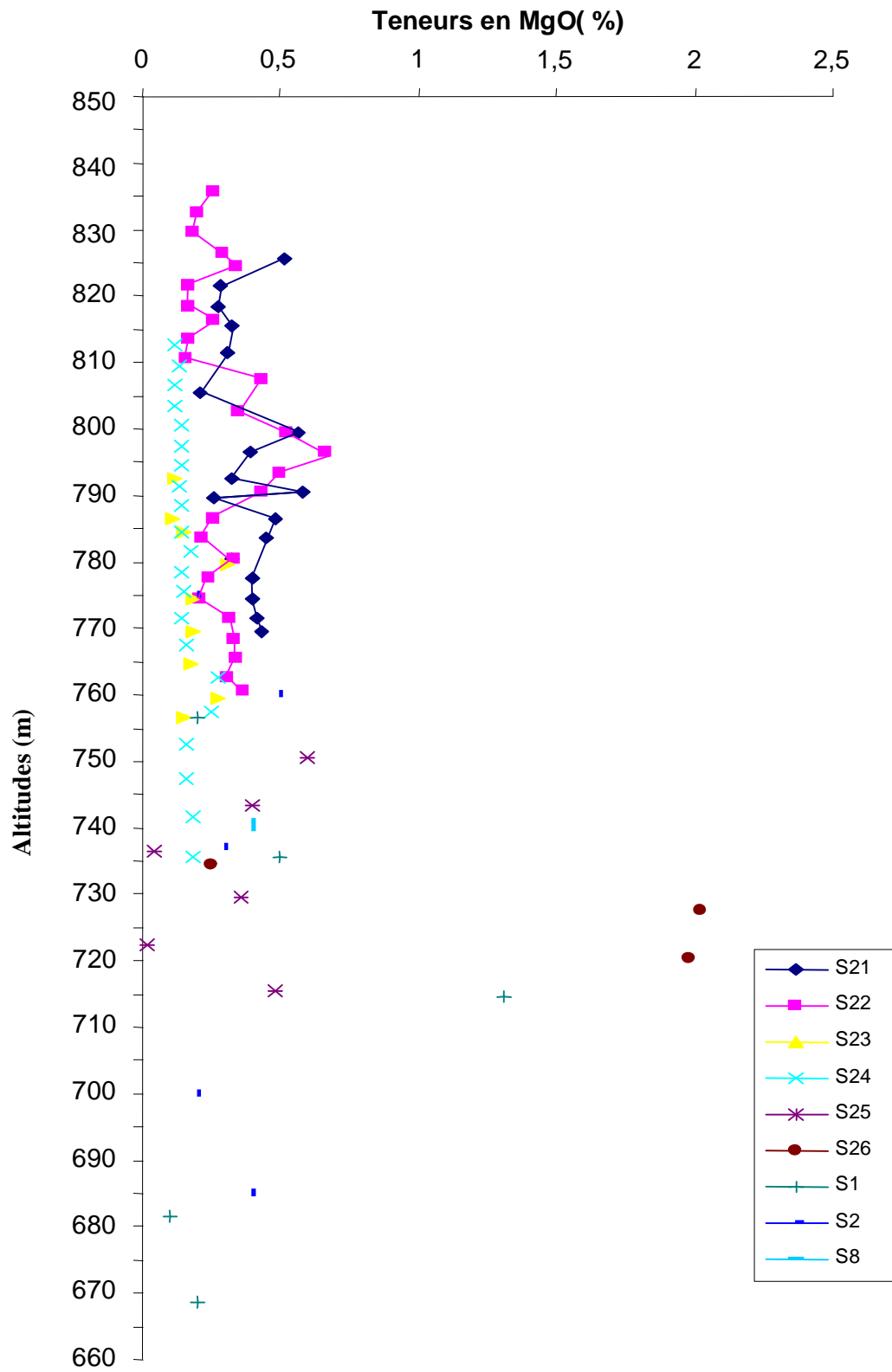


Fig. 36: Répartition de l'élément MgO en profondeur

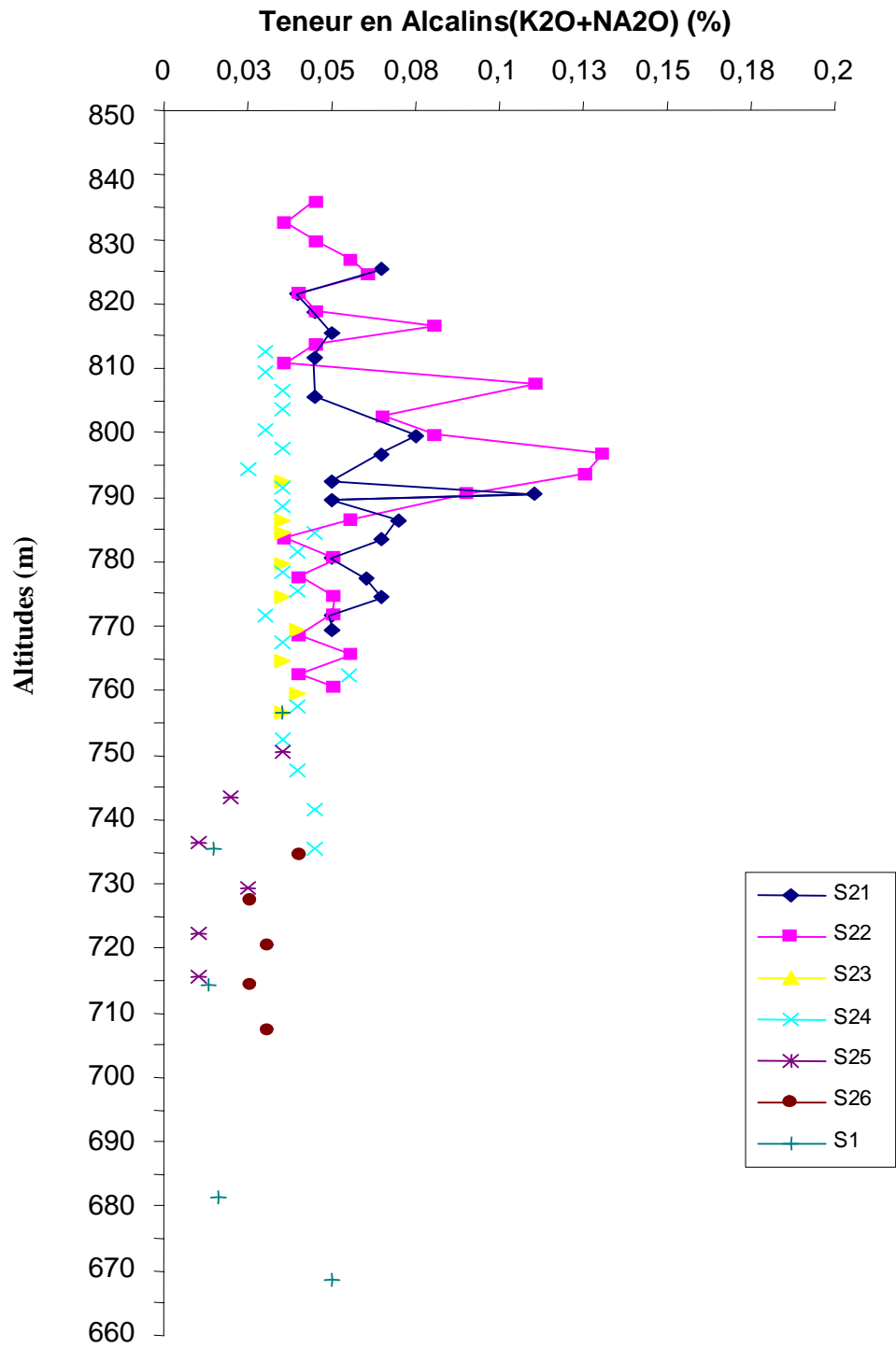


Fig.37 : Répartition de l'élément des alcalins en profondeur

Ce parametre evolue de -1 à 1.

Si  $r=-1$  : liaison linéaire rigide inverse.

Si  $r=0$  : indépendance des deux variables.

Si  $r= 1$  : liaison linéaire.

Le calcul du coefficient de corrélation permet d'ajuster l'analyse en précisant la valeur exacte de  $r$  et donc en signifiant la réalité d'une liaison linéaire entre deux éléments (Cyr.S & Deblois .L ,2004).

Si l'on considère  $n$  variables, on pourra déterminer  $n$  coefficients de corrélation correspondants ordonnés sous forme de matrice (tableau n°15)

Les relations sont exprimées par des équations de régression linéaire simples.

L'équation de régression à pour formule :

$$y = ax + b$$

Avec  $y$  : variable expliquée.

$x$  : variable explicative

$b$  : terme constant de l'équation

$a$  : Coefficient de l'équation.

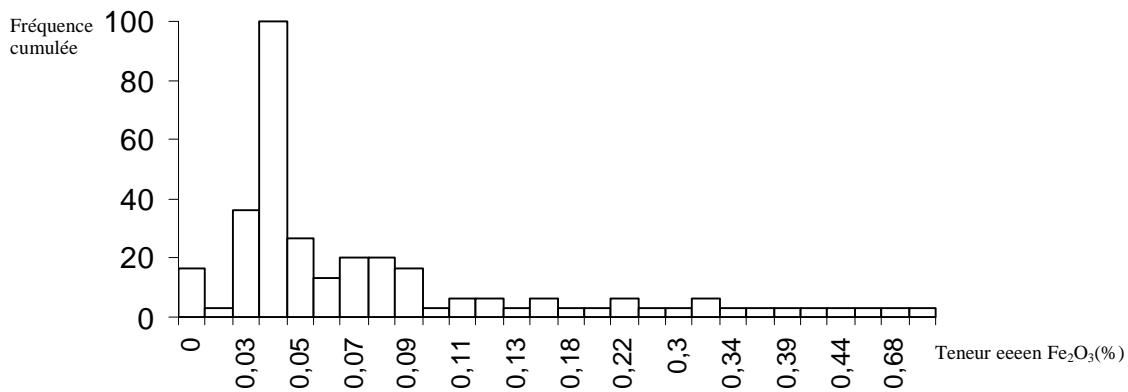
Pour que la représentation du nuage (Fig.38) sera plus représentative on ajoute une droite de régression.

La matrice de corrélation linéaire de Pearson montre une bonne corrélation entre l'élément chimique CaO et les éléments chimiques Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO.

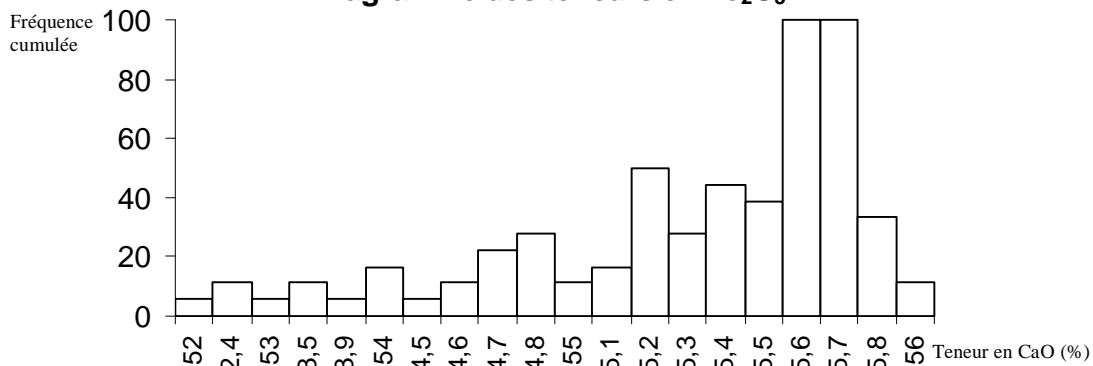
La corrélation est moins représentative avec l'élément SiO<sub>2</sub>, et presque insignifiante pour le K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O.

	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	<u>-0.66</u>	0.54	0.45	<u>0.81</u>	0.03	0.2	-0.33	-0.44
CaO	<u>-0.66</u>	1	<u>-0.88</u>	<u>-0.54</u>	<u>-0.76</u>	-0.34	-0.24	0.2	-0.18
MgO	0.54	<u>-0.88</u>	1	0.2	0.55	0.23	0.03	-0.09	0.22
SiO <sub>2</sub>	0.45	-0.54	0.2	1	<u>0.66</u>	0.27	<u>0.81</u>	0.02	-0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>0.81</u>	<u>-0.76</u>	0.55	<u>0.66</u>	1	0.27	0.35	-0.31	0.06
SO <sub>3</sub>	0.03	-0.34	0.23	0.27	0.27	1	0.11	-0.15	0.2
K <sub>2</sub> O	0.2	-0.24	0.03	<u>0.81</u>	0.35	0.11	1	0.27	-0.01
Na <sub>2</sub> O	-0.33	0.2	-0.09	0.02	-0.31	-0.15	0.27	1	0.11
PF	-0.04	-0.18	0.22	-0.04	0.06	0.2	-0.01	0.11	1

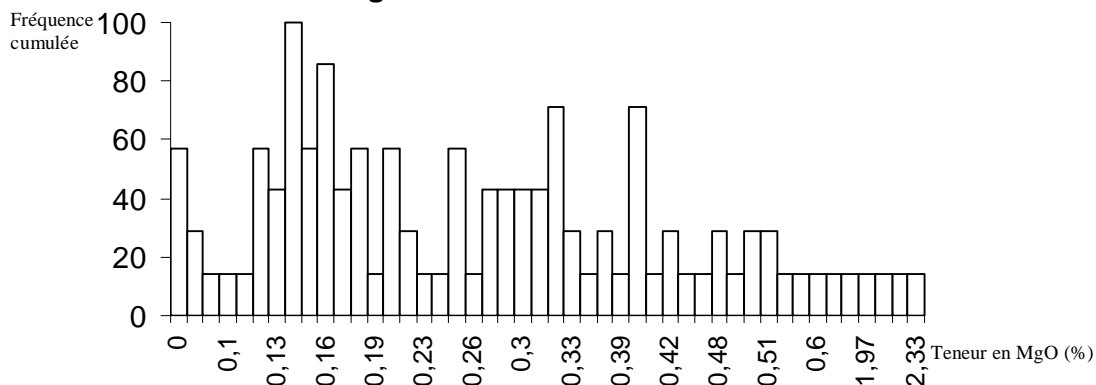
**Tableau .15: La matrice de corrélation du gisement d'El Khroub.**



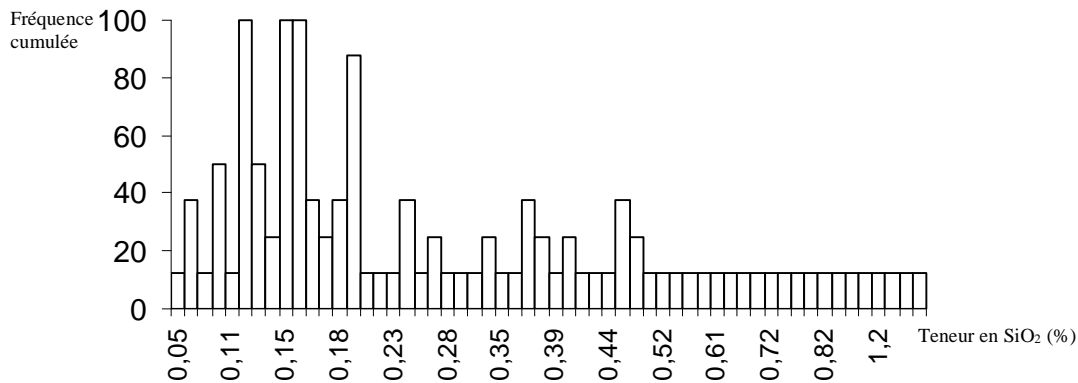
**Diagramme des teneurs en  $Fe_2O_3$**



**Diagramme des teneurs en CaO**

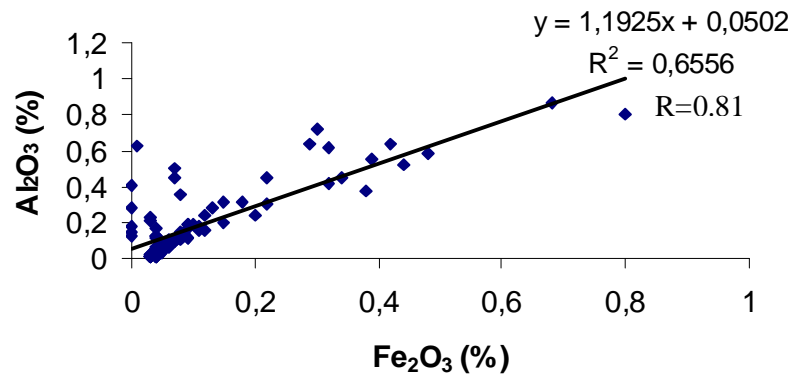
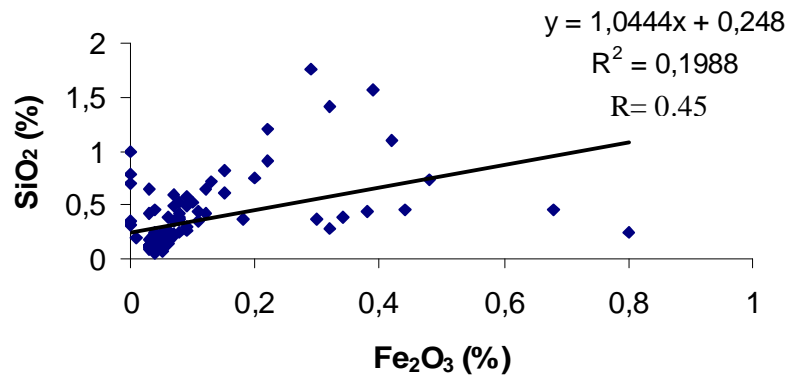
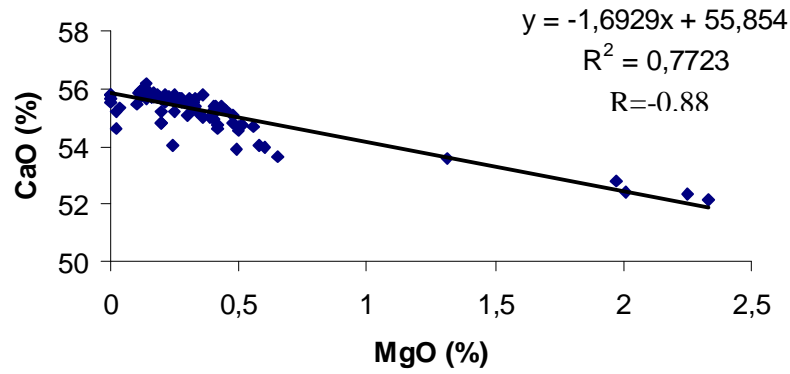
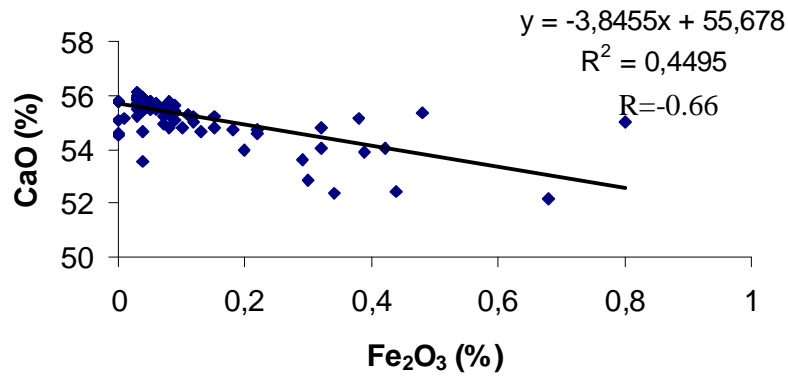


**Diagramme des teneurs en MgO**



**Diagramme en teneurs en  $SiO_2$**

**Fig.38** : Histogrammes de fréquence des éléments majeurs



**Fig.39** : Corrélation binaire entre l'élément CaO et les élément majeurs Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO, MgO/CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### C- Les cartes d' isoteneurs en éléments chimiques et leurs interprétations:

Pour connaître l'évolution de la qualité du produit exploité, on a réalisé des cartes isoteneurs en éléments chimiques à l'aide du logiciel Surfer après introduction des moyennes de chaque élément chimique (CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO) pour tous les sondages.

Ces cartes d'isoteneurs en CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fig.40, 41,42) ont montrée une anomalie géochimique qui se situe au Sud-West du gisement .Cette anomalie coïncide avec une concentration importante de fractures colmatées par des impuretés observées sur la terrain.

On note aussi, qu'il existe une forte concentration de SiO<sub>2</sub> au niveau du sondage S2.

On constate aussi l'existence d'une relation entre fracturation et éléments chimiques surtout pour l'élément Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

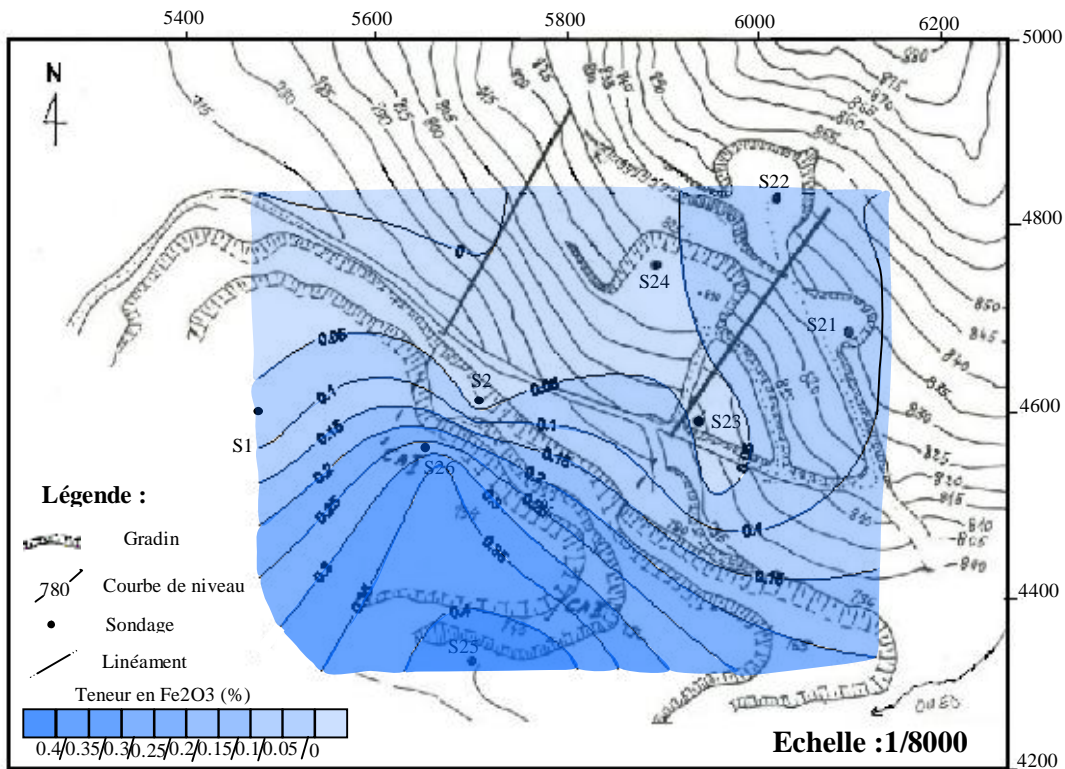


Fig.40 : Carte d'isoteneur en FeO3

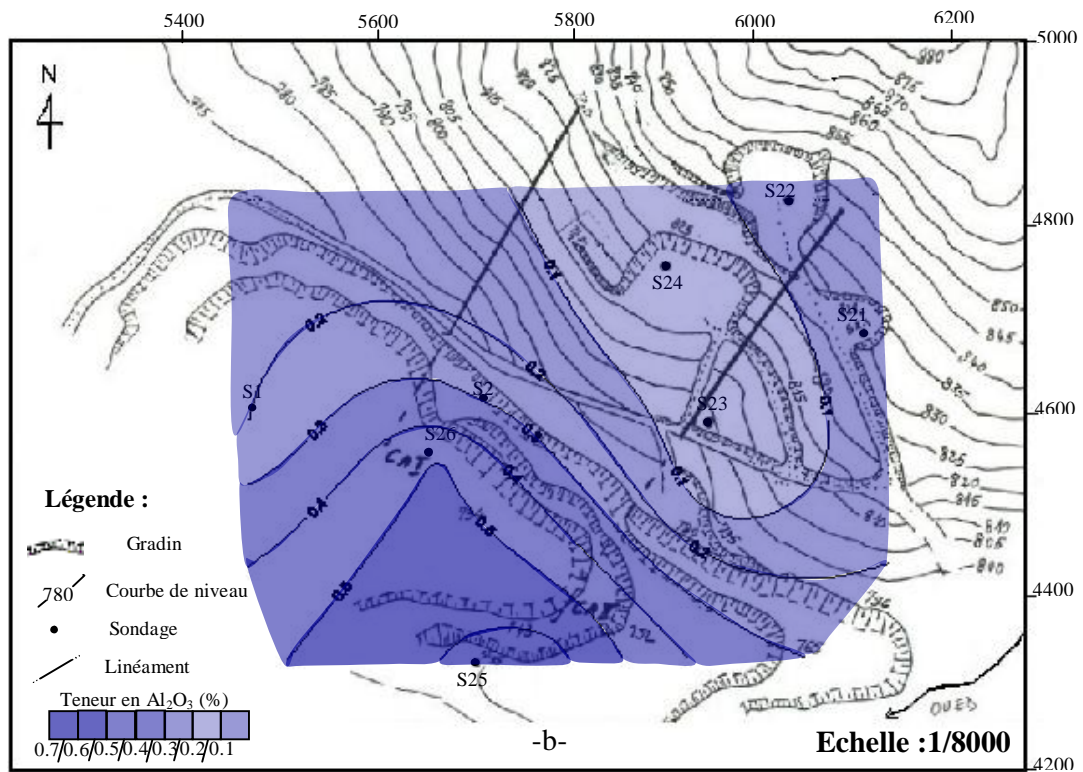
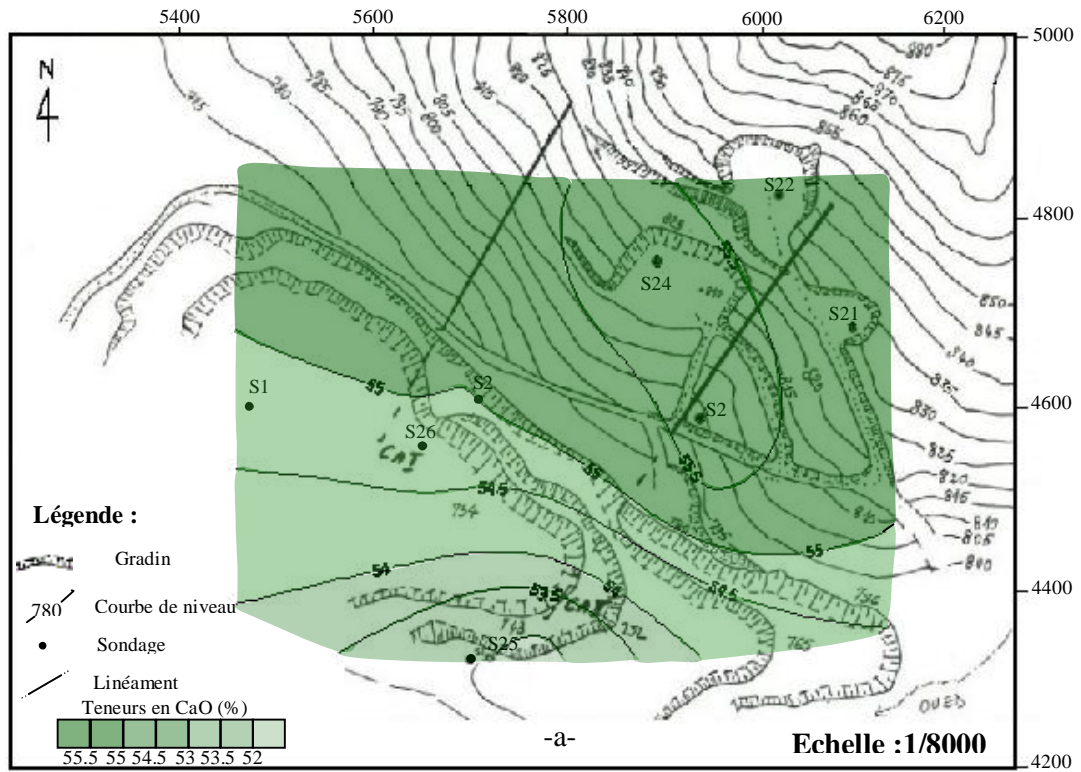


Fig.41 : Cartes d'isoteneur en CaO (-a-) et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-b-)



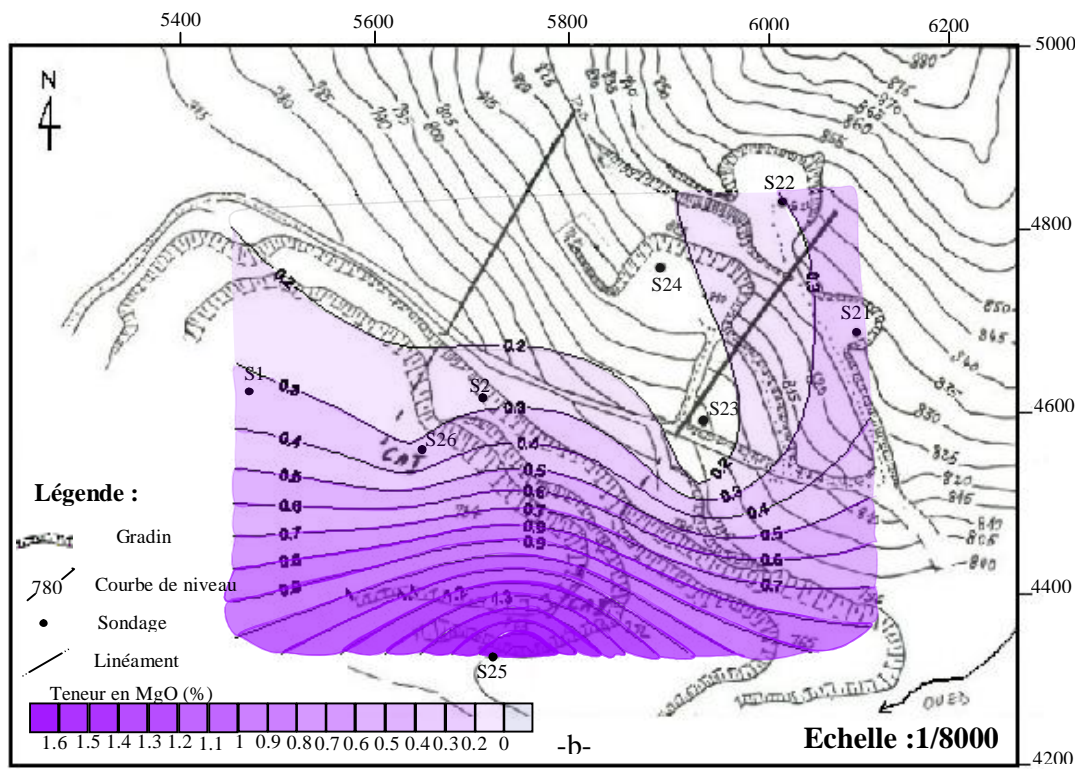
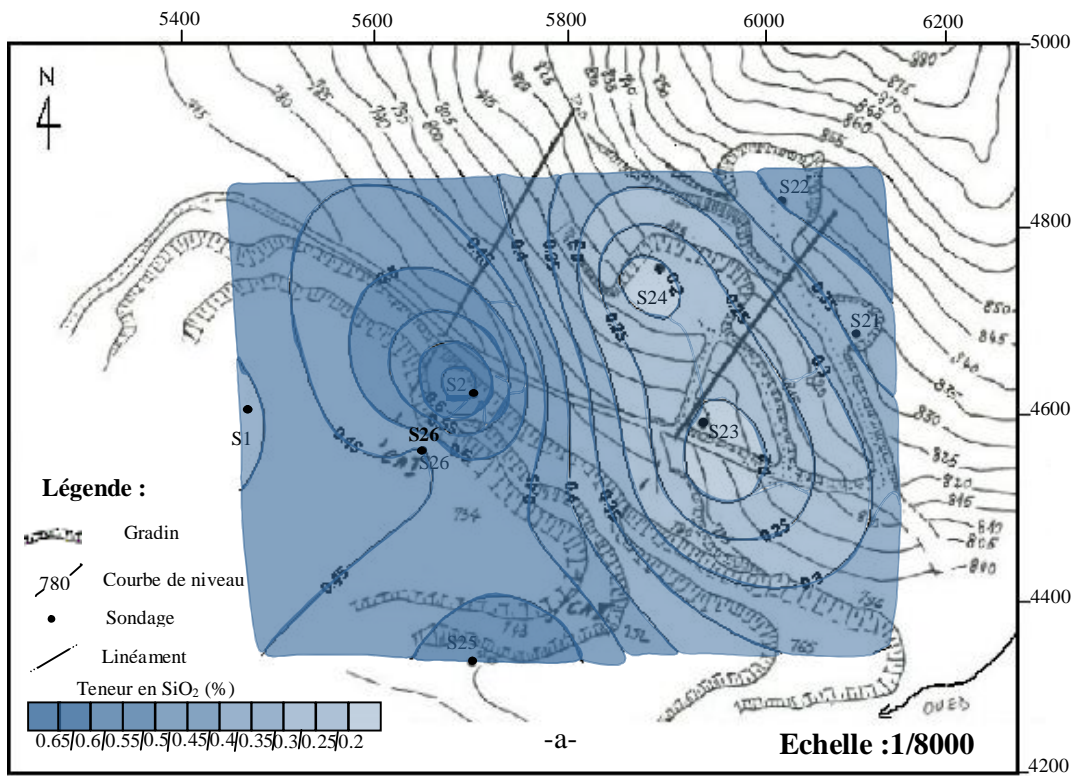


Fig.42 : Cartes d'isoteneur en SiO<sub>2</sub> (-a-) et MgO (-b-)

## **D-Qualité ou propreté de la roche dans le gisement d'El Khroub**

### **1-Test de blancheur :**

La blancheur se définit comme étant le rapport exprimé en pourcentage de la radiation réfléchi par un corps sur celui réfléchi par un diffuseur contrôle réfléchissant parfaitement à une longueur d'onde effective de 470nm avec un photomètre à photo-électrique Carl Zeiss (Elrepho).

### **1-1-Préparation de l'échantillon et de la surface d'essai :**

#### **1-1-1-Le broyage et séchage de la matière :**

La roche calcaire est concassée puis broyer dans un broyeur de laboratoire (de 200 mm Chisty - Narris) équipé d'un adapter spatial et d'un tamis de broyage d'ouverture 0.6mm.

La matière broyée est séchée dans une étuve maintenue à  $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$  munie d'un thermomètre.

#### **1-1-2-Préparation de la surface d'essai :**

La préparation de la surface d'essai passe par les étapes suivantes :

1. Nettoyage du carreau du diffuseur au tétrachlorure de carbone.
2. Placer l'anneau de cuivre sur un carreau.
3. Remplir un cylindre avec le pigment broyé et niveler la surface avec la spatule.
4. Abaisser le piston dans le cylindre jusqu'à ce qu'il repose sur le pigment.
5. Ajuster la position du carreau de façon que l'ergot du levier de la presse s'engage dans la partie centrale du piston exerçant ainsi une pression de  $1.2 < \text{Kg/m}^2$  à la tête du piston.
6. Maintenir la pression pendant 20 secondes.
7. Soulever le levier et retirer le piston.
8. Retirer l'anneau enfoncer dans la surface d'essai.

#### **1-1-3-Mesure de la blancheur :**

1. Régler l'instrument selon les instructions du constructeur.
2. Sélectionner le filtre R457.
3. Placer le témoin de travail devant la fenêtre.
4. Régler le tambour gradué à la valeur assigné au témoin.
5. régler le compteur sur le neutre du contrôle de carole optique.
6. Remplacer le témoin par la surface d'essai.
7. Régler à nouveau l'instrument entourant le tambour gradué
8. Noter la graduation du tambour.

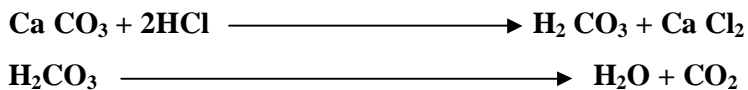
### **1-2-Expression des résultats :**

La blancheur s'exprime comme étant la réflectance en pourcentage à une longueur d'onde de 457nm et se note comme elle est lue sur l'instrument.

### **2-Test de calcimétrie :**

#### **2-1-Principe de la calcimétrie :**

On attaque la calcite par l'acide chlorhydrique,  $\text{CaCO}_3$  se décompose dans l'acide suivant la réaction suivante :



On mesure donc le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé et on pourra en réduire la teneur en  $\text{CaCO}_3$  sachant que 1 g de  $\text{CaCO}_3$  pur donne  $224 \text{ cm}^3$  de  $\text{CO}_2$ .

### **2-2-Préparation du sédiment :**

#### **2-2-1-Broyage :**

La roche est concassée puis broyée très finement dans un broyeur-mixeur. On obtient une poudre très fine (farineuse) qui facilite l'action du HCl sur les particules dispersées de  $\text{CaCO}_3$ .

#### **2-2-2-Séchage :**

0.5 g du sédiment broyé est versé dans une plaquette de verre puis mis dans l'étuve pour séchage.

#### **2-2-3-Appareil utilisé :**

L'Appareil utilisé est un calcimètre constitué d'un tube gradué vertical fixé à une planchette. Son extrémité inférieure est reliée à une ampoule par un tuyau de caoutchouc souple. Le tuyau et l'ampoule sont remplis par une solution d'eau déminéralisée saturée en NaCl et colorée par quelque mg de vert de méthylène.

A l'équilibre, le niveau du liquide dans l'ampoule et dans le tube, se situe au –dessous de la première division du tube gradué.

La partie supérieure du tube est reliée par un autre tuyau de caoutchouc souple à un erlenmeyer de 100cc dans lequel s'effectuera la réaction du HCl sur le  $\text{Ca CO}_3$

### **2-3-Mesures et manipulations :**

1. Peser dans un erlenmeyer de 100cc 0.5g de poudre avec une balance de précision (balance Mettler).
2. Vérifier que la poudre s'est totalement déposée sur la fond du l'erenmeyer.
3. Remplir un petit tube d'essai avec HCl 30% à l'aide d'une pipette.
4. A l'aide d'une pince plastique, placer délicatement le tube dans l'erenmeyer.
5. Placer l'erenmeyer devant le calcimètre et le bouché avec le bouchon relié au tube gradué. Après agitation de l'erenmeyer , il se produit une légère surpression dans celui-ci qui induit un décalage des niveaux du liquide dans le tube gradué.
6. La mémé opération doit s'effectuer pour une poudre de calcaire chimique pour le prendre comme étalon et calculer la calcimétrie de l'échantillon suivant la formule suivante :

$$C\% = \frac{C\%(mes) \times 100}{C\%(Cal .chi)}$$

C%(mes) : calcimétrie mesuré de l'échantillon.

C%(Cal.chi) : calcimétrie mesuré du calcaire chimique pur.

C% : calcimétrie de l'échantillon.

### **3-Interprétation des résultats de calcimétrie et de blancheur au niveau du gisement d'El Khroub :**

Au niveau du gisement d'El Khroub, on a effectués 36 mesures de calcimétrie et de blancheur sur des échantillons pris sur le terrain d'étude dans les différents types de calcaires en se basant surtout sur leur couleur et aussi leur teneur en CaO.

Les mesures ont été faites au le laboratoire de la carrière Géante d'El Khroub (ENG).

Les résultats ont été traités par le logiciel Surfer avec la méthode Kréagage. Ils ont aboutis à la réalisation des cartes 1, 2 (Fig.43).

La figure 44 montre qu'il existe une certaine proportionnalité entre la calcimétrie et la blancheur ( la blancheur est directement proportionnelle à la calcimétrie).

Ces cartes montrent que les parties situées au SW et NE du gisement présentent des valeurs de calcimétrie et de blancheur faibles par rapport à celles des parties situées au NW .Ce ci est peut être lié à la présence des fractures à colmatage ferrugineux ou à la nature texturale des calcaires exploités (contrôle sédimentaire et diagénétique).

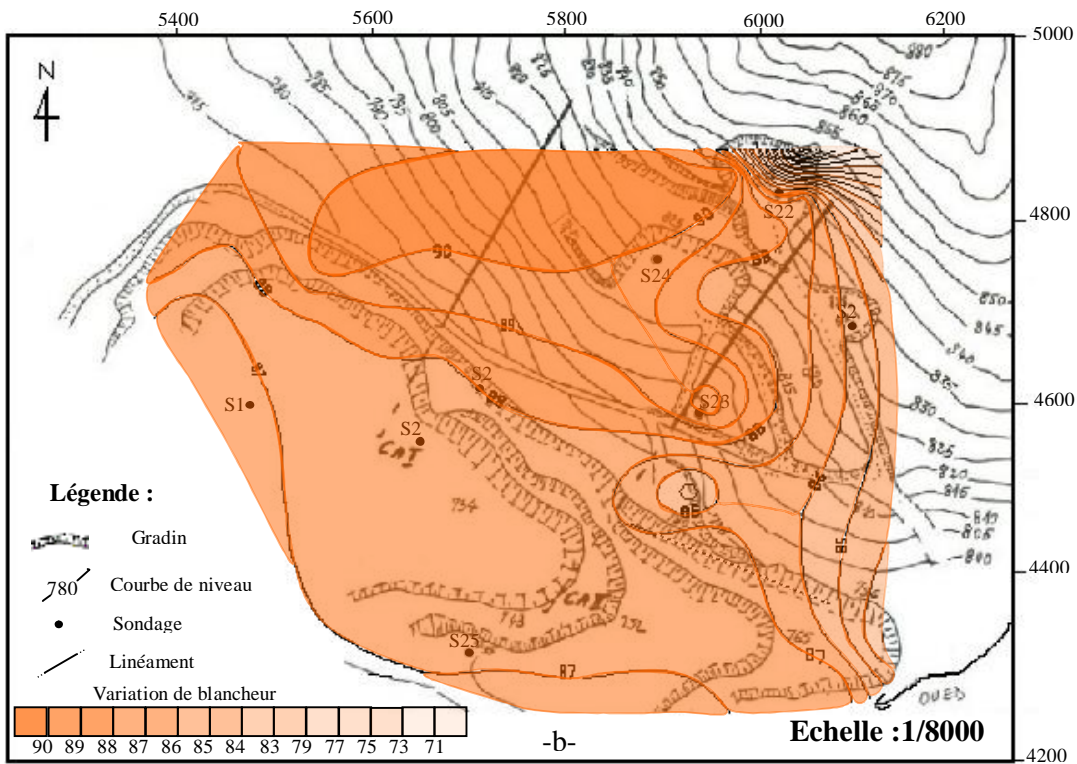
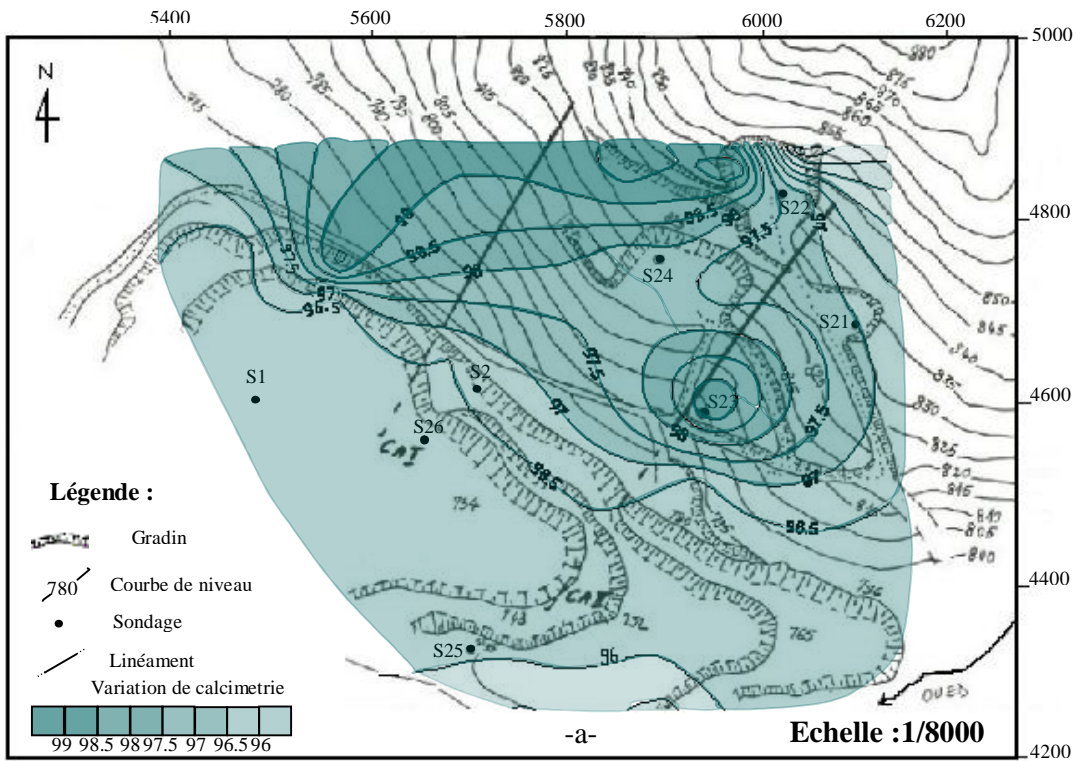


Fig.43 : Cartes d'isocalcimetrie (-a-) et d'isoblancheur (-b-)

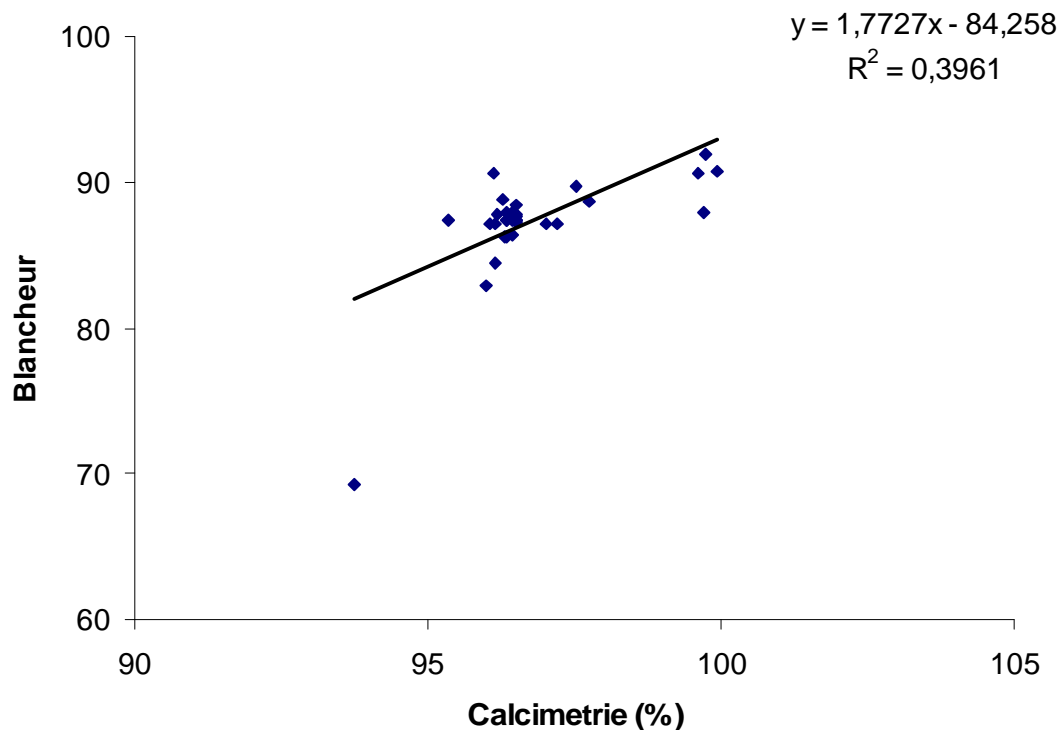


Fig.44 : Relation calcimétrie-blanchéur

#### **4-La diffractométrie des rayons X :**

##### **4-1-Méthodologie**

La diffractométrie des rayons X est une technique utilisée pour la détermination de la nature des éléments contenus dans la roche totale. Cette technique est basée sur la diffusion d'un faisceau de rayon x monochromatique par les plans réticulaires des cristaux contenus dans l'échantillon, selon la loi de Bragg (Fig.46).

##### **4-2-Préparation de l'échantillon :**

###### **4-2-1-Brovage :**

La roche est broyée après concassage pour obtenir une poudre à la granulométrie optique (20 à 40  $\mu$  environ).

#### **4-2-2-Analyse :**

Les poudres orientées sont soumises à un faisceau de rayons monochromatique selon la loi de Bragg :

$$\lambda=2 d \sin \theta$$

- Radiation du cuivre ( $\lambda=1.5418\text{\AA}$ ).
- Monochromateur arrière courbe en graphite.
- Haute tension 30KV et 20mA
- Fentes de divergence automatique (ADS).
- Fente de diffusion  $1^\circ$ .
- Fente de réception 0.2mm.

#### **4-3-Les résultats :**

Les résultats de mesure obtenus se présentent sous forme de diffractogrammes (Graphe1,2,3) pour chaque échantillon traité.

Les diffractogrammes sont traités en suite par deux logiciels, le WinFit qui filtre les diffractogrammes et ne garde que les pics qui caractérisent le contenu du sédiment.

Un deuxième logiciel est utilisé ,il s'agit du logiciel Origin qui met les valeurs de chaque pic qui est représenté par une valeur de  $2\theta$  .La valeur de d est obtenue par la loi de Bragg citée ci-dessus.

Les abaques (Selected powder diffraction data for minéral ,1974) sont utilisés pour l'interprétation des diffractogrammes obtenus ou on trouve les valeurs de d de chaque minéral.

#### **4-4-Interprétation :**

Après avoir calculé la valeur de d est aussi l'intensité de chaque pic, on a comparé les valeurs avec celles des abaques (Selected powder diffraction data for minéral ,1974), et on a constaté que la plus part des pics représentent la calcite (graphe 1, 2,3) avec la présence de l'Hématite et la silice surtout pour le troisième échantillon.

#### **5-La qualité du carbonate de calcium :**

La classification quantitative du carbonate de calcium a été faite sur la base de la fiche technique du  $\text{CaCO}_3$  commercialisé par la société Espagnole REVERTE -SA, dont les caractéristiques principales sont données dans le tableau suivant :

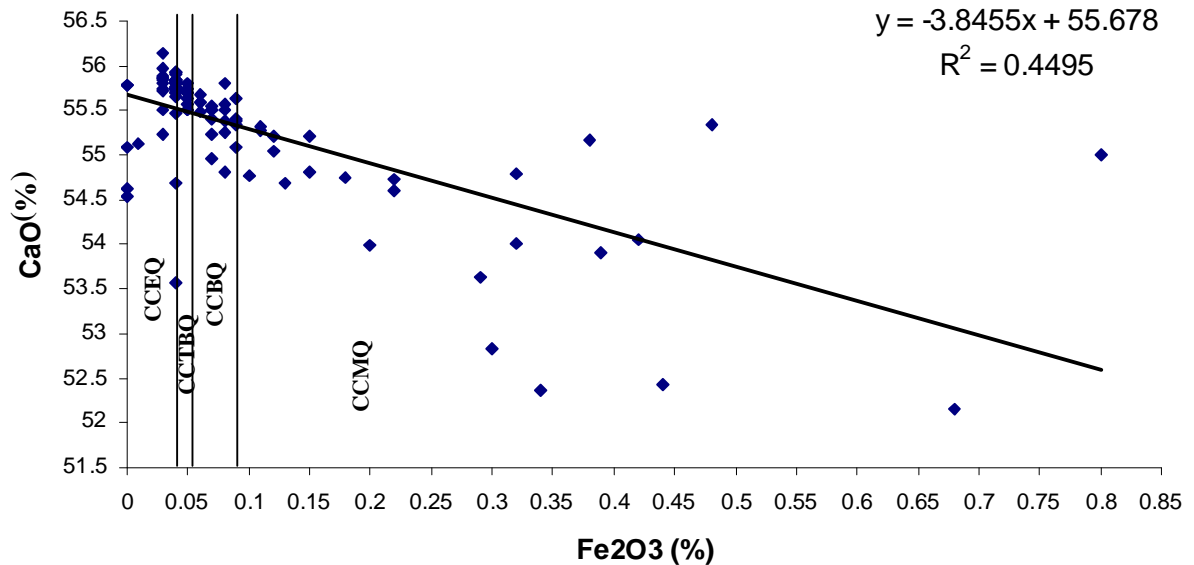


Non produit	CaCO3 (%)	Fe2O3 (%)	SiO2 (%)
CALFORT1	98.96	0.04	0.12

Elle a également été choisie sur la base de la valeur moyenne géométrique qui est proche de la valeur modale de la dispersion géochimique de l'élément colorant (Figure.)

Nous avons donc une répartition quantitative suivante :

- Teneur en Fe2O3  $\leq 0.04\%$  : Carbonate de calcium d'excellente qualité (CCEQ).
- $0.04\% \leq$  teneur en Fe2O3  $\leq 0.06\%$  : Carbonate de calcium de très bonne qualité (CCTBQ).
- $0.06\% \leq$  teneur en Fe2O3  $\leq 0.08\%$  : Carbonate de calcium de bonne qualité (CCBQ).
- Teneur en Fe2O3  $> 0.08\%$  : Carbonate de calcium de qualité moins bonne (CCMQ).

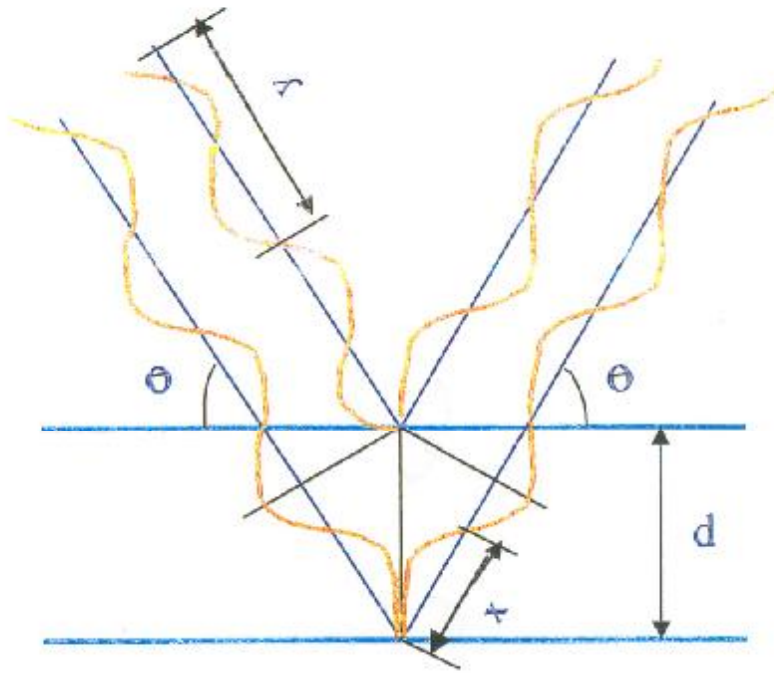


**Fig. 45** : relation teneur en CaO et teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Source RX

RX diffuses



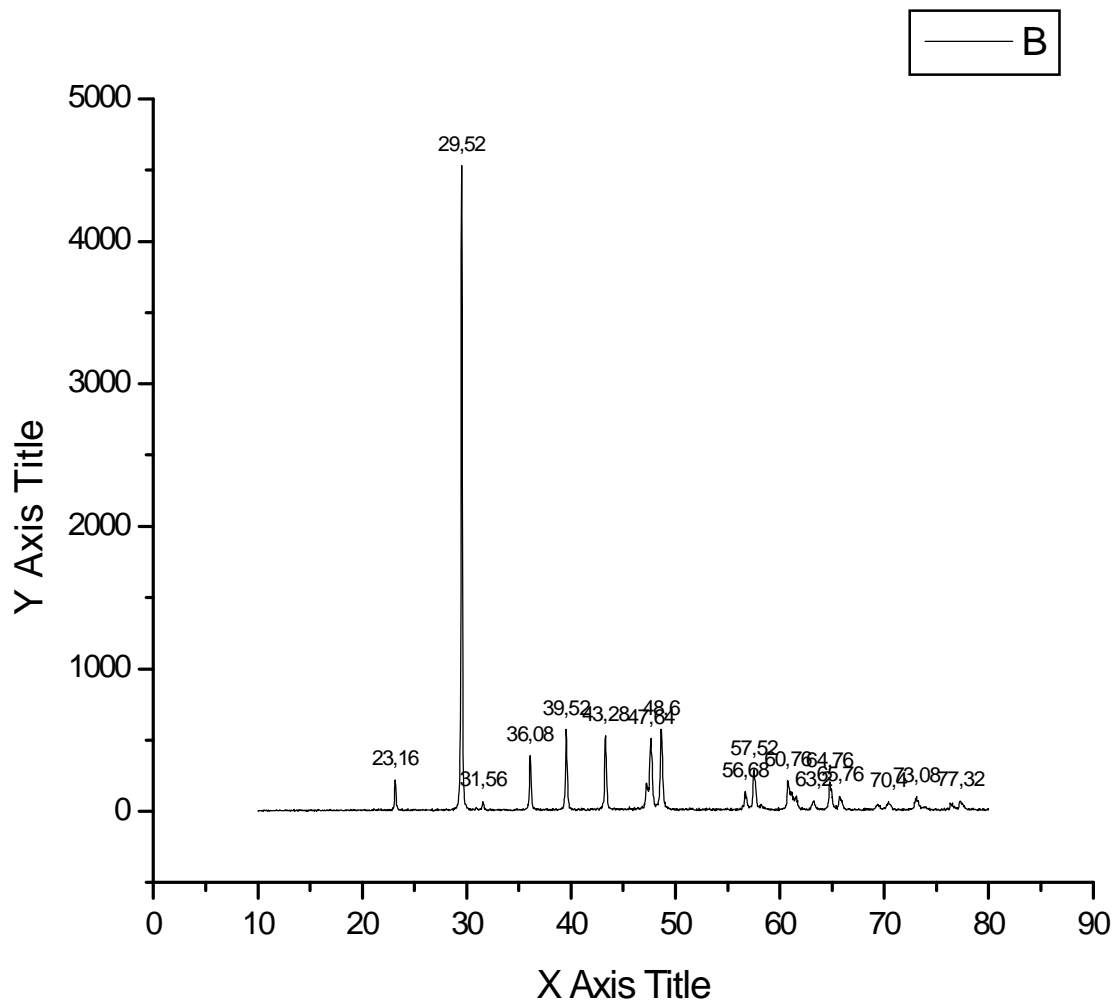
$$\lambda = 2d \sin \theta$$

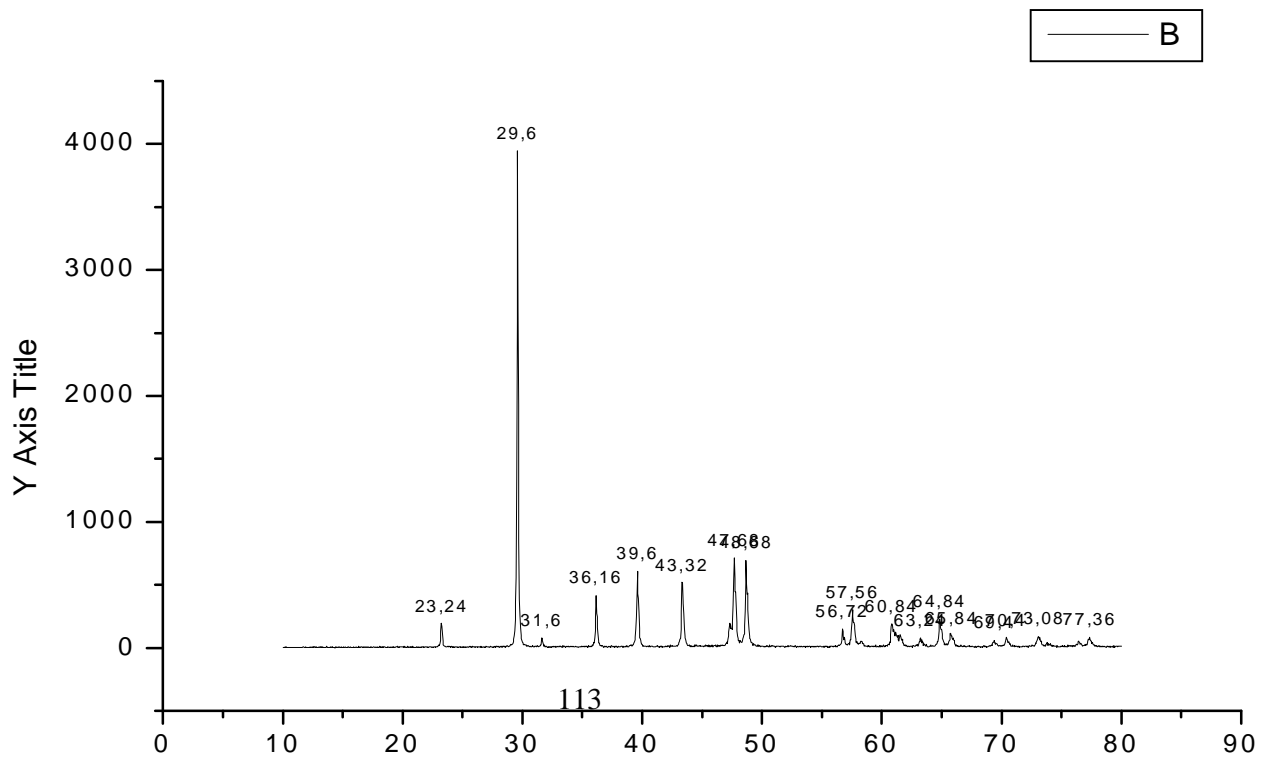
$\lambda$  est la longueur d'onde utilisée en anguchtrom

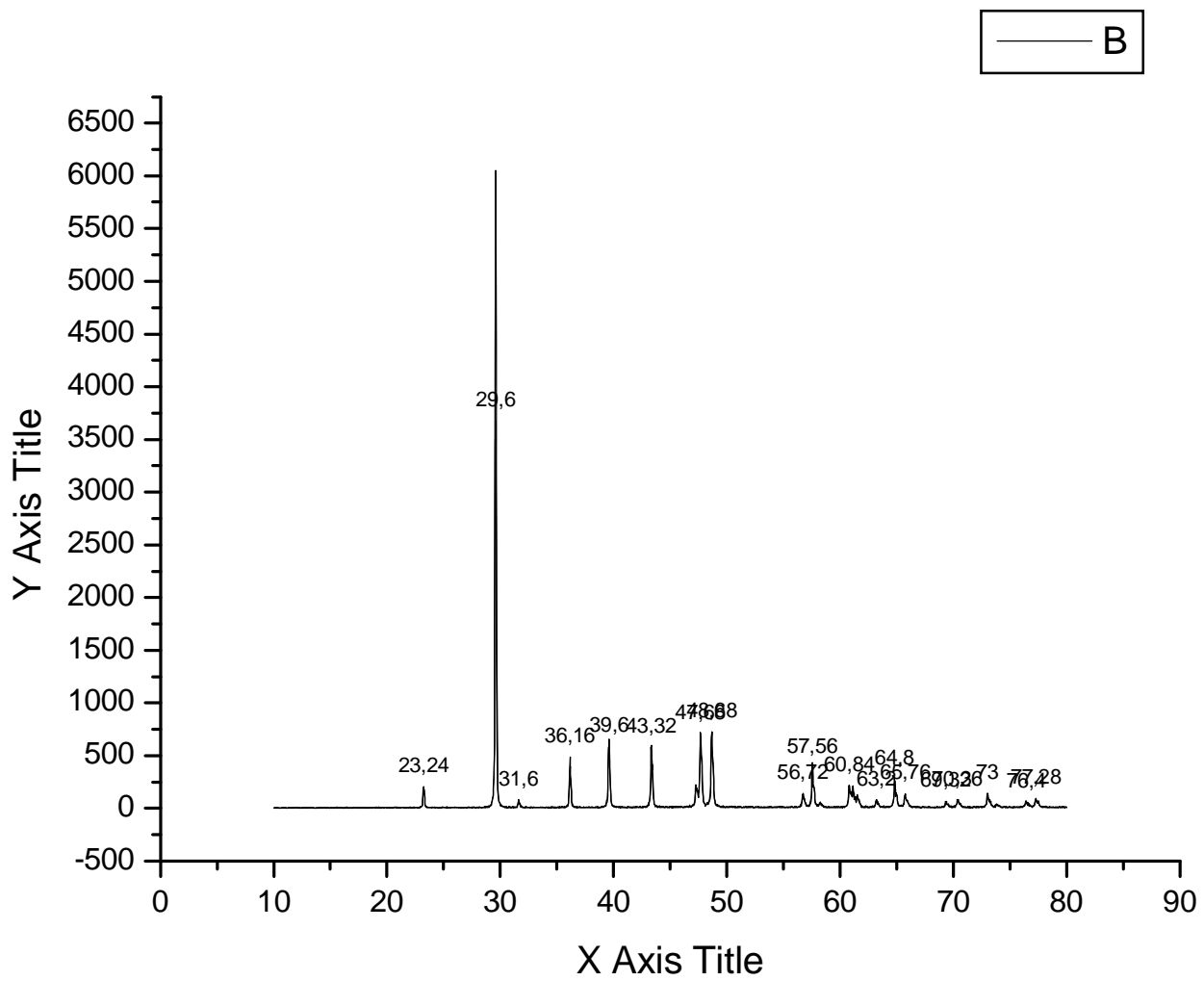
$d$  est la distance réticulaire en anguchtrom

$\theta$  est l'angle de diffraction en degrés

Fig.46 : Illustration de la loi de Bragg







## **VI- Conclusion :**

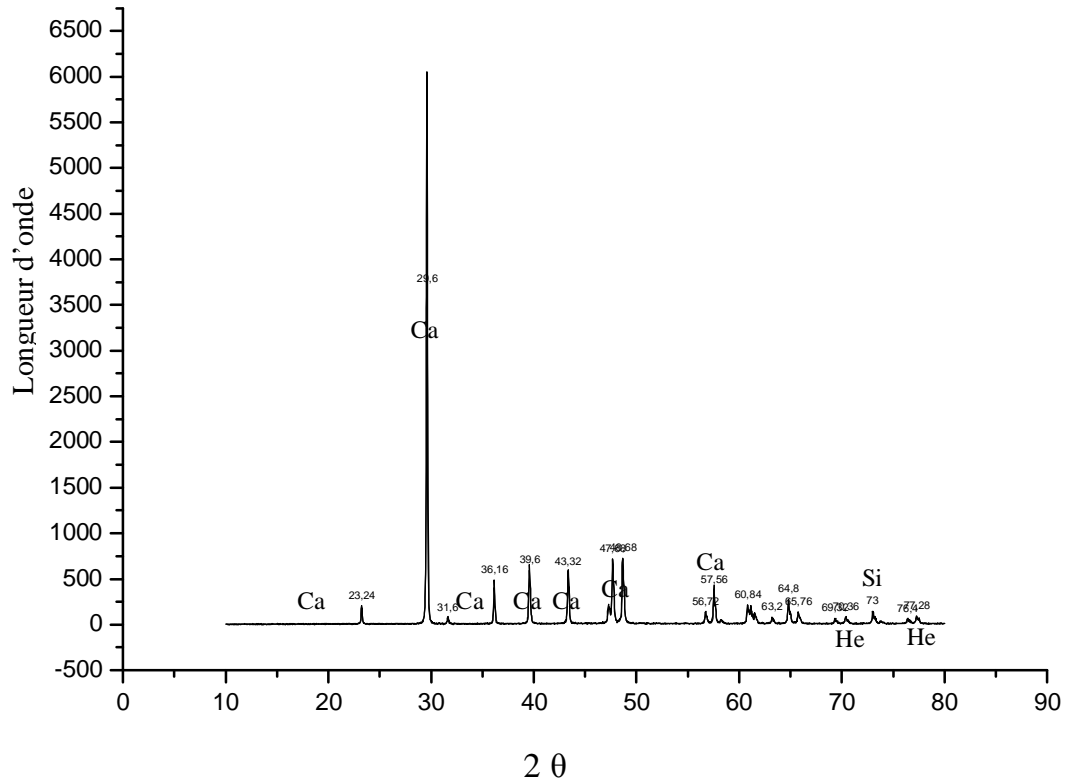
L'étude géochimique réalisée au niveau du gisement d'El Khroub (réalisée pour les éléments majeurs et les alcalins) a permis de connaître :

- La répartition des éléments chimiques en surface et en sub surface.
- La mise en évidence d'anomalies géochimiques en surface localisées au SW et NE du gisement, et en sub surface entre les côtes 760m et 810m.
- La relation entre concentration d'éléments chimiques et fracturation.

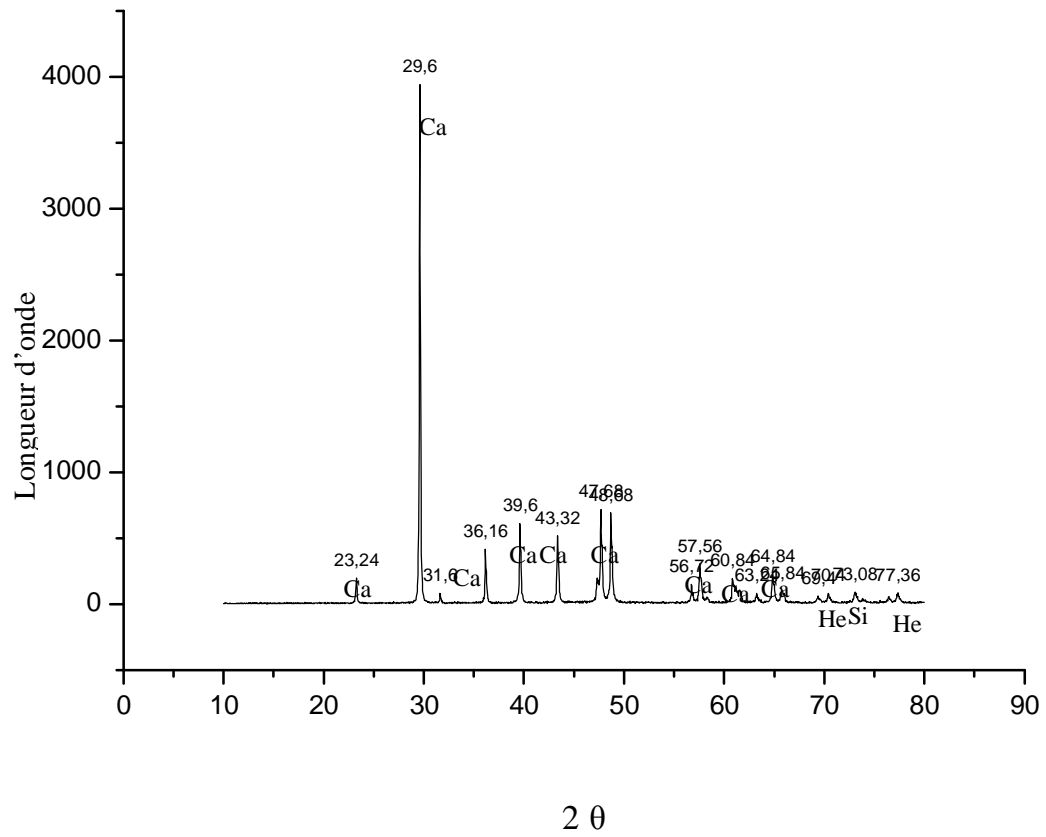
L'étude de la variabilité de la blancheur et de la calcimétrie en surface nous a permis aussi de connaître les zones les plus favorables à l'exploitation de la poudre de carbonate de calcium et les zones à granulats.

Grâce à la même étude une anomalie de blancheur et de calcimétrie est mise en évidence, elle est située au SE du gisement.

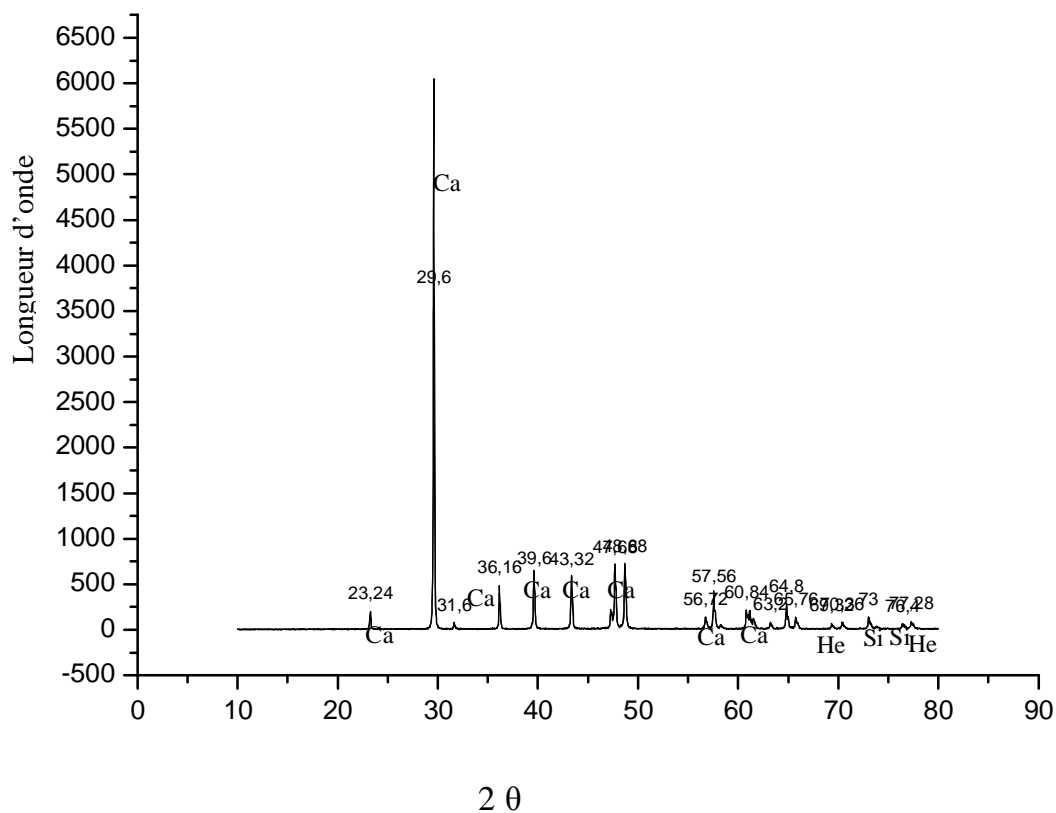
Enfin une valorisation du produit exploité au niveau du gisement d'El Khroub est bien établie grâce aux différentes zonations qui ont été faites sur des cartes d'iso-teneurs (tous les éléments majeurs) afin de guider l'exploitant vers les endroits les plus favorables à l'exploitation et donc à une bonne commercialisation du produit exploité.



2θ	θ	Sin θ	d	%	Mineral
23.16	11.58	0.2	3.84	5%	Calcite
29.52	14.76	0.254	3.026	100%	Calcite
39.52	19.76	0.338	2.228	13%	Calcite
56.68	28.34	0.474	1.624	2%	Calcite
70.4	35.2	0.576	1.337	1%	Hematite
73.08	36.54	0.595	1.294	2%	Silice
77.32	38.66	0.624	1.234	1%	Hematite



$2\theta$	$\theta$	$\sin \theta$	d	%	Mineral
23.24	11.62	0.201	3.827	5%	Calcite
29.6	14.8	0.225	3.018	100%	Calcite
39.6	19.8	0.338	2.276	17%	Calcite
63.24	31.62	0.524	1.470	1%	Calcite
70.4	35.2	0.576	1.337	2%	Hematite
73.08	36.54	0.595	1.294	2%	Silice
77.32	38.68	0.624	1.233	2%	Hematite



2θ	θ	Sin θ	d	%	Mineral
23.24	11.62	0.201	3.827	5%	Calcite
29.6	14.8	0.225	3.018	100%	Calcite
48.68	24.34	0.412	1.870	13%	Calcite
63.2	31.6	0.523	1.471	1%	Calcite
70.36	35.18	0.576	1.338	2%	Hematite
73	36.5	0.594	1.296	3%	Silice
76.4	38.2	0.618	1.246	1%	Silice
77.28	38.64	0.624	1.23	2%	Hematite



## **I- Analyse structurale et photo-interprétation :**

### **A- La tectonique de l'ensemble Oum Settas -Mazela :**

L'ensemble Oum settas –Mazela montre le mieux les effets de la tectonique crétacée (Fig.47). Cette dernière se manifeste dans la stratigraphie de l'ensemble Oum settas – Mazela par des variations de faciès et d'épaisseur et des lacunes sédimentaires à la fin du Crétacé inférieur, du Turonien et au sénonien.

L'étude des déformations affectant les massifs Oum settas –Mazela a permis de distinguer deux phases crétacées :

- ✚ Une distension N120° E Albo-cénomanienne.
- ✚ Une compression NS d'âge Sénonien.

### **1-La distension Albo-Cénomanienne: (Y.Aris, 1994)**

La direction de cette phase est N100°-120°E .Elle est associée à un système de failles normales à normales décrochantes extensives synsédimentaires N45°E et N60°E dominantes, antérieurs à la transgression Sénonienne.

Les failles N45°E et N60°E présentent deux mouvements différents, un normal lié à la tectonique extensive, puis inverse lié à la tectonique compressive.

Les jeux normaux sont les plus anciens, attestés par des brèches de failles synstectoniques constituée de blocs calcaires de l'Aptien supérieur.

La tectonique extensive synsédimentaire affecte les calcaires à glauconie de l'Albo-Cénomaniens qui se trouve scellés au SE et NE du Mazela par des conglomérats du Sénonien supérieur.

### **2-La compression N-S (Sénonienne) :**

Cette phase est caractérisée par la réactivation des failles N45°-60°E en décrochements senestres à composante inverse. Ces déformations d'origine compressive, associés aux pics stylolitiques mesurés dans les calcaires aptiens, traduisent un raccourcissement progressif selon la direction N-S. Cette phase est associée aussi à la mise en place de slumps au sommet du sénonien supérieur (Nord du massif de Mazela) caractérisés par des axes de déversements (N80°E, N60°E). L'accident Oum settas - Meimel est l'un des accidents majeurs (NE-SW) qui présente un jeu senestre et inverse dans son segment médian ,ou le tenseur défini, caractérise un régime compressif pur. L'étude du massif de l'Oum settas à permis de mettre en évidence une déformation plicative d'âge Cénomaniens à Maastrichtien .En effet le rejet vertical de l'accident Oum settas- Meimel au niveau du massif de l'Oum settas paraît en relation avec la phase ante-Sénonien ou un rejet important au Sénonien supérieur est mise en évidence.

J. M. Vila (1980) est arrivé à la même conclusion en remarquant que le massif de l'Oum settas est coupé en diagonale du NE au SW par un réseau de failles.

### **3-La phase compressive Eocène:**

Cet épisode est de direction N120°-140°E, il est associé à l'ensemble des déformations tectoniques postérieures au Lutétien et antérieur à l'Oligocène. Les déformations issues de cette phase sont peu marquées, ce qui est dû à l'absence des affleurements d'âge Eocène et des âges plus récents (Guellal et al, 1973).

Grâce aux mesures des microfailles et à l'analyse des directions des fentes de tension et des joints stylolitiques dans une station située au nord de l'anticlinal d'Ain El Hadjar, dans des calcaires argileux Sénoniens, deux directions de raccourcissements horizontaux sont mises en évidence :

- ✚ Un premier raccourcissement N-S à N30°E rattaché aux Plis et pli-failles N80°E. Ces structures sont affectées par des décrochements N150 E et N10 E respectivement dextres et senestres
- ✚ Un deuxième raccourcissement N 90°-110°E.

### **4-Les phases compressives Miocènes :**

La prise en compte des tenseurs de contraintes définis par l'étude microtectonique de la nappe numidienne et des formations Miocènes de l'avant pays, a permis de caractériser deux phases tectoniques distinctes :(Y.Aris, 1994)

#### **4-1-La phase compressive N 20°-30°E :(Miocène moyen –supérieur)**

Cet épisode compressif N20°- 30° E est représenté par des tenseurs associés à des états de contraintes de type compressif pur défini dans la nappe Numidienne. La compression au niveau de cette dernière est associée à des plis isopaques de direction N20°E. Cette phase est liée à la mise en place des nappes de charriage.

Dans les formations autochtones miocènes, les tenseurs de contraintes caractérisent un régime de type compressif décrochant. Ces tenseurs de contraintes sont en relation avec des mouvements senestres et dextres le long des accidents Meimel –Oum settas et d'El kentour.

#### **4-2-La phase compressive N 170°E du Miocène terminal :**

Selon J.M.Vila (1980), il s'agit bien de la phase tortonienne, qui est à l'origine d'un raccourcissement postérieur à la mise en place des nappes de charriage. Dans la région d'étude, les déformations rattachées à cette phase sont d'origine compressive et décrochante

La répartition des tenseurs de contraintes de type compressif décrochant a mis évidence le rejeu de certains accidents NE-SW, comme les accidents Meimel-Oum settas, El kentour et l'accident des sellaoua (Y.Aris, 1994).

Cette phase est représentée aussi par des tenseurs de contraintes de type compressif pur, associés a des plis N80°E et des failles inverses N60°-80°E qui affectent le contact de base de la nappe numidienne que les plis N120E antérieurs.

Cet épisode est rattaché à une compression Miocène car aucun tenseur d'origine compressif N170°E n'a été défini dans les formations Pliocènes et quaternaires.

### **5-Les phases plio-quaternaires:**

Les formations Plio-quaternaires continentales sont le plus souvent discordantes sur les formations marines, antérieures au Burdigalien supérieur, âge de la mise en place des nappes de charriage. Les structures cartographiques rattachées à cette tectonique sont représentées par des accidents NE-SW, N120° E et des plis N60°E à N80° E.

Les accidents NE-SW affectent indifféremment les nappes et les formations Plio-quaternaires. Ils délimitent en général des bassins et des fossés d'effondrement.

Les données cartographiques indiquent les effets cumulés de deux épisodes :

- ✚ Un épisode de distension (N140°E) associée à des failles normales cartographiques.
- ✚ Un épisode de compression (N 150°E) rattaché au plissement observé dans les calcaires lacustres.

Les résultats de l'étude microtectonique menée sur les formations lacustres du Plio-quaternaire aux environs de Constantine, permettent de préciser la chronologie des états de paléocontraintes associées aux à ces phases de déformations plio-quaternaire supposées.

#### **5-1-L'accident Meimel – Oum Settas :**

L'accident Meimel-Oum settas correspond à un ensemble de segments qui coïncide avec la réactivation des anciennes failles N50-75E que l'on peut suivre du massif de l'Oum settas au massif du Djebel Meimel. Il se prolonge vers la SW d'une manière discontinue jusqu'au massif de Djebel Rhenour.

Les déformations Plio-quaternaire sont accentuées au voisinage du segment central (segment du Djebel Tikbeb) où les mouvements sont matérialisés par la mise en relief du djebel Tikbeb.

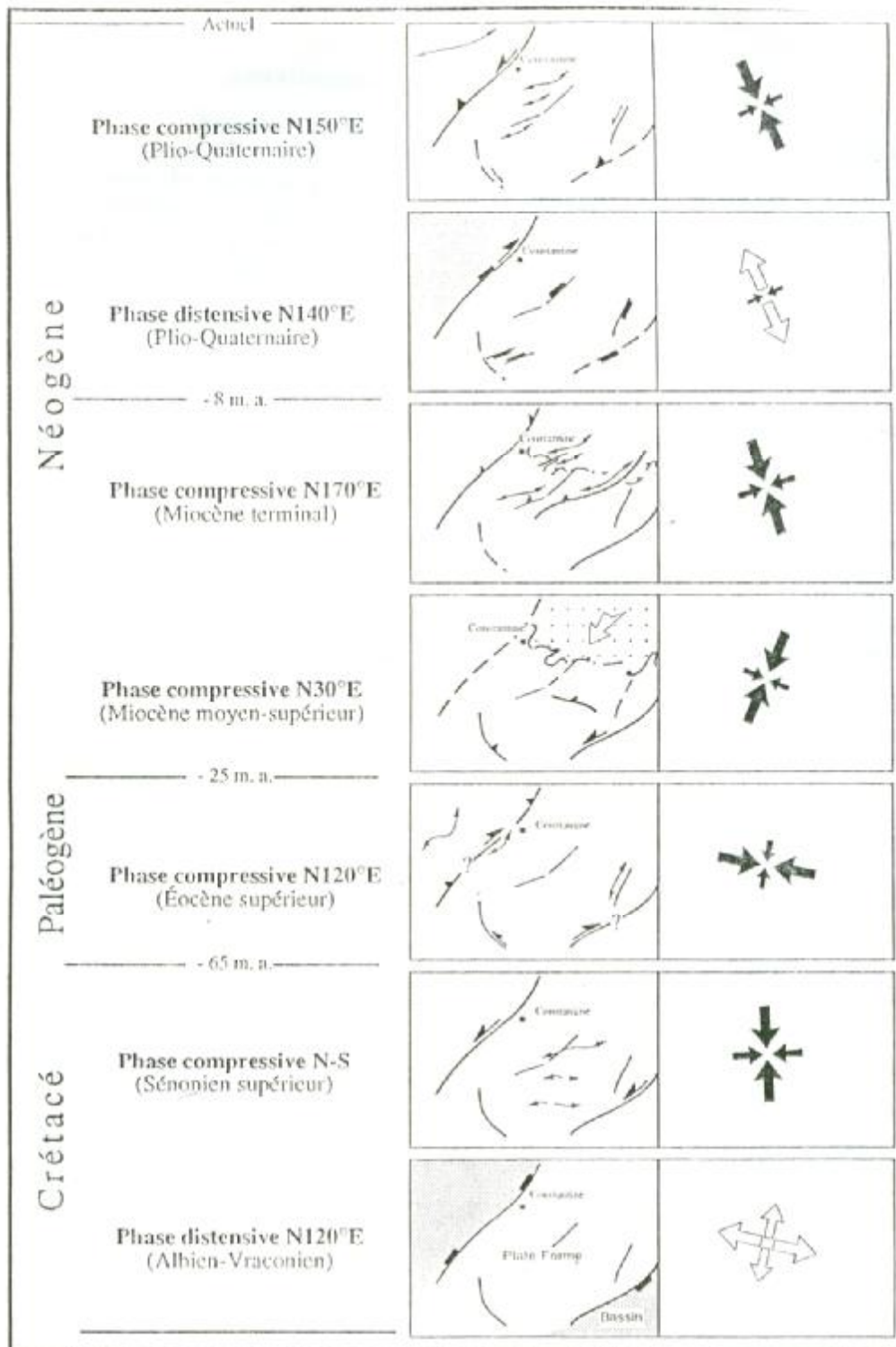


Fig.47 : Schéma récapitulatif synthétisant les différents phases tectoniques méso-cénozoïques, les états de paléocontraintes et les structures majeures associées.

Au voisinage du segment NE de cet accident les déformations Plio-quadernaires observées a l'Est d'Ain el Hadjar sont matérialisées par de faibles basculements des couches. Ce segment s'amortit progressivement au nord du massif de l'Oum settas dans les grés de la nappe numidienne et décale son front selon un décrochement senestre à faible rejet horizontal.

Au voisinage du segment central les déformations Plio-quadernaires rattachées a la compression N140E sont représentées par des structures compressives et décrochantes , il s'agit de plis N60-70E affectant les alluvions quadernaires et des calcaires conglomératiques qui sont probablement d'age Pliocène.

## **B-Etude photo-géologique :**

### **1-Présentation de l'étude :**

Après avoir évoqué les principales phases tectoniques qui ont affectées la région d'étude, nous allons présenter dans cette partie les caractéristiques de la déformation associée au phases tectoniques évoquées précédemment, et aussi de quantifier la fracturation pour connaître son impact sur la matière exploitée au niveau de la carrière d'El Khroub.

Le but de cette étude, consiste à établir une carte linéamentaire (fig.48 ) concernant le massif de l'Oum Settas et aussi une carte d'isofracturation concernant le gisement de la carrière géante (El Khroub).

Cette analyse a été faite sur la base du déchiffrement des photographies aériennes.

Les caractères fondamentaux utilisés pour le déchiffrement des ces photographies aériennes sont :

- Les formes du relief.
- Les photos tons.
- Les anomalies du réseau hydrographique.
- Arrêt brutal des couches géologiques.
- Coulissage et déformation des niveaux de couches horizons.

Les documents utilisés pour la réalisation de ce travail sont les suivants :

#### **1-1-Cartes topographiques :**

- Feuille d'El Khroub N°97, Echelle : 1/50 000.
- Feuille d'El Aria N°74, Echelle : 1/50 000.
- Feuille d'El khroub N° 1, 2, Echelle : 1/25 000.
- Feuille d'El Aria N°7, 8, Echelle : 1/25 000.

#### **1-2-Cartes géologiques :**

- Carte géologique de Constantine (1977), Echelle 1/200 000.
- Carte géologique d'El khroub (1957), Echelle 1/50 000.

- Carte géologique d'El Aria (1962), Echelle : 1/50 000.

### **1-3-Photographies aériennes :**

- Boîte N° 97 (El Khroub)- mission 1972, Echelle : 1/20 000.

Photos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9.

Photos N° 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 et 28.

- Trois photographies aériennes d'El Khroub – mission 1988, Echelle : 1/20 000.

Photo N°354, 355, 356.

## **2-Méthode d'étude :**

### **2-1-Carte linéamentaire :**

Cette étude consiste à relever tous les alignements et les éléments structuraux détectés sur les photographies aériennes à une échelle : 1/20 000 sans préjuger sur leur signification géologique.

Pour cette étude nous avons suivies les étapes suivantes :

- Déchiffrement des structures linéaires ou curvilignes et reproduction sur le papier transparent.
- Affectation d'un numéro à chaque structure linéaire détectée.
- Classement statistique des structures selon des intervalles de 10°, en dix huit (18) classes.
- Mesure des longueurs cumulées des linéaments.
- Calcul de la fréquence pour chaque intervalle.
- Calcul de la longueur cumulée pour chaque classe.

Le résultat est représenté graphiquement sous forme de rosaces de fréquences et de longueurs cumulées.

### **2-2-Carte d'isofracturation :**

En ce qui concerne l'établissement de cette carte, les étapes à suivre sont :

- Le Choix d'une maille élémentaire, régulière.
- Le quadrillage de la carte linéamentaire selon la maille choisie.
- Le déchiffrement des fractures pour chaque maille.
- L'établissement de la carte d'isofracturation.

Ces résultats sont commentés et interprétés du point de vue structural et économique. Cette méthodologie nous a permis de préciser l'importance des fractures, surtout ouvertes, dans l'exploitation de la carrière d'El Khroub.

Il est à noter que le traitement numérique des données linéamentaires et l'établissement de la carte d'isofracturation sont effectués respectivement avec les logiciels : Excel, Surfer.

### **3- Résultats et analyses :**

Les rosaces établies pour l'ensemble Oum-Settas –Mazela, le massif d'Oum Settas ainsi que la carte d'isodensité du gisement d'El Khroub nous ont permis de quantifier la fracturation afin de connaître les zones potentiellement exploitables.

La quantification de la fracturation et son influence sur le terrain d'étude peut être d'un grand secours lors de l'exploitation, car elle permet au gérant de la carrière de mieux appréhender les techniques d'abattage du produit ainsi que sa qualité.

En ce qui concerne la poudre de carbonates de calcium, la fracturation est son colmatage (surtout les fractures colmatées par les oxydes) présentent un effet négative sur sa qualité du produit ainsi que sur sa commercialisation.

Pour cette raison trois rosaces ont été établies :

- Une rosace pour l'ensemble Oum Settas –Mazela.
- Une autre pour le Massif de l'Oum Settas.
- Et une troisième pour les deux blocs distincts du massif de l'Oum Settas.

### **3-1-Les rosaces directionnelles et de longueur cumulées :**

#### **3-1-1-Ensemble Oum Settas –Mazela : (Tab .14)**

Cette rosace présente les fréquences des directions et leur longueur cumulée pour l'ensemble Oum Settas –Mazela (Fig.49) , la partie Sud-West de la nappe numidienne et aussi le flanc Nord du Massif d'Ain El Hadjar.

Trois directions significatives sont mises en évidence :

- La direction NS.
- La direction NE-SW.
- La direction NW-SE.

#### **3-1-1-1-La direction NS : Sub méridienne (N0° -N 20°E)**

On constate que cette direction est bien présentée sur la carte linéamentaire surtout sur les limites Est et West du massif de l'oum Settas (Planche I, Photo.2 et Photo.6).

Leur cinématique est généralement normales à décrochante (décrochement dextre et senestre).

Elle s'observe aussi au N-E du massif de Mazela et sur la partie Est du massif de Mazela El Cherguia.

Cette direction affecte aussi les formations Plio –quaternaires, ce ci peut être expliqué par une activité tectonique récente. Cette direction montre des longueurs cumulées très importantes.

### **3-1-1-2-La direction NE-SW :(N30°E – N60°E)**

On remarque que ces directions montrent une longueur cumulée importante. Ces directions sont localisées sur la partie Est du massif de l'Oum Settas .Elles s'observe aussi au niveau du Massif de Mazela et Mazela Echerguia.

La cinématique de ces linéaments est généralement décrochante (décrochements dextres et senestres).

### **3-1-1-3-La direction NW-SE :(N120°E –N160°E)**

La dernière famille est représentée par la direction NW-SE. Les linéaments de cette direction sont rencontrés sur la partie Ouest du massif de l'Oum Settas et aussi sur son flanc S-E (Planche II, Photo. 3 et Photo.6)

La même direction est observée au niveau du massif de Mazela (Partie N-E) et le massif de Mazela Echerguia (Partie West). Les longueurs cumulées de cette direction sont généralement moyennes. La cinématique de cette direction est inverse à décrochante.

Direction	Fréquence	Longueur cumulée (cm)
]0-10]	80	132.5
]10-20]	84	118.7
]20-30]	53	92.9
]30-40]	64	113.1
]30-40]	62	108
]50-60]	58	125.7
]60-70]	32	58.6
]70-80]	25	64.6
]80-90]	12	33.3
]90-100]	16	15.6
]100-110]	9	16.8
]110-120]	10	19.1
]120-130]	34	45.3
]130-140]	36	62.8
]140-150]	32	79
]150-160]	31	55.4
]160-170]	17	34.9
]170-180]	15	13.6
Total	670	1190.1

**Tableau 16:** tableau des fréquences et des longueurs cumulées de l'ensemble Oum Settas –Mazela.



### **3-1-1-4-La direction E-W :**

Malgré la faible fréquence de cette direction et sa faible longueur, elle est très importante (Planche II, Photo.5). Car elle délimite le massif de l'Oum Settas sur sa partie Sud-Est ainsi que le massif de Mazela et Mazela Echerguia.

La structuration du massif de l'Oum Settas en diagonales par les direction E-W, NE-SW et aussi N-S en est la preuve. J.M.Vila (1980) est arrivé à la même conclusion, en remarquant que le massif de l'Oum Settas est coupé en diagonales du NE au SW par un réseau de failles.

Direction	Fréquence	Longueur cumulée (cm)
]0-10]	40	72.1
]10-20]	45	58.8
]20-30]	34	50.7
]30-40]	48	88.9
]40-50]	53	92.6
]50-60]	53	111.6
]60-70]	30	52.9
]70-80]	20	45.9
]80-90]	8	20.6
]90-100]	14	12.1
]100-110]	7	13.7
]110-120]	8	16.1
]120-130]	24	34.6
]130-140]	18	40.8
]140-150]	22	46.2
]150-160]	22	33.3
]160-170]	4	20
]170-180]	4	5.2
Total	457	816.1

**Tableau .17 :** Tableau des fréquences et des longueurs cumulées du massif de l'Oum settas.

### **3-1-2-Le massif de L'Oum Settas :(Tab.15)**

La carte linéamentaire établie nous a permis de constater que le massif de l'Oum Settas est compartimenté en 2 blocs : un bloc Est et un autre West.

La fracturation est très prononcée au niveau de ce massif avec des longueurs cumulées généralement importantes.

Direction	Fréquence (bloc West)	Fréquence ( bloc Est)
]0-10]	26	14
]10-20]	16	29
]20-30]	7	27
]30-40]	9	39
]40-50]	10	43
]50-60]	10	43
]60-70]	7	23
]70-80]	5	15
]80-90]	2	6
]90-100]	6	8
]100-110]	1	6
]110-120]	3	5
]120-130]	5	21
]130-140]	2	16
]140-150]	9	13
]150-160]	7	15
]160-170]	3	4
]170-180]	3	1
Total	133	328

**Tableau 18** : Tableau des fréquences des deux blocs du massif de l’Oum Settas

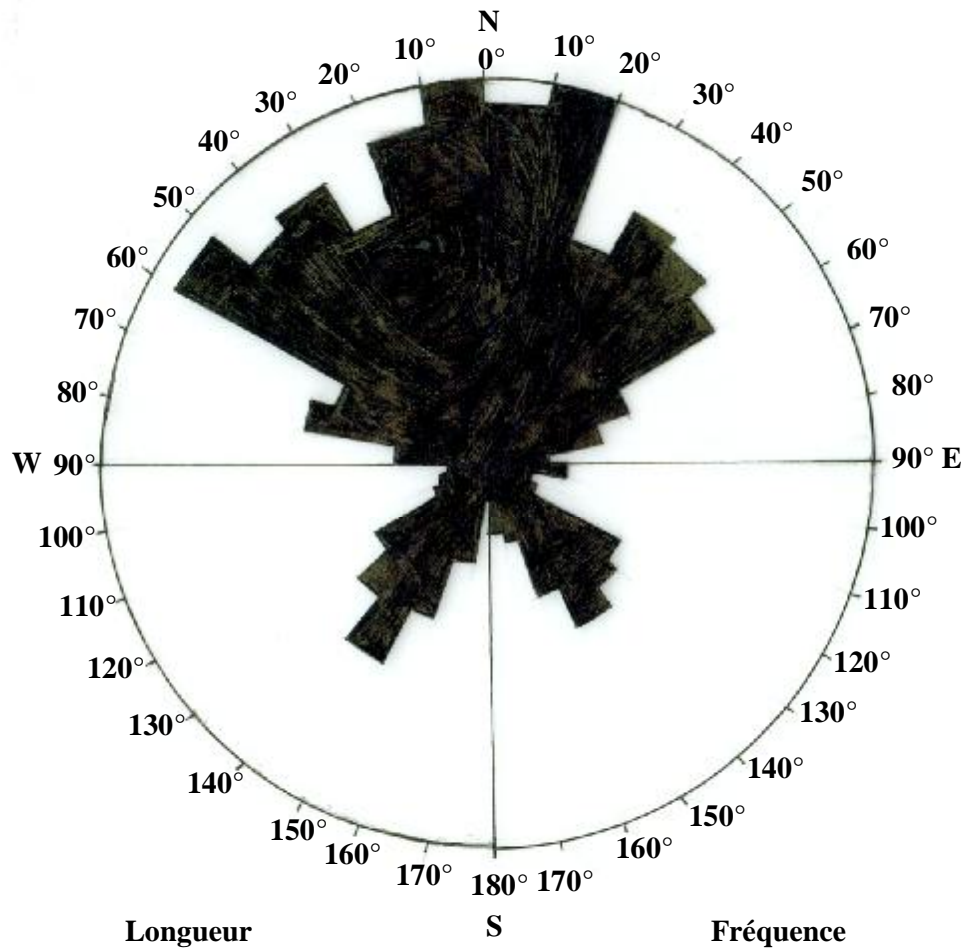
### **3-1-2-1-Le bloc West :**

Ce bloc occupe la partie occidentale du massif de l’Oum Settas .Il est séparé du deuxième bloc par l’accident régional Meimel –Oum Settas.

Le bloc West est essentiellement affecté par des accidents de direction N-S et NNE-SSW. Il est faiblement karstifié, avec quelques formes karstiques observées vers le NE de ce bloc en s’approchant du grand accident Meimel –Oum Settas.

Les formations carbonatées de ce bloc ont généralement un âge qui va du Barrémien au Sénonien Supérieur avec l’absence du Turonien et du Sénonien inférieur.

La rosace de fréquence établie pour ce bloc (fig.50, 51) indique une forte concentration de la direction NS à NNE- SSW affectant surtout sa partie West et aussi Sud (Fig.52) (gisement d’El Khroub).



**Fig.49 : Rosace directionnelle et de longueur  
L'ensemble Oum Settas -Mazela**

La deuxième direction affectant ce bloc est la NE-SW observé en s'approchant du grand accident Meimel- Oum-Settas. La longueur de ces linéaments est très importante.

La dernière direction est la NW-SE observée surtout au nord de ce bloc avec des longueurs moyennes à faibles.

### **3-1-2-2-Le bloc Est :**

Il occupe la partie Est du djebel Oum Settas. Sa partie Est est compartimentée en 2 Sous blocs par une vallée (Chaabet Dekrata) qui suit un accident probable NE-SW.

Le sous bloc SE est très Karstifié, par contre le sous bloc NE, il est affecté par des effondrement spectaculaires qui témoignent de la sismicité active de la région. La karstification est aussi observée au niveau de ce bloc (dolines) ; mais à un degré moindre.

Les formations carbonatées caractérisant ce bloc ont généralement des âges distincts qui vont de l'Aptien au Sénonien supérieur.

La rosace établie pour ce bloc (Fig. 50, 51) montre une direction préférentielle NE-SW présente, on la rencontre surtout sur sa partie NE et West au environs de l'accident Meimel –Oum Settas. Les fréquences et les longueurs cumulées de cette direction sont très importantes.

Une direction E-W est observée au Sud de ce bloc. Elle est représentée par un grand décrochement dextre qui passe progressivement vers l'Est à une direction NE-SW.

### **3-1-3-Interprétation :**

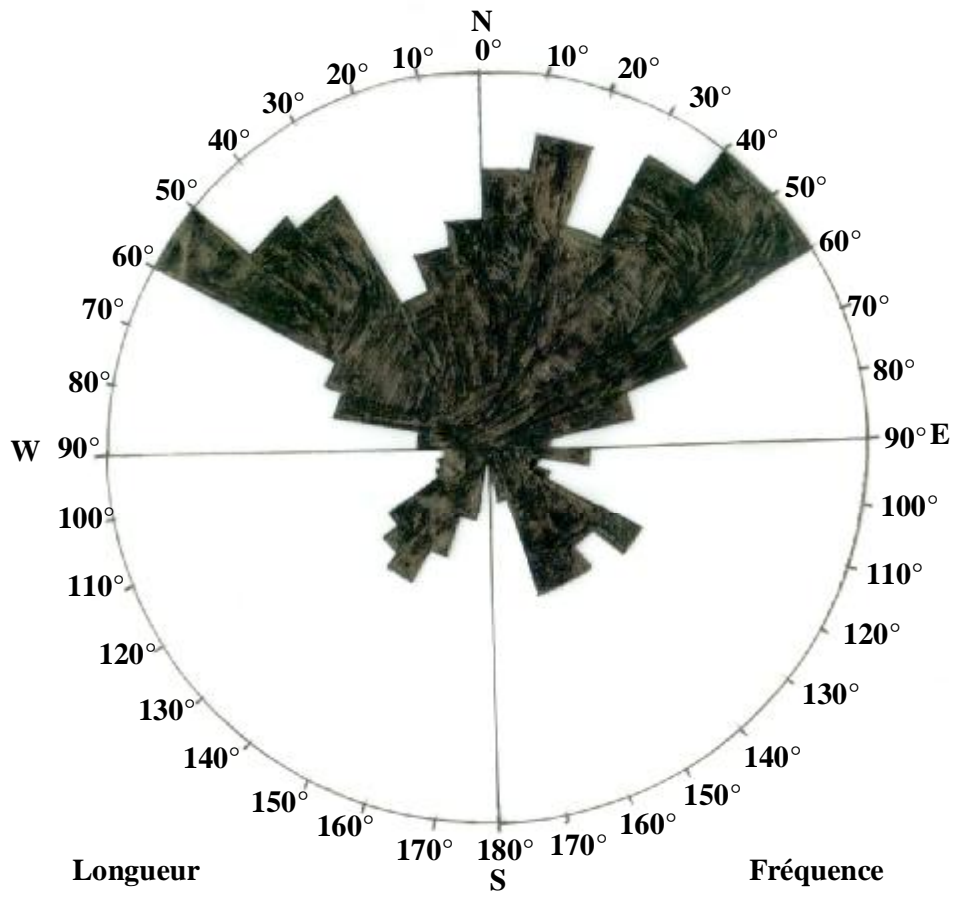
Le massif de l'Oum settas présente un potentiel en matière carbonatée très prometteux, surtout pour l'exploitation des granulats (Aptien, Barrémien). En ce qui concerne la poudre du carbonate de calcium, le Turonien avec ces calcaires à rudistes présente les formations les plus favorables pour son exploitation ainsi que le Cénomaniens mais à un degré moindre.

Afin de mieux gérer l'exploitation de ces formations, il faut choisir le site où les fractures sont colmatées par la calcite.

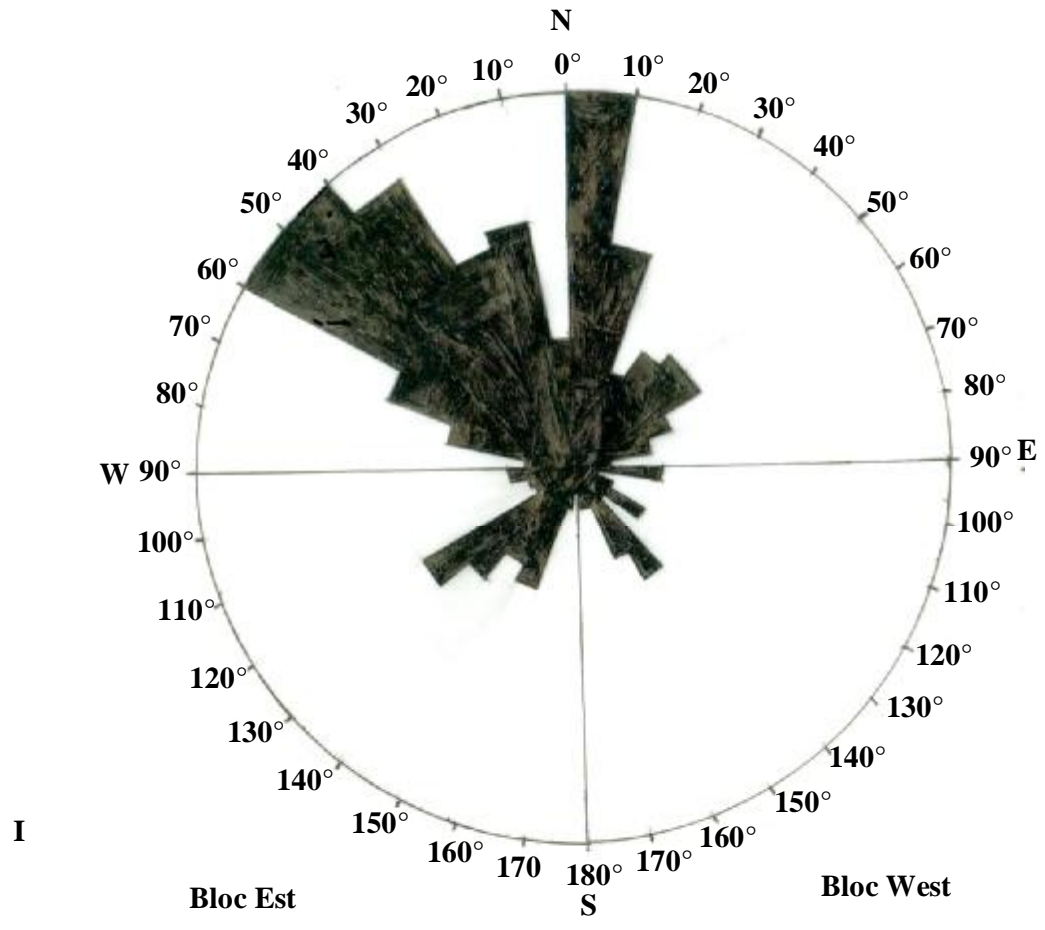
La présence de formes karstiques au niveau du massif de l'Oum Settas est un effet négatif pour l'exploitation de la matière carbonatée (poudre de carbonate de calcium).

Les formes karstiques présentent une source d'impuretés (oxydes, argiles graviers...). Ils constituent des drains préférentiels pour la circulation des eaux météoriques acides et agressives.

Pour un bon rendement, il est préférable de s'éloigner de l'accident majeur Meimel-Oum Settas pour exploiter une poudre de carbonate de calcium de bonne qualité, ce ci n'empêche pas d'exploiter ce même site pour les agrégats. Ces constatations sont aussi valables pour le bloc S-E du massif de L'Oum Settas.



**Fig.50 : Rosaces Directionnelle et de longueur  
Massif de l'Oum-Settas**



**Fig.51 : Rosace Directionnelle des deux blocs Massif Oum-Settas**



**Fig .52 : Photo aérienne au niveau du flanc Sud-  
West du massif de l'Oum Settas**

### **C- Relation fracturation-sédimentation :**

La relation fracturation –sédimentation est très bien observée d'une manière générale au niveau du massif de l'Oum Settas et d'une manière particulière au niveau du gisement d'El Khroub au niveau du gisement d'El Khroub et la massif d'Oum Settas .Cette relation est déduite soit de façon directe par les informations fournies par les déformations synsédimentaires, soit indirecte par les perturbations sédimentaires tels que les variations d'épaisseur , et les lacunes stratigraphiques observées dans le secteur d'étude.

Dés l'Albien des variations d'épaisseur, des lacunes sédimentaires et des surface d'érosion sont observés (Y.Aris, 1994), elles sont visibles au sommet de l'Aptien (flanc Nord de Mazela et flanc sud du massif de L'Oum Settas), au sommet du Cénomaniens avec l'absence de l'Albien et par endroits du Turonien et du Sénonien inférieur.

Pour le massif de l'Oum Settas des lacunes sédimentaires sont observée à l'Albien, Turonien, Sénonien supérieur. Ces lacunes sédimentaires sont probablement dues aux phases tectoniques crétacées ayant affectées la région (Phase Albienne et phase Sénonienne).

Au niveau du gisement d'El Khroub la relation fracturation-sédimentation est fortement observée car, elle conditionne la nature du dépôt des calcaires (voir modèle sédimentologique), ainsi que leur qualité (pureté, blancheur, richesse en matière organique).

Le contrôle de la fracturation est aussi confirmé par l'oxydation importante représente surtout par la présence d'oxydes dans les fractures en s'approchant surtout de la surface durcie.

### **D- Relation fracturation –répartition de l'oxyde de fer :**

La superposition des deux cartes d'isoteneur en  $Fe_2O_3$  (Fig.40) et la carte d'isofracturation (Fig.54) (établie suite au déchiffrement de l'image aérienne du gisement, (Fig53)) a permis d'établir une zonation (Fig.55) au niveau du gisement d'El Khroub.

D'après la superposition des deux cartes a montrée que :

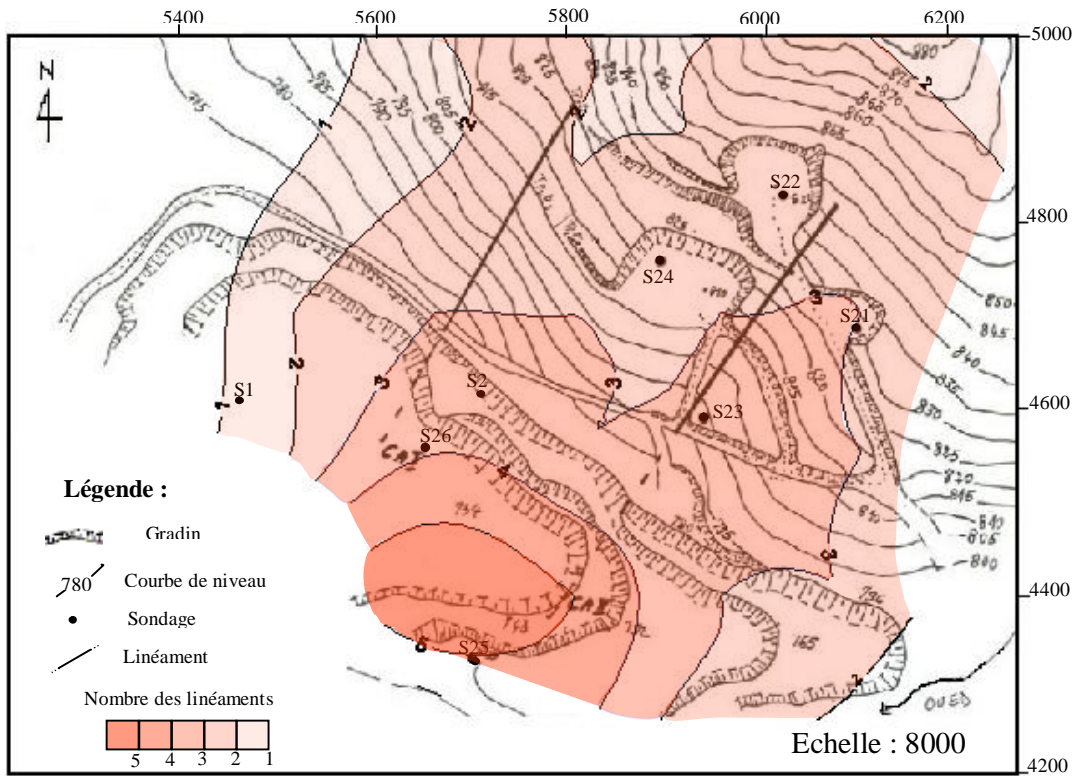
- La partie sud à Sud-West du gisement présente une grande teneur en oxydes de fer pouvant être liée au grand nombre de fractures. Selon les observations de terrain, la plus part des ces fractures sont colmatées par des oxydes de fer, la calcite de recristallisation et probablement l'oxyde de manganèse (Zone.1).
- Au niveau de la partie Est du terrain d'étude, le taux de fracturation et la teneur en  $Fe_2O_3$  est moyens à faibles. Il s'agit de fractures qui sont surtout remplies par de la calcite de recristallisation (Zone.2et Zone. 3).
- Vers le N-W de la carrière, on note une faible concentration de la fracturation et aussi une teneur en oxyde de fer faible à nulle (Zone4).



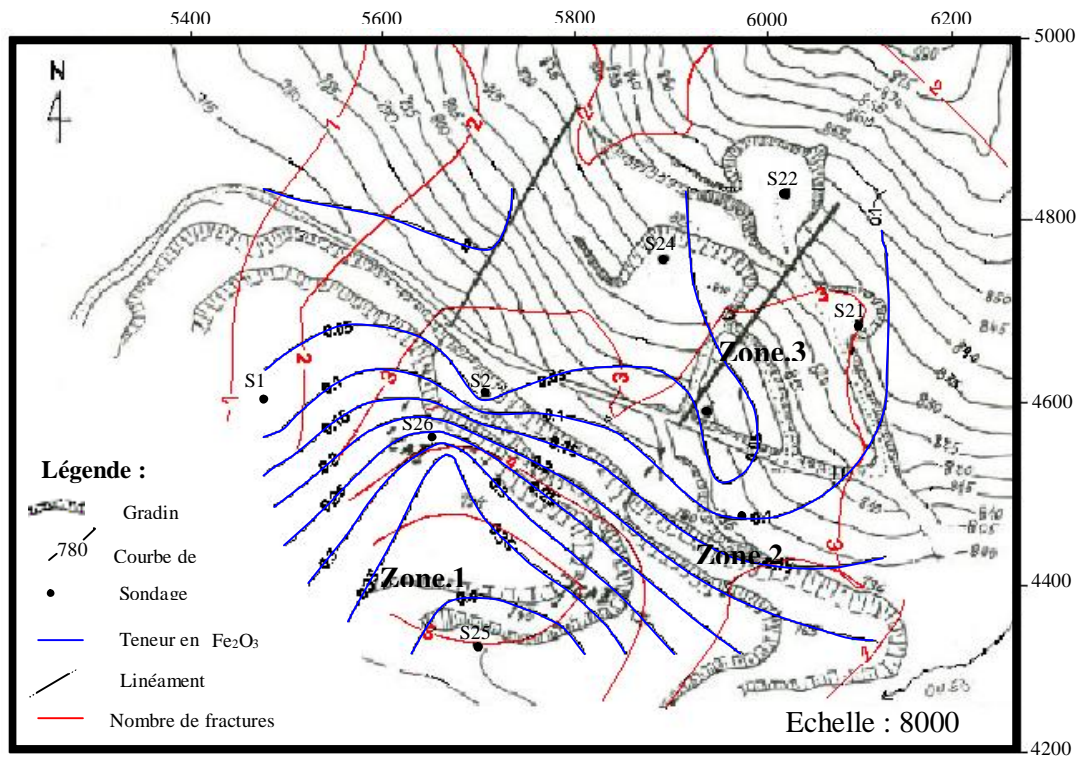


Echelle : 1/4500

Fig.53 : Image aérienne du gisement



**Fig.54 : Carte d'isofracturation gisement d'El khroub**



**Fig .55 : Carte de zonation du gisement d'El Khroub**

### **E- La relation fracturation –répartitions des oxydes en profondeur :**

Les logs composites des sondages S21 et S22 montrent l'influence de la fracturation en profondeur (Fig.56, 57).

Cette influence est observée sur le log lithologique des deux sondages. On constate que cette fracturation est traduite par la diminution du pourcentage du CaO et l'augmentation de la teneur des oxydes en général là où il y a des indices de fracturation.

Donc on peut lier la forte concentration des oxydes à la présence de fractures.

### **F-Conclusion :**

D'après l'analyse lithologique et tectonique du secteur d'étude, nous déduisons que la nature lithologique influence directement la qualité du produit exploité, ainsi que la fracturation qui malgré son influence secondaire a aussi un impact sur la qualité du produit d'exploitation.

Donc la qualité du produit exploité est bien contrôlée d'abord par la lithologie et deuxièmement par la fracturation.

Cette influence peut être positive pour l'exploitation des granulats car la connaissance du système de fracturation peut aider à un bon abattage de la matière exploitée.

La fracturation est aussi fortement manifestée pour le massif de l'Oum Settas, donc une étude détaillée de la répartition des fractures rend l'exploitation de la matière carbonatée plus facile.

## **VI -CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS :**

### **A-Conclusions**

Au terme de cette étude plusieurs résultats ont été obtenus. Ces résultats peuvent être résumer comme suit :

#### **-Sur le plan sédimentologique :**

L'étude pétrographique et paléontologique a permis de mettre en évidence la présence de formations aptiennes, albiennes ? (probable), cénomaniennes et des formations carbonatées d'âge Sénonien supérieur.

L'analyse microfaciologique des formations cénomaniennes (gisement d'El Khroub) indique 3 types de faciès, qui sont :

- Faciès de zone externe proximale à énergie modérée à forte ;
- Faciès de barrière récifale à énergie variable essentiellement forte ;
- Faciès de zone interne à énergie faible à modérée.

Le modèle sédimentologie établie montre la répartition des différents faciès du Céno-manien. Cette même étude a permis de connaître le rôle de la nature faciologique des calcaires et sa contribution dans la qualité du produit exploité.

#### **-Sur le plan diagénétique :**

Les phénomènes diagénétiques affectant les microfacies du Céno-manien sont variables et nombreux, on peut citer :

- La micritisation ;
- La cimentation syngénétiques ;
- Le remplacement néoformique ;
- La recristallisation ;
- La fracturation ;
- L'oxydation.

Une chronologie a été établie, elle a été basée sur le regroupement des différents phénomènes diagénétiques en trois phases définies par Choquette et Pray (1972). Ces phases sont :

- L'Eogénèse ;
- La mésodiagénèse ;
- La télogénèse.

Une chronologie relative entre les phases diagénétiques proposées à partir des observations pétrographiques a permis de mettre en évidence une relation entre l'évolution diagénétique et l'histoire géologique des formations carbonatées particulièrement céno-maniennes .

Les phénomènes diagénétiques observés ont aussi un impact sur la matière carbonatée exploitée. Cet impact conditionne la qualité du produit exploité surtout sur le plan économique.

### **-Sur la plan géochimique :**

L'étude géochimique au niveau du gisement d'El Khroub nous a permis de connaître la répartition des éléments chimiques constituant les calcaires exploités (dans en surface et en sub surface).

Cette même étude nous a conduit à localiser des anomalies géochimiques (éléments majeurs) ayant affectées les calcaires exploités en surface (au SW du gisement d'El Khroub) et en profondeur (entre la cote 810 m et 760m).

Une anomalie de calcimétrie et de blancheur a été mise en évidence grâce aux analyses de calcimétrie et de blancheur effectuées sur les calcaires exploités. Cette anomalie est situé au NE du gisement d'El Khroub.

### **-Sur le plan structural :**

Le déchiffrement des photographies aériennes nous a conduit à :

- L'élaboration d'une carte linéamentaire de l'ensemble Oum Settass- Mazela.

Une étude statistique des linéaments a abouti à la réalisation de 2 rosaces de direction et de longueur respectivement pour l'ensemble Oum Settass –Mazela et le massif de l'Oum Settass et une rosace de fréquence pour les deux blocs du massif de l'Oum settass.

L'analyse linéamentaire de la carte de l'ensemble Oum Settass – Mazela a permis de mettre en évidence 3 familles de directions qui sont :

- La direction N - S.
- La direction NE – SW.
- La direction NW – SE.

L'analyse linéamentaire du massif de l'Oum Settass a donné le constat suivant:

Le bloc Est du massif de l'Oum Settass est plus affecté par la direction NE – SW, il est fortement karstifié surtout dans sa partie SE.

Le bloc West du massif de l'Oum Settass est beaucoup plus affecté par la direction subméridienne surtout au niveau du gisement d'El Khroub. La karstification est moins importante.

Une structuration en diagonale du massif de l'Oum Settass est mise en évidence par les directions NE – SW, E – W et NW – SE.

Le déchiffrement des photos aériennes a conduit aussi à l'établissement d'une carte de zonation par la superposition de la carte d'isofracturation et de la carte d'isoteneur en  $Fe_2O_3$ .

La superposition de ces deux cartes a permis de dégager quatre zones dont l'intérêt économique du gisement d'El Khroub n'est pas négligeable (exploitation du  $CaCO_3$ ).

## **B-Recommandations :**

- Sur le plan sédimentologique : des études plus précises ou détaillées caractérisant le milieu de sédimentation peuvent être des paramètres à prendre en considération pour les futures exploitations du  $\text{CaCO}_3$  dans les massifs carbonatés d'une manière générale et d'une manière particulière dans le massif de l'Oum settas.
- L'étude diagénétique ainsi que la détermination des différents phénomènes diagénétiques restent des atouts indispensables à déterminer pour connaître la qualité du produit exploité, non seulement au niveau du gisement d'El Khroub mais aussi pour d'autres gisements.
- L'analyse géochimique reste un paramètre à développer aussi pour le site d'étude surtout pour la qualité du produit recherché.
- Concernant l'analyse de la fracturation qui reste un paramètre important vu son impact sur la qualité du produit exploité, il est recommandé de détailler l'étude de la fracturation en surface et en sub surface, non seulement pour le massif de l'Oum settas mais aussi pour les autres massifs carbonatés susceptibles d'être exploités.



## PLANCHE I



**Fig.1:** Vue panoramique des travaux d'exploitation



**Fig.2:** Vue panoramique de la zone à carbonate de calcium



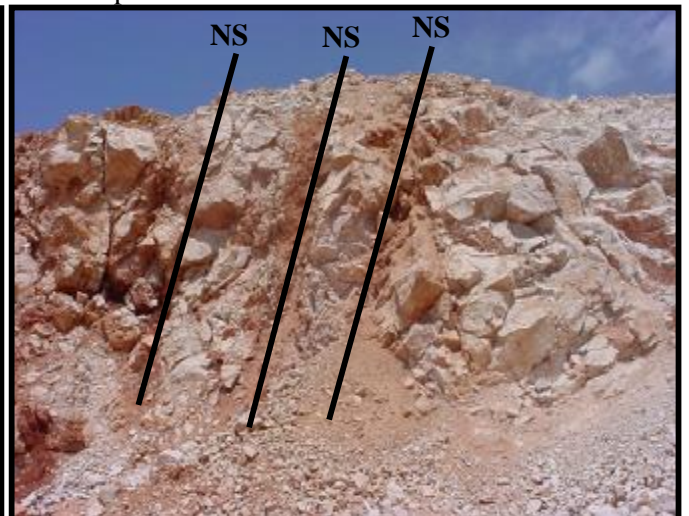
**Fig.3 :** Zone de broyage a remplissage ferrugineux



**Fig.4 :** oxydation intense des calcaires exploités



**Fig.5 :** Le stock de la poudre de carbonate de calcium.



**Fig.6 :** Fracturation intense des calcaires avec fractures à remplissage ferrugineux



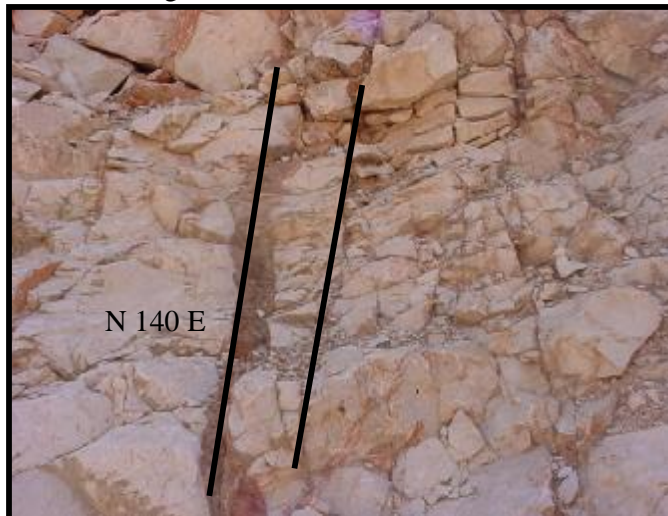
## PLANCHE II



**Fig.1** : Oxydation intense des calcaires exploités au SW du gisement



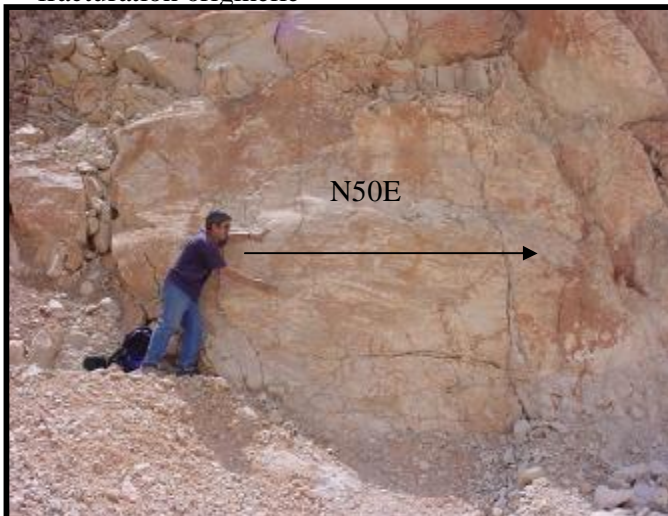
**Fig.2:** Calcaires Biodétritiques



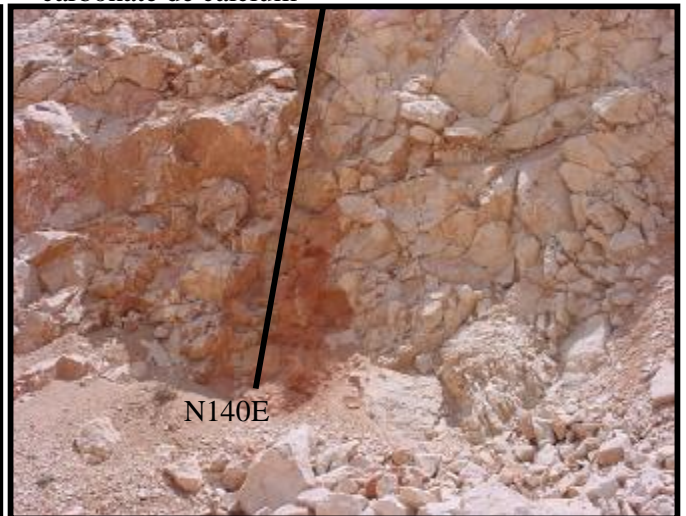
**Fig.3** : Fracturation induite parallèle a la fracturation originelle



**Fig.4** : L'oxydation météorique de la poudre de carbonate de calcium



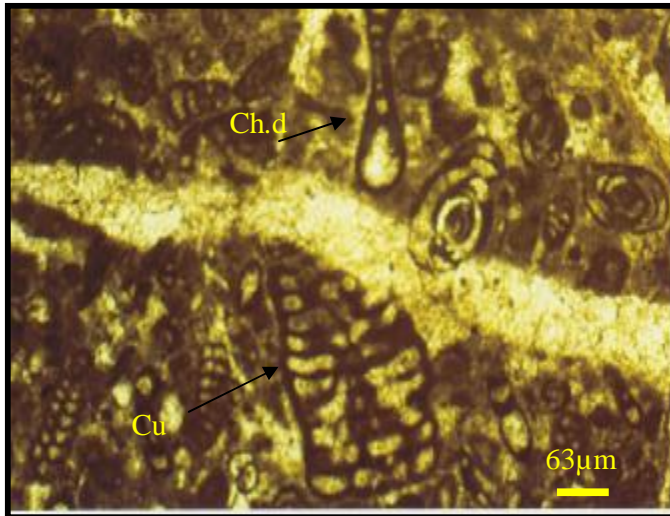
**Fig.5** : L'oxydation météorique de la poudre de carbonate de calcium



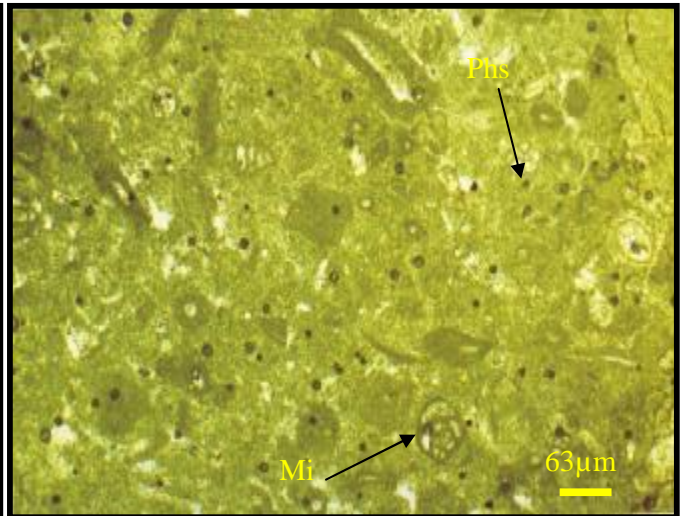
**Fig.6** : Fracturation a remplissage ferrugineux + calcite de recristallisation + l'oxyde de Mn



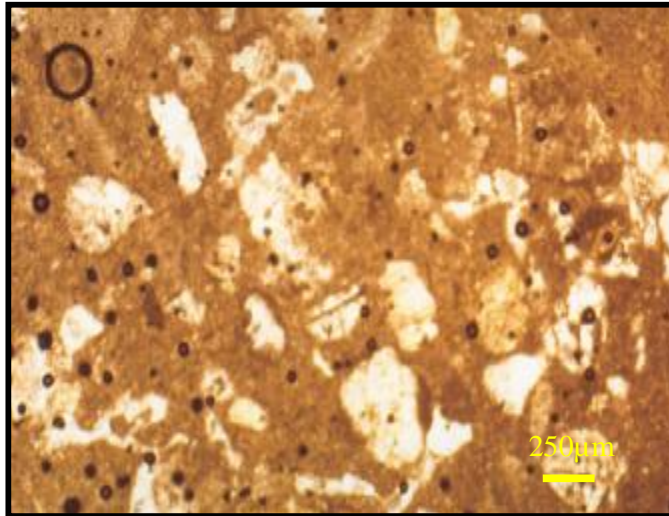
### PLANCHE III



**Photo.1 :** Calcaire biomicritique à Miliolites (Mi), Cunuolina (Cu), Chofatella decipiens (Ch.d) et des Alveolinides avec la présence de microfissures remplies de calcite (Aptien sup).



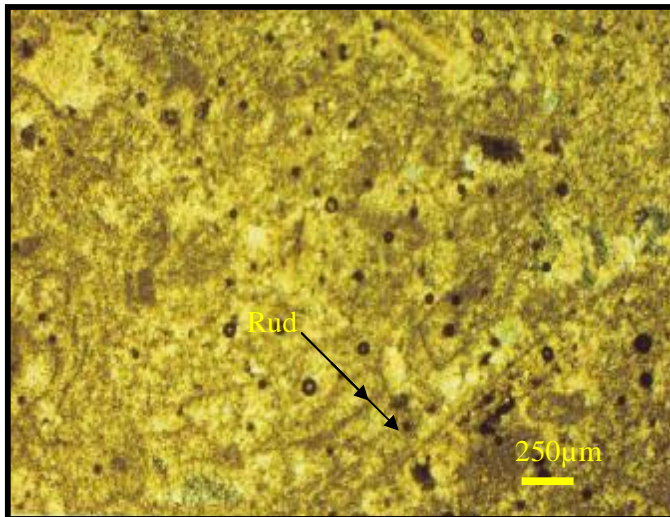
**Photo. 2 :** Biomicrite à Pseudohapydiomina (Psh) et Miliolites (Mi) et Tértularidés (surface durcie).



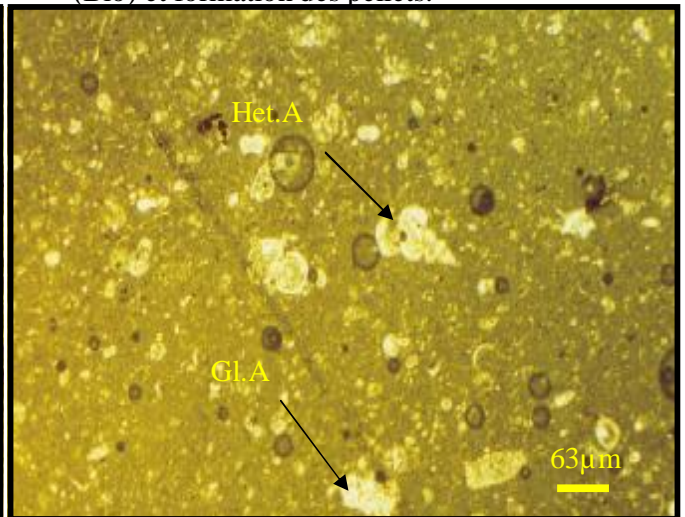
**Photo.3 :** Calcaires bréchiques.



**Photo.4 :** Micritisation des bioclastes (Bio) et formation des pellets.



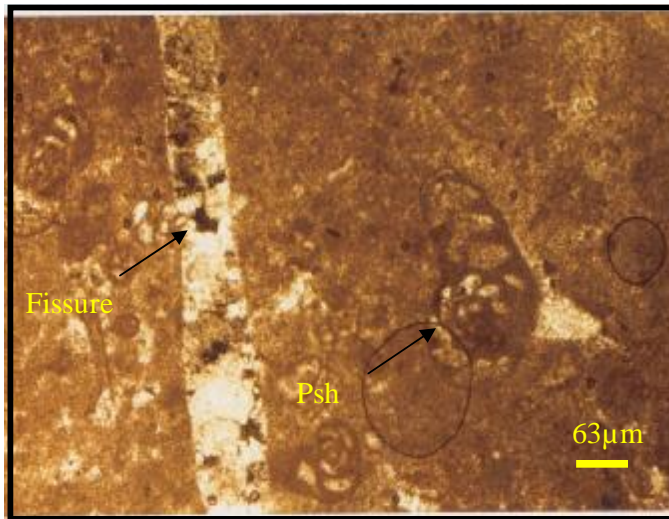
**Photo5 :** Calcaire biosparitique à débris de rudistes (Rud). Les débris de rudistes montrent un remplissage en calcite drusique.



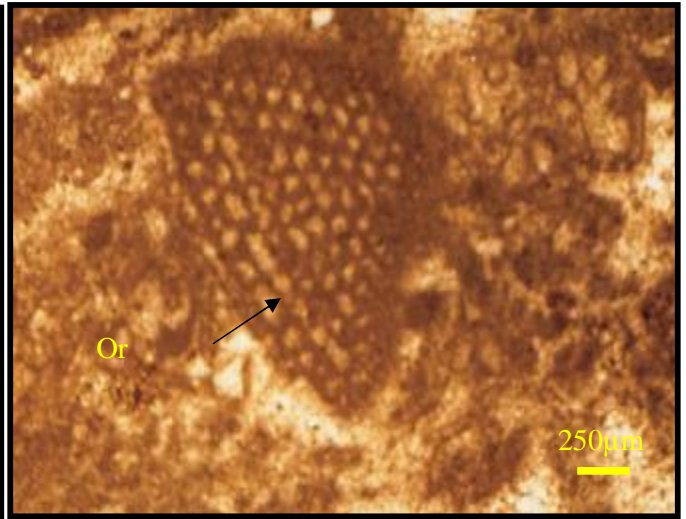
**Photo.6 :** Biomicrite à foraminifères pélagiques : Heterohelix americana (Het.A), Globotruncana arca (Gl.A) et Globégerines (Sénonien Sup).



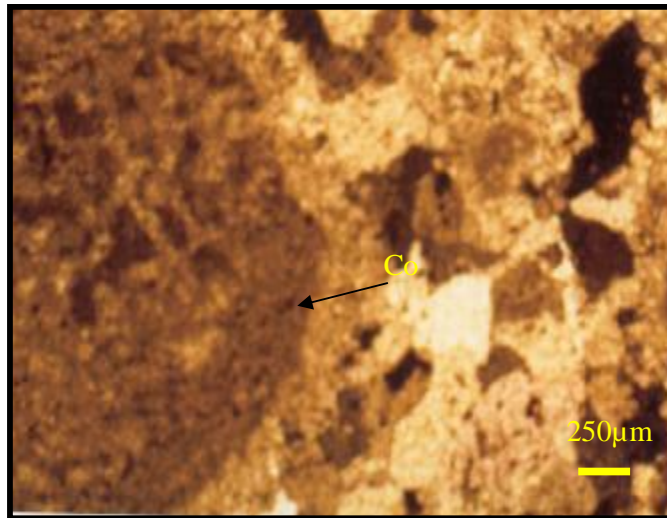
## PLANCHE IV



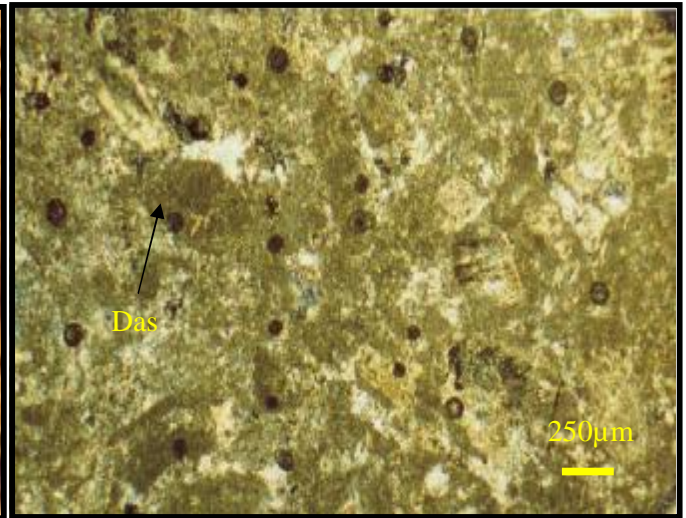
**Photo.1 :** Biomicrite à Pseudohapydiomina (Psh), Miliolites et la présence de fissures remplies de calcite.



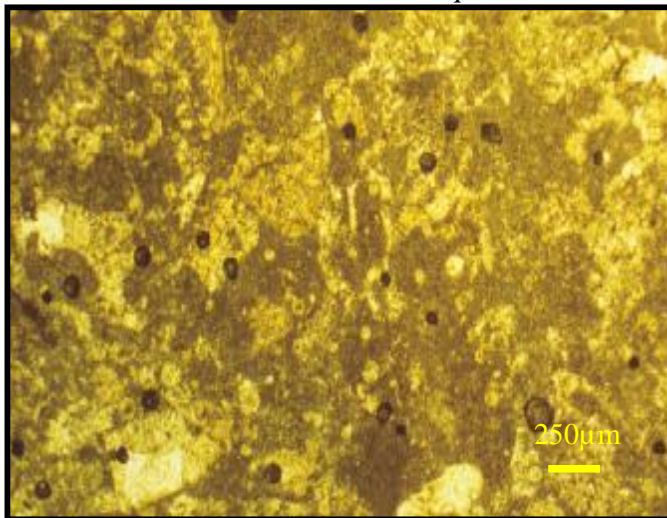
**Photo.2 :** Biomicrosparite à Orbitolines (Or) (Orbitolina .sp).



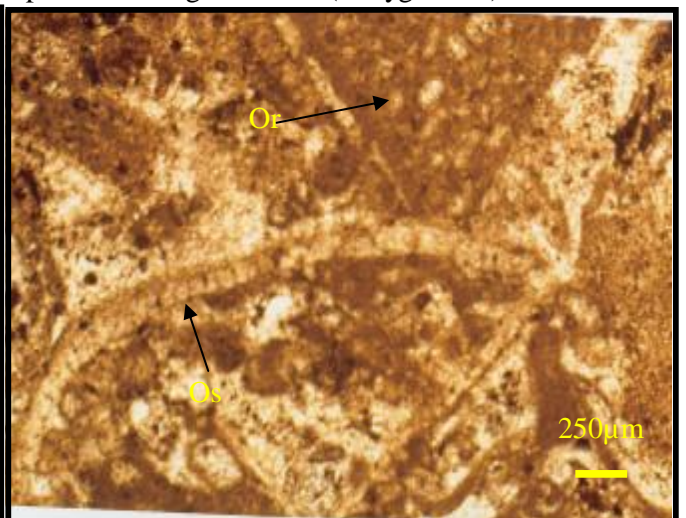
**Photo .3 :** Baindstone à coraux (Co). La matrice est essentiellement à calcite drusique.



**Photo.4 :** Calcaire intramicroparite avec la présence d'algues vertes (Dasygladacé).



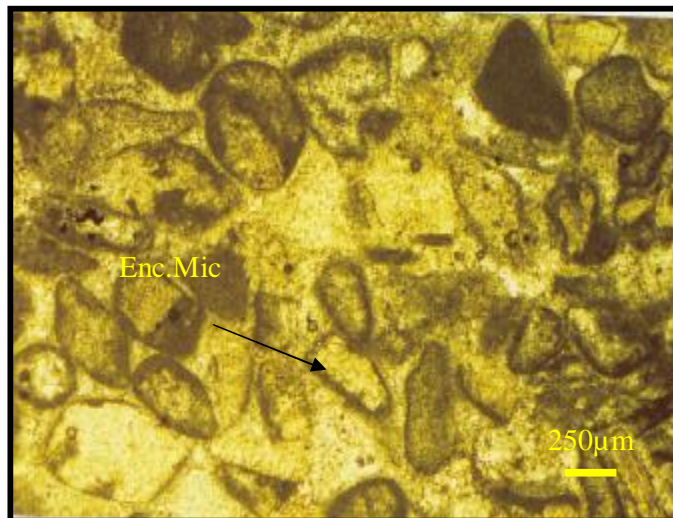
**Photo .5 :** calcaire intramicritique



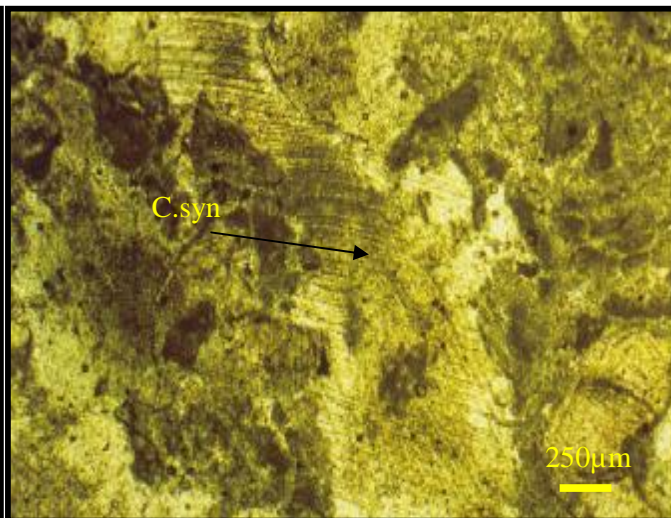
**Photo.6 :** Calcaire biomicrosparitique à Orbitolina Neiraquia (Or), Ostracodes (Os) et Echinodermes. La dissolution est faiblement manifestée.



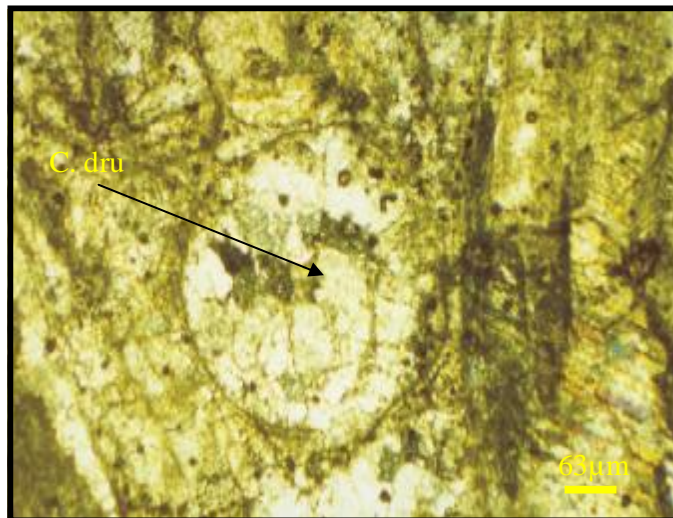
## PLANCHE V



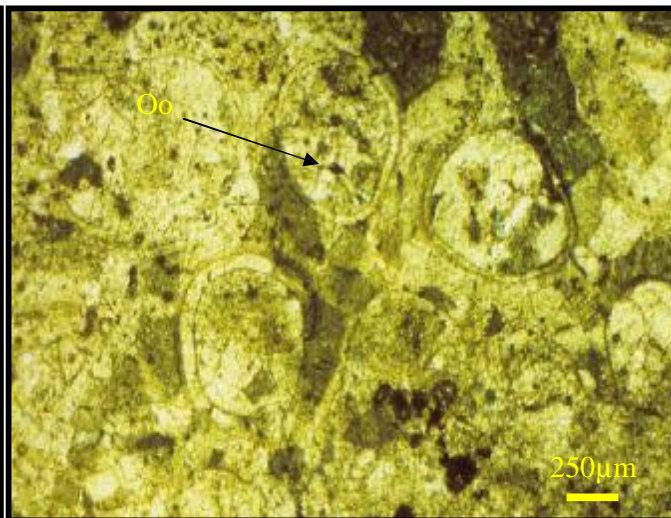
**Photo 1 :** Calcaire intrasparitique à grains généralement arrondies présentant un encroûtement micritique (Enc.Mic).



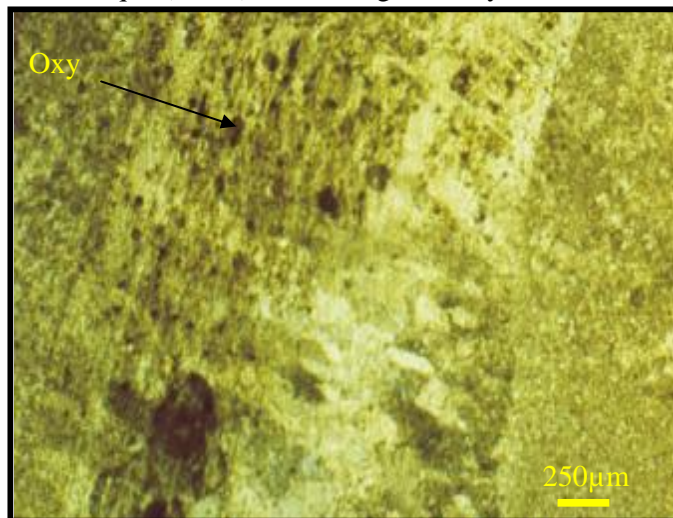
**Photo.2 :** Ciment syntaxique (C.syn) remplissant les vides.



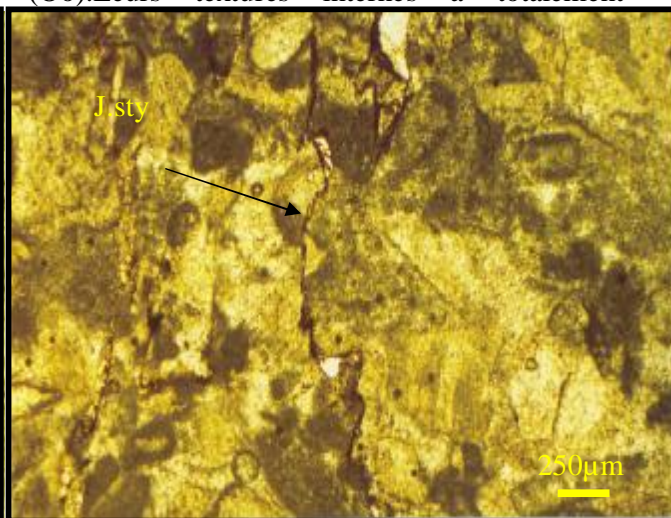
**Photo .3 :** Présence de ciment calcitique drusique (C.dru) dans les loges de bryozoaire.



**Photo.4 :** Recristallisation des oolites (Oo).Leurs textures internes a totalement



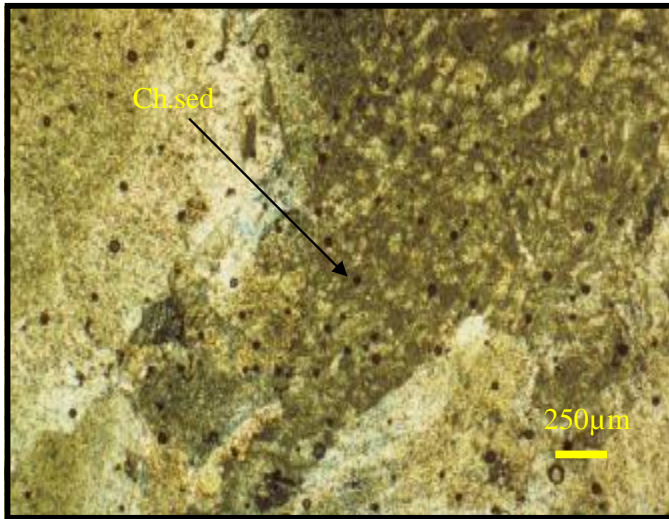
**Photo.5 :** Oxydation (Oxy) des bioclastes affectant surtout le ciment drusique remplissant les débris de lamellibranches.



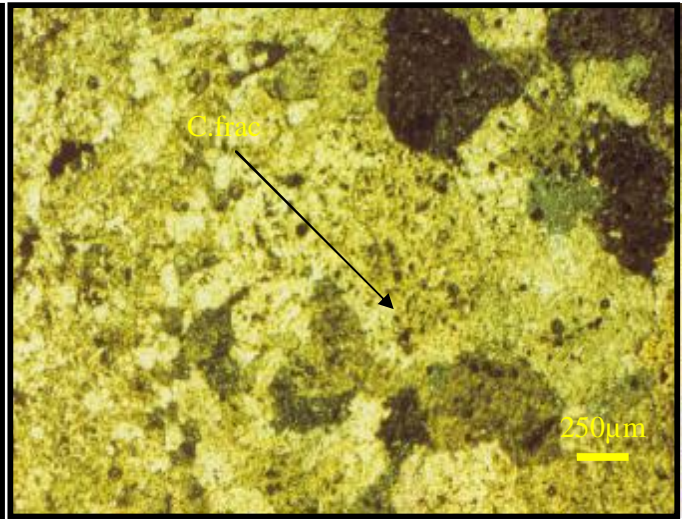
**Photo.6 :** Joints stylolitiques(J.sty) affectant le calcaire sparitique. Leur présence indique une forte compaction due à des contraintes tectoniques.



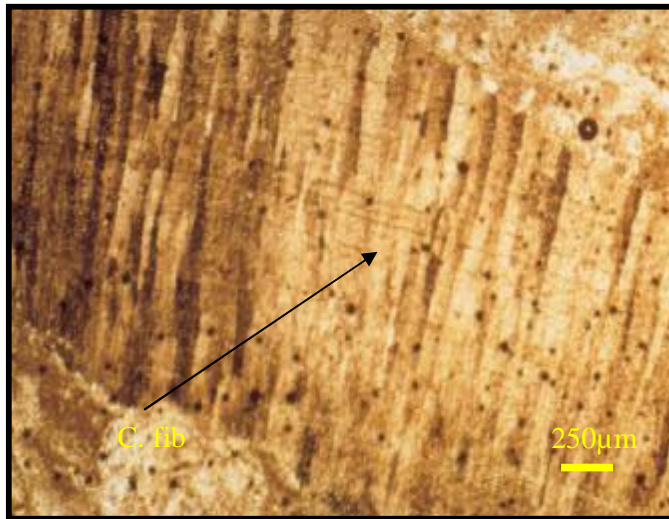
## PLANCHE VI



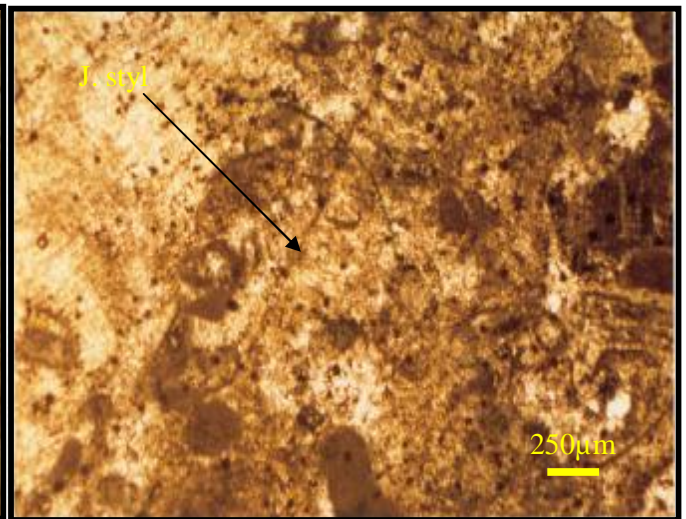
**Photo .1 :** Cherts sédimentaires (Ch.sed) (Silice) localisées entre les joints de compaction.



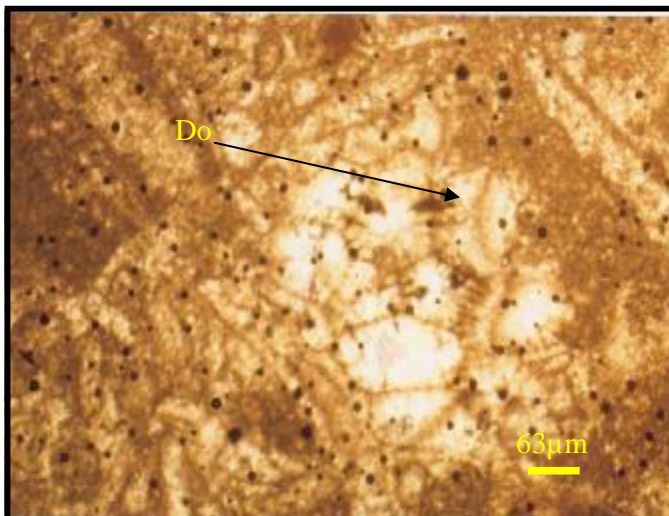
**Photo .2:** Le ciment de fracture (C.frac) se présentant en gros grains de calcite.



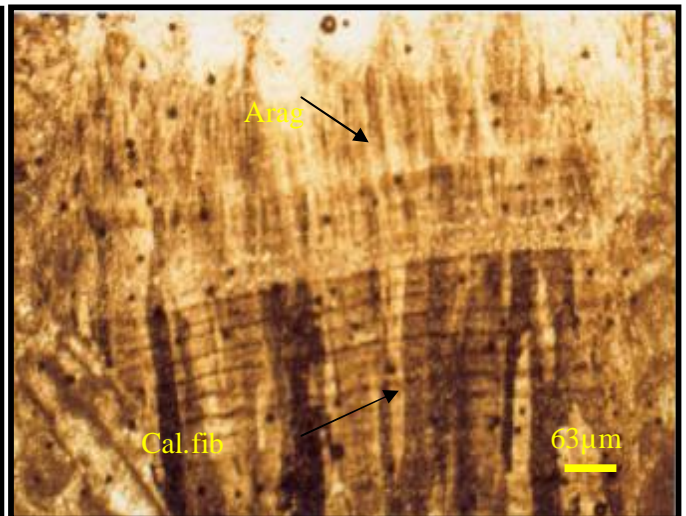
**Photo.3 :** Calcaire fibreux (C.fib) remplissant les débris de lamellibranches



**Photo.4 :** Un joint stylolitique (J.styl) syndépôtimentaire (du à l'enfouissement)



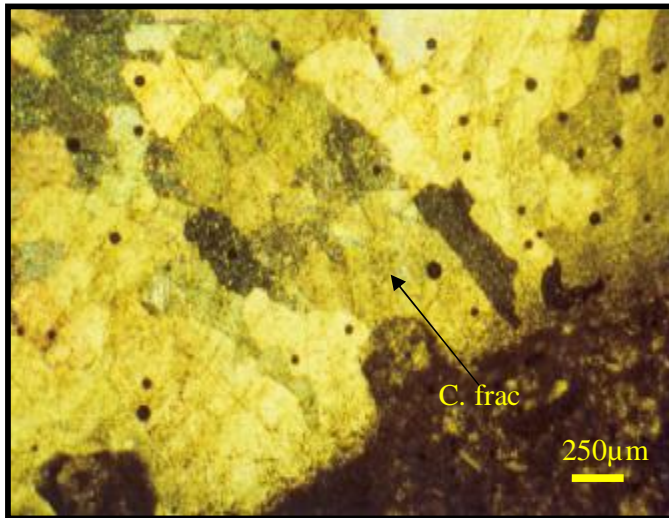
**Photo.5 :** Présence de dolomite (Do) à l'intérieur de vide. Cette dolomite est affectée par la micritisation.



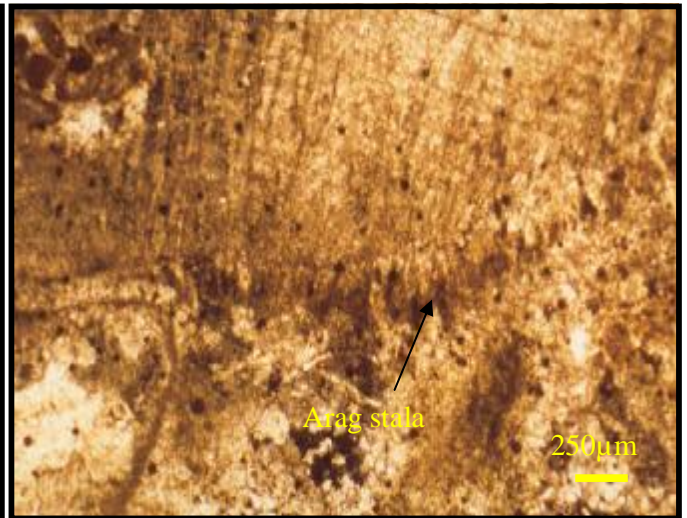
**Photo.6 :** Le neoformisme de l'Aragonite (Arag) en calcite fibreux (Cal.fib).



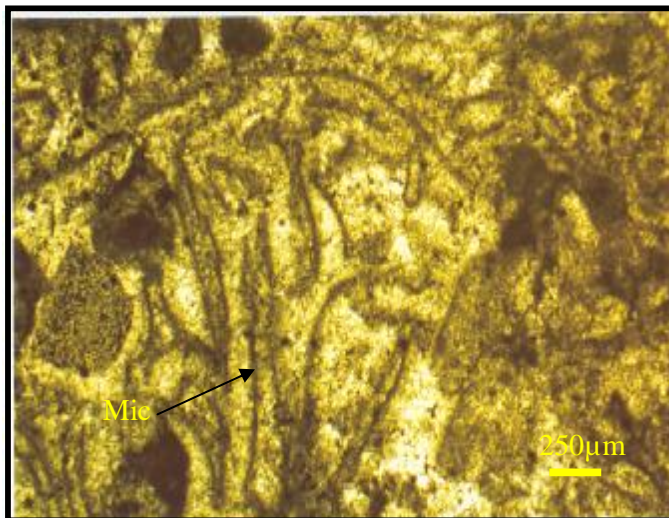
## PLANCHE VII



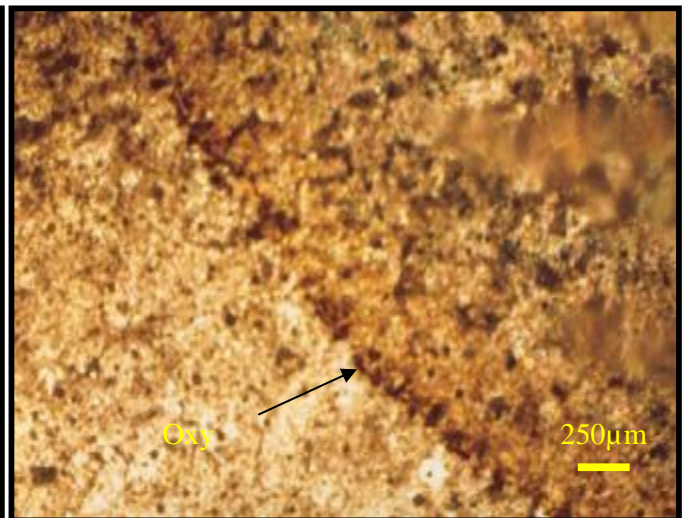
**Photo .1:** Le ciment de fracture (C.frac) se présentant en gros grains de calcite.



**Photo .2 :** Aragonite micro-stalagmite (Arag.stala). Il se présente sous forme de petites aiguilles entourant les débris de lamellibranches.



**Photo.3 :** Micritisation (Mic) partielle et totale des débris de rudistes. Cette micritisation engendre des pellets.



**Photo.4 :** Présence d'oxyde de fer (Oxy) à l'intérieur des fractures

## PARAMETRES STATISTIQUES GENERAUX DES SONDAGES

### SONDAGE S21 : X=6117.39,Y=4648.96,Z=828.40

Variables	Min	Max	Moy(%)
CaO	54.01	55.69	55.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.32	0.1
SiO <sub>2</sub>	0.1	1.41	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.62	0.16
MgO	0.21	0.58	0.38
SO <sub>3</sub>	0.07	0.12	0.09
K <sub>2</sub> O	0.03	0.18	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.07	0.06
PF	42.50	43.47	43.11

### SONDAGE 22: X=6025.39,Y=4815.96,Z=839

Variables	Min	Max	Moy (%)
CaO	53.63	55.85	55.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.39	0.1
SiO <sub>2</sub>	0.07	1.76	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.64	0.15
MgO	0.15	0.65	0.3
SO <sub>3</sub>	0.05	0.12	0.08
K <sub>2</sub> O	0.02	0.2	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.08	0.06
PF	42.29	43.54	42.93

### SONDAGE 23: X=5949.101,Y=4529,Z=797

Variables	Min	Max	Moy (%)
CaO	55.68	55.85	55.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.06	0.04
SiO <sub>2</sub>	0.1	0.26	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.06	0.02
MgO	0.11	0.27	0.16
SO <sub>3</sub>	0.04	0.05	0.04
K <sub>2</sub> O	0.02	0.03	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.06	0.05
PF	42.48	42.89	42.73

### SONDAGE 24: X=5871.199,Y=4715.898,Z=815.850

Variables	Min	Max	Moy (%)
CaO	55.15	55.98	55.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.04
SiO <sub>2</sub>	0.08	0.39	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.1	0.02
MgO	0.12	0.27	0.16
SO <sub>3</sub>	0.04	0.06	0.05
K <sub>2</sub> O	0.01	0.05	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.07	0.05
PF	41.82	43.64	42.83

**SONDAGE 25: X=5773.539,Y=4351.109,Z=755.400**

Variables	Min (%)	Max (%)	Moy (%)
CaO	54	55.35	54.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.8	0.37
SiO <sub>2</sub>	0.2	0.75	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.8	0.51
MgO	0.02	0.6	0.32
SO <sub>3</sub>	0.05	0.12	0.07
K <sub>2</sub> O	0.01	0.04	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.03	0.02
PF	42.48	43.24	42.82

**SONDAGE 26: X=5664.216,Y=4546.238,Z=750.4**

Variables	Min (%)	Max (%)	Moy (%)
CaO	52.15	54.0.6	52.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.68	0.44
SiO <sub>2</sub>	0.37	1.09	0.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.87	0.64
MgO	0.24	2.33	1.76
SO <sub>3</sub>	0.08	0.27	0.21
K <sub>2</sub> O	0.01	0.04	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.05	0.04
PF	42.66	43.54	43.13

**SONDAGE 1: X=5475,Y=4590,Z=756.6**

Variables	Min (%)	Max (%)	Moy (%)
CaO	54.56	55.66	54.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.15	0.065
SiO <sub>2</sub>	0.05	0.82	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.35	0.2
MgO	0	1.34	0.38
SO <sub>3</sub>	0	0.24	0.16
K <sub>2</sub> O	0.09	0.02	0.012
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.15	0.1
PF	42.54	43.24	43.06

**SONDAGE 2: X=5700,Y=44610,Z=774.7**

Variables	Min (%)	Max (%)	Moy (%)
CaO	54.53	55.23	54.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.07	0.03
SiO <sub>2</sub>	0.48	1	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.5	0.31
MgO	0	0.5	0.26
SO <sub>3</sub>	0.2	0.48	0.33
K <sub>2</sub> O	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	-
PF	42.72	43.25	42.96

**SONDAGE 8: X=5425,Y=4510,Z=739.5**

Variables	Min (%)	Max (%)	Moy
CaO	55.23	55.79	55.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.03	0.01
SiO <sub>2</sub>	0.32	0.44	0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	0.28	0.21
MgO	0	0.40	0.13
SO <sub>3</sub>	0.2	0.41	0.3
K <sub>2</sub> O	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	-
PF	42.46	42.91	42.63

**Tableau des valeurs de calcimétrie et blancheur**

Ech	Calcimétrie (%)	Blancheur
1	96.5	87.41
2	96.45	87.66
3	96.35	87.88
4	96.45	87.75
5	96.44	87.41
6	96.15	87.15
7	96.35	87.39
8	96.45	87.57
9	96.35	88.39
10	96.5	86.38
11	96.5	87.76
12	96.44	87.8
13	96.46	87.88
14	96.45	87.42
15	95.45	86.3
16	95.35	86.21
17	96.35	87.25
18	96.3	87.97
19	96.5	87.94
20	99.7	90.6
21	96.12	87.82
22	96.5	88.82
23	96.28	87.25
24	96.5	87.96
25	96	82.86
26	96.06	87.09
27	97.2	87.15
28	97.53	89.65
29	97.03	87.17
30	93.75	69.25
31	99.95	90.75
32	97.75	88.72
33	99.75	91.85
34	96.2	87.82
35	96.15	84.46
36	99.6	90.6



FPAS (m)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2 (%)	AL2O3 (%)	SO3 (%)	K2O (%)	Na2O (%)	PF (%)	CaCO3 (%)
S21										
3,7	0,1	54,78	0,51	0,53	0,19	0,11	0,07	0,06	43,3	98,08
7,25	0,04	55,69	0,28	0,15	0,06	0,08	0,03	0,05	43	98,69
10,5	0,05	55,69	0,27	0,1	0,05	0,09	0,03	0,06	43,3	98,69
13,35	0,07	55,51	0,32	0,21	0,1	0,1	0,04	0,06	42,8	98,31
17,4	0,05	55,69	0,31	0,15	0,07	0,09	0,04	0,05	43,4	99,09
20,4	0,07	55,55	0,21	0,34	0,1	0,08	0,03	0,06	42,8	98,35
26,25	0,13	54,69	0,56	0,72	0,28	0,12	0,09	0,06	43,3	97,99
29,1	0,12	55,04	0,39	0,42	0,16	0,1	0,07	0,06	42,9	97,94
33,1	0,11	55,31	0,32	0,35	0,16	0,09	0,05	0,05	42,5	97,81
36,4	0,32	54,01	0,58	1,41	0,62	0,07	0,18	0,04	42,5	96,51
40,8	0,06	55,59	0,26	0,18	0,09	0,09	0,04	0,06	43,1	98,19
43,85	0,09	55,09	0,48	0,51	0,19	0,1	0,07	0,07	43,3	98,39
46,9	0,08	55,26	0,45	0,37	0,14	0,1	0,06	0,07	42,9	98,16
49,8	0,07	55,51	0,32	0,22	0,09	0,09	0,04	0,06	43	98,51
53,1	0,08	55,39	0,4	0,37	0,15	0,09	0,06	0,06	43,1	98,49
56,05	0,11	55,28	0,4	0,44	0,18	0,09	0,06	0,07	43,2	98,48
58,4	0,07	55,4	0,41	0,23	0,09	0,1	0,04	0,06	43,3	98,7
60,2	0,09	55,38	0,43	0,26	0,11	0,1	0,05	0,06	43,4	98,78
S22										
3,1	0,05	55,5	0,25	0,15	0,07	0,09	0,03	0,06	43,2	98,7
6,1	0,04	55,72	0,19	0,07	0,03	0,08	0,03	0,04	42,5	98,22
9,25	0,04	55,75	0,17	0,2	0,05	0,05	0,03	0,06	43,2	98,95
12,1	0,08	55,5	0,28	0,38	0,12	0,06	0,05	0,06	43,4	98,9
15,1	0,09	55,4	0,33	0,48	0,17	0,06	0,06	0,06	43,3	98,7
18,1	0,04	55,75	0,16	0,14	0,02	0,05	0,02	0,06	42,9	98,65
21,1	0,04	55,81	0,16	0,17	0,03	0,06	0,03	0,06	42,7	98,51
24,1	0,12	55,22	0,25	0,65	0,24	0,06	0,08	0,08	43,3	98,52
27,1	0,04	55,75	0,16	0,16	0,03	0,11	0,03	0,06	43,5	99,25
30,1	0,04	55,85	0,15	0,12	0,02	0,05	0,02	0,05	43,3	99,15
33,1	0,22	54,61	0,42	1,2	0,45	0,07	0,15	0,06	42,7	97,31
37,1	0,15	55,21	0,34	0,61	0,2	0,06	0,08	0,05	43,2	98,41
40,1	0,22	54,72	0,51	0,9	0,3	0,12	0,1	0,06	42,9	97,62
43,1	0,29	53,63	0,65	1,76	0,64	0,11	0,2	0,06	42,5	96,13
46,1	0,39	53,91	0,49	1,56	0,55	0,1	0,19	0,06	42,5	96,41
49,95	0,18	54,74	0,42	0,36	0,31	0,1	0,12	0,06	43	97,74
53,1	0,08	55,57	0,25	0,25	0,1	0,08	0,05	0,06	42,7	98,27
56,05	0,04	55,77	0,21	0,07	0,04	0,08	0,02	0,05	42,2	97,97
59,1	0,09	55,34	0,32	0,3	0,12	0,09	0,05	0,05	42,9	98,24
62,15	0,05	55,75	0,23	0,17	0,07	0,08	0,03	0,05	42,7	98,45
65,2	0,05	55,64	0,2	0,07	0,03	0,08	0,03	0,07	42,5	98,14
68,25	0,06	55,49	0,31	0,14	0,06	0,09	0,04	0,06	42,4	98,88
71,3	0,05	55,58	0,32	0,2	0,04	0,1	0,03	0,05	43,3	98,33
74,3	0,09	55,63	0,33	0,57	0,19	0,06	0,07	0,04	42,7	98,31
77,4	0,05	55,51	0,3	0,2	0,03	0,06	0,03	0,05	42,8	98,6
80,45	0,08	55,8	0,36	0,41	0,11	0,07	0,05	0,05	42,8	98,55

S23										
5,5	0,04	55,75	0,12	0,12	0,01	0,04	0,02	0,05	42,8	98,6
11,1	0,04	55,85	0,11	0,1	0,01	0,05	0,02	0,05	42,6	98,55
16,1	0,04	55,85	0,15	0,13	0,01	0,05	0,02	0,05	42,7	98,6
21,1	0,04	55,8	0,13	0,12	0,01	0,04	0,02	0,05	42,8	98,54
26,1	0,04	55,73	0,18	0,16	0,03	0,04	0,02	0,05	42,8	98,44
31,1	0,04	55,74	0,18	0,15	0,03	0,05	0,02	0,06	42,7	98,4
36,1	0,04	55,8	0,17	0,15	0,03	0,04	0,02	0,05	42,6	98,38
41,1	0,06	55,68	0,27	0,26	0,06	0,05	0,03	0,05	42,7	98,18
44,1	0,04	55,77	0,15	0,15	0,01	0,04	0,02	0,05	42,4	97,72
S24										
3,1	0,04	55,92	0,12	0,15	0,01	0,04	0,01	0,05	41,8	98,18
6,25	0,03	55,88	0,13	0,13	0,02	0,04	0,01	0,05	42,3	98,44
9,25	0,04	55,94	0,12	0,15	0,02	0,04	0,02	0,05	42,5	98
12,3	0,04	55,9	0,12	0,2	0,03	0,04	0,02	0,05	42,1	97,78
15,25	0,03	55,98	0,14	0,12	0,01	0,04	0,02	0,04	41,8	97,82
18,4	0,03	55,72	0,14	0,1	0,01	0,04	0,02	0,05	42,1	98,95
21,3	0,03	56,15	0,14	0,12	0,01	0,04	0,01	0,04	42,8	98,66
25,3	0,03	55,86	0,13	0,18	0,02	0,05	0,02	0,05	42,8	99,29
27,3	0,04	55,69	0,14	0,13	0,02	0,05	0,02	0,05	43,6	98,31
30,3	0,03	55,81	0,14	0,08	0,01	0,06	0,02	0,07	42,5	99,03
33,25	0,04	55,83	0,17	0,12	0,02	0,05	0,02	0,06	43,2	98,85
36,3	0,03	55,85	0,14	0,11	0,01	0,04	0,02	0,05	43	98,83
39,3	0,04	55,83	0,15	0,12	0,01	0,04	0,02	0,06	43	98,97
43,3	0,03	55,87	0,14	0,1	0,01	0,04	0,01	0,05	43,1	98,83
47,3	0,03	55,73	0,16	0,13	0,01	0,04	0,02	0,05	43,1	98,8
52,3	0,06	55,6	0,27	0,39	0,1	0,6	0,05	0,06	43,2	99,1
57,3	0,04	55,8	0,25	0,24	0,05	0,05	0,03	0,05	43,3	99
62,3	0,04	55,8	0,16	0,12	0,01	0,05	0,02	0,05	43,2	98,74
67,3	0,04	55,74	0,16	0,16	0,02	0,05	0,03	0,05	43	98,75
73,4	0,04	55,75	0,18	0,18	0,03	0,05	0,03	0,06	43	98,8
80,4	0,05	55,8	0,18	0,24	0,06	0,05	0,03	0,06	43,1	97,8
S25										
5,5	0,2	54	0,6	0,75	0,24	0,12	0,04	0,03	42,8	98,02
12,05	0,01	55,12	0,4	0,2	0,63	0,08	0,01	0,03	42,9	98,55
19,05	0,48	55,35	0,04	0,73	0,58	0,06	0,01	0,01	43,2	97,41
26,05	0,8	55,01	0,36	0,24	0,8	0,06	0,01	0,02	42,4	97,78
33,05	0,38	55,18	0,02	0,43	0,38	0,06	0,01	0,01	42,6	97,78
40,05	0,32	54,79	0,48	0,28	0,42	0,05	0,01	0,01	42,8	97,59
S26										
7,05	0,42	54,06	0,24	1,09	0,64	0,24	0,04	0,04	42,6	96,66
14,05	0,44	52,43	2,01	0,46	0,52	0,27	0,01	0,04	42,9	95,33
21,05	0,3	52,82	1,97	0,37	0,72	0,08	0,01	0,05	43,3	96,12
27,05	0,34	52,37	2,25	0,38	0,45	0,27	0,01	0,04	43,5	95,87
34,05	0,68	52,15	2,33	0,46	0,87	0,18	0,01	0,05	43,1	95,25
S1										
	0,08	54,82	0,2	0,52	0,35	0	0,02	0,05	42,54	97,36
	0,04	54,68	0,5	0,46	0,13	0,17	0,02	0,014	43,13	97,81
	0,04	53,56	1,31	0,2	0,17	0,21	0,01	0,013	43,11	96,67
	0,04	55,66	0	0,2	0,13	0,21	0,02	0,014	43,16	98,82
	0,04	55,46	0,1	0,05	0,12	0,24	0,09	0,014	43,2	98,66

	0,15	54,81	0,2	0,82	0,31	0,13			43,24	98,05
S2										
	0	54,62	0,02	1	0,41	0,2			43,25	97,87
	0	54,53	0,5	0,78	0,18	0,48			43,08	97,61
	0	55,09	0,3	0,7	0,13	0,44			43,03	98,12
	0,03	55,51	0	0,64	0,23	0,24			42,93	98,44
	0,07	55,23	0,2	0,6	0,5	0,3			43,72	96,95
	0,07	54,95	0,4	0,48	0,45	0,37			42,75	97,7
S8										
	0,03	55,23	0,4	0,41	0,21	0,2			42,91	98,14
	0	55,79	0	0,34	0,15	0,2			42,52	98,31
	0	55,79	0	0,32	0,28	0,41			42,46	98,25

**SONDAGE 1: X=5475,Y=4590,Z=756.6**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE 2: X=5700,Y=44610,Z=774.7**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE 3: X=5425,Y=4510,Z=739.5**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE 4: X=5480,Y=5000,Z=739.5**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE 5: X=5240,Y=4970,Z=739.5**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE 6: X=5425,Y=4510,Z=739.5**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

**SONDAGE8: X=5425,Y=4510,Z=739.5**

Parametre	Min	Max	Moy
Porosité			
Poids volumique			

## Résumé :

Les substances non métalliques intéressent un grand nombre d'industries surtout ces dernières années non seulement en Algérie mais dans le monde entier.

Parmi ces substances utiles, les calcaires qui se présentent soit sous forme pure (constitués essentiellement de  $\text{CaCO}_3$ ) utilisés dans le secteur industriel comme additif : produit de peinture, papeterie, enduits, caoutchouc ...ect. Soit sous forme d'agrégats quand ces calcaires contiennent d'autres éléments que le  $\text{CaCO}_3$  (le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  reste important). Ces calcaires sont utilisés dans le béton hydraulique et les travaux publics.

Le gisement d'El Khroub fait partie des monts néritique constantinois qui appartiennent aux domaines externes de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale et dont l'intérêt économique (du point de vue  $\text{CaCO}_3$ ) reste important.

L'étude sédimentologique du gisement d'El Khroub a permis de caractériser les milieux de dépôt des calcaires exploités. Ces formations carbonatées cénomaniennes appartiennent au domaine de la plate forme interne, domaine de barrière et le domaine de plate forme externe proximale. Un modèle sédimentologique a été établi pour mieux cerner la qualité de la matière exploitée.

L'étude sédimentologique a été jumulée par une étude diagénétique tout en déterminant les différents phénomènes diagénétiques qui ont affectés les calcaires exploités pour mieux caractériser la qualité du produit exploité.

Pour mieux connaître la qualité du produit exploité au niveau du gisement d'El Khroub une étude géochimique a aussi été établie pour localiser les anomalies géochimiques en surface et en sub-surface.

L'étude linéamentaire du massif de l'Oum Settas et du gisement d'El Khroub a aboutie a l'établissent d'une carte linéamentaire pour la massif de l'Oum Settas donnant un aperçue sur la concentration de la fracturation.

Une superposition de la carte d'isofracturation et la carte d'isoteneur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a aboutit à la réalisation d'une carte de zoning du gisement d'El Khroub dans un intérêt économique. Cette carte de zonation peut être considéré comme un guide d'exploitation de ce gisement.

## Summary

The nonmetal substances interest a great number of industries especially these last years not only in Algeria but in the whole world.

Among these useful substances, limestones which are presented in pure form (primarily made up of  $\text{CaCO}_3$ ) is used in the industrial sector: product of painting, industrial paper, coatings, rubber... ect.

Those carbonates are also used in the field of hydraulic and in the building construction.

The ore of El Khroub is the part of neritic region belonging to the mountains Constantinois which is the part of external fields of the alpine chain of Eastern northern Algeria and economic interest is focusing to words this ore.

The sédimentological study of the area (El Khroub ore) has the main propose of environnement characterisation of the deposits limestones exploitation. Those limestones which has a Cénomanién age, constute the principal product to be used in the industrial field.

The sédimentological study defined the occurent and présence of barriere type, internal plate forme, and externer proximal plate forme.

Diagenetic study has revealed the differents diagenetic phenomenes: dissolution, oxydation, micritisation , recristallisation and fracturation.

Those phenomenes have got a big impact concerning the quality of the product in order to have more information on the quality of the product, a geochemicals anomalies has been done and results have revealed of differents zones of diffrentes quality.

The aim of this study work is also to use differentes maps of the region to synthesise the regional tectonic setting and to draws an iso-fracturation system maps. Such results conduct us to more prevision regarding the relative pure zones and impure zones.

## ملخص:

إن المواد غير المعدنية تدخل في عدد كبير من الصناعات خاصة في السنوات الأخيرة ليست فقط في الجزائر و لكن في العالم بأسره.

من بين هذه المواد المستعملة نجد الكلس و الذي سواء ذو شكل نقي (يتكون أساسا من  $Ca CO_3$ ) يستعمل في قطاع الصناعة حيث يضاف إلى بعض المنتجات الصناعية (الدهان، الورق، المطاط...إلخ) ، أو على شكل حصى عندما يكون الكلس يحتوي على مكونات أخرى إضافة إلى  $Ca CO_3$  حيث تبقى نسبته كبيرة، إن هذا النوع من الكلس يستعمل في الاسمنت و الأشغال العمومية.

إن محجرة الخروب تعود الى الجبال النيريتية القسنطينية و التي تعود إلى المجال الداخلي للسلسلة الألبية الجزائرية الشمالية الشرقية.

إن الدراسة الرسوبية لمحجرة الخروب سمحت بتصنيف أوساط تواجد الكلس المستغل. هذه التشكيلات الكلسية السينومانية تعود إلى مجال المسطبة الداخلية، مجال الحاجز و مجال المسطبة الخارجية القريبة. إن نموذج رسوبي انجز من أجل إبراز نوعية المادة المستغلة. الدراسة الرسوبية عمقت بدراسة التحولات الجينية لتصنيف مختلف الظواهر للتحولات الجينية و التي تدخلت على الكلس المستغل من أجل تصنيف جيد لنوعية المنتج المستغل. و لمعرفة جيدة لنوعية المنتج المستغل على مستوى محجرة الخروب قمنا بدراسة جيوكيميائية لمعرفة الأماكن الشاذة من الناحية الجيوكيميائية على السطح و تحت السطح. إن دراسة عدد الإنكسارات لجبل أم سطاس و محجرة الخروب وصلنا انجاز خريطة عدد الإنكسارات لجبل أم سطاس التي اعطينا رؤية على تركيز الإنكسارات و خريطة التنطيق و ذلك بتركيب خريطة تساوي عدد الانكسارات و خريطة تساوي احتوائها على  $Fe_2 O_3$ . خريطة التنطيق لمحجرة الخروب يمكن اعتبارها كدليل لاستغلال المحجرة.