

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ CONSTANTINE 1

N° d'ordre:....

N° de série:....



جامعة قسنطينة 1

Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographique
Et de l'Aménagement du Territoire
Département des Sciences Géologiques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister

Option : Ressources Minérales

Thème

**Les carrières de marbre du massif de Filfila (Est de Skikda :
Algérie nord-orientale) : contexte géologique, minéralogie,
qualité des matériaux et méthodes d'exploitation.**

Présenté par : BOUOUDEN Dahmane

Devant le jury

PRÉSIDENT : SHOUT Hocine

ENCADREUR : MARMI Ramdane

CO-ENCADREUR : BOUREFIS Ahcène

EXAMINATEUR : BOUFTOUHA Youcef

EXAMINATEUR : BOUMEZEBEUR Abderrahmane

Pr. Université Constantine 1

Pr. Université Constantine 1

Pr. Université Constantine 1

Pr. Université de Jijel

Pr. Université de Tébessa

Année universitaire : 2014-2015

Remerciements

Louange à Allah et que la paix et la bénédiction soient sur notre prophète Mohammed, sur sa famille, ses compagnons et tous ceux qui suivent le chemin jusqu'au jour dernier.

En se référant avec la parole prophétique : "**il n'est pas reconnaissant envers Allah, celui qui n'a pas reconnaissant envers les gens**", je tiens à remercier, toutes personnes ayant participés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de magister.

En particulier ; mon encadreur, le professeur MARMI Ramdane, pour m'avoir proposé le thème, et pour ses précieuses orientations, ainsi que pour ses critiques constructives, en effet les idées exprimées ici, sont pour l'essentiel le fruit de nos discussions.

Je tiens à remercier sincèrement, le professeur BOUREFIS Ahcène, pour son Co-encadrement malgré ses occupations, il me suffit de lui ses bénéfiques ouvrages sur la région d'étude.

Mes vifs remerciements vont au professeur SHOUT Hocine qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance, et aux professeurs BOUFTOUHA Youcef et BOUMEZEBEUR Abderrahmane d'avoir m'accorder une partie de leurs temps pour examiner ce travail.

Un grand merci aux personnels de l'entreprise ENAMARBRE, surtout les ingénieurs géologues de la carrière de blocs : Boudoukhana Mohamed Lamine, Nabil, Kamel,...Et ceux de la carrière d'El-Chatt : Sakri Moustafa et Ben Herz Allah Mohamed, Bilel,...

Merci aussi aux personnels de l'office national de la recherche géologique et minière (division Est, Tébessa), particulièrement Guedroudj Zidane.

Je tiens à remercier vivement, l'ensemble des enseignants du département de géologie à l'université de Constantine 1, en particulier ceux qu'ont faits parties du staff d'encadrement au cours de l'année théorique, ainsi que le chef de département pour sa grande aide.

Je n'oublierais pas d'adresser mes remerciements à tous les enseignants de la graduation de département de géologie à l'université Badji Mokhtar Annaba, pour la formation qu'ils m'ont donné au cours de mon cursus universitaire, et pour la documentation qu'ils m'ont fournie, ainsi que le responsable de l'atelier des lames minces M^r Alem jaafer pour sa grande aide.

Mes remerciements vont aussi, à mes collègues de promotion de la graduation, notamment Ouchefouni Abd El-malek et les tous les collèges de post-graduation pour leurs amitiés.

Enfin, je tiens à exprimer mon immense gratitude et dédie ce modeste travail :

À ma chère mère qui a été toujours à côté de moi par ses nobles invocations et sa patience.

À mon cher père qui a attendu avec patience les fruits de ses bonnes éducations.

À toute ma famille, mes proches et mes amis, surtout mon frère Djaber et le Shaikh M. S. Rslan, qui pour eux le choix de la formule de remerciement est très difficile.

Résumé

La région d'étude fait partie du domaine interne de la Chaîne Alpine d'Algérie nord-orientale dont le massif de Filfila, incluant le gisement de marbre, constitue un segment du socle kabyle.

Le gisement de marbre du massif de Filfila apparaît en fenêtre tectonique à la faveur de l'érosion du socle de Petite kabyle. Il est le résultat d'un métamorphisme méso-thermique de contact, entre les intrusions granitiques du Langhien et les formations carbonatées du Lias. Ces dernières occupent la position stratigraphique la plus basse de l'ensemble para-autochtone.

L'étude pétrographique de différents faciès de marbre au niveau de ce gisement a montré la nature carbonatée du marbre, dont le marbre gris clair est le plus dominant (72,75%).

L'étude minéralogique des marbres a révélé une richesse en calcite, cette dernière présente une texture massive et une structure essentiellement microcristalline, apparemment il est recristallisé à partir de calcaire plus ou moins homogène, qui pourrait être affecté, par endroits, par la dolomitisation.

Le traitement des données chimiques du marbre, en sondage indique une homogénéité du marbre, et une stabilité en CaCO_3 en profondeur où les teneurs peuvent varier de 94 à 99%. Ce marbre se caractérise aussi par la présence de faibles teneurs en oxydes des certains éléments.

L'analyse de la fracturation, en tant que critère essentiel dans l'évaluation de la qualité du marbre, a montré un développement vertical, dont la direction globale des fissures est vers le NE-SW, ($\text{N}40\text{-}60^\circ\text{E}$).

La méthode d'exploitation appliquée dans la carrière de Filfila utilise la technique " haveuse - fil diamanté", alors que la fracturation au niveau du gisement nécessite une technique plus adaptée. Quant à la carrière d'El-Chatt le marbre présente une fracturation très intense ce qui justifie son exploitation par les explosifs, sachant que les reverses restantes dépassent les 70 % de marbre.

Cependant pour une amélioration de la récupération du marbre dans la carrière de Filfila (réduire au minimum les chutes), on propose d'orienter le front d'exploitation parallèlement à la direction majeure de la fissuration, afin d'extraire des blocs moins fissurés (1^{er} choix).

De même on suggère de consacrer la partie supérieure de la carrière d'El-Chatt pour la production des poudres, car il se compose essentiellement de marbre blanc.

Mots clés : Filfila, Métamorphisme, Marbre, Fissuration, Minéralogie, Exploitation.

ملخص

تنتمي منطقة الدراسة إلى النطاق الداخلي من سلسلة جبال الألب للشمال الشرقي الجزائري، فكتلة فلفة بما تحتوي عليه من ودائع الرخام تشكل جزء من قاعدة القبائل.

تطل ودائع الرخام لكتلة فلفة كنافذة تكتونية من القاعدة القبائلية الصغرى بسبب عملية التآكل، وهي ناتجة عن تحول مماسي متوسط الدرجة بين الغرانيت المتطفل ذو العصر الليانجي وبين الرسوبيات الكلسية ذات العصر اللياسي، التي تشغل الطبقة الرسوبية السفلى من مجمع الصخور شبه المنقولة.

إن الدراسة البتروغرافية لمختلف سحنات الرخام الموجودة على مستوى هذا المكن أثبتت الطبيعة الكلسية لهذا الرخام، الذي يغلب فيه اللون الرمادي الفاتح (72.75%).

كما كشفت الدراسة المعدنية عن غناء هذا الرخام بالكالسيوم، هذا الأخير يتميز بنسيج كتلي ذو بنية صغيرة التبلور عموماً، الذي يظهر فإن هذا الرخام معاد التبلور للحجر الجيري الذي هو متجانس نوعاً ما، قد تعرض لظاهرة الدولمة في بعض الأماكن.

إن معالجة المعطيات الكيميائية للرخام تشير إلى مدى تجانسه، و استقرار نسبة الكالسيوم فيه مع الأعماق، حيث تتراوح نسبته من 94 إلى 99%، كما يتميز أيضاً بوجود نسب قليلة لبعض أكاسيد العناصر الأخرى.

لقد أثبتت الدراسة التفصيلية للتشققات باعتبارها المعيار الأساسي في تحديد نوعية الرخام، وجود نمو عمودي للتشققات، في الحالة العمومية باتجاه شمال شرق إلى جنوب غرب (من 40 إلى 60 درجة شمالاً).

إن طريقة الاستغلال المعتمدة في محجرة فلفة هي التي يستعمل فيها القاطعة مع السلك الالماسي، إلا إن وجود التشققات في الرخام هو أمر يستدعي استخدام تقنية امثل، في حين إن ارتفاع نسبة التشققات في رخام محجرة الشط هو عامل يبرر استغلال المتفجرات كطريقة للاستغلال، علماً بأن احتياطات الرخام المتبقي لهذا المكن يتجاوز 70%.

ومن أجل تحسين مردودية إنتاج الرخام في محجرة فلفة (خفض الفضلة إلى أدنى حد)، فإننا نقترح توجيه آلة القطع إلى الوضع الموازي للاتجاه الغالب في تلك التشققات، وذلك من أجل استخراج رخام فيه أدنى نسبة ممكنة من التشققات (من الدرجة الأولى).

كذلك نحبذ تخصيص القسم العلوي من محجرة الشط لإنتاج مسحوق الرخام، لأنه يتكون أساساً من الرخام الأبيض.

كلمات مفتاحية: فلفة، تحول، رخام، عدانة، تشققات، استغلال.

Abstract

The study area belongs to the internal domain of the Alpine chain in the north-eastern of Algeria, in which Filfila massif, including marble deposit, is a segment of the base Kabylie.

The marble deposit of Filfila massif appeared like a tectonic window due to the erosion of the base of Petite Kabylie, it is the result of a contact metamorphic of average degree, which accrued between the granitic intrusions of the Langhian Age and the carbonate formations of the Lias, which occupied the lowest stratigraphic position in the parautochthon complex.

Petrographic study of deferens facies of the marble at this deposit has shown the carbonate nature of the marble; the opened gray colour is the most dominant one (72.75%).

The mineralogical study of the marbles revealed its richness by the calcite (94 to 99 %), this latter has a massive texture and essentially microcrystalline structure, and apparently it was recrystallized from a homogenous limestone, affected in some location by dolometazation.

The treatment of the marble chemical data of the samplings indicates of the homogeneity of the marble, and its stability of CaCO_3 in depth with content varies from 94 to 99%, it is also characterized by the presence of small amounts of oxides of some elements.

The analysis of the fracturing as a key criterion in assessing the quality of the marble has shown a vertical development, in general way; the major orientation of the cracks is to the NE-SW, ($\text{N}40^\circ\text{-}60^\circ\text{E}$).

The applied method of exploitation in the Filfila quarry relies on the use both of the cutter machine and diamond wire together, but the existence of fracturing in the marble of this deposit requires a specific technique. While the high intensity of fracturing in the marble of El-Chatt quarry justifies its operations by explosives, knowing that more than 70 % of the marble reserve in this deposit are not yet extracted.

However in order to improve the rate of recuperation of the marble that we extract from the quarry of Filfila (decrease scraps to the minimum) , we should guide the operating front in a direction parallel to the major direction of cracking in the marbles, in order to extract blocks with a minimum cracks (1st choice).

We suggest also spending the upper part of El-Chatt quarry for producing the powders, because it consists essentially of the white marble.

Key words: Filfila, metamorphism, marble, fissuring, mineralogy, exploitation.

Abréviations

UTM: Universal Transverse Mercator.

GPS: Global positioning system.

DMS : Degrés, minutes, secondes.

AlKaPeCa : Pour Alboran, Kabylies, Paloritain et Calabre qui sont les différents massifs internes de l'orogène périméditerranéen.

Ma : Million d'année.

OREM : Office national de la recherche géologique et minière.

ENAMARBRE : Entreprise nationale du marbre.

EREM : Entreprise nationale de recherche minière.

SONAREM : Société nationale de la recherche minière.

SO.TRA.M.EST : Société des travaux maritimes de l'Est.

SONATRO : Société nationale des travaux routiers.

URSS : Union des républiques socialistes soviétiques.

CMD : Coefficient de micro-deval.

CLA : Coefficient de los angles.

SEV : Sondage électrique vertical.

S : Sondage.

Èch : Échantillon

LN : Lumière naturelle

LP : Lumière polarisée

Obj×10 : Objective du microscope avec dix fois d'agrandissement

HCL++ : Fait l'effervescence (dégagement de CO₂) avec l'acide chlorhydrique dilué à froid.

PAF : Perte au feu

ρ_a : Résistivité apparente

K : Constant géométrique

Rcu : Résistance à la compression

Pr : Profile

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE.1 : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE	
I. INTRODUCTION ET RAPPEL HISTORIQUE.....	3
II. CADRE GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION DE FILFILA.....	5
1. La situation géographique.....	5
2. Le climat	6
3. La végétation et le relief	7
4. L'hydrogéologie et les cours d'eaux.....	7
5. Les infrastructures.....	8
6. La population et les activités économiques	8
III. GÉOLOGIE RÉGIONALE.....	10
A- LES ENSEMBLES SÉDIMENTAIRES.....	10
1. Le domaine interne	11
1.1. Le socle kabyle.....	11
1.2. La dorsale kabyle	12
1.2.1. La chaîne calcaire interne	12
1.2.2. La chaîne calcaire médiane	12
1.2.3. La chaîne calcaire externe	12
2. Le domaine des flyschs.....	13
2.1. Le flysch maurétanien.....	13
2.2. Les flyschs massyliens.....	13
2.3. Le flysch numidien.....	13
3. Le domaine externe	14
3.1. La série tellienne.....	14
3.1.1. L'unité ultra-tellienne.....	14
3.1.2. L'unité centralo-tellienne (ou tellienne au sens strict)	14
3.1.3. L'unité pénitellienne.....	14
3.2. La série de l'avant pays allochtone.....	14
3.2.1. L'unité sétifienne.....	14
3.2.2. L'unité de l'avant pays allochtone constantinois	14
3.2.3. L'unité des confins Algéro-Tunisien	14
3.3. La série de l'avant- pays atlasique autochtone	14

B- LES ENSEMBLES MAGMATIQUES	15
1. Le granite de Beni Touffout.....	15
2. Le granite de Cap Bougaroun.....	15
3. Le granite de Filfila.....	15
C-TECTONIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	16
D- RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.....	18
IV. GÉOLOGIE LOCALE	19
A- LES ENSEMBLES SÉDIMENTAIRES.....	19
1. Ensemble Autochtone	20
2. Ensemble allochtone kabyle	20
2.1. Paléozoïque inférieure	20
2.1.1. Assise inférieure ϵ^{1-2}	20
2.1.2. Assises supérieure ϵ^{2-3}	20
2.2. Permo trias P-T	20
2.3. Oligocène e^{8-9}	20
3. Ensemble Parautochtone.....	21
3.1. Lias L^{1-4}	21
3.2. Dogger Néocomien $J_2- b^4$	22
3.3. Aptien Albien b^{5-6}	22
4. Nappe de flysch sénonien à micro-brèches	23
4.1. Cénomano-Turonien K^{1-2}	23
4.2. Sénonien K^6	23
5. Ensemble post-nappe	23
5.1. Nappe numidienne (paléogène- éocène- lutétien).....	23
5.1.1. Assise inférieure (e^3_a) : argiles	23
5.1.2. Assise supérieure (e^3_b) : grès	23
5.2. Le Quaternaire	23
5.2.1. Messaoudien Q^2	23
5.2.2. Soltanien Q^5	23
B- LES ENSEMBLES MAGMATIQUES	24
1. L'origine des granites de Filfila.....	24
1.1. La cristallisation fractionnée.....	24
1.2. La fusion partielle	24

2. Classification du granite	26
3. Les roches magmatiques	26
3.1. Granites	26
3.1.1. Le granite à tourmaline.....	27
3.1.2. Le granite à biotite (à cordiérite)	27
3.1.3. Les granites à topaze	27
3.2. Granodiorites et diorites quartzifères	27
3.3. Dykes et complexes filoniens	28
C- LES ENSEMBLES MÉTAMORPHIQUES	29
1. Les facteurs de métamorphisme	29
2. Le gradient métamorphique	29
3. Estimation des conditions de métamorphisme.....	30
4. Les roches métamorphiques	31
4.1. Les skarns	32
4.1.1. Transformation du calcaire au skarn	32
4.1.2. Transformation du granite au skarn	32
4.1.3. Transformation de la cornéenne au skarn	33
4.2. Les cornéennes.....	33
4.2.1. Les cornéennes pélitiques	33
4.2.2. Les cornéennes calcaréo-pélitique	33
4.2.3. Les cornéennes calciques	33
4.2.4. Les cornéennes gréseuses	33
4.3. Le marbre (le gisement).....	34
4.3.1. Complexe inférieur (secteur Nord-est).....	34
4.3.2. Complexe moyen (secteur centrale).....	35
4.3.3. Complexe supérieur (secteur Sud)	35
D- STRUCTURE TECTONIQUE DE LA RÉGION DE FILFILA.....	37
1. La structure de l'autochtone	37
2. La structure l'allochtone kabyle	37
3. La structure du para autochtone	38
4. La structure de la nappe du flysch	39
5. La structure de la nappe numidienne	39
V. CONCLUSION.....	40

CHAPITRE.2 : MINÉRALOGIE DU MARBRE

I.	INTRODUCTION.....	41
II.	GÉNÉRALITÉS SUR LES MARBRES.....	42
1.	Définition du marbre	42
2.	La genèse géologique du marbre.....	43
3.	Classification du marbre.....	44
3.1.	La teinte.....	44
3.2.	Le pourcentage en Ca CO ₃	44
3.3.	L'origine	44
3.4.	L'aspect des éléments visibles	44
4.	Les caractéristiques technologiques des marbres.....	45
5.	Les utilisations du marbre	46
6.	La répartition des gisements de marbre dans le monde	47
7.	Les gisements de marbre en Algérie	48
8.	La production mondiale et algérienne du marbre	48
III.	ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE DU MARBRE DU GISEMENT DE FILFILA.....	49
1.	Les marbres de la carrière à blocs de Filfila	49
1.1.	Échantillon n°1 : marbre blanc	49
1.2.	Échantillon n°2 : marbre gris clair	51
1.3.	Échantillon n° 3 : marbre réséda marron.....	53
1.4.	Échantillon n°4 : marbre gris foncé.....	55
2.	Les marbres de la carrière d'agrégat d'El-Chatt.....	57
2.1.	Échantillon n°1 : marbre blanc	57
2.2.	Échantillon n° 2 : marbre dolomitisé.....	59
2.3.	Échantillon n°3 : marbre gris foncé.....	61
IV.	ÉTUDE GÉOPHYSIQUE ET GÉOCHIMIQUE DU MARBRE.....	64
1.	ÉTUDE GÉOPHYSIQUE.....	64
1.1.	Reconnaissance géophysique dans la carrière de Filfila	64
1.1.1	Méthodologie des travaux géophysiques.....	64
1.1.2.	L'interprétation des données géophysiques.....	67
1.2.	Reconnaissance géophysique dans la carrière d'El-Chatt.....	69
2.	ÉTUDE GÉOCHIMIQUE	71

2.1.Échantillonnage.....	71
2.2. Technique d'analyse.....	72
2.3. Traitement des données d'analyse chimique.....	74
V. CONCLUSION	73
CHAPITRE .3: LA QUALITÉ DU MARBRE	
I. INTRODUCTION	74
II. LA QUALITÉ DU MARBRE DE LA CARRIÈRE DE FILFILA.....	75
1. Étude de la qualité décorative du marbre	75
1.1. Les variétés de couleur du marbre	75
1.2. Les phénomènes affectant la qualité décorative du marbre.....	77
2. Étude de la fracturation	80
2.1. Mesure de la fracturation	80
2.2. Analyse quantitative et qualitative de la fracturation.....	81
2.3. Distribution de la fracturation dans le périmètre d'étude.....	83
3. La reconnaissance géophysique sur la qualité du marbre en profondeur.	86
3.1 Méthodologie des travaux géophysiques	86
3.2. L'interprétation des données géophysiques.....	89
4. Étude des propriétés physico-mécaniques du marbre	91
4.1. Essai de la résistance à l'usure des gravillons (Micro-Deval).....	91
4.2. Essai de la résistance à la fragmentation des gravillons (Los Angeles).....	92
4.3. Essai de la résistance à la compression.....	92
4.4. Essai de la porosité	93
4.5. Essai de la masse volumique	93
4.6. Essai de la densité	93
4.7. Essai d'absorption d'eau.....	93
4.8. Essais de broyabilité.....	94
4.9. Essai de la propreté superficielle	94
III. LA QUALITÉ DU MARBRE DE LA CARRIÈRE D'EL-CHATT.....	95
1.Études de la qualité décorative du marbre	95
1.1. Le marbre blanc.....	95
1.2. Le marbre dolomitisé	95
1.3. Le marbre gris et gris foncé.....	96
2. Étude de la fracturation	99

4. Propriétés physico-mécaniques du marbre	103
5. Composition chimique du marbre	105
IV. CONCLUSION	106
CHAPITRE.4 : MÉTHODES D'EXPLOITATION DU MARBRE	
I. HISTORIQUE DES TRAVAUX.....	108
II. MÉTHODE EXPLOITATION DU MARBRE DANS LA CARRIÈRE DE FILFILA.....	109
1. Méthode d'extraction des blocs de marbre	110
1.1. La technique combinée	110
1.2. La technique de sciage.....	111
2. Processus de traitement des blocs de marbre.....	112
2.1.Étape de classification.....	112
2.2. Étape de transformation	112
3. Travaux de développement dans la carrière à blocs.....	114
4. Travaux de production dans la carrière à blocs.....	115
4.1. La zone Sud	115
4.2. La zone Nord	115
5. Calcul des réserves dans la carrière à blocs.....	117
III. MÉTHODE D'EXPLOITATION DU MARBRE DANS LA CARRIÈRE D'EL- CHATT.....	118
1. Méthode d'extraction des agrégats de marbre	118
2. Processus de traitement des agrégats de marbre.....	123
3. Travaux de développement dans la carrière d'El-Chatt.....	125
3.1. Au niveau supérieur.....	125
3.2. Au niveau de la fosse (351).....	125
4. Travaux de production dans la carrière d'El-Chatt.....	126
5. Calcul des réserves dans la carrière d'El-Chatt.....	127
IV. CONCLUSION.....	128
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	129
BIBLIOGRAPHIE.....	132
ANNEXES.....	135



INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La région de Filfila se localise dans le Nord-est algérien, se trouve à 25 km à l'Est de Skikda et à 530 Km à l'Est d'Alger. Elle appartient au domaine interne de la Chaîne alpine d'Algérie nord-orientale, et fait partie du massif de la petite Kabylie.

Ce massif a connu une activité magmatique durant le Miocène, ce qui a généré la mise en place de plusieurs intrusions granitiques, comme le granite de Beni Touffout, de Cap Bougaroun et de Filfila. Ce dernier porte une valeur spécifique, car c'est le moteur génétique qui a donné naissance au processus de métamorphisme de contact avec les formations carbonatées liasiques du Filfila qui sont en contact avec lui, formant ainsi le célèbre gisement de marbre du Filfila.

Ce gisement de marbre se localise au massif de Filfila proprement dit, il est considéré comme le gisement le plus actif du pays, compte tenu de sa potentialité en marbre et sa position géographique. Actuellement il est exploité par l'ENAMARBRE en deux carrières : la carrière de Filfila pour la production des blocs et la carrière d'El-Chatt pour la production des agrégats de marbre. Il occupe la position stratigraphique la plus basse dans l'ensemble du parautochtone de Filfila et se caractérise par la présence de trois écailles tectoniques, superposées les unes aux autres dont l'orientation majeure est NW-SE.

Le présent travail a été réalisé en appliquant la méthodologie suivante :

- Levé de coupes géologiques sur terrain, et parfois en se référant aux anciens travaux. Nous avons utilisé le logiciel "Surfer.10" pour la mise au propre.
- Prélèvement systématique des échantillons de marbres dans différents faciès, en tenant compte du changement latéral des faciès de marbre sur chaque gradin de ces carrières. Aussi nous avons orienté les profils d'échantillonnage suivant une direction perpendiculaire à la stratification et selon la progression des fronts de taille des carrières. Nous avons confectionné une trentaine de lames minces pour la caractérisation minéralogique de ces marbres.
- Traitement géochimique d'une quarantaine d'échantillons de sondage, dont l'étude a porté sur les trois oxydes majeurs : CaO, MgO, SiO₂.
- Analyse de la fracturation, en effectuant un millier de mesures dans la carrière de Filfila. Le traitement statistique et graphique des données a été réalisé en utilisant le logiciel "Illustrator", version : CS5 (15.0) 2010.
- Un stage pratique de quinze jours est effectué sur terrain dans le but de se familiariser aux différentes méthodes d'exploitation appliquées dans les deux carrières.

L'objectif principal de notre travail de recherche, réalisé dans le cadre du mémoire de magister, est d'estimer expérimentalement les variétés et la qualité du marbre sur la base des

études : minéralogique, pétrographique et la fissuration. En effet, la qualité des marbres est devenue aujourd'hui un des principaux enjeux chez les marbriers et les maîtres d'ouvrages. Une amélioration de celle-ci a pour objectif direct d'optimiser la production des matériaux et les procédés de mise en œuvre. Donc pour améliorer la qualité du matériau en question et le rentabiliser il est impératif d'avoir une bonne connaissance du gisement sur le plan géologique d'une manière générale et d'assurer un bon suivi de l'exploitation afin d'optimiser la production en réduisant les pertes causées par la fracturation.

Toutefois pour y arriver, il est fondamental d'avoir une idée claire sur les variations des caractéristiques du marbre en surface et en sub-surface, ainsi que la nature de la matière exploitée et ses impacts sur les outils de traitements.

À cet effet nous avons structuré notre travail de recherche en quatre grands chapitres, qui sont les suivants :

- Le premier chapitre est consacré au contexte géographique et géologique de la région d'étude. Il s'agit de l'identification de la nature physique et géomorphologique de la région de Filfila. Ensuite nous avons réalisé une synthèse bibliographique sur la géologie régionale de l'Algérie nord-orientale et sur la géologie locale de la région de Filfila. Une attention particulière est accordée à l'unité parautochtone du Filfila et son célèbre gisement de marbre.

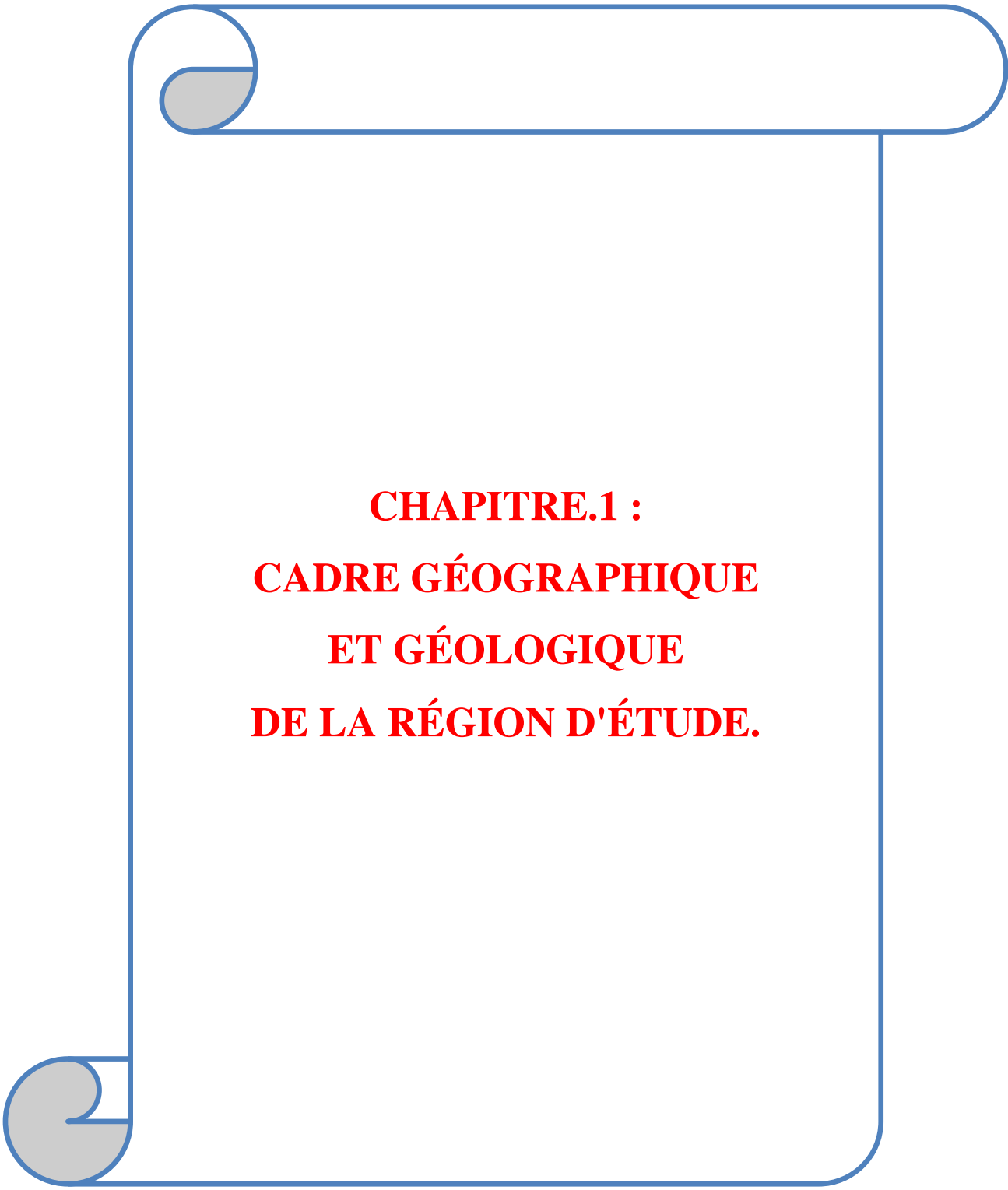
- Le deuxième chapitre du mémoire comporte une caractérisation minéralogique et une étude pétrographique des marbres du gisement de Filfila et d'El-Chatt.

Celle-ci est complétée par une étude géochimique du marbre, à partir des données d'analyses chimiques de l'ORGM (2011).

- Le troisième chapitre est réservé à l'évaluation qualitative du marbre de la carrière de Filfila, basée sur le traitement d'un millier de mesures réalisé sur la fracturation.

- Le quatrième chapitre aborde les méthodes d'exploitation du marbre, utilisées dans les deux carrières. Ceci implique les techniques d'extraction utilisées, les processus de traitement, la production, les travaux de développement et le calcul des réserves.

Ce mémoire de magister, constitue une contribution à l'étude de ce gisement, en synthétisant sa géologie, en étudiant sa minéralogie/pétrographie et la qualité des matériaux et l'orientation de l'exploitation en tenant compte des directions majeures de la fracturation.



CHAPITRE.1 :
CADRE GÉOGRAPHIQUE
ET GÉOLOGIQUE
DE LA RÉGION D'ÉTUDE.

I. INTRODUCTION ET RAPPEL HISTORIQUE

Vu la richesse du massif de Filfila en substances utiles non métalliques (granite, marbre, sable), il a été l'objet de nombreuses études, plusieurs auteurs ont dégagés les traits majeurs de la géologie de cette région et de ses environs :

En (1854) Coquand H. est le premier qui a décrit brièvement les granites de Filfila comme étant des granites à grains fins avec des micas, quartz et tourmaline sans autre précision.

En (1950) Dubourdiou G. et Durozoy G. ils ont émis l'hypothèse suivante : la Safia serait une fenêtre tectonique entre la chaîne calcaire au sud et le massif cristallin para-autochtone de l'Edough à l'Est, le Filfila enfin apparaît sous le chevauchement Kabyle.

Les dernières études du massif ont été menées dans un cadre de la recherche académique : Perrin C. (1969) pour l'aspect stratigraphique et sédimentologique de la région, Semroud B. (1970) a étudié en détail les granites de Filfila, Fougnot J. (1990) a étudié le magmatisme Miocène du littoral Nord Constantinois, Romanovsky S. (1991) aborda la gîtologie et la paléogéographie et la tectonique de la région, Bourefis A. en (1994) et en (2006) a étudié respectivement les skarns et les granites.

Pour ce qui concerne le gisement de marbre du Filfila en particulier, les premières données géologiques appartiennent aux : Termier P. (1902), Ficheur E. (1903), Dalloni M. (1920), Roubeault M. (1934), Deleau P. (1935), Lemoy C. (1969). Ces études ont permis de déterminer l'Age Mésozoïque du marbre et de caractériser les phénomènes de contact qui ont générés la marmorisation des calcaires, de même ils ont établis la structure de l'ensemble du parautochtone, dans lequel sont situés les calcaires marmorisés du Djebel Filfila.

En (1967-1969) l'équipe des géologues égyptiens avec Afia M. S. a établi le schéma de la répartition des affleurements des marbres au 1/5000 et la carte géologique du site, sept (07) variétés de marbres ont été distinguées et leurs réserves respectives ont été calculées.

En (1969-1971) l'équipe de géologues soviétiques avec Tchkhovitch V. D. a réalisé des travaux géologiques dont les résultats sont exposés dans la notice explicative de la feuille N°15 de la carte géologique de Filfila à l'échelle 1/50 000. L'échelle des travaux n'a pas permis de déchiffrer la structure interne des marbres et leur rapport avec les roches encaissantes.

En (1971-72) l'équipe de géologues roumains travaillant pour le compte de la SONAREM, a réalisé les travaux suivants : levé topographique 1/500 (0,2 km²), forage carottant (445 ml), 10 sondages, prélèvement des (18) monolithes, prélèvement de (41) échantillons de carotte, études technologiques (441 échantillons). Sur la base de ces études, un calcul des réserves a été réalisé en catégories industrielles : B = 565 mille m³ et C₁ = 1862 mille m³.

En (1979-1980) la SONAREM, en prospectant le flanc Nord de la carrière d'El-Chatt, a réalisé les types de travaux suivants : Étude géologique faite par le géologue Russe Kadirov A. Cette étude avait une tâche bien précise, elle comporte : l'estimation des réserves de marbre blanc pour l'industrie de peinture, levé de la carte géologique schématique au 1 :500 du chantier d'El-Chatt, qui a permis d'étudier la structure géologique et de délimiter les aires de développement des différentes variétés de marbre, c'est ainsi qu'on a établi que le site d'EL-Chatt est une extension naturelle du gisement de Filfila d'orientation Nord-ouest.

Aussi cette étude a pu de déterminer les couleurs du marbre, et réalisée des forages carottant (156 échantillons) et l'analyse chimique en vue de la détermination de CaCO_3 et de Fe total.

En (1989-1991) l'EREM a entrepris une étude géologique en utilisant des sondages plus profonds pour mieux comprendre le calcul des réserves.

En (2011) l'ORGM, à la demande de l'ENAMARBRE, a effectué une étude géologique détaillée de la carrière du Filfila, et actuellement l'étude est en cours pour l'exploration de la partie centrale de la carrière de Filfila.

En générale, les géologues Égyptiens et Roumains ont déterminés la position géologique, et les réserves et les variétés du marbre du gisement de Filfila, mais un grand nombre de défauts et de problèmes structuraux et géologiques de la région restent en suspension, parmi eux :

- ❖ L'emplacement des sondages d'évaluations a été faite sans études géophysiques.
 - ❖ Aucun sondage n'a dépassé l'assise de marbre (15-80 m), de même les autres paramètres n'ont pas été étudiés jusqu'à présent, surtout dans la carrière d'El-Chatt.
 - ❖ La maille de prospection était irrégulière vu l'implantation visuelle des sondages.
 - ❖ Les limites géologiques du gisement ainsi que le caractère du contact des marbres avec les roches encaissantes et leurs positions dans l'espace n'ont pas été bien déterminées.
- En effet, l'information concernant les contacts est contradictoire : le contact Nord-est du gîte principal avec les dépôts des flysch, a été considéré par les géologues roumains comme étant tectonique ; par contre, les géologues égyptiens ont déduit que les marbres sont recouverts en discordance par les dépôts de flysch.
- ❖ Les propriétés physico-mécaniques et chimiques du marbre n'étaient pas étudiées qu'en vue d'une estimation prévisionnelle de l'exploitation.
 - ❖ Méconnaissance des facteurs influant sur la qualité du marbre, et la manque des solutions pour résoudre ces problèmes qui abaissent la qualité du marbre.
 - ❖ Le calcul des réserves n'était pas précis (estimé sur la base d'une évaluation visuelle).
 - ❖ Il est injustifié l'exploitation des affleurements isolés se trouvant autour du gisement avant de déterminer tout le gisement.

II. CADRE GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION DE FILFILA

1. La situation géographique

Le massif de Filfila célèbre d'un gisement de marbre, qui se localise à 25 Km à l'Est de Skikda et à 530 Km du Nord-est d'Alger. **Fig.1**.

Ce gisement de marbre est limité à l'ouest par la plaine de Skikda-Larbi Ben Mhidi- qui vient se terminer au village des Platanes, donnant suite au massif du Filfila au sens strict, à l'Est par la vaste plaine de Sanhadja et au Nord par la mer méditerranée, et enfin au Sud par le massif d'El-Alia connu pour son ancienne mine de pyrite.

Les coordonnées géographiques du Djebel Filfila sont : 36°53'53" N et 7°5'52" E (en DMS).

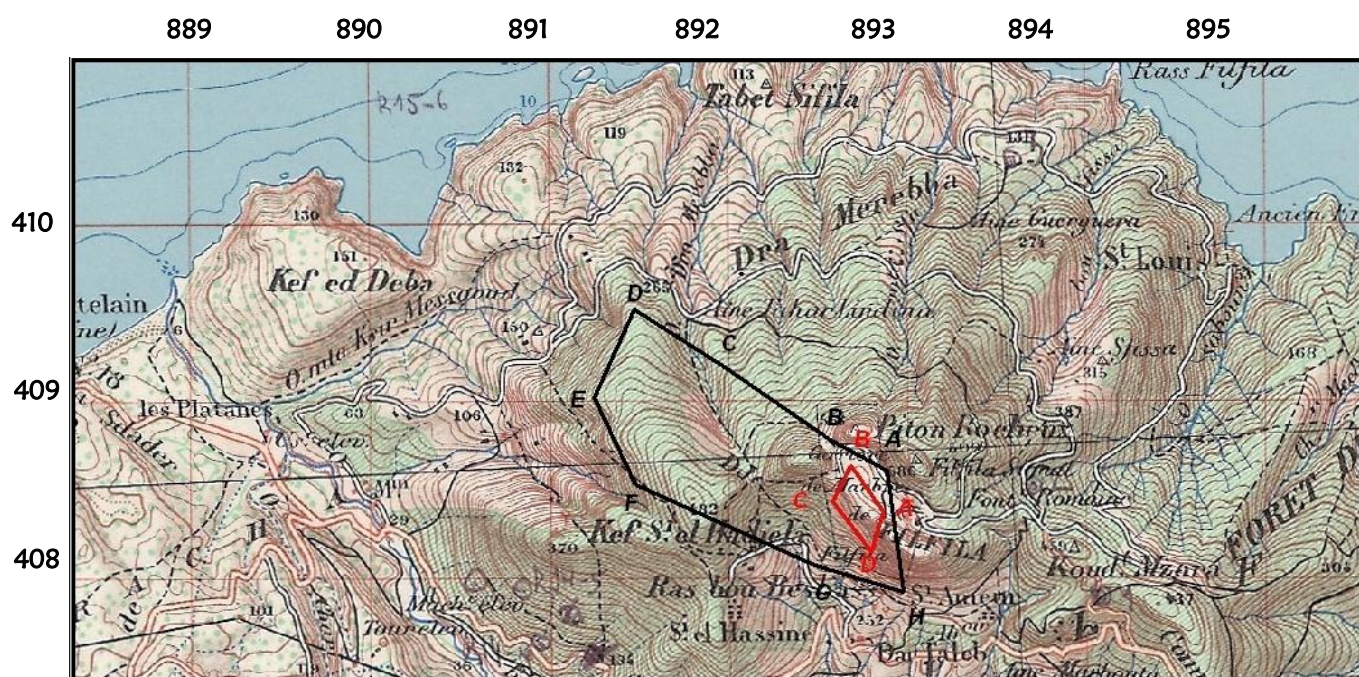


Fig.1 : Situation du gisement de marbre de Filfila, (extrait de la carte topo N°15 au 1/50 000).

Points limitant la concession de L'ENAMARBRE	Coordonnées UTM		Coordonnées Lambert		Points Limitant le site d'étude	Coordonnées UTM		Coordonnées Lambert	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
A	330524	4085000	891908	408586	A	330486	4084769	891885.14	408353.51
B	330221	4085191	891593	408757	B	330322	4085042	891703.78	408615.21
C	329656	4085641	891000	409170	C	330207	4084846	891601.79	408412.19
D	329178	4086003	890500	409500	D	330382	4084593	891792.82	408171.16
E	328921	4085519	890275	409000					
F	329114	4085015	890500	408510					
G	33082	4084491	891500	408050					
H	330571	4084309	892000	407900					

Tableau.1 : coordonnées UTM et Lambert du Nord Algérien, pour la concession de l'ENAMARBRE et le site d'étude. ORGM. (2011).

Le gisement de marbre de Filfila est exploité actuellement par l'ENAMARBRE (entreprise nationale du marbre) en deux carrières, qui font l'objet de notre étude (la carrière à blocs de Filfila et la carrière d'agrégats d'El-Chatt).

Ces carrières sont installées dans la même formation géologique du massif (calcaires Liasiques), et sur le même alignement d'un plateau, que se caractérise par la présence d'un terrain très accidenté d'altitude maximal de 580 m.

La carrière de marbre à blocs de Filfila se localise dans la partie septentrionale de la feuille N°15 (Filfila).

Dans cette carrière l'affleurement de marbres et de calcaires marmorisés constitue la pente de la crête de Filfila, dont la largeur de l'affleurement des marbres déjà connue est variée de 200 à 300 m et s'étend sur une longueur de 1,1 km.

La carrière d'agrégats d'El-Chatt est située à une distance de 300 m au Nord-est de la carrière de Filfila, formant ainsi trois petits massifs, considérés comme des extensions naturelles de la carrière principale de Filfila.

Elle est représentée par une petite colline allongée au Nord sur près de 800-900 m, sa largeur est de 300-400 m, la dénivelée absolue est de 425 m, les marbres d'El-Chatt sont associés avec les flancs Ouest et Sud du site.

La superficie totale de la concession de l'ENAMARBRE est de l'ordre de 131.7 hectares.

2. Le climat

Le climat de la région du Filfila est typiquement méditerranéen (type de climat tempéré ou "tempéré chaud" ou "subtropical"), il est influencé par la proximité de la mer et se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides.

La région est très pluvieuse en hiver, le volume des précipitations est relativement élevé au Nord et sur les plus hauts sommets, il dépasse 800 mm/ an. **Fig.2.**

Les différences de température sont grandes, les températures d'hiver les plus basses sont de 9 C° et en été elles dépassent 35C°.

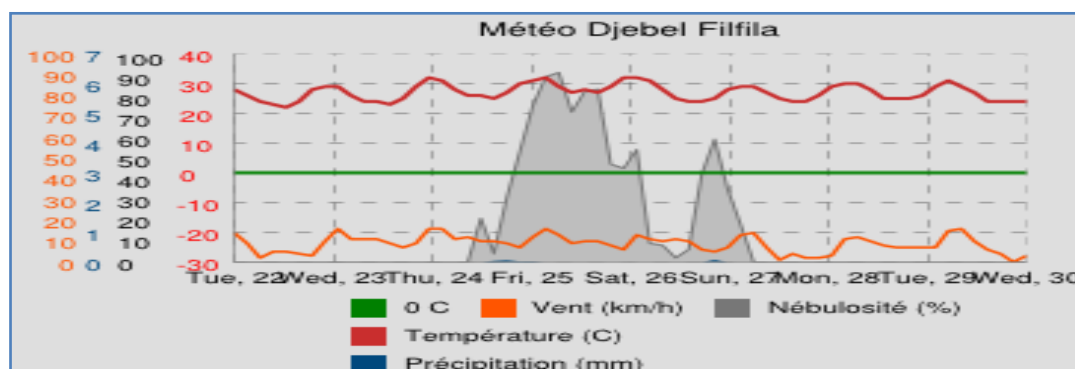


Fig.2 : La météo du Djebel Filfila, de 22 à 27-07- 2014. (www.meteo.dz).

3. La végétation et le relief

La végétation du Djebel Filfila est constituée par un maquis très dense dont la pénétration est localement très difficile. On note des broussailles, de chaîne liège, oliviers, herbes, etc....

Le secteur d'étude est recouvert par des broussailles très denses qui rendent parfois l'accès très difficile, mais au niveau des carrières la végétation est insignifiante à l'exception de la périphérie orientale et septentrionale du site, qui est couverte par la chaîne liège, les affleurements sont observés essentiellement dans les régions des lignes de partage des eaux. En ce qui concerne le relief, le secteur d'étude est caractérisé par un relief montagneux partiellement très accidenté, il se caractérise aussi par des vallées profondes et des sommets arrondis, parfois rocheux. Dans les zones d'affleurement, il existe un relief karstique caractérisé par l'apparition des sommets rocheux et des collines.

4. L'hydrogéologie et les cours d'eau

Le réseau hydrographique est un peu dense, il se caractérise par des oueds profonds et étroits, dont les plus importants sont l'oued Sabaoun et l'oued Righa, ce dernier ceinture en gros le Djebel Filfila. Il est d'orientation Est-ouest d'abord puis vers le Nord-ouest et Sud-est. **Fig.3.**

La carrière d'El-Chatt est affectée par de petits oueds et des ravins aux flancs affaissés dans la direction Nord-ouest.

Les sources sont assez nombreuses dont les plus importantes sont celles de la région de Dar - Taleb, de Marbouba et celle de mine du Fendeck.

Le drainage des eaux s'effectue par un ensemble des affluents qui recourent le site en direction Sud-Nord et envoient les eaux de surface vers la mer méditerranéenne au Nord.

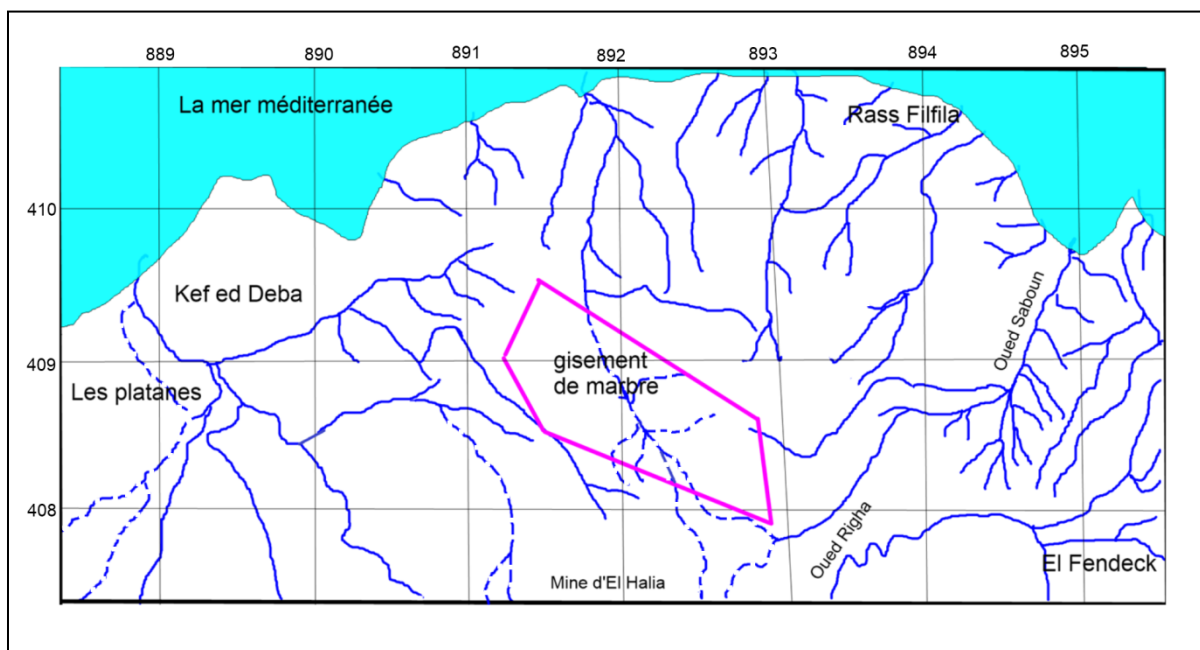


Fig.3 : Le réseau hydrographique de la région de Filfila.(la carte topo N°15 au 1/50 000).

La région d'étude se caractérise par la prédominance des roches peu perméables (schistes flysch) en bordure du massif des roches précambriennes (partie Sud-est de la région), ces formations favorisent la formation des nappes sporadiques.

Des nappes aquifères importantes sont constatées dans les alluvions et les dépôts colins, qui comblent une large dépression dans le Nord-est de la région. Les eaux sont de nature chlorito-sodique et hydro-carbonatée.

Les calcaires du Djebel Filfila représentent une masse perméable vue de leurs fissurations.

Les eaux de pluie qui tombent sur la surface du massif descendent rapidement sur les fissures et les crevasses et les zones faillées et sont drainées par un riche réseau karstique jusqu'à la couche imperméable des marno-argileuses, situées à 250 m environ au-dessous de la surface.

Sur le contact entre les calcaires et les marno-argiles, plusieurs sources ouvrent une nappe d'eau située à la base des calcaires. Cependant les sondages réalisés sur le territoire du gisement n'ont pas mis en évidence les nappes aquifères ou des cours d'eau permanent.

5. Les infrastructures

Au niveau de ces carrières se trouvent :

- Des bureaux administratifs, un magasin et des ateliers.
 - Un poste de transformation de 2 X 630 KVA bâti en dur qui alimente les carrières en énergie électrique.
 - Un groupe électrogène de 500 KVA est utilisé en cas de coupure de l'énergie électrique.
 - Une station de pompage se trouvant au niveau de l'ancienne mine de fer d'El-Alia distante de 6 Km, est dotée d'un réservoir d'eau en (A) et (B), le réseau de conduite d'eau est alimenté par une pompe avec un débit de 12 m³ par minute, ce débit est suffisant pour les besoins d'exploitation, l'alimentation en eau industrielle et potable s'effectue à partir des sources d'eaux souterraines, situées dans les limites et aux environs du gisement.
 - Le réseau routier est noté par le chemin de grande communication N°18 qui traverse les deux (02) feuilles NN°14 et 15 (Skikda-Filfila) et le chemin de grande communication, qui relie la partie Nord de la feuille N°15 à partir d'Azzaba, Djendel vers la localité Dem El-Bégrat.
- L'accès principal à la carrière d'EL-Chat est relié par une piste aménagée de 5 km dont leur état nécessite un entretien périodique.

6 .La population et les activités économiques

Le Djebel du Filfila est assez peuplé, les habitants sont concentrés dans plusieurs villages.

Les centres principaux sont Dar-Taleb doté d'une école, Ain Marbouba autour de la source, El-Alia au voisinage de la mine, mais les habitants sont surtout concentrés sur le versant Sud du Djebel Filfila, l'essentiel de la population travaille à la marbrerie.

Le massif de Filfila était surtout connu pour son ancienne mine de pyrite d'El-Alia, mais aujourd'hui sont les carrières qui présentent un intérêt économique, on y trouve : **Fig.4.**

- ❖ Carrière à blocs de marbre de Filfila (Skikda)
- ❖ Carrière de dérivés de marbre d'El-Chatt (Filfila - Skikda).
- ❖ Une sablière située à proximité de l'ancienne mine d'El-Alia (fermée récemment)
- ❖ La carrière du granite de SONATRO (carrière de la société nationale des travaux routiers), aujourd'hui il est abandonné, elle se situe à proximité de la route Skikda-Filfila (W12).
- ❖ La carrière de SO.TRA.M.EST (Société des Travaux Maritimes de l'Est) pour l'exploitation du gravier de granite.



Fig.4 : Localisation des carrières de la région de Filfila, (Google Earth).

- ❖ Récemment un projet d'une carrière de granite-Filfila (Skikda) est en voie d'ouverture, de même on s'intéresse aussi aux affleurements de skarns, qui se trouvent à la proximité immédiate de la route Skikda-Filfila (W12), surtout pour la production des gravières.

III. GÉOLOGIE RÉGIONALE

La région d'étude (massif de Filfila) fait partie du socle kabyle (Durand Delga M. 1969), entité paléogéographique du domaine interne de la chaîne Alpine ou de Maghrébide en Algérie du Nord-orientale. L'édifice orogénique de cette dernière s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, depuis l'Espagne du sud jusqu'à l'arc Calabro – Sicilien en Italie. **Fig.5.**

D'après Wildi W. (1983), la chaîne du Maghrébide est le résultat de la convergence et de la collision d'un élément de la marge Sud européenne avec la marge Nord-Africaine d'un bassin Téthysien Maghrébin, qui faisait communiquer la Téthys avec l'Atlantique central.

A- LES ENSEMBLES SÉDIMENTAIRES

La chaîne Alpine en Algérie est caractérisée par des structures en nappe à vergence sud dominante, ces nappes sont issues de trois domaines paléogéographiques (Raoult J. F. 1974), du Nord au Sud, on peut différencier trois grands domaines distincts : **Fig.5.**

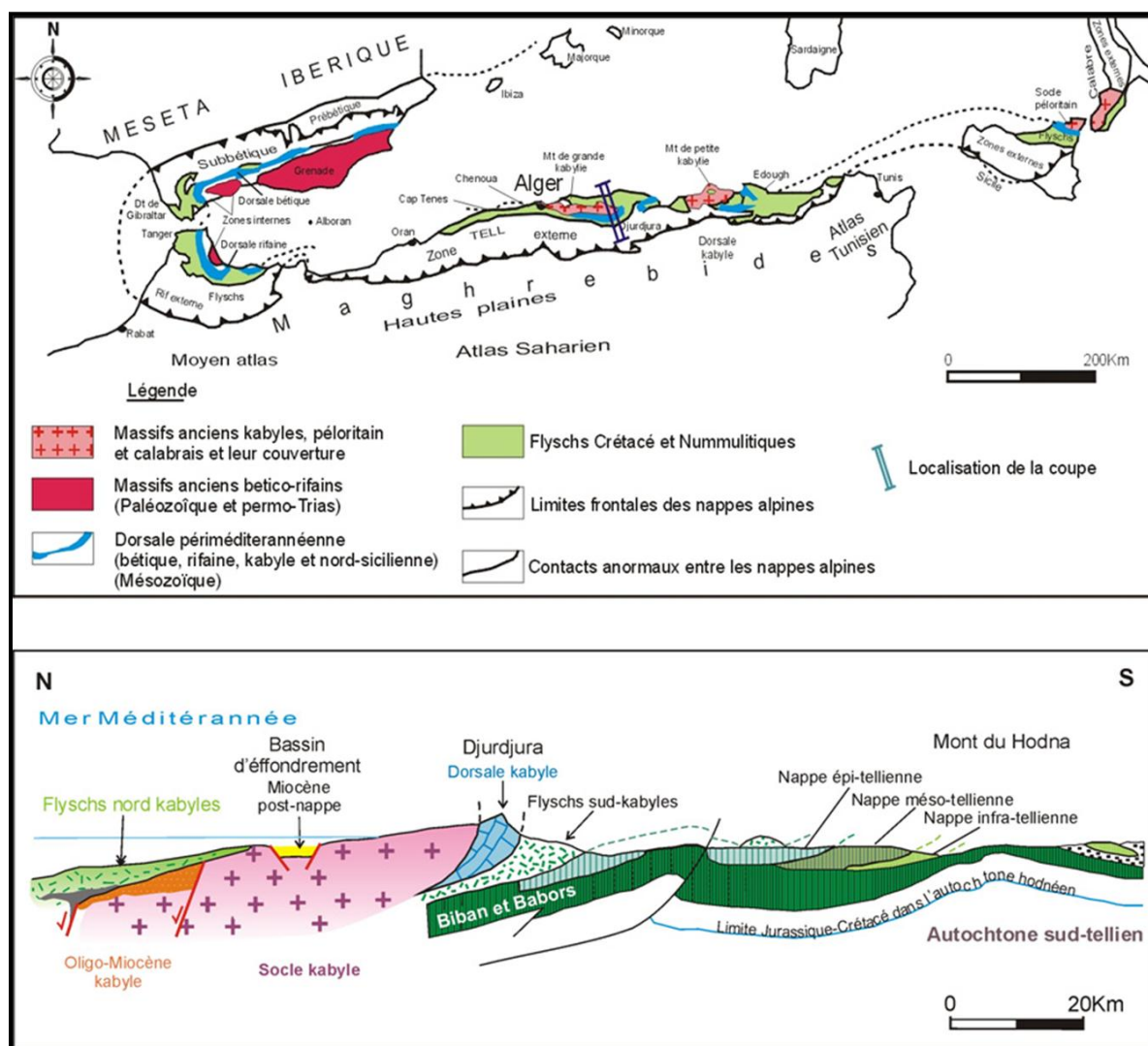


Fig.5 : Position des différentes unités géologiques des Maghrébides avec une coupe transversale de la grande Kabylie. Durand Delga et Fontboté, (1980).

1. Le domaine interne

Il est formé par des éléments issus de la dilacération d'une zone septentrionale nommée sous plaque méso-méditerranéenne. Il est représenté en Algérie du Nord par un Chaplet de massifs anciens d'Age Précambrien à Carbonifère (socle cristallophyllien), dont les massifs les plus importants d'Est à l'Ouest sont : les massifs de la grande et de la petite Kabylie, le massif de l'Edough, le massif d'Alger et le Chenoua. (Durand-Delga M. 1980).

Le socle kabyle est bordé au sud par les unités Mésozoïques et Cénozoïques de la dorsale Kabyle, le socle est par endroits recouvert en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'Age Oligocène supérieur au Miocène inférieur, appelés Oligo-Miocène Kabyle.

Les terrains cristallophylliens du socle kabyle et leur couverture sédimentaire (dorsale kabyle) sont charriés sur une trentaine de kilomètres sur des terrains Mésozoïques et Paléogènes, comme en témoin, les fenêtres de Filfila, Safia et Beni-Touffout (Vila J. M. 1980). Ce domaine ne dépasse jamais quelques kilomètres de largeur, il comporte les unités suivantes :

1.1. Le socle kabyle

D'après Raoult J. F. (1974), Bouillin J. P. (1977), et Wildi W. (1983) : le socle kabyle désigne toutes les formations Paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire. Il est composé de massifs cristallophylliens de terrains anciens (Protérozoïques et Paléozoïques) affectés par un métamorphisme mésozonale à catazonale (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire Paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Ce socle comporte de bas en haut :

- Un ensemble cristallin profond appartenant au faciès des granulites de 1000 m.
- Un ensemble gneissique admettant des intercalations de quartzites, d'amphibolites, de marbre et de pyroxénites.
- Un ensemble phylladitique constitue d'une couverture sédimentaire Paléozoïque du socle cristallin, post- métamorphique de l'ensemble gneissique, qui comporte une granitisation (un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone supérieure à chlorite), il comporte les termes d'Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère inférieur.

En petite Kabylie, ce socle s'étend sur plus de 150 kilomètres le long du littoral (Méditerranée), il affleure dans trois zones bien distinguées :

- ❖ Au cap Bougaroun Nord, où il est traversé par des venues microgranitiques Miocènes.
- ❖ A l'Est, entre Skikda et Jijel, il chevauche des flyschs et les unités du domaine externe, avec un allongement plus de 30 km.
- ❖ Entre Skikda et Guelma où le socle est lié à la dorsale Kabyle et charrié avec elle.

1.2. La dorsale kabyle

Parfois appelée "la chaîne calcaire" du fait de la sédimentation carbonatée dominante (Glangeaud L. 1933).

L'appellation de dorsale Kabyle a été introduite par Durand-Delga M. en (1969), et représente la couverture méridionale du socle de la grande et petite Kabylie.

Elle se développe sur près de 90 km, on peut la suivre de façon continue depuis le Djebel Abiod au Sud de Annaba jusqu'au Djebel Sidi Driss au Nord de Constantine.

Les raisons de la disparition de la chaîne calcaire dans la partie occidentale de la petite Kabylie peuvent être multiples : érosions anciennes (Crétacées ou Éocène), recouvrement par le charriage du socle kabyle. (Bouillin J. P. 1977).

La dorsale kabyle se présente sous forme des lambeaux écaillés alignés suivant une direction Est-Ouest d'Age Permo-Triasiques à Éocène moyen (Lutétien). (Raoult J. F. 1974)

Du point de vue lithologique, ces formations comprennent des calcaires du Lias et de l'Éocène, des dolomies du Trias au Lias inférieur et des grès du Permo-Trias.

En petite Kabylie, la dorsale kabyle a été subdivisée du Nord au Sud en trois sous-chaînes, qui se différencient par le faciès et l'épaisseur des calcaires : dorsale interne, médiane et externe. (Vila J. M. 1980).

En général, les faciès traduisent des conditions de sédimentation de plus en plus profondes lorsque l'on passe des formations de la dorsale interne (dépôts littoraux ou épicontinentaux) à celles de la dorsale médiane (dépôts marneux et plus profonds du Crétacé à l'Éocène), puis aux formations de la dorsale externe (qui montrent souvent des radiolarites au Dogger-Malm). (Bouillin J. P. 1986).

1.2.1. La chaîne calcaire interne

Elle montre une sédimentation conglomératique à la base, et des calcaires massifs riches en microfaune benthique au sommet, dont l'Age va de Permo-Trias au Néocomien avec une puissance de 30 à 70 m, la sédimentation a été interrompue par la phase du Lutétien supérieur.

1.2.2. La chaîne calcaire médiane

Elle comporte une sédimentation marno-calcaire à microfaunes pélagiques du Crétacé supérieur au Lutétien. Les calcaires de la chaîne médiane ne sont pas de forme massive.

1.2.3. La chaîne calcaire externe

Elle se caractérise par une sédimentation détritique grossière à forte épaisseur du Lias inférieur avec une puissance de 100 à 400 m.

Cette chaîne est souvent confondue avec le flysch mauritanien, Vila J. M. (1980), a pensé que ; la limite est arbitraire à partir du Crétacé.

2. Le domaine des flyschs

Ce domaine est constitué par des nappes de flyschs Crétacés-Paléogènes, qui affleurent dans les zones littorales sur 800 km de long, entre Mostaganem et Bizerte (Tunisie).

Il s'agit essentiellement de dépôts de mer profonde (de plaine abyssale) mis en place par des courants de turbidités. Il est composé de terrains d'Age Crétacé à Éocène à dominance carbonatés empilés en nappes. Selon leurs positions, nous distinguons du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs : les flyschs maurétaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs numidiens d'Age Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur :

2.1. Le flysch maurétanien

Ce type de flysch est relativement épais et occupe une position septentrionale interne dans le domaine des flyschs, superposés aux massifs kabyles, c'est-à-dire rétrocharriés sur les zones internes (vers le Nord), il montre une alternance de bancs argileux, calcaires et gréseux.

La série débute par des radiolarites rouges du Dogger-Malm et se termine par des niveaux conglomératiques du Paléocène.

Il affleure sur les versants Nord de Djebel Sidi Drisse et il montre à sa base des radiolarites.

2.2. Le flysch massilien (ou Albo-Aptien d'après Glangeaud L. 1933).

Ce type de Flysch occupe une position externe dans le domaine des flyschs sous forme de masse isolées, flottant sur le Tell et charriées jusqu'à une centaine de kilomètres au sud.

Il est formé essentiellement par des pélito- quartzitiques des couleurs vertes, datées de Crétacé inférieur à l'Éocène et surmontée par une série pélito-micro-bréchiq ue d'Age Crétacé supérieur. (Raoult J. M. 1974).

Il s'étend essentiellement sur le versant Nord du Djebel Sidi Driss et au col du Kantour.

2.3. Le flysch numidien

La nappe numidienne, dont les sédiments sont postérieurs à la tectonique tangentielle fini-Éocène, elle forme un étage supérieur nettement moins tectonisé.

Ces flyschs reposent anormalement à la fois sur les zones internes et sur les zones externes. Ils sont constitués de niveaux gréseux d'Age Oligocène Terminal-Aquitainien, épais de plusieurs centaines de mètres et reposent sur des argilites versicolores d'Oligocène.

En effet, les flyschs numidiens occupent la position structurale la plus haute dans l'édifice alpin, d'Age Oligocène à Burdigalien basal, (Bouillin J. P.1971). Il comporte de bas en haut :

- Des argiles, dites argiles sou-numidiennes de couleur verte, rouge ou violacée.
- Des grès à grains de quartz hétérométrique et à dragées de quartz.
- Des argiles à silex ou encore argiles supra numidiennes.

3. Le domaine externe (ou domaine tellien)

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent Africain. Il comporte des nappes allochtones pelliculaires et parautochtones ayant subies à une tectonique tangentielle majeure d'Age fini-Lutétien (Bouillin J .P. 1977). Il est constitué principalement de marnes d'Age Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de kilomètres vers le Sud, classiquement il a été subdivisé du Nord au Sud en trois grandes séries :

3.1. La série tellienne

Elle est issue du sillon tellien, elle a été subdivisée par des phases tectoniques Tertiaires en trois grandes unités, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et du l'Éocène, du Nord au Sud sont les suivantes :

3.1.1. L'unité ultra-tellienne : Se caractérise par un faciès essentiellement marno-calcaire de teinte claire allant du Crétacé au Lutétien. Elle présente des caractères proches de ceux du flysch massylien, elle n'est pas connue que dans la Tunisie et dans l'Est Algérien où elle affleure sur les versants Nord du Djebel Sidi Driss.

3.1.2. L'unité centralo-tellienne (ou tellienne au sens strict) : Elle est représentée par des formations marneuses dominantes, épaisses, de teinte noire, du Trias au Lutétien, plus ou moins riche en dépôts terrigènes, elle affleure près de M'cid Aicha et à l'oued El-Kebir (Durand-Delga M. 1969).

3.1.3. L'unité péni-tellienne : Elle comporte des faciès très carbonatés du Crétacé supérieur à l'Éocène, elle présente des caractères proches de ceux du néritique Constantinois, elle affleure aux Djebels Chattaba, Grouz. (Vila J. M. 1980).

3.2. La série de l'avant pays allochtone

Ce sont des séries localement écaillées qui supportent les nappes du tellien externe au Nord, et qui surmontent l'autochtone Nord Aurésien, Vila J. M (1980) a distingué trois grandes unités :

3.2.1. L'unité sétifienne : Présente un caractère de plateforme subsidente et ne représente des variations qu'à leur partie méridionale.

3.2.2. L'unité de l'avant pays allochtone constantinois : Elle est représentée par la série néritique constantinoise au Nord et la série de type Sellaoua au Sud.

3.2.3. L'unité des confins Algéro-Tunisien : Montrent une sédimentation analogue à celle des nappes telliennes ou à celles des séries septentrionales de type Sellaoua.

3.3. La série de l'avant- pays Atlasique autochtone

Elle constitue les monts du Hodna et du Bélezma, le Nord des Aurès et la zone des diapirs (Vila J. M. 1980). Ce sont des séries Mésozoïques très épaisses, très homogènes de plateforme subsidente envahie par une sédimentation gréseuse au Berriasien-Aptien.

B- LES ENSEMBLES MAGMATIQUES

Le massif de la petite Kabylie est caractérisé par la présence d'un magmatisme Précambrien à Mésozoïque ancien de l'Oligocène tardif et celui calco-alcalin d'Age Miocène, qui perce le socle et sa couverture en plusieurs endroits. Sur le littoral Algérien, cette activité magmatique s'est traduite par la mise en place des granitoïdes intimement liés dans l'espace et dans le temps à un volcanisme essentiellement andésitique (Fougnot J.1990), ce magmatisme est en relation directe avec le phénomène de détachement de slab et l'évolution géodynamique de la méditerranée occidentale et des chaînes Alpines périméditerranéennes (Maury P. et al, 2000), il s'agit principalement des granites de Beni Touffout, de Bougaroun, et de Filfila : **Fig.6.**

1. Le granite de Beni Touffout

D'après les travaux d'Ouabadi A. (1994), il s'agit essentiellement de granitoïdes et de monzogranites intrusifs à biotite-cordiérite, ce corps intrusif recoupe les terrains Mésozoïques sur lesquels le socle est charrié. Il est représenté par un massif d'Age Oligocène tardif (la méthode K/Ar a donné un Age de 22 Ma), de forme grossièrement quadrangulaire et d'une superficie de 60 km² environ, il s'étirant dans la direction méridionale. Le métamorphisme de contact engendré dans les terrains sédimentaires Mésozoïques, se traduit par l'apparition de minéraux tels que l'andalousite et la cordiérite. (Bouillin J. P. 1977).

2. Le granite de Cap Bougaroun

Le massif de Cap Bougaroun est intrusif au cœur des zones de la chaîne Alpine où il recoupe aussi bien l'édifice des nappes que les dépôts discordants post-nappes. C'est un massif granitique est d'Age Oligocène tardif de forme grossièrement ovoïde et d'une superficie de 200 km² environ. Il est allongé suivant un axe orienté Nord-est et Sud-ouest, parallèlement aux structures régionales. À sa bordure, il induit dans son encaissant des déformations (schistosités, plis, linéations) et un métamorphisme de contact atteignant le faciès de cornéennes à hornblende. (Ouabadi A. 1994) et (Fougnot J. 1990).

3. Le granite de Filfila

Le granite d'Age miocène de Filfila est constitué de deux petits massifs étendus dans la direction WNW - ESE, qui suivent l'orientation générale des structures de la région. En plus, on trouve des corps de granodiorites, des dykes de granites porphyriques et des filons pegmatitiques et aplitiques ainsi que des stockscheiders. (Gharbi C. 1998). Ces granites font l'objet de la reprise d'une exploitation sous forme de carrière à ciel ouvert. À noter que ; ce granite est celui qui a donné naissance au marbre qui fera l'objet d'une étude détaillée dans ce présent mémoire de magister. (Envisager un peu de détail sur ce granite).

C-TECTONIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

Les éléments structuraux de la chaîne Maghrebide mentionnés auparavant, sont le résultat d'une évolution géodynamique suivante, (Vila J. M. 1980) :

1- Une histoire distensive jurassique avec un rifting débutant au Lias inférieur et moyen et une ouverture océanique, on a ainsi la formation du bassin profond dans lequel se sont déposés les flysch Crétacés Paléogènes. Les deux marges de ce bassin donneront respectivement les unités des zones externes du Maghrebide et celles de la dorsale calcaire.

2- Des épisodes tectoniques Crétacés sont avérés. En Calabre et en grande Kabylie, des cisaillements dans le socle, datés de l'Oligocène jouent en faille normales ductiles, les massifs Kabyles se détachent de la marge Sardaigne-Baléares dont ils sont séparés par le bassin Nord-algérien à valeur de bassin d'arrière-arc.

Au Sud, la série détritique numidienne se dépose dans la partie restante du bassin maghrébin et sur une partie de la marge tellienne.

Au Burdigalien supérieur (-18 Ma), des olistostromes et des nappes gravitaires constituées par des flyschs crétacés-paléogènes, des marnes du domaine tellien et du flysch numidien glissent vers le Nord dans le bassin de l'Oligo-Miocène kabyle, qui s'est progressivement approfondi au cours du Miocène inférieur. Ce phénomène peut être attribué au blocage de la subduction, les zones internes étant alors accrétées à l'Afrique.

Le magmatisme se développe à partir de cette époque (16 Ma), différents auteurs envisagent alors un retrait de la subduction vers l'Est, des chevauchements se poursuivent cependant, dans la partie Sud des zones externes et atteignent alors le domaine des chaînes Atlasiques, ce qui implique une poursuite de la convergence entre le bloc interne et la marge africaine.

Les zones internes restent également en régime compressif, marqué par des plis à grand rayon de courbure.

Le Nord-est de la petite Kabylie est caractérisé par des structures complexes, engendrées par des raccourcissements dus aux effets cumulés de nombreuses phases tectoniques.

En effet, la structure actuelle de la région de Filfila est le résultat d'un ensemble d'événements tectoniques, qui se caractérisent par des déformations solubles et d'autres cassants, Lemoy C. (1969) a distingué plusieurs phases tectoniques :

La phase Néocomienne : elle se caractérise par des changements des facies dans la série du Jurassique-Crétacé.

La phase poste Lutétienne et Anti Numidienne : c'est la phase de la compression maximale, elle est responsable des plissements des séries Mésozoïques.

La phase du Mécène inférieur : est responsable de la mise en place de la nappe numidienne,

La phase poste nappe (Miocène moyen) : représente le dernier événement tectonique de la région, elle est responsable de la mise en place du granite.

Les flyschs du Crétacé inférieur occupent une position externe par rapport à la dorsale kabyle, Le socle Kabyle plus interne est resté immergé durant le Mésozoïque et le Paléogène.

Les molasses et les flyschs gréséo-micacés du Nummulitique déposent sur les unités de la dorsale et du flyschs maurétanien après la phase « Fini-Lutétienne », les nappes de flyschs se glissent vers le Nord, sur les quelle se dépose la série numidienne.

Après la tectonique Burdigalienne, la région fût caractérisée par des dépôts Néogènes discordants, marins au Nord et continentaux au Sud.

Des plissements et surtout des failles d'orientation Est-Ouest déterminant les grands alignements morphologiques actuels, la plupart des failles cartographiés sont d'Age Albien, mais certaines sont Anté-Albiens réactivées à l'époque Albienne.

L'interprétation des données géophysiques à caractère régional et les photos-satellites, révèlent trois types d'accidents : (Romanovsky S.1991) et (Durand-Delga J. M.1980). **Fig.6.**

- ❖ Failles : E-W : On distingue la faille d'El-Kantour qui paraît avoir joué dès la phase Fini-Lutétienne (Raoult J. F. 1974) et la faille de Hammam Debagh qui est considérée comme une limite entre la zone des flysch et le bord de la dorsale Kabyle.
- ❖ Failles : NW-SE : celle de Zitomba et la Faille décrochante senestre au Nord d'Azzaba.
- ❖ Faille : NE-SW : elles sont d'Age Hercynien dans la partie orientale, car ce sont qui contrôlent les intrusions des granitoïdes Hercyniennes. (Romanko E. 1991).

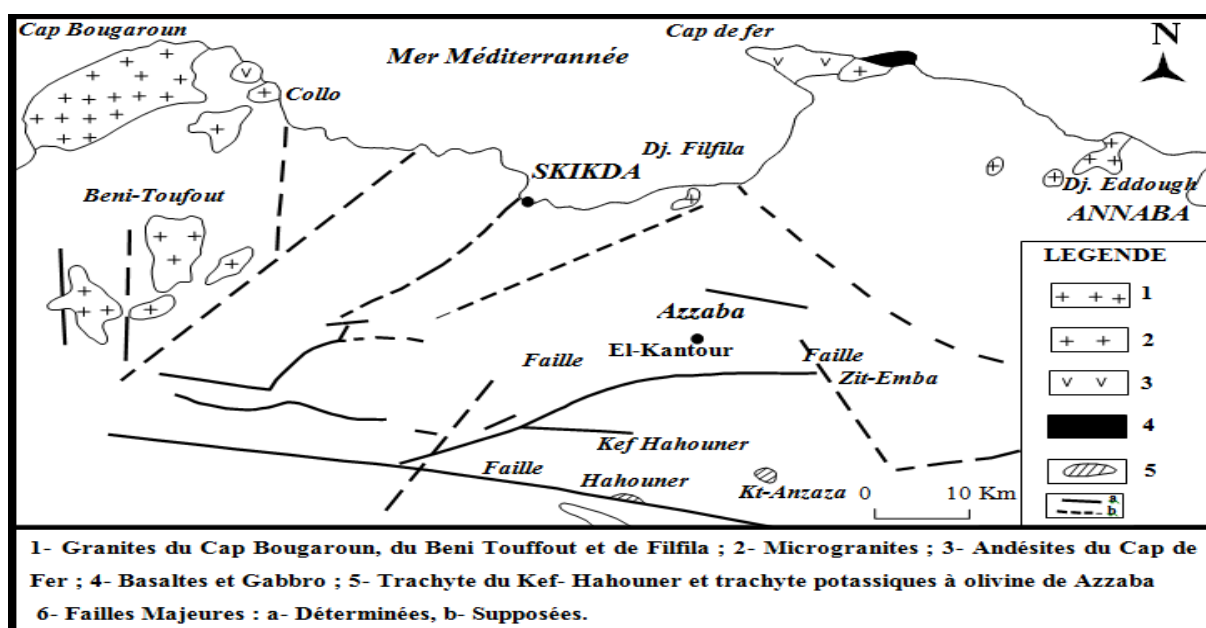


Fig. 6 : Position des failles majeures dans la petite Kabylie. Durand-Delga. J. M, (1980).

D- RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE

D'après Bouillin J. P (1986), le domaine interne de la chaîne des Maghrébides faisait autrefois partie d'un microcontinent ou terrane appelé "AlKaPeCa", qui était situé beaucoup plus au Nord et appartenait à la marge Européenne.

La dorsale kabyle constituait la marge méridionale et le talus continental de ce bloc. **Fig.7.**

Les flyschs se sont déposés dans le bassin océanique profond qui séparait la marge Européenne (ou le bloc AlKaPeCa) et la marge Africaine.

Les flyschs maurétaniens se sont déposés au pied de la dorsale kabyle et sont alimentés par les zones internes. Les flyschs massyliens se sont déposés au pied de la marge Africaine et sont alimentés par les zones externes. Certains flyschs, tels ceux de Tamalous présentent des caractères mixtes, ce qui indique qu'ils sont probablement déposés dans une zone de milieu du bassin, recevant aussi bien du matériel d'origine méridionale que d'origine septentrionale. Les nappes telliennes correspondent à la couverture sédimentaire qui s'est déposée sur la marge Nord de la plaque Africaine. Les deux domaines externe et interne se sont affrontés suite au rapprochement des plaques Africaine et Européenne. Ceci a conduit à la fermeture du bassin des flyschs, et celle du sillon tellien, l'écaillage de la dorsale kabyle et le déplacement des flyschs et des unités telliennes en nappes pelliculaires loin vers le Sud.

Les formations sédimentaires du Miocène au Quaternaire recouvrent en discordance les différentes unités précédentes, sont déposées postérieurement aux grands chevauchements des zones internes, des nappes de flyschs et des nappes telliennes formant de grands bassins « post-nappes » tels que la Mitidja et le bassin du Cheliff, orientés WSW-ENE et les bassins de Constantine et de la Soummam.

Au sein des bassins « post-nappes » littoraux, s'est mis en place un magmatisme calco-alcalin et alcalin d'Age Miocène et Quaternaire, ces roches magmatiques sont présentes dans les zones côtières à l'Ouest d'Oran, dans l'Algérois (régions de Cherchell, Dellys et Thénia), autour de la baie de Bejaia, dans le massif de Collo, et entre Skikda et Annaba.

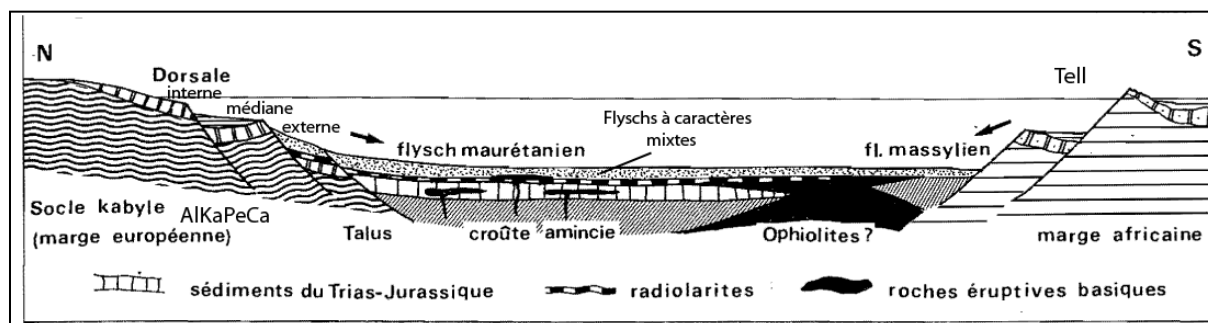


Fig.7 : Reconstitution paléogéographique des différents domaines des maghrébides au Crétacé inférieur. Bouillin J. P. (1986).

IV. GÉOLOGIE LOCALE

Le territoire d'étude est caractérisé par l'existence des ensembles sédimentaires, magmatiques et métamorphiques, occupant chacun une position et une allure tectonique bien définie. **Fig.8.**

A- LES ENSEMBLES SÉDIMENTAIRES

La partie Ouest de la région d'étude est représentée par la série du Paléozoïque inférieur, alors que la partie centrale est représentée par le Paléozoïque, recouvert par le Quaternaire qui se traduit par la dépression de Guerbez-Boumaiza. Les complexes para-autochtones des zones de Safia et de Filfila qui sont composés des dépôts du Mésozoïque, se trouvent au-dessus de l'extrémité Ouest du massif de l'Edough qui représente le complexe autochtone. À l'extrême Nord-est de la région de Filfila est représenté par la nappe numidienne.

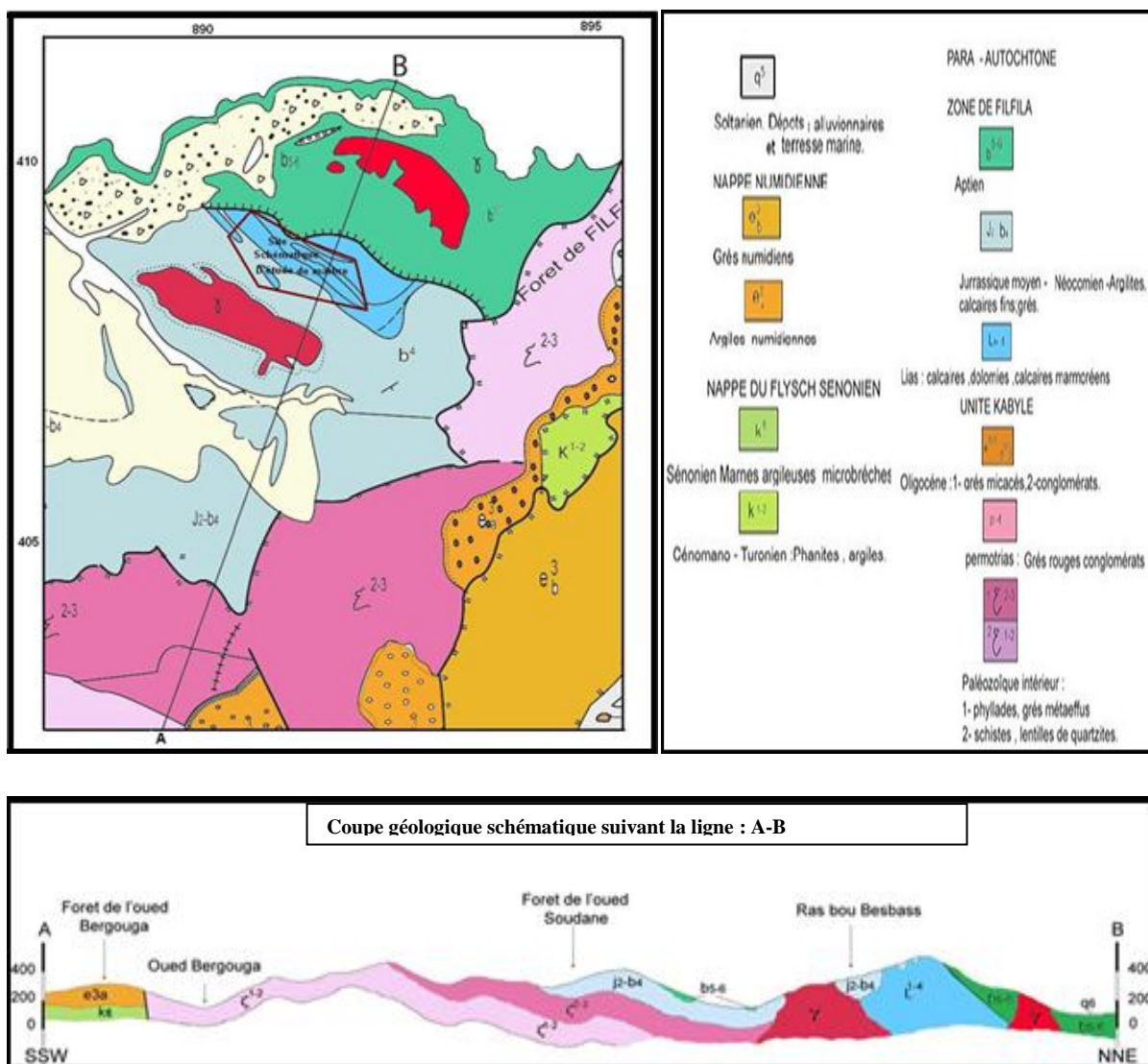


Fig. 8 : Carte géologique et une coupe géologique dans le massif de Filfila. Extrait de la carte géologique de la Feuille de Filfila à 1/50 000. Tchekhovitch V. D. (1971).

1. Ensemble Autochtone

Cet ensemble comprend des schistes cristallophylliens d'Age Précambrien, qui forment la bordure occidentale du massif de l'Edough. Il n'affleure nulle part sur le territoire d'étude, mais probablement c'est l'équivalent de l'assise de gneiss qui est développée à l'Est du notre territoire d'étude. Le plus important est couvert par les schistes cristallins à muscovite, séricite, grenat. On note aussi l'existence des niveaux et lentilles de marbres blancs et gris, assez fréquents. Les affleurements du massif du Boumaiza ne permettent pas de le faire une image concrète de la succession stratigraphique des différents schistes cristallins.

2. Ensemble allochtone kabyle : Il comprend les éléments suivants :

2.1. Paléozoïque inférieure

Il occupe des étendues considérables dans la partie Sud-ouest de la feuille de Filfila (30 Km). Ils s'étirent plus loin sous forme des bandes étroites longeant la côte jusqu'à l'embouchure de l'oued Messenger et apparaissent également dans la région de la forêt de Sanhadja : au Nord du Djebel Safia. Ces terrains se subdivisent en deux assises lithologiques :

2.1.1. Assise inférieure ϵ^{1-2}

Elle occupe la partie Nord du territoire, il s'observe dans la région de Kef Dorba et dans tous les bassins de l'oued Saboune, ce sont en général des séricitoschistes et chloritoschistes sériciteux gris et gris bleuâtre.

L'assise inférieure renferme aussi des lentilles et parfois des petits lits de quartzite brunâtres.

2.1.2. Assises supérieure ϵ^{2-3}

Elle est constituée par des séricitoschistes et des chloritoschistes sériciteux analogues, ainsi que par des phyllades de teinte verdâtre, des bancs de grès métamorphiques et des lits relativement rares de roches méta-volcaniques.

Les grès métamorphiques sont constitués de petits grains de quartz et de plagioclase acide, mal roulés, ainsi que de séricite abondante aux feuillets orientés.

2.2. Permo trias P-T

Ils sont représentés par des grès rouges grossières et des conglomérats à dominance de quartz laiteux. Des étendues très restreintes notées dans la vallée de l'Oued Ksab.

2.3. Oligocène e^{8-9}

C'est une assise de type de molasse, elle surmonte partout les terrains métamorphiques du Paléozoïque inférieur. Il est transgressif, avec une discordance angulaire apparente.

À la base, se trouve presque partout une assise des poudingues et des brèches sédimentaires, dont le matériel détritique est essentiellement constitué de schistes métamorphiques avec lesquels est associé de quartz laiteux.

3. Ensemble Parautochtone

Cet ensemble correspond au massif du Filfila proprement dit, dans lequel se concentre notre gisement de marbre, il occupe une superficie de 20 Km² environ, et comprend des terrains Jurassique et Crétacé affleurant dans les régions isolées, elle sont recoupées par des intrusions granitiques d'Age Néogène. **Fig.9.**

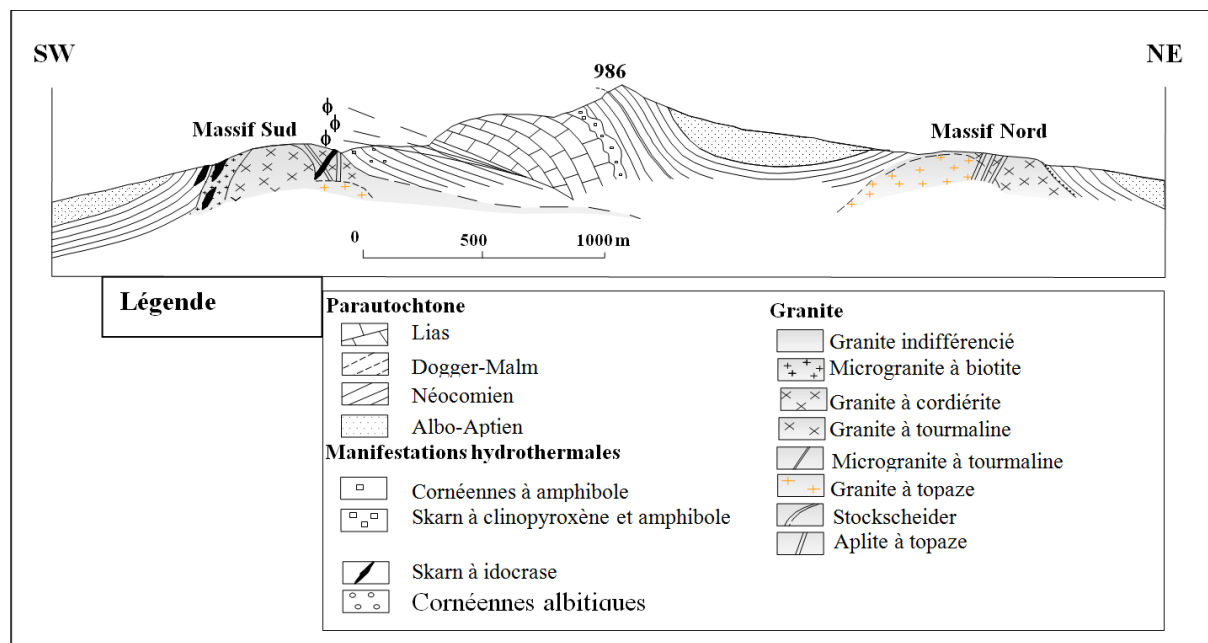


Fig.9 : Coupe géologique interprétative du massif de Filfila.

Lemoy C. (1969), modifiée par Bouabsa L. et al, (2005).

Perrin C. (1969), a distingué une série essentiellement carbonatée et une série détritique, la colonne stratigraphique comprend les terrains suivants : **Fig.10.**

1.3. Lias L¹⁻⁴

Il occupe la position stratigraphique la plus basse dans l'ensemble para autochtone, il est représenté par une assise carbonato-terrigène, il débute par une série de calcaires pseudo-oolithiques, parfois avec des restes de brachiopodes et des bancs de dolomies, qui passent plus haut à une assise de calcaires cristallins ou des marbres massifs dont l'affleurement se dispose en une ellipse très aplatie dont le grand axe est orienté N120°.

C'est la zone centrale des marbres exploités, les niveaux supérieurs sont constitués par un niveau d'argilites (formations détritiques) à bancs et lentilles de dolomies et de calcaires.

La puissance apparente de l'assise en question est d'environ 150-200m.

Le métamorphisme de ces roches carbonatées est dû à l'influence de l'intrusion de granitoïdes Néogènes avec laquelle elle est en contact, les sondages qui recoupent la zone de contact de l'assise, montre une épaisseur de 1 à 6 m métamorphosée en skarns et cornéennes.

3.2. Dogger Néocomien J₂- b⁴

Les terrains allant du Dogger au Néocomien, surmontent le Lias par des bancs de grès fins à moyens et de pélites avec une puissance de 40 m, dans le sommet de celle-ci apparaissent un horizon carbonaté varié d'une épaisseur totale de 40 à 60 m.

Les formations attribuées au Dogger d'El-Halia, sont représentées par des calcaires de couleur bleutée, la fraction pélitique ressemble plus à des schistes qu'à des cornéennes.

Les mêmes affleurements sont observés à proximité du gîte d'El-Fendeck, seulement les roches d'El-Halia sont un peu plus cristallines et le calcaire de couleur grise est franchement du cipolin (influence thermique plus grande du granite).

3.3. Aptien Albien b⁵⁻⁶

Les dépôts de l'Aptien-Albien sont représentés par des roches détritiques d'aspect flyschoides, (Perrin C. 1969). Ils se caractérisent par une alternance de grès et d'argiles où les grès dominent largement, de petites lentilles de calcaires et de conglomérats en intercalations sont observées mais sans aucune traces de métamorphisme de contact.

Les roches sont bien fissurées à fort pendage. Ils sont apparemment concordants sur les terrains de Dogger Néocomien !

Au Nord, ces formations sont affectées par des plissements très complexes.

Les excellents affleurements de ces formations s'observent dans la partie Nord et Nord-est du massif du Filfila, où ils délimitent les falaises côtières qui s'étendent de port Châtelain à Ras Filfila sur une distance de 7-8 km, la puissance apparente de l'Aptien Albien quoique difficile à définir, dépasse probablement 250 m.

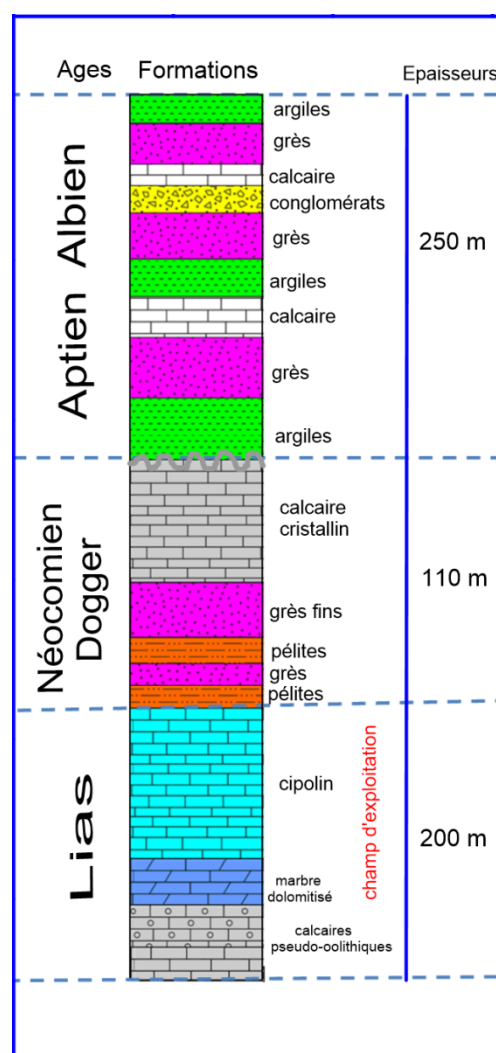


Fig.10 : Colonne stratigraphique du massif de Filfila. Perrin C. (1969), modifiée par Bououden D. (2014).

4. Nappe de flysch sénonien à micro-brèches

Elle comprend les terrains très particuliers du Cénomaniens et du Sénonien. Les formations de la nappe en question se trouvent au-dessus de celles de la Marsa.

4.1. Cénomaniens-Turonien K^{1-2} : c'est l'assise la plus ancienne connue dans la nappe du flysch à micro-brèche, elle est représentée par des phanites (roche sédimentaire siliceuse et argileuse, montrant parfois quelques radiolaires) et des argilites d'une puissance et d'extension très limitée.

4.2. Sénonien K^6 : Il se trouve au-dessus du Turonien, représenté par une assise finement litée dans laquelle alterne les argilites, marnes argileuse et méso brèches, des petites étendues sont localisées dans la région de Kat Ben Hadeb et probablement dans Koudiat Djebana, où il est pratiquement impossible de différencier le Cénomaniens du Sénonien.

5. Ensemble post-nappe Il comprend les terrains Quaternaires et la nappe numidienne :

5.1. Nappe numidienne (paléogène- éocène- lutétien)

Elle se subdivise en deux assises : inférieure argileuse et supérieure de grès quartzeux :

5.1.1. Assise inférieure (e^3_a) : Elle est constituée surtout de roches argileuses, son extension est fort limitée sur le territoire d'étude (versant Ouest de Koudiat Terrara).

5.1.2. Assise supérieure (e^3_b) : Elle est constituée principalement de grès quartzeux, moyens à grossiers, lités, les grains de quartz sont d'habitude bien roulés.

Les grès renferment aussi une proportion subordonnée de grains détritiques de feldspath, micas, tourmaline, minéraux métallifères.

5.2. Le quaternaire

Les terrains Quaternaires qui sont développés dans la région, se subdivisent en plusieurs types génétiques : marin, éolien, alluvionnaire et les terrains de pentes.

5.2.1. Messaoudien Q^2 : Ils forment les hautes terrasses marines recouvrant les roches du Paléozoïque inférieur, ils sont représentés par de gros galets, fragments et blocs.

5.2.2. Soltanien Q^5 : Il comprend deux types génétiques de sédiments étroitement liés, ce sont les sables cimentés des plages marines et les sables remaniés (resédimentés).

Les sables de dunes occupent une plus grande superficie, ils sont développés surtout sur le rivage, dans la partie Nord-ouest de la feuille.

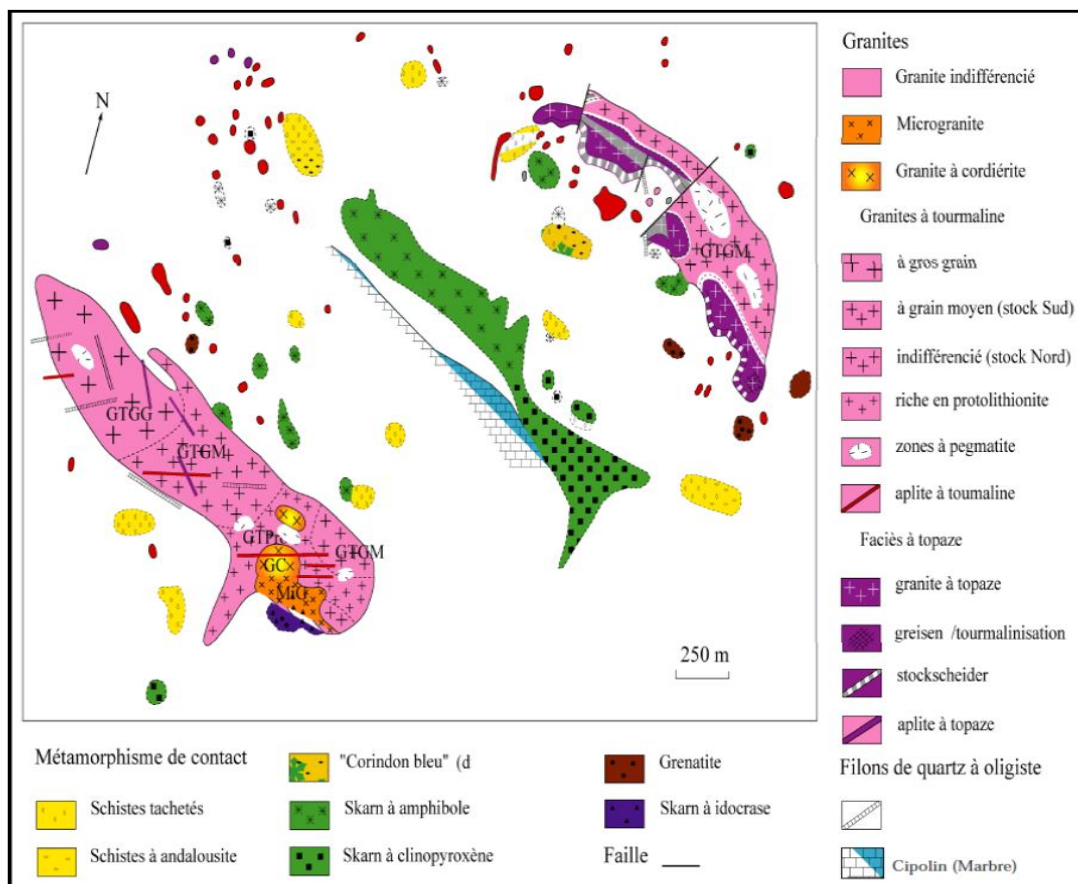
Dans le secteur d'étude, le dépôt Quaternaire est représenté surtout par les colluvions et les argiles résiduelles, ce sont des formations récentes éluvo-diluviennes et alluviales.

Sur les flancs Ouest, toute la pente a une couverture argileuse ayant une épaisseur jusqu'à 15m, l'argile résiduelle est développée aussi à l'intérieur d'un amas de marbre, ou suivant les fissures tectoniques, en formant des corps lenticulaires ayant une épaisseur de 5 m.

B- LES ENSEMBLES MAGMATIQUES

Le magmatisme Miocène dans le massif du Filfila a joué un rôle métallogénique, dans la formation de plusieurs gisements hydrothermales et métamorphiques dans le sud du massif : à titre d'exemple : le gisement d'hématite d'El-Fendeck et la mine de concentré pyriteux d'El-Halia pour fabriquer de l'acide sulfurique, et le célèbre gisement de marbre.

À cet effet, nous essayons ci-dessous de caractériser ce granite d'une façon bref :



**Fig.11 : Carte géologique du massif de Filfila. Lemoy C. (1969),
modifiée par Bouabssa L. et al, (2005).**

1. L'origine des granites

Différentes hypothèses ont été proposées pour expliquer l'origine de granite du Filfila :

1.1. La cristallisation fractionnée

D'après les travaux expérimentaux de Wolf et London (1994), les granites à tourmaline et à topaze ce sont des produits de différenciation (cristallisation fractionnée) du granite à biotite.

Dans un premier temps, le magma qui contenait une certaine quantité en Fe, Mg, Ti, B et Li. Les premiers minéraux ferromagnésiens à cristalliser sont : le fer, le magnésium, le titane

(après un fractionnement poussé du quartz et du feldspath). Ils servent à former la biotite (granite à biotite). Le fractionnement de la biotite appauvrit le magma en ferromagnésiens. Alors qu'en même temps le bore (et parallèlement le lithium) s'enrichissait dans le magma qui devenait de plus en plus alumineux. Dans ce cas, une compétition s'instaure entre la tourmaline et la biotite pour le peu de ferromagnésiens qui restent dans le magma, l'avantage est donné à la tourmaline, du fait de la richesse en bore (1 à 2% de B_2O_3) et de la pauvreté en titane du magma, la tourmaline précipite alors en phase primaire accompagnée de quartz.

Le fait que la tourmaline ne cristallise plus (le peu de ferromagnésiens encore disponibles dans le magma est déjà consommé), contribue à l'augmentation de l'indice de peraluminosité du magma qui continue à s'enrichir en fluor, lithium et phosphore. (Bourefis A. 2007).

On arrive à une situation où on est pratiquement dans un système Al_2O_3 - SiO_2 , dans un tel système, un minéral hyperalumineux doit nécessairement précipiter. Les candidats sont : soit un des silicates d'alumine (l'andalousite vu les faibles pressions), soit la topaze.

La richesse en fluor du magma, donne un avantage certain pour la cristallisation de la topaze au lieu d'andalousite. En effet, des hautes teneurs en fluor servent à déstabiliser l'andalousite pour former de la topaze. L'apparition de topaze magmatique va caractériser les faciès à topaze (ou granite à métaux rares (Li-F)).

Les analyses effectuées sur les micas des différents faciès du Filfila par Bouabssa L. et al, (2005), montrent qu'en allant des faciès à biotite passant par les granites à tourmaline vers le faciès à topaze, les micas deviennent de plus en plus alumineux, de plus en plus lithinifères et de plus en plus riches en fluor. Ces conclusions sont en accord avec les observations sur le granite du Filfila : un passage graduel est marqué entre les différents faciès : le granite à biotite précède le granite à tourmaline qui lui-même précède le faciès clair à topaze), de même que le granite à biotite du Filfila est dépourvu de tourmaline. (Bourefis A. 2007).

1.2. La fusion partielle

C'est à dire la fusion partielle à taux variable d'un même protholithe, dans ce cas, les faciès à topaze représenteraient les premiers liquides formés (\pm basse température), car ce sont les faciès les plus enrichis en éléments incompatibles, tels que : Sn, W, Ta, Nb et en alcalins (Rb, Cs), ils sont également riches en fluor et en lithium.

Bouabssa L. (2005), a interprété les différents faciès du Filfila comme suit :

- Le granite à biotite (cordiérite) du Filfila: Comme le résultat d'un processus de mélange entre un magma métalumineux et un magma peralumineux né de la fusion de la croûte moyenne.
- Le granite à tourmaline : C'est le résultat de la fusion provoqué par la mise en place de ce magmatisme dans son environnement (pour des températures moins extrêmes).

-Les granites à topaze du Filfila: Comme dérivant de protholithes plus profonds et riches en muscovite en liaison avec la granulitisation dans la croûte continentale inférieure.

2. Classification du granite

Les données des analyses chimiques (modales) des granites du Filfila de Semroud B. (1970), et Fougnot J. (1990), projetés dans le diagramme de Streickeisen (1976), tombent respectivement dans le domaine des syénogranites et à cheval entre le domaine des syénogranites et des monzogranites, alors que d'après les analyses effectuées par Ouabadi A. (1994), le granite occupe le domaine des monzogranites. (Bourefis A. 2007).

Il faut noter que le diagramme de Streickeisen, est conçu pour la projection des analyses modales), à cet effet une classification des granites en type « S une source sédimentaire d'origine supracrustal » et en type « I caractérise une source ignée qui est généralement d'origine infracrustal » a été proposée par White A. J. R. et Chappell B. W. (1984), pour les granites. Les caractères pétrographiques et géochimiques du granite de Filfila, le font apparenter au type « S », autrement dit, ce granite dérive de la fusion d'une source sédimentaire d'origine supracrustal. (Bourefis A. 2007).

Les rapports isotopiques obtenus par Ouabadi A. (1994), notamment le rapport $87\text{ Sr} / 86\text{ Sr}$ qui varie entre 0,736 à 0,7606 va dans le même sens, et témoignent d'une origine par fusion partielle d'une source supracrustal des faciès granitiques du Filfila.

Les magmas réduits sont à ilménite alors que les magmas oxydés sont à magnétite. Les magmas réduits ont vraisemblablement une origine crustal, et leurs caractères réduits pourraient provenir de la forte teneur en carbone des séries remplacées.

La présence d'ilménite dans le granite du Filfila en fait un granite réduit (faible $f\text{O}_2$).

3. Les roches magmatiques

Parmi les roches intrusives développées sur le massif de Filfila, nous distinguons les massifs de granites à tourmaline, les petits corps de granodiorites et des diorites quartzifères ainsi que les complexes de dykes et de filons représentés par des porphyres granitiques, pegmatites et aplites, toutes ces roches ont un Age de Miocène inférieur. Chabbi R. (2007).**Fig.11.**

3.1. Granites

Ils forment des massifs étirés au Nord-ouest. Les deux massifs situés au Nord-est et Sud-ouest de la carrière de marbre de Filfila, ont une superficie respective 1.5 et 2.0 Km², les terrains encaissant sont les assises Jurassique-Crétacé de l'ensemble para-autochtone.

La composition pétrographique et chimique des deux massifs est relativement homogène, ce sont en général des roches gris clairs à grains moyens ou gros, constituées de quartz, feldspath potassique, plagioclase, tourmaline et mica. Cependant, l'étude pétrographique détaillée de

ces roches a permet de distinguer plusieurs variétés faciales de granites, d'après la proportion des minéraux de couleur qui les renferment :

3.1.1. Le granite à tourmaline

C'est la variété la plus fréquente, le granite à tourmaline typique se caractérise par sa richesse en quartz de grains grossiers et xénomorphe (5 à 7 mm), de feldspath potassique sous forme de gros cristaux idiomorphes ou d'agrégats de biotite et tourmaline, la tourmaline se présente en gros prismes à fort pléochroïsme en teinte jaune, la biotite est très rare.

Les accessoires sont le zircon et les minéraux métalliques. Les granites à tourmaline se forment pour des températures allant de 682 à 705°. Le faciès à tourmaline affleure dans les petits pointements granitiques entre les deux stocks granitiques.

3.1.2. Le granite à biotite

Au microscope, le granite à biotite montre la composition minéralogique suivante : orthose, plagioclase, quartz et biotite. Le faciès à biotite se caractérise par la présence de quelques grains de grenat, ce type de granite a été formé dans des gammes de température allant de 726° à 747°, ce faciès est appelé granite à cordiérite par Ouabadi A. (1994). Ce faciès affleure au centre du stock sud et dans la partie Nord du stock septentrionale.

3.1.3. Le granite à topaze

Le faciès à topaze est clair et à grain assez fin, il est riche en mica, les granites clairs et les aplites à topaze se sont formées à plus basses températures, de l'ordre de 620° à 630°. Ce faciès est bien représenté dans le stock granitique Nord. (Bouabsa L. 2005).

Remarques : Le passage granite à biotite et granite à tourmaline est progressif, il se marque par le développement de la tourmaline et de la protolithionite. La composition de granites à biotite se distingue de celle de granite à tourmaline par une proportion plus grande de mica atteignant (6-7 %), (1-2 %) dans le granite à tourmaline. Le granite à tourmaline se caractérise par rapport aux autres faciès, par l'apparition de tourmaline magmatique (automorphe, zonée, de bonne taille) et par la présence d'un seul type de mica : la protholithionite, ces deux derniers minéraux renferment systématiquement des inclusions de monazite et/ou de zircon.

3.2. Granodiorites et diorites quartzifères

Ils forment quelques petits corps isolés qui se trouvent entre les massifs de granites.

Elles se distinguent par la teinte plus foncée due à la proportion plus grande de minéraux de couleur. Au microscope, les roches sont constitués de : plagioclase, quartz, amphibole, tourmaline et feldspath potassique rare. Ces corps ne sont pas des intrusions indépendantes mais représentent des dérivés d'une seule intrusion acide, du fait que la localisation de ces derniers corps dans la zone de métamorphisme de contact (skarns et cornéennes) et la

composition plus ou moins similaire de la roche avec celle de plus grand massif entre lesquels ils s'insèrent.

Leur composition plus basique peut être apparemment expliquée par l'assimilation des roches encaissantes et par échange métasomatique.

3.3. Dykes et complexes filoniens

Ils comprennent les porphyres granitiques, et les corps filoniens de pegmatites et l'aplite.

Les dykes de porphyres granitiques se rencontrent de temps en temps dans les roches sédimentaires mais généralement pas très loin des massifs de granites. Ces dykes sont orientés Nord, Nord-est, leur puissance est de 2-3 m, leur composition pétrographique ne se distingue guère de celle de roches de massifs, (a une texture porphyrique à pâte micro granitique).

Les pegmatites se rencontrent sous forme de corps filoniens et parfois sous forme d'amas irrégulier aussi bien dans les roches sédimentaires que dans les massifs intrusifs, ce sont des filons métriques qui s'étendent sur 5-10 m , la composition minéralogique est : le feldspath potassique sous forme des gros cristaux (5-7 mm) , de quartz xénomorphe, de muscovites subordonnées, les fluorines est parfois rencontrées sous forme de grains isolés.

Les filons d'aprites sont peu fréquents dans les granites que dans les roches sédimentaires, la puissance varie de 5 à 30 cm, et s'étendent sur plusieurs dizaines de mètres, ils sont constitués de quartz et de feldspath. Ces filons sont liés probablement au magma résiduel de cette même intrusion acide. (Chabbi R. 2007).

En conclusion, d'après les diagrammes géochimiques binaires faits par Bourefis A. en (2007) sur le granite du Filfila, ont montrés que ; la fusion partielle à elle seule ne peut pas expliquer les variations relativement importantes de certains éléments compatibles, et montrent que le mécanisme essentiel apte à expliquer les variabilités observées est la cristallisation fractionnée, l'augmentation de l'anomalie négative en europium des faciès à biotite vers les faciès à topaze va également dans ce sens.

Au point de vue géochronologique, bien que représenté par plusieurs variétés, est considéré comme monogénétique. En effet, une datation sur les granites et les roches au complexe filonien coupent les terrains Jurassiques et les terrains du Crétacé inférieur a été faite par Glangeaud L. (1933) sur (K/Ar), et qui a donné un Age radiométrique de 14 Ma, ce qui suppose une mise en place au Miocène inférieur à moyen. Alors que Penven M. J. et Zimmermann J. L. (1986), lui attribuent un Age (K/Ar) de 15.3 Ma. (C'est à dire, Langhien).

Le granite du Filfila a terminé sa cristallisation en présence d'une phase fluide riche en volatils et notamment en fluor, celle-ci s'est exprimée dans les roches de contact par le développement massif d'idocrasites et de fluorine dans les skarns et les roches encaissantes.

C- LES ENSEMBLES MÉTAMORPHIQUES

Le gisement de marbre de Filfila qui fera l'objet de notre étude, est engendré dans le contexte métamorphique du massif. Cependant pour une étude plus convenable, nous procédons à traiter les éléments ci-dessous :

1. Les facteurs de métamorphisme

C'est bien de rappeler ici que, le métamorphisme n'est pas un processus qui transforme les minéraux d'une roche après les avoir fait retourner à l'état de fusion, mais il s'agit à l'intérieur de la roche elle-même. Les conditions pression /température induisent une déstabilisation des minéraux qui se transforment en d'autres minéraux.

D'après les données présentées par Lemoy C. (1969) et les études minéralogiques réalisées sur des échantillons de marbre de différentes couleurs, ont montrées que le gisement de marbre de Filfila (initialement calcaires sédimentaire) a été formé sous l'action de deux processus :

1- L'action de métamorphisme dans la zone de contact au niveau du toit du massif granitique du Miocène, la mise en place de ce massif a métamorphisé les lentilles de calcaires se trouvant entre ses deux affleurements.

2- L'action des processus dynamiques de plissements et la mise en place des diverses nappes de charriage, en effet les niveaux des mouvements tectoniques qui sont situés dans les différents points du massif granitique, ont générés un métamorphisme dans les roches ayant les différentes compositions lithologiques se trouvant en contact avec ces niveaux.

2. Le gradient métamorphique

En examinant le développement spatial de différents types des roches métamorphisées suite au contact avec le massif granitique, on peut noter que le gradient local du métamorphisme s'accroît du Nord-est au Sud-ouest.

En effet, le caractère métamorphique des roches de l'auréole de contact du Filfila est plus prononcé entre les deux stocks granitiques et à leurs proximités.

Les calcaires y sont plus cristallins (cipolins) et les roches grésopélitiques et calcaropélitiques acquièrent un aspect de cornéenne, ils deviennent plus durs et la cassure devient conchoïdale, c'est en fonction des roches initiales et de la tectonique intense, il en résulte une gamme très variée des calcaires cristallins (en composition chimique et en degrés de cristallinité), cette variété des calcaires cristallins donnant ainsi le marbre de Filfila est expliquée soit :

1- Par l'action des processus chimiques et isothermiques dans les roches mêmes (formation de l'actinote par les impuretés de silice, magnésium et fer dans les calcaires initiaux).

2- Par l'arrivée des solutions minéralisantes (veinules de quartz, pyrite, hématite...).

Les roches finement grenues (calcaires bitumineux) ont été moins métamorphosées, alors que les roches avec une granulométrie plus grande ont été complètement recristallisées à cause de la plus grande porosité qui a favorisé la circulation des solutions.

3. Estimation des conditions de métamorphisme

Les conditions de pression et de température desquelles résulte le marbre de Filfila par le métamorphisme, peuvent être déterminées par la wollastonite (**Fig.12**), cette dernière est bien notée au dôme du stock granitique Sud, en contrebas de la carrière de marbre (surtout dans la carrière d'El-Chatt). Ce minéral peut être présent dans les parties les plus chaudes du faciès de cornéenne à hornblende. La wollastonite apparaît selon la réaction suivante : **calcite + quartz = wollastonite + CO₂**.

Cette réaction dépend de la pression partielle de CO₂ et de la température, la wollastonite se forme pour 1000 Bars à une température de :

525° pour un XCO₂ = 0.13

580° pour un XCO₂ = 0.25

Et pour 2000 bars à une température de :

540° pour XCO₂ = 0,13

610° pour XCO₂ = 0,25

Pour les carbonates impurs (cornéennes calciques), nous avons utilisé la réaction :



Si on prend une pression de 1000 bars le diopside est stable pour des températures supérieures à : 520° pour XCO₂ = 0.30 et 530° pour XCO₂ = 0.5.

A noter que : certains minéraux utilisés par certains auteurs sur le massif du Filfila, pour estimer les conditions du métamorphisme, comme le grenat et la vésuvianite, ces minéraux ne sont pas métamorphiques mais ont une origine métasomatique (minéraux de skarns). Ils ne peuvent de ce fait être utilisés pour estimer les conditions du métamorphisme.

Enfin, la présence de Wollastonite dans les conditions ainsi déterminées donne un XCO₂ inférieure à 0,25, indique un type de métamorphisme thermique et isothermique.

Les conditions ont été estimées à 530° pour une pression de 1K bar au contact immédiat du granite. (Bourefis A. 1994).

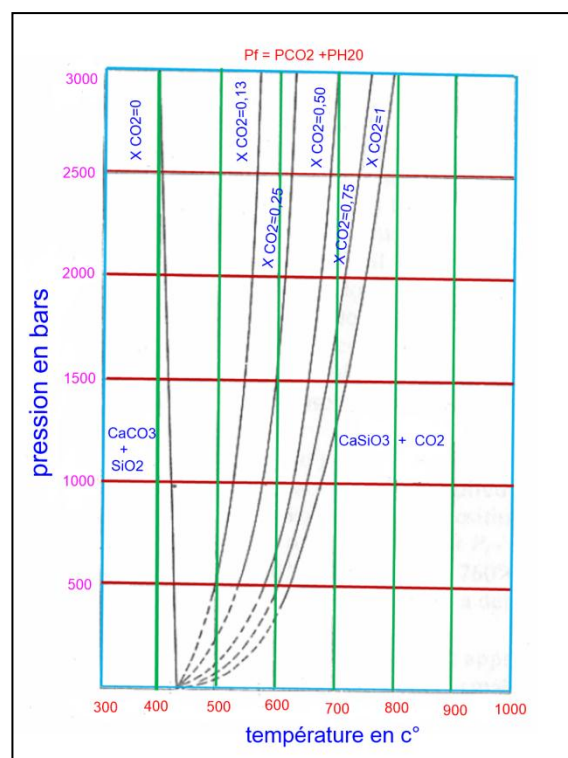


Fig.12 : Les conditions d'apparition de la wollastonite. Winkler H.G.F. (1964).

4. Les roches métamorphiques

Dans la région du massif de Filfila se développent plusieurs roches métamorphiques de contact avec les intrusions granitiques, qui dépendent aussi bien de la composition primitive des roches encaissantes que de leur position par rapport au contact avec les intrusions.

Les roches les plus transformées par ce métamorphisme sont les roches carbonatées, qui forment actuellement par endroits des skarns, des cornéennes, des marbres. **Fig.11.**

4.1. Les skarns

C'est bien de rappeler ici que les skarns ce sont des roches de composition calcareo-silicatées, formées par métasomatique dans la région de contact d'intrusion en terrains carbonates.

La formation du skarn se distingue de celle du marbre par le fait que les skarns se forment du fait d'action combinée de la pression et la chaleur d'intrusion d'une part, et des solution gazoques minéralisées chaudes d'une autre part. (Enrichissement en Si, Al, Fe, par l'influence de l'intrusion granitique et en Cl, F, Bo..., par l'influence de fluides pneumatolytiques). Alors, seule la température et la pression qui intervenir dans la formation du marbre.

Les skarns se distinguent donc, par l'existence d'une zonalité métasomatique, qui est le résultat des changements de conditions d'équilibre dans le système lors de leurs formations.

D'après la classification de Phan kiew Duong (1969), les skarns de Filfila sont des skarns de percolation (ou d'infiltration).

Sur le plan théorique, ces skarns sont le résultat de l'interaction entre un fluide émanant des intrusions, et des roches de contact (calcaire ou autres).

Au contact de ces roches de composition différente de la sienne, le fluide va se trouver en déséquilibre chimique et provoque au sein de celles-ci, des transformations qui se succèdent au cours de plusieurs étapes synchrones, ces transformations se manifestent par une suite de réactions tendant à équilibrer le fluide siliceux avec la roche encaissante.

Chaque type de transformation correspond à une zone métasomatique, l'ensemble de ces zones constitue une colonne métasomatique, les zones internes sont celles situées à l'amont de la colonne, elles correspondent au niveau de percolation du fluide, tandis que la zone externe se trouve à l'aval de la colonne (zone à wollastonite pour les protholithes calcaires), au Filfila la zone de percolation du fluide est toujours marquée par une zone à grenat de couleur rose.

Les skarns d'infiltration sont souvent de forme irrégulière, et des dimensions variables, atteignent dans certains cas plusieurs centaines de mètres de puissance.

Les affleurements de skarns dans la région de Filfila, sont concentrées essentiellement dans la partie Sud-ouest du stock granitique méridionale, entre les deux stocks granitiques, d'autre

skarns de taille modeste ont été découverts dans les formations Jurassiques qui bordent le stock granitique vers le Sud-ouest, et également dans les sondages faites dans la partie Nord-est du massif. (Bourefis A. 1994).

Comme la skarnification c'est un phénomène complexe de recristallisation, elle peut aussi affecter le granite lui-même par endométamorphisme donnant ainsi l'endo-skarn (ou granite skarnifié), la percolation d'un fluide enrichi en élément tel que calcium et magnésium, celui-ci s'est trouvé en déséquilibre chimique avec le granite et a induit dans ce dernier suite aux réactions chimiques, des transformations exprimées sous forme de zones métasomatiques, le terme d'exoskarn désignant alors le skarn dérivant des calcaires et dolomies.

En effet, les skarns de Filfila sont développés à travers différentes lithologies (les roches de départ peuvent être : calcaire, cornéennes, granite...).

Ce sont surtout les roches silico-alumineuses et les cornéennes calciques qui ont été les plus skarnifiées, ceci s'explique par le fait que les schistes sont plus perméables que les calcaires et qu'il est plus aisé de skarnifier des cornéennes que des calcaires, aussi les cornéennes possèdent déjà la plupart des éléments nécessaires (silice et de fer) à la formation de minéraux de skarns (silicates calciques).

4.1.1. Transformation du calcaire au skarn : Ce type est bien représenté par le skarn de la grande masse verte, qui s'affleure depuis les quatre chemins jusqu'au niveau de la carrière de poudre de marbres. L'essentiel de la masse est constituée d'une roche verte à pyroxénite - épidotite. Ils se caractérisent par l'absence de grenat et de vésuvianite, cette masse verte est allongée suivant une direction NW-SE, son alignement sur les autres structures du Filfila suggère le développement de cette dernière sur une même unité stratigraphique.

Pour Perrin C. (1969), le développement de cette dernière s'est effectué à travers une unité hétérogène, mais le développement de la pyroxénite dans la masse verte indique le développement de ces skarns à travers le calcaire. (Ouchefouni A., Bououden D. 2012).

4.1.2. Transformation du granite au skarn: Pour ce type de skarn, nous trouvons dans la région de Filfila des endoskarns en masse et des endoskarns en veines, l'affleurement le plus représentatif des endoskarns en masse se trouve sur la route à environ 150 m de la carrière Sonatro, ont une puissance de plusieurs mètres, et les endoskarns en veines se trouvent dans les halles de la carrière Sonatro, ont une épaisseur d'ordre centimétrique.

La différence entre les endoskarns en masse et les endoskarns en veines est que ; les premiers présentent une zone interne à grenat (grossulaire), alors que dans les seconds, la zone interne est à pyroxène.

4.1.3. Transformation de la cornéenne au skarn : Ces skarns affleurent au niveau de la route qui mène des platanes vers le Filfila (entre la carrière Sonatro et celle d'avant).

La cornéenne saine est de couleur noire, et au front de transformation cette cornéenne est blanchie, dans laquelle on voit des reliques de cornéennes noire dans la cornéenne décolorée.

En générale, le skarn de Filfila se caractérise par le développement d'amphibole et de pyroxène sur la biotite, ils renferment aussi de : grenat, pyrite, quartz, carbonate. Ils ont une structure hétérogranoblastique, fibroblastique et une texture massive.

4.2. Les cornéennes

Les cornéennes ce sont des roches métamorphiques de contact des granitoïdes, ont une dureté très élevée, non fissilées, de cassure d'aspect corné. (Foucault A., Raoult J .F. 2005).

Dans le massif de Filfila, les cornéennes ont été observées dans les formations Jurassique et Crétacé inférieur, aussi dans les formations Albo-Aptiennes. Elles sont de couleur grise, grise-foncé teintées de rose, elles ont été formées par des dépôts terrigènes. Selon la roche initiale et le degré du métamorphisme, on distingue dans le massif de Filfila les variétés suivantes :

4.2.1. Les cornéennes pélitiques : Ont un aspect de schistes, les schistes noduleux à andalousite et cordiérite passant à des cornéennes micacées, de teinte sombre.

Ce type de cornéennes correspond parfois à la partie pélitique qu'on trouve dans la route de quatre chemins au sommet du Djebel Filfila.

4.2.2. Les cornéennes calcaréo-pélitique : Les pélites calcareuses donnent des cornéennes nommées : tactites, très variées : vert vif avec épidote, vert sombre avec amphibole, une telle variété sont observées dans la fosse de la carrière d'El-Chatt.

4.2.3. Les cornéennes calciques : Les calcaires et les dolomies donnent des cornéennes qui sont des marbres et des skarns riches en SiO₂, Fe et Al, et autres éléments. Elles se caractérisent par leurs aspects massifs, leurs grandes duretés et la texture en aiguilles de leurs minéraux. Ces cornéennes sont rencontrées au contact immédiat du stock granitique Sud. Une cornéenne à wollastonite et pyroxène calcique, aussi des cornéennes formants de petits nids en contact avec l'assise de marbre sont observées dans la carrière d'El-Chatt.

4.2.4. Les cornéennes gréseuses : Sans transformations significatives, les grès d'El-Halia sont constitués de quartz xénomorphe.

Enfin, les cornéennes dans le massif de Filfila, se caractérisent par l'abondance relative des minéraux magnésiens (diopside, trémolite, talc, cordiérite épidote, pyroxène...) et l'absence de feldspath potassique, elles comprennent aussi des minéraux tels que : plagioclase, chlorite, quartz, amphibole. La structure des cornéennes est porphyroblastique, lépidoblastique et a une texture tachetée.

4.3. Le marbre (Le gisement)

Le métamorphisme du contact donnant ainsi le marbre, se manifeste dans les calcaires d'El - Fendeck, qui sont bien cristallisés à cause de l'influence thermique plus grande du granite, ils sont de couleur bleutée, on y note quelques grains de quartz et des minéraux opaques.

Le métamorphisme se manifeste aussi dans les calcaires d'El-Halia, mais ils sont moins cristallins, ils renferment une certaine proportion de minéraux phyliteux.

Cependant, les meilleurs affleurements des calcaires métamorphisés se localisent dans les carrières du marbre, qui se trouve au Djebel de Filfila (notre secteur d'étude).

En effet, la substance utile est représentée par l'assise des marbres formant un grand corps lenticulaire observé du Sud-ouest au Nord-est sur une étendue de 1100 m avec 300 m de largeur. (Belabed F. Zohra. 2007).

Le territoire du gisement de marbre du Filfila se divise en trois unités stratigraphiques superposées du Nord-ouest au Sud-est, et partagés par de grands contacts tectoniques représentés par les zones de brèches et des micros brèches, (Afia M. S. 1969).**Fig.13.**

4.3.1. Complexe inférieur (secteur Nord-est).

Les affleurements de ce complexe s'observent sur la pente Ouest du mont Filfila, au-dessous de la côte + 450 (la carrière d'El-Chatt), ainsi que sur la plaine de la partie Nord de la carrière de Filfila. Ici il a été mis en évidence la succession lithologique de bas en haut suivante :

-Les marbres microcristallins : Avec une puissance atteignant 40 m, reposant sur les schistes marno-argileuse noires à filon de quartz, d'hématite et de sidérite.

-Les marbre de type "conglomératique" : Avec puissance de 0,5 m, ils sont constitués par les marbres blancs, à gros grains, fissurés, les fissures sont remplies par des argiles verdâtres.

-Les marbres dolomités : Ils se trouvent au-dessus les "conglomérats" avec des fissures remplies par la calcite, ce sont des marbres affectés d'un stade primaire de dolomitisation. Leur puissance est de 5 à 7 m.

Leur couleur varie de jaune claire, rosâtre à brun foncé en fonction du degré de dolomitisation et de l'oxydation des minerais de fer, la dolomitisation des marbres a eu lieu suivant des fissures horizontales orientées vers le Nord-est, le marbre dolomitisé se rencontre surtout sur le flanc Sud de la carrière d'El-Chatt (gradins 366.6, 381.6m), dans l'endroit de leur jonction avec des marbres gris-jaunes.

-Les marbres noirs bitumineux et gris foncés : Ils sont finement cristallins, avec une puissance de 2,0 à 4,5 m.

-Les marbres blancs, saccharoïdes : Ils sont observés dans la partie Nord de la carrière, se substituent par celles de couleur gris-clair.

4.3.2. Complexe moyen (secteur centrale)

Ce complexe est situé dans la partie Nord-ouest de la carrière, et englobe les faisceaux lithologiques de bas en haut sont les suivants :

-Les skarns : Représentent une brèche tectonique qui est notée au contact tectonique entre les unités moyennes et inférieure, orienté du Nord-est au Sud-ouest, avec le pendage Sud-ouest sous l'angle de 20 à 30°, leur puissance varie de 0,5 à 35 m, les Skarns sont généralement massifs, parfois schisteuse avec la composition lithologique instable.

-Le marbres cristallins : Fortement accidentés dans les noyaux des plis et ils passent aux skarns à actinolite suivant les plans de schistosités, dans les zones de fissuration on note les veinules de quartz, de pyrite et de quartzite. Il y a deux catégories de marbre : le marbre gris clair à pyrite avec une puissance de 1 à 2 m, et le marbre blanc dont la puissance des couches est de 0,5 à 1,5 m, ce faisceau des marbres a un pendage Sud où il est recouvert par les roches de l'unité supérieure et vers l'Est par les argiles marneuses.

-L'argiles marneuses : S'observent surtout dans la partie Est, elles sont représentées par des alternances de schiste marno-argileuse séricitisé partiellement, et intercalés par des niveaux de calcaires marneux et de grès, dont les épaisseurs varient de 0,5 à 10 m.

4.3.3. Complexe supérieur (secteur sud)

Le contact entre les complexes supérieur et moyen est marquée par une faille inverse, celui du complexe inférieur est situé sur le plan de chevauchement à pendage Est sous l'angle de 40°.

Dans ce complexe on note les faisceaux suivants :

- Le marbre microcristallin gris-bleu : À la base.

-Le marbre microcristallin blanc : Dans la partie moyenne.

-Le marbre gris blanchâtre : Dans la partie supérieure.

Enfin, selon Joleaud L. (1914), les calcaires Liasiques, forment un brachyantoclinal orienté Nord-ouest et Sud-est, ces calcaires se prolongent à 10 Km environ au Sud-est, pour se retrouvés encore une fois dans le massif du Safia.

Les calcaires qui se trouvent près de Koudiat-Toumiete cessent d'être métamorphisés et renferment plusieurs fossiles notamment les Bélemnites (groupe de céphalopodes marins, leur squelette était composé de trois parties, composé de calcite lamelleuse, leur valeur stratigraphique est bien moindre que celle des Ammonites. on les retrouve surtout abondantes dans les sédiments Jurassiques et Crétacés).

Dès lors, Joleaud L. a jugé que le marbre du Filfila ne doit pas être attribué à l'Éocène comme les calcaires des même faciès de la série numidique, mais ils doivent être rattachés au Lias.

À l'étape finale, les processus de métamorphisme, ont été accompagnés par l'altération hydrothermale : formation des amas de quartz filonien et la pyritisation de certaines roches.

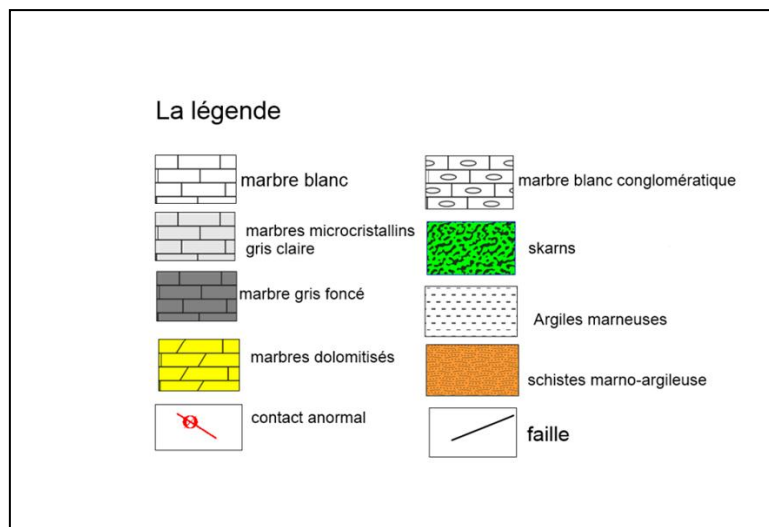
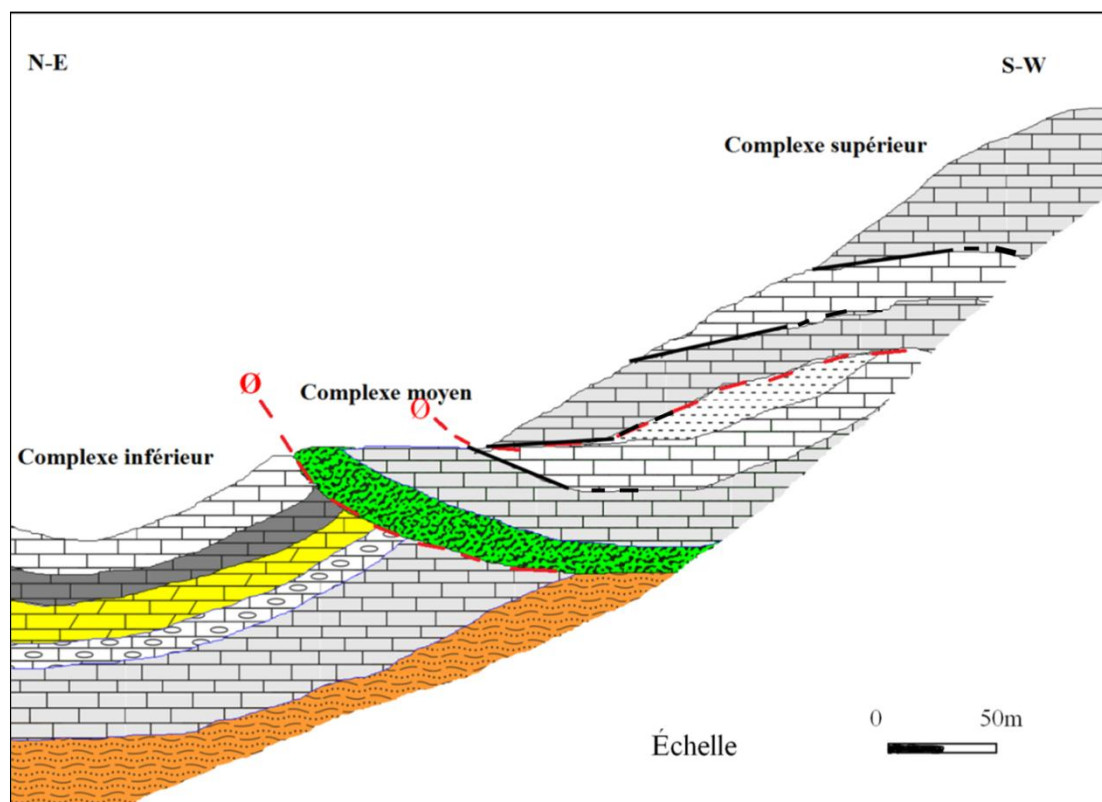


Fig.13 : Coupe géologique du gisement de marbre de Filfila. Bououden D. (2014).

En conclusion, d'après certains géologues venus au Filfila lors du 19^{ème} congrès international de géologie, qui s'est tenu à Alger du 8 au 13 septembre 1952, le gisement de Filfila, comprendrait toute la hauteur de la montagne (près de 600 m) et se prolongerait sous la mer. Certains affirment que ce serait le même gisement que Carrare, en expliquant cela par la théorie de la dérive des continents. Mais cette idée pour nous est totalement fausse, comme nous nous sommes déjà expliqués. (Ouchefouni A., Bououden D. 2012).

D- STRUCTURE TECTONIQUE DE LA RÉGION DE FILFILA

Chaque ensemble sédimentaire, magmatique et métamorphique formant le territoire d'étude, est caractérisé par une structure et une allure tectoniques bien définie : **Fig. 14.**

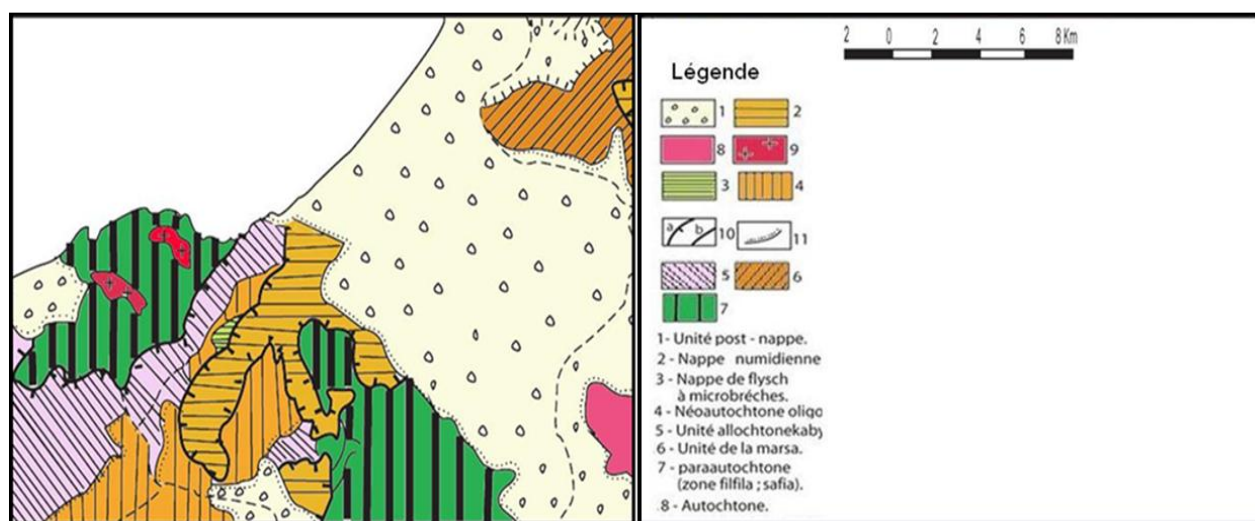


Fig.14 : Postions structurales des unités formants le territoire d'étude, extrait de la carte géologique de la feuille de Filfila à 1/50 000. Tchekhovitch V.D. (1971).

1. La structure de l'autochtone

Les formations constituant l'autochtone sont isolées des autres structures par des grands champs de terrains Quaternaires. Les parties internes se caractérisent par la schistosité qui correspond entièrement à la stratification des roches, ceci apparaît clairement dans les niveaux et lentilles de calcaires cristallisés qui se rencontrent dans l'assise Anti-Cambrienne.

L'autochtone au Nord-est de Boumaiza forme un grand pli doux anticlinal axé du Nord-ouest aux pendages maximum de 30°-40° sur les flancs. Cependant, l'assise Anti-Cambrienne encore des micro-plissements qui sont propres aussi aux schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur. La structure de l'ensemble autochtone se caractérise par la rareté des affleurements et de l'extension insignifiante des formations qui la composent.

2. La structure de l'allochtone kabyle

L'allochtone kabyle vue la position des terrains métamorphiques du Paléozoïque inférieur dans une nappe tectonique, il chevauche le Mésozoïque du para autochtone (le Jurassique et le Crétacé, ainsi que les granites du Miocène). En effet, le chevauchement de Filfila a été confirmé par des sondages, où les roches sédimentaires Néocomiennes à microfaune sont rencontrées sous une assise de schistes métamorphiques. Dans l'ensemble, l'allochtone inférieur forme un grand pli anticlinal renversé au Sud, dans le cœur duquel apparaissent les séricito schistes quartzeux bleuâtres de l'assise inférieur. Les petites fractures, les écaillés, les plis d'ordre supérieur, affectent la structure de l'assise métamorphique.

3. La structure du para-autochtone

D'après Durand-Delga M. (1969), l'ensemble para autochtone du massif de Filfila et celle du Safia, ce sont des fenêtres tectoniques, qui sont apparaît à la faveur de l'érosion de la nappe cristalofileinne.

En effet, le massif de Filfila est représenté par une dorsale anticlinale qui émerge de l'allochtone Kabyle qui le chevauche. (Ils percent les terrains allochtones).

Cette dorsale est caractérisée par un plissement intense, par un renversement de structure principale dans la direction Sud-ouest et aussi par un développement d'écailles tectoniques.

Les flancs de cet anticlinal sont composés de terrains terrigènes du Crétacé inférieur-supérieur, et affectés par des plis relativement gros d'ordre secondaire axés au Nord-ouest. L'amplitude des flancs de ces plis atteint 1 à 1, 5 Km.

Dans les cœurs des synclinaux apparaissent les sédiments marneux du Néocomien et dans les cœurs des anticlinaux apparaissent les dolomies ou calcaires massifs du Lias.

Les calcaires du Lias formant le cœur de l'anticlinal, reposent sur les sédiments argilo-carbonatés du Lias moyen supérieur avec un contact généralement tectonique.

L'orientation des structures tectoniques principales du massif de Filfila est également vers le Nord-ouest, les massifs des granites du Miocène inférieur sont concordants et étirés dans la même direction.

La structure du gisement de marbre du Filfila qui est attribué à l'unité para-autochtone, a été vérifiée au cours des travaux effectués durant la mission Roumaine (1971-1972) par les sondages d'évaluation et précisées par l'équipe d'ORGM (2011).

En effet, la structure du gisement est monoclinale avec une direction Nord-est et Sud-est, et un pendage vers le Nord-est et Est sous l'angle de 20-40°.

Le gisement est affecté par des accidents disjonctifs, ces accidents sont concordants et transversaux par rapport à l'orientation générale du massif des marbres.

La plupart des accidents ont le pendage abrupt, et le long de ces accidents on note la bréchification des marbres et le développement des filons de calcite, et des cavités karstiques de petites dimensions.

Le bloc para-autochtone des formations Mésozoïques au niveau du gisement de marbre, sont représentées par trois écailles tectoniques superposées les unes aux autres : **Fig.13.**

➤ **Écaille inférieur** (correspondant à l'unité inférieur)

Représente un synclinal asymétrique s'étendant dans la direction Nord-est et Sud-ouest avec le pendage vers l'Ouest, le flanc Est se trouve en état écrasé. Alors que, le flanc Ouest de la structure repose sur les argiles et les marnes du crétacé, où on note les plis charriés à pendage

du Sud-est au Nord-ouest, qui reproduisent les faisceaux lithologiques, les accidents tectoniques récents sont représentés par les fissures remplies de calcite ou d'argile résiduelle.

➤ **Écaille moyenne** (correspondant à l'unité moyenne)

Cette structure représente également un synclinal asymétrique, qui est écrasé sur le flanc renversé du pli et chevauché sur l'écaille supérieure.

La direction du flanc normal de ce pli est de Nord-est et Sud-ouest avec le pendage 20° à 40° vers le Sud-est.

À la base de ce pli on note une zone puissante de brèches, suivant laquelle il y eu lieu un glissement.

L'écaille moyenne est chevauchée sur l'écaille inférieure et vers le Sud elle recouvre tectoniquement les formations de l'écaille supérieure.

Pour les raisons d'absence des niveaux lithologiques, ces dernières s'observent difficilement et parfois il est impossible de les suivre.

➤ **Écaille supérieure** (correspondant à l'unité supérieure)

Cette structure représente un pli tectoniquement écrasé, le flanc de ce pli a une direction Nord-est et Sud-ouest avec le pendage des couches sous l'angle de 20°-30°, dans la direction Sud-est et Est, le contact de cette structure avec les autres écaillles est tectonique.

À l'Est, ce contact est recouvert par les éboulements de la carrière.

Dans les limites de l'écaille supérieure, on note des dolomies qui sont liées plutôt avec les fissures parallèles par rapport au plan du chevauchement.

4. La structure de la nappe du flysch

Sur le plan structural, le flysch à micro brèches se trouve au-dessus de l'unité d'El-Marsa, qui représente son soubassement tectonique, mais aussi sur la série gréseuse de l'Oligocène Kabyle, la limite tectonique supérieure du flysch est la semelle de la nappe numidique.

5. La structure de la nappe numidienne

Sur le plan structurale, la nappe numidienne occupe la position la plus haute et couronne l'édifice structural de la région, leur soubassement tectonique peut être représenté par tous les autres ensembles structuraux.

Les structures internes de l'ensemble numidien se distinguent par le glissement doux, souvent subhorizontal de l'assise gréseuse supérieure.

Leur deuxième particularité réside dans leur discordance tectonique entre l'assise inférieure des argiles et l'assise supérieure des grés.

Seuls les sédiments de cuvettes Miocènes et les terrains Quaternaires se trouvent plus haut dans le plan structural.

V. CONCLUSION

La région de Filfila se caractérise par la présence de plusieurs ensembles sédimentaires, dont l'ensemble parautochtone (correspond au Djebel Filfila proprement dit) est composé essentiellement de formations terrigéno-sédimentaires d'Age Mésozoïques. Aux côtés NE-SW du Djebel Filfila, cet ensemble est recoupé par deux intrusions granitiques d'Age Langhien.

Les calcaires cristallins qui donnent actuellement le marbre en exploitation, proviennent du métamorphisme des calcaires sédimentaires sous l'effet du contact avec ces intrusions.

La substance utile est représentée par l'assise des marbres et de calcaires dolomités, formant un grand corps lenticulaire observé du Sud-ouest au Nord-est, sur une étendue de 1100m avec 300 m de largeur. On peut en déduire que les couches qui se trouvent dans la partie Nord-Ouest de la carrière de Filfila, se prolongent et affleurent dans la zone Sud-est (El-Chatt) suivant une direction Nord-est Sud-ouest et un pendage de l'ordre de 30° vers le Sud-est.

Les roches de contact au gisement de marbre de Filfila sont représentées par des argiles et des cornéennes de différente composition, formées dans les roches calcaire-argileuses du Jurassique moyen-Néocomien.

D'un autre côté, parmi les roches intrusives développées sur le massif de Filfila, nous distinguons les massifs granitiques (à biotite, à tourmaline et à topaze), les petits corps de granodiorites et des diorites quartzifères ainsi que les dykes et de filons représentés par des porphyres granitiques, pegmatites et aplites, toutes ces roches ont un Age Miocène inférieur.

L'action du métamorphisme est accompagnée souvent par des transformations metasomatiques de la roche initiale en skarns, ce sont surtout les roches silico-alumineuses et les cornéennes calcique qui ont été plus skarnifiées. (Poreuses et riches en Si, Fe, MgO...).

Sur le plan structural, le massif de Filfila est représenté par une dorsale anticlinale, qui émerge de l'allochtone Kabyle qui le chevauche (il apparaît à la faveur de l'érosion du socle kabyle). Cette dorsale est caractérisée par un plissement intense, par un renversement de la structure principale dans la direction Sud-ouest. (Formation de synclinaux et d'anticlinaux pour les directions WSW-ESE ; et de structures pincées et faillées pour les directions NE 140°.

Une distingue caractéristique, c'est le développement d'écailles tectoniques, on y trouve :

- 1) Un Lias (marbre du Filfila) : forme un amas de calcaire cristallin et du marbre dolomitise.
- 2) Un Dogger pélitique avec des lentilles de calcaires plus ou moins dolomitiques.
- 3) Une série détritique l'Aptien-Albien : alternance de grès et d'argiles calcaireuse.

Le gisement de marbre du Filfila est subdivisé aussi en trois unités stratigraphiques, renfermées surtout par des calcaires cristallins, et superposées du Nord-ouest au Sud-est, elles sont partagées par de grands contacts tectoniques (zones de brèches et des micro-brèches).



CHAPITRE.2 :
MINÉRALOGIE DU MARBRE.

I. INTRODUCTION

Afin de connaître la nature pétrographique de différents types des marbres, une lame mince d'épaisseur de 30 microns (norme française) est examinée sous un microscope en lumière naturelle et polarisée, la confection des lames minces de notre présente étude, a été effectuée au niveau de laboratoire de géologie à l'université d'Annaba, et examiner dans le laboratoire minière à l'université de Constantine 1 au moyen d'un microscope de type : Wild M21.

A noter que ; la méthode de prélèvement de nos échantillons a été faite au moyen d'un marteau métallique (sert à estimer la dureté) d'une manière systématique, qui consiste à suivre le changement latéral des facies de marbre dans chaque gradins de ces deux carrières.

L'opération-type a été réalisée selon un ou plusieurs profils, traversant autant que possible perpendiculairement, la stratification et les fronts de taille, tout en allant dans le sens de progression de la carrière. Dans le cas de conditions d'affleurement favorables, a permis d'effectuer un prélèvement d'une séquence en banc par banc.

Dans l'ensemble, près de 60 échantillons ont été prélevés, ces échantillons ont été divisés en deux parts, une part a subi diverses préparations en vue d'analyses, et tests divers, l'autre part est conservée comme témoin. En effet, dans la carrière de Filfila, nous avons distingué quatre variétés principales de marbre qui sont en cours d'extraction, ceux-ci : marbre blanc, marbre gris clair, marbre réséda marron, marbre gris foncé. On se basant sur la même méthode de prélèvement, nous avons distingué dans la carrière d'El-Chatt trois variétés principales de marbre : blanc, marbre dolomitisé, et gris foncé. Notre étude pétrographique ici sera traiter sur l'échelle macroscopique (couleur, trait, structure, structure, cassure, dureté, HCL...). Et sur l'échelle microscopique, où nous allons étudier les lames minces en lumière polarisée simple pour une première approche. Et en suite en lumière bipolarisée, dont les caractères optiques et cristallographiques que nous allons observer sont : la teinte de polarisation, la forme et la taille des minéraux, la présence de clivages, la présence de macles, l'indice de réfraction (relief), le pleïochroïsme, la biréfringence (échelle des couleurs de Newton), l'angle d'extinction si on a pris le soin de déterminer un angle (0).

Une reconnaissance géophysique à la base des pseudos sections et sondages électriques, sera introduite dans la présente partie, pour investir sur la nature lithologique du gisement en profondeur d'une part, et voir l'extension et la limite entre les deux carrières d'une autre part.

Pour compléter notre étude pétrographique, nous allons introduire une étude géochimique, a pour but de mettre la concordance de la pétrographie avec la chimie des roches, dans cette étude, on se basera sur les résultats des analyses chimiques pour les quarante échantillons prélevés à partir les carottes de dix sondages réalisés par l'entreprise d'ORGM en (2011).

II. GÉNÉRALITÉS SUR LES MARBRES

1. Définition du marbre

Originellement, le terme « marbre » est dérivé du mot grec « marmaros », que signifie bloc de roche ou rocher. Il s'utilisait tout simplement pour désigner de la roche.

Aujourd'hui, le mot marbre a deux acceptions : dans les milieux professionnels italiens, le mot marbre (marmo) s'utilise d'une manière beaucoup plus large et désigne également des roches tendres polissables. L'expression italienne «marmi» recouvre donc également des calcaires, des serpentines et d'autres roches similaires. Alors que, l'ensemble des géologues ont définis le marbre comme étant une roche carbonatée dérivée de calcaires et de dolomies et recristallisée sous haute pression et à haute température, généralement par un métamorphisme régional, ou plus rarement par un métamorphisme de contact. **Fig.15.**

Dans ce processus de transformation de la roche originelle, les structures sédimentaires sont effacées, et la roche carbonatée recristallise en un amas de cristaux de calcite et/ou de dolomie engrenés de dimensions millimétriques à centimétriques.

Les variations de couleurs dans le marbre sont fonction des proportions de substances organiques et minérales présentes dans les calcaires initiaux : un calcaire blanc peut naturellement donner naissance à un marbre blanc non veiné. Si le calcaire d'origine comporte des éléments constitutifs foncés, ceux-ci se retrouvent dans le marbre, par exemple sous la forme de veines foncées ou d'une teinte nuageuse.

En effet, les intercalations argileuses, organiques, les minéraux détritiques ou les oxydes minéraux présents dans le carbonate originel donnent alors au marbre des colorations diverses et veinages polychromes du plus grand effet esthétique.

Lorsque les cristaux contiennent de fortes proportions d'impuretés, notamment du mica ou du talc, on les nomme cipolins. (Foucault A., Raoult J. F. 2005).

A noter qu'une marbrerie désigne l'atelier où l'on fabrique les marbres.

Le marbrier désigne, l'ouvrier qui taille et monte les pièces de marbre sur la pierre, les raccorde et les pose.



Fig.15 : Photo du marbre blanc de Carrare (Italie).

2. La genèse géologique du marbre

La majorité quasi-absolue des marbres s'est formée à partir d'un gigantesque dépôt de calcaire au fonds océanique, qui s'est réalisé entre le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur, dans un intervalle de temps de 50 Ma, entre -380 et -330 Ma.

La métamorphose ou transmutation s'opère généralement dans le contexte de l'orogénèse. Les sédiments calcifères occupaient les cuvettes de la pénéplaine, se sont tout d'abord transformés en calcaire. Lorsque des mouvements de la croûte terrestre (au cours du cycle Hercynien -416 à -251 Ma) charrient de pareils sédiments calcifères dans des couches plus profondes (métamorphisme régionale) ou plus chaudes (métamorphisme de contact), le calcaire se recristallise sous l'action d'une pression et d'une chaleur accrues. (Bouleversements physico-chimiques). Il se forme alors de nouveaux cristaux de calcite, généralement de forme et de taille irrégulière. Il en résulte finalement une texture mosaïque dans laquelle il n'est plus possible de distinguer les anciennes particules de calcaire. **Fig.16.**

Par recristallisation, le marbre devient plus diaphane et plus homogène, contrairement à un calcaire. Philipp R. (2009).

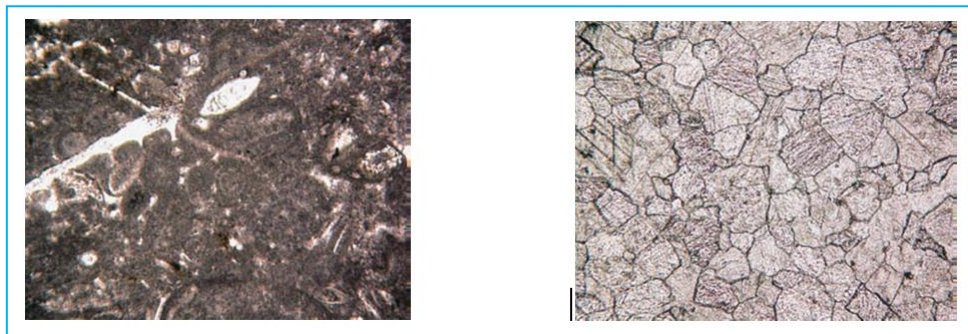
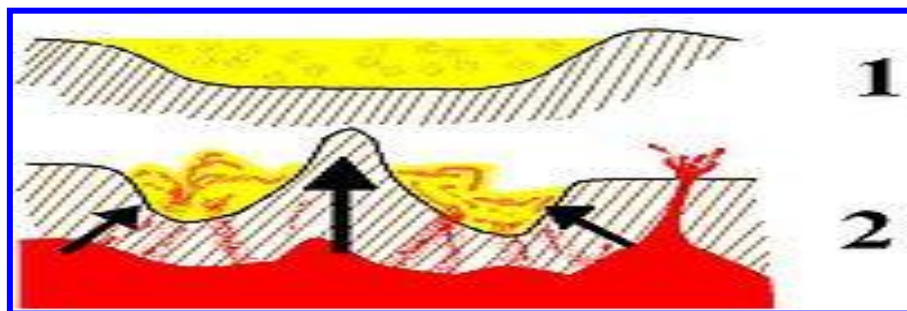


Fig.16 : Photo microscopique du calcaire et de marbre.

On voit ci-dessous la couche inférieure de roches ancienne (granite) souleva les couches de sédiments primaires, qui retombèrent sur elles-mêmes et qui formèrent aux pieds des grandes chaînes des cordons de collines calcaires, qui se transforme en suite aux marbres. **Fig.17.**



1 : Phase de dépôt calcaire. 2 : soulèvement des plaques et métamorphisme

Fig.17 : Model génétique de marbre.

3. Classification du marbre

Le marbre peut être classé en fonction de différents critères dont les plus utilisés sont :

3.1. La teinte : Les aspects chromatiques des marbres sont extrêmement variables :

La couleur du marbre varie en fonction d'éléments tantôt noyés dans la masse de la roche (les oxydes métalliques présents au moment de la transformation), tantôt concentrés dans des veines. Il s'agit de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, sels de plomb, de zinc, d'antimoine, de molybdène, de magnésium ou d'étain, d'autres métaux et de soufre sous des formes moléculaires variées, ces éléments donnent des colorations très vives aux marbres.

Outre le marbre blanc, il existe des variétés vertes, beiges, bleues, roses, grises, jaunes, rouges, violettes ou noires...

La coloration verte est généralement due à la présence de la serpentine, qui a pour origine la présence du magnésium et de silicium dans le calcaire sous forme d'impuretés.

3.2. Le pourcentage en Ca CO₃ : On peut distinguer deux types de marbre :

-Marbre calcique : issu du métamorphisme du calcaire, il contient au moins (75%) de calcite.

-Marbre dolomitique : issu de la métamorphose de la dolomie, la dolomie pure entrant à peine pour (50%) de la composition de la pierre qui donne les marbres les plus dolomitiques.

Pour toutes les pierres calcaires contenant moins de (75%) de calcite et/ou de dolomie (Ca, Mg (CO₃)₂) on parlera de pierres marbrières.

3.3. L'origine : Nous distinguons deux grandes familles du marbre :

- Marbres antiques : indiquent n'importe quelle pierre "lustrable", tel que les granites et les porphyres, les diorites, les basaltes, les albâtres ou les calcaires particulièrement durs.

- Marbres modernes : les roches métamorphiques dérivées du calcaire ou de la dolomie.

3.4. L'aspect des éléments visibles : généralement on distingue trois types principaux :

- Marbres veinés : ils sont fendillés sous l'effet de la pression, les fentes se sont remplies de sédiments organiques et minéraux qui donnent la couleur, le fond est généralement monochrome lacéré d'un veinage de couleur opposée au fond, parmi les marbres veinés il ya :

✓ Le blanc de Carrare : les veines grises bleutées se noient dans un fond blanc

✓ Le vert de mer : très répandu dans le bassin méditerranéen, présente un veinage serré vert blanchâtre sur un fond noirâtre qui s'explique par la décomposition de matières végétales.

- Marbres bréchés : ils sont formés de fragments anguleux, soudés de façon aléatoire, ils s'agissent de débris de marbre ou d'autres roches, les interstices entre les fragments sont de largeur variable, ils se présentent comme un éclatement de cailloux plus ou moins petits.

- Marbres nuageux : constitués de fragments en forme de nuages de petites veines gris-blanc désordonnées, le plus éclatant est le rouge Languedoc (fond rouge-orangé de nuages blancs).

4. Les caractéristiques technologiques des marbres

Le marbre présente les mêmes caractéristiques techniques que celles du calcaire :

- Résistance mécanique : La résistance à la compression varie entre 70 et 150 N/mm².
- Éclat : Les marbres ont la blancheur du sucre et résonnent d'une manière sourde et mate lorsqu'on les frappe, en Italie, on utilise l'expression de «cotto» (cuit) pour les désigner.
- Dureté : relativement tendres et sont d'autant plus tendres qu'elles sont claires et pures, d'où la nécessité de durcir la surface du marbre pour lui permettre une bonne résistance à l'érosion.
- Densité : La densité d'un marbre est élevée (en moyenne 2,7), aura une bonne résistance au poinçonnement, donc ne sera pas marquée par les matériels lourds.

Les marbres possèdent une schistosité, c'est à dire une direction préférentielle d'orientation des cristaux qui à l'antiquité était utilisée pour découper les blocs selon un plan de moindre résistance de la roche.

- Porosité : c'est une pierre très légèrement poreuse (0.3%) en volume (rarement supérieure à (1,5 %) faible à cause de son origine calcaire), on pourra donc utiliser le lavage à grande d'eau en lavage manuel mais aussi en lavage mécanisé.
- Brillance : Les grains sont jointifs et permettent une brillance élevée, le bas indice de réfraction de la calcite permet à la lumière de "pénétrer" dans la superficie avant d'être réfléchi, c'est pour cette raison (la structure compact) qu'elles sont facilement polissables et peuvent acquérir une brillance très importante par lustrage.

Le polissage du marbre s'effectue mécaniquement, généralement par l'adjonction de produits chimiques (sel de Sorrel, c'est-à-dire oxalate acide de potassium).

En fonction de la variété de marbre et de la méthode utilisée, il est possible d'obtenir un brillant très élevé.

- Résistance aux produits chimiques : Le marbre ne résistent pas aux acides (il se produit une effervescence) et sont très sensibles aux produits alcalins forts.

Tout produit acide et très basique est à proscrire, sauf les produits de cristallisation (remise en état des marbres).

- Comportement au feu : Le marbre est incombustibles, la sensation de froid que l'on a en touchant du marbre, bien qu'étant à la température ambiante, est due à sa forte effusivité thermique, et sous l'influence des variations de température, ont une très bonne résistance aux changements de température et sont donc très résistantes au gel.

Si l'on chauffe de la poudre de marbre à haute température, on ne réussira pas à reconstituer une pierre compacte, mais selon la composition du matériau de base, on obtiendra de la chaux aérienne ou de la chaux hydraulique.

5. Les utilisations du marbre

Depuis la civilisation Grecque et en passant par la république Romaine et jusqu'à nos jours, les marbres ont toujours été utilisés par les bâtisseurs et les sculpteurs, soit pour la construction de leurs habitats ou pour l'aménagement de leurs environnements.

En effet, la réalisation des premiers objets en marbre remonte à l'époque Néolithique, représentée par des petites idoles datées à 3200-2000 av. J.-C. Wikipédia (2014).

De même, il existe en l'occurrence de nombreux exemples historiques, à savoir par exemple l'Acropole d'Athènes, les statues de Michel-Ange ou le Taj Mahāl en Inde.

Le marbre aujourd'hui est largement utilisé en format mosaïque pour le revêtement de murs et de sols intérieurs ou extérieurs, dans la construction et la décoration ou en sculpture :

Escaliers : Le marbre peut offrir une alternative intéressante au bois pour les escaliers ; il offre le meilleur des deux modes : sécurité et esthétique inégalée. **Fig.18.**

Terrasses : Il est particulièrement populaire en finition vieillie ou adoucie sur les terrasses.

Revêtement mural : Dans les pièces d'eau et les pièces de vie, naturellement, le marbre est un matériau de choix, que ce soit en carreaux, mosaïques ou en plaques complètes de grandes dimensions, ainsi un pan de mur du salon peut être recouvert d'une mosaïque à motif géométrique qui devient une décoration en soi, (même sous forme des tables).

Façades : Un marbre poli en façade d'un bâtiment est facile d'entretien et d'un effet maximum, les couleurs claires sont choisies le plus souvent, mais une composition associant des couleurs claires et foncées sont aussi magnifiques.

Conservation de la viande : Le marbre a été utilisé expérimentalement au XIX^e siècle pour la conservation de la viande, et aujourd'hui encore et cela depuis des siècles.

Poudre de marbre : Les couleurs pures de marbre (blanc, rouge, noir...) sont largement utilisées sous forme de poudre dans de nombreuses industries, la poudre de marbre broyée en granulométrie fine est une charge minérale recherchée pour ses utilisations en peinture, en papeterie pour donner de la densité et de la brillance, en additif de pH neutre pour les plastiques, les cosmétiques, la pharmaceutique et la nourriture animale (ajout de calcium).

Agrégats de marbre : Avec des tailles de grains différents, les agrégats de marbre entrent dans la fabrication du carrelage.



Fig.18 : Photo montrant l'utilisation du marbre dans les escaliers.

6. La répartition des gisements de marbre dans le monde

Les gisements les plus importants sont situés dans des régions montagneuses nées d'un «profond bouleversement» de la croûte terrestre. C'est par exemple la raison pour laquelle on ne trouve pas de marbre dans le Jura Suisse, cette chaîne montagneuse se compose certes principalement de calcaire, ce qui pourrait favoriser la formation de marbre, mais elle n'a été plissée que très superficiellement, car les pressions et les températures requises n'ont pas atteint les valeurs minimales indispensables pour transformer le calcaire en marbre.

Dans les Alpes, il existe par contre de nombreux gisements, parce que les processus actifs étaient en l'occurrence suffisamment puissants et profonds pour favoriser la transmutation.

Italie : le mondialement célèbre gisement de marbre de Carrare, forme toute une chaîne montagneuse des Apennins, qui peut s'identifier de loin à des éboulis de marbre blanc, c'est les plus connus, surtout les blancs. Dominique T. (2014).**Fig.19.**



Fig.19 : photo montrant le gisement de marbre du carrare en Italie.

- France : marbre du bourbonnais de Moulins, tricolore : de rouge, de jaune et de bleu.
- Espagne : marbre de Cordoue, teinte blanc laiteux, reçoit un beau poli.
- Angleterre : marbre d'Anglesey, appelé aussi marbre de Mona, serpentineux à texture granulaire, vert noir, irrégulièrement maculé de rouge et de blanc.
- Norvège : marbre de Gillebeck, il contient de la pyrite, des grenats, des actinotes.
- Allemagne : marbre lumachelle de Carinthie , le fond est gris et renferme des fragments de coquille d'un blanc laiteux ou d'un blanc grisâtre.
- Belges : marbre de Sobre, cendré mêlé d'un peu de bleu avec des taches noires, mêlées à des veines blanches et aurores, tiré près de Beaumont (Hainaut).
- Russie : marbre de l'Oural. Nous pouvons citer aussi le marbre blanc de Yule du Colorado (États-Unis) et le marbre d'Orford de couleur changeante ; rouge, vert au Canada(Québec).

7. Les gisements de marbre en Algérie

L'Algérie possède plusieurs gisements de marbre dont les plus importants sont :

➤ **Marbre** : Les principaux gisements de marbre qui sont en cours d'exploitation sont :

-Gisement de Filfila (Skikda, Nord-est algérien) : marbre blanc de grande qualité avec des réserves de 6 Millions de m³, c'est le gisement qui est en grande activité.

-Gisement de Kristel (Oran, N-W Algérien) : marbre rouge, jaune et rose (7 millions de m³).

-D'autres gisements peuvent être cités : Amal, Guendou, Honain et Aïn Defla.

➤ **Onyx** : L'onyx est un marbre translucide constitué de carbonate ou sulfate de chaux s'accumulant par circulation des solutions à travers les couches encaissantes en empruntant des fractures :

-Onyx d'Ain Smara (Constantine, Nord-est Algérien) avec des réserves de 60.000 m³.

-Onyx de Bou Hnifia(Mascara, Ouest Algérien) : onyx rose et gris (4 millions de m³).

-Onyx de Mahouna (Guelma, Nord-est Algérien) : onyx rubané polychrome (700.000 m³).

➤ **Travertin** (famille de marbre continentale) :

Travertin de Takbalet (Tlemcen, Ouest Algérien) : de couleur jaune avec des réserves de 01 million de m³.

8. La production mondiale et algérienne du marbre

Avec l'arrivée des outils diamantés (câbles diamantés, lames diamantées) et des scies à cadre modernes, la productivité est énormément progressé, grâce à ces techniques, le marbre est aujourd'hui un matériau relativement bon marché.

Presque la moitié de la production mondiale du marbre est dominée par quatre pays, dans la première classe vient l'Italie qui se partage plus de (20%) de la production globale du marbre, puis la Chine avec (16%), puis l'Inde en troisième classe avec (10%), et enfin, l'Espagne avec (6%) de la production mondiale du marbre, les autres pays représentent le reste du pourcentage.

En Algérie, l'entreprise nationale du marbre compte produire 36.000 m³ par an grâce à l'ensemble des gisements nationaux en vue de réduire la facture d'importation, le gisement de Filfila produit actuellement entre 10 et 12.000 m³ par an, un volume jugé "insuffisant" par rapport à la demande et aux besoins croissants en matériaux de construction. A souligner que, le gisement de Filfila alimente 40 industriels marbriers nationaux, qui trouvent du mal à s'approvisionner régulièrement et recourent souvent à l'importation, il n'est exploité actuellement qu'à (30 %) de ses capacités. À cet effet, l'entreprise nationale du marbre entend atteindre en (2016) une capacité de 28 mille mètres cubes produits par le gisement de Filfila.

III. ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE DU MARBRE DU GISEMENT DE FILFILA

Cette étude est basée sur les principaux types de marbres rencontrés dans les deux carrières.

1. Les marbres de la carrière à blocs de Filfila

L'étude de différents types de marbre dans la carrière de Filfila révèle les résultats suivants :

1.1. Échantillon n°1 : marbre blanc

Fig.20 : Photo du marbre blanc de la carrière du Filfila. (Ech n° :f.1).



La couleur : blanche veinée, **trait** : blanc, **éclat** : vitreux, **cassure** : conchoïdale, **aspect** : homogène, **dureté** : ray le marteau métallique (3 à l'échelle de Mohs), **texture** : massive **structure** : granoblastique, **HCl** : réagit en présence d'acide chlorhydrique (HCl) et provoque un bouillonnement sur la roche et un dégagement de gaz carbonique (CO₂).**Fig.20**

Cet échantillon correspond à un calcaire microcristallin, constitué essentiellement d'un seul minéral (la calcite 99%), de forme isométrique irrégulière et de dimension de 0.2 à 0.4 mm.

Il est présent sur le contact des cristaux de la calcite ou au sein de leur surface de petites inclusions de minéraux métallifères, se montrant en points noirs (dissémination <1%). L'étude de ces minéraux ne peut se faire de façon complète qu'à l'aide du microscope métallographique en utilisant la lumière réfléchie, cependant, on peut avoir une idée de la couleur par réflexion en éclairant la préparation par-dessus à l'aide d'un faisceau lumineux intense, ces taches noires ce sont des minéraux de la pyrite. **Fig.21.**

La teinte de polarisation de la calcite est généralement incolore ou faiblement colorés en brunâtre, avec irisations surtout le long des clivages. La réfringence de la calcite est très variable, alors que le pléochroïsme est très net. Le relief est faible, souvent inférieure à celui du paume ; dans la position à 90 ° de la précédente (Ng) parallèle au plan de vibration du polariseur. Le clivage de la calcite est généralement net et régulier et formant souvent un quadrillage losangique, mais dans la présente lame il est plus ou moins fin.

La calcite présente une biréfringence énorme, polarisent en donnant des teintes blanc grisâtre des ordres supérieures, des irisations multicolores (surtout roses et vertes).

On n'a pas pu d'observer la présence des macles dans la calcite au niveau de cette lame.

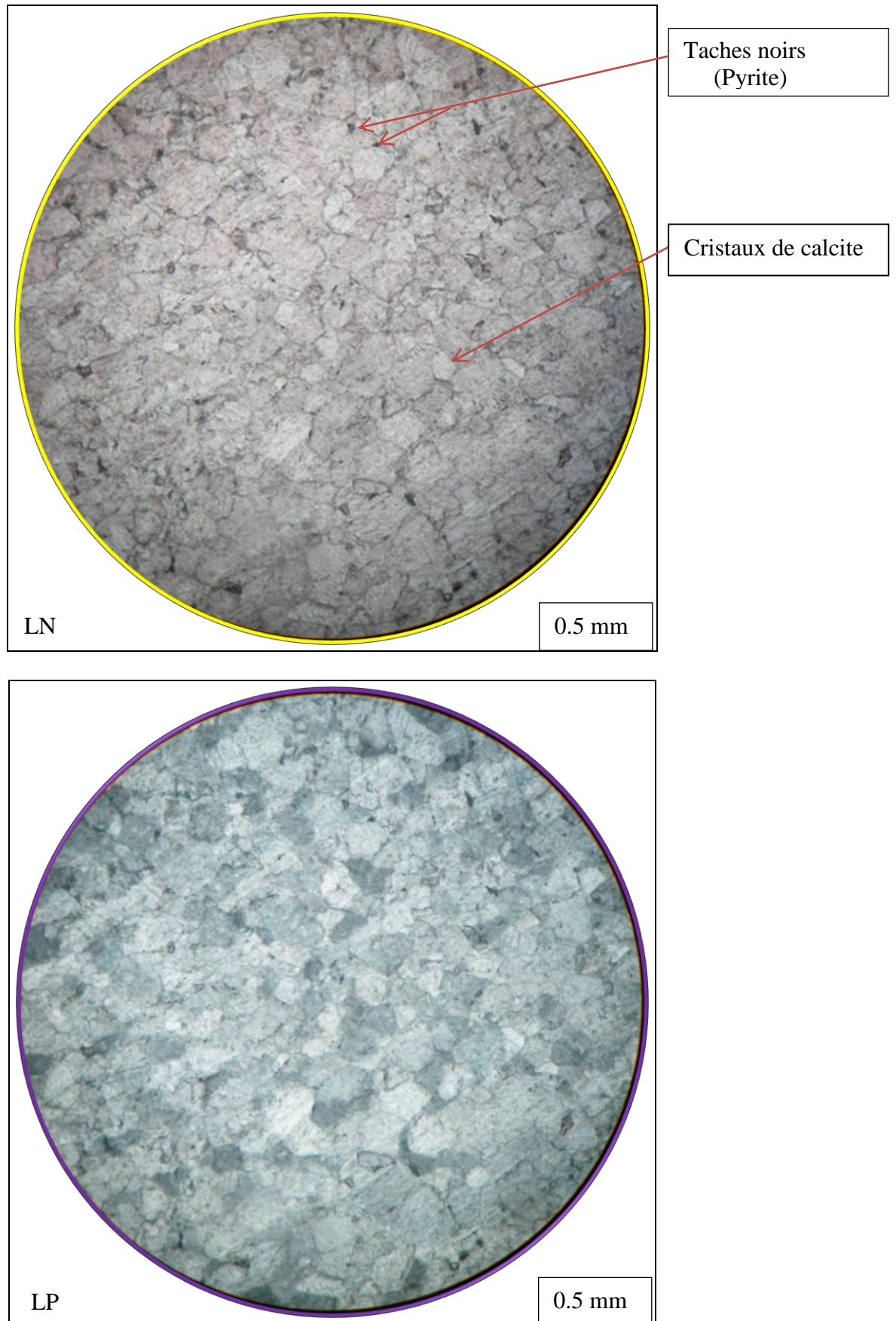


Fig.21 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre blanc de Filfila, (obj×10).

1. 2. Échantillon n°2 : marbre gris clair

Fig.22: Photo du marbre gris clair de la carrière de Filfila.(Ech n° :f.2).



La couleur : gris clair, **trait** : gris, **éclat** : vitreux, **cassure** : conchoïdale, **aspect** : non homogène, **dureté** : 3, **texture** : massive, **structure** : microcristalline **HCL** : +

L'échantillon de marbre se compose de calcite recristallisée, de taille moyenne jusqu'à 0.8 mm qui pourrait correspondre à un calcaire microcristallin. **Fig.22.**

Les variations de colorations sont nombreuses et dues à la présence d'impuretés (éléments chimiques autres que le calcium et présents en quantités aussi minimes que quelques ppm (parties par millions). Car le groupe de la calcite est composé de minéraux de formule générale ACO_3 , où «A» peut être un ou plusieurs ions métalliques ($^{+2}$) tout particulièrement le calcium, le cobalt, le fer, le magnésium, le zinc, le cadmium, le manganèse et / ou de nickel... La présence de ces éléments forment ainsi : la magnésite ($MgCO_3$), l'otavite ($CdCO_3$), la rhodochrosite ($MnCO_3$), la sidérite ($FeCO_3$), la smithsonite ($ZnCO$).

La couleur plus ou moins foncée de la calcite dans la présente lame, donne à l'esprit l'idée de la calcite ferrugineuse (ou ferro-calcite) de formule : $2[(Ca, Fe) CO_3]$, ou la sidérocalcite (la calcite de fer) dans celle-ci, certains atomes de calcium ont été remplacés par du fer, de formule chimique $(Fe, Ca)CO_3$, c'est le stade intermédiaire avec la sidérite, carbonate de fer de formule $FeCO_3$, où tous les atomes de calcium ont été remplacés par du fer.

dans plusieurs endroits de la lame mince, on observe la calcite présentant des clivage rhomboédriques (indice prober pour la calcite).

Le relief de la calcite est net avec une biréfringence énorme, on peut dire sont les mêmes caractéristiques déterminées dans le marbre blanc. **Fig.23.**

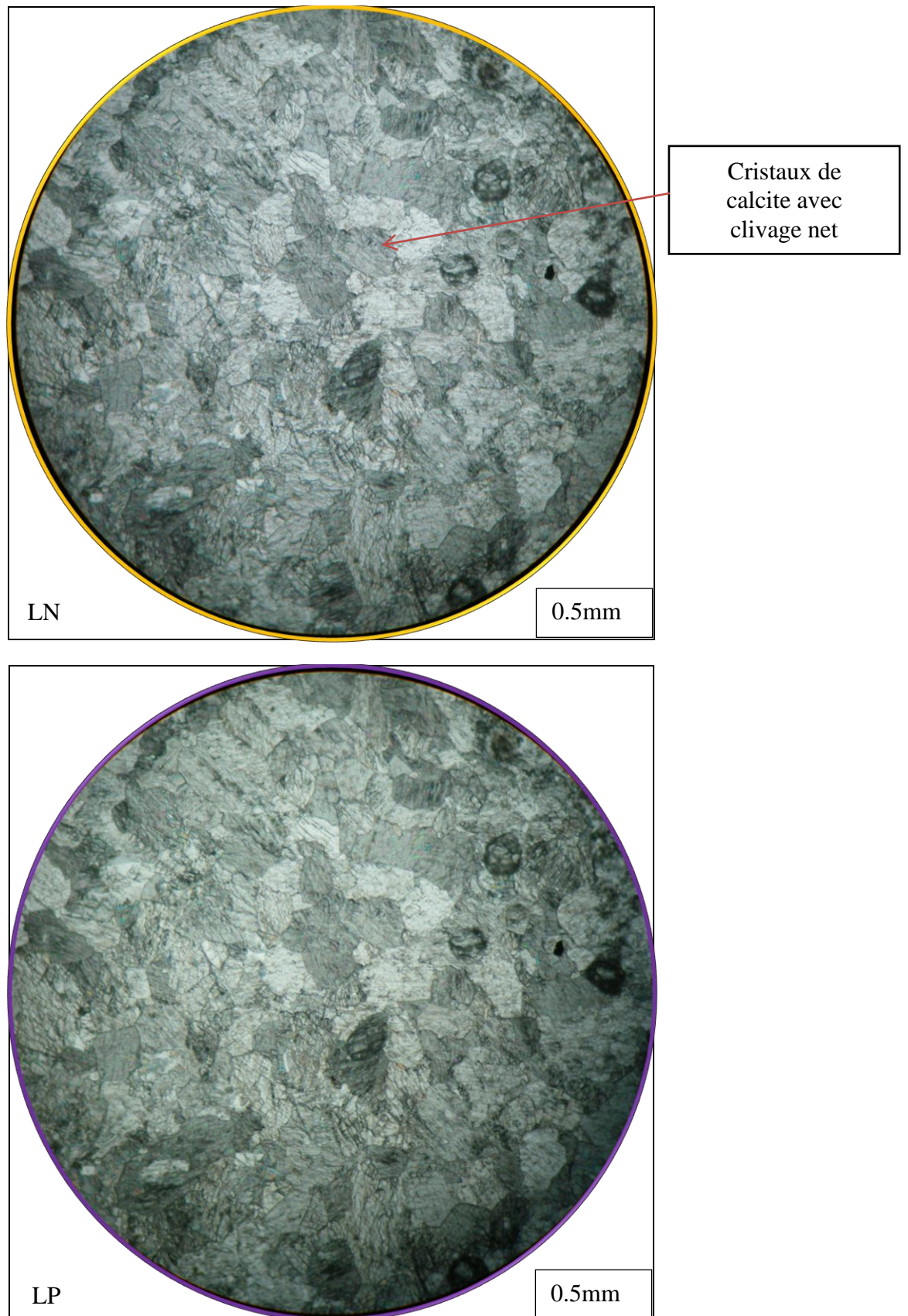


Fig. 23 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris clair de Filfila, (obj×10).

1. 3. Échantillon n° 3 : marbre réséda marron

Dans la carrière de marbre de Filfila, nous avons distingués deux types de marbre réséda : celle du vert en profondeur, et du réséda marron en surface (en cours d'extraction).

Fig.24 : Photo du marbre réséda marron de la carrière de Filfila. (Ech n° :f. 3).



La couleur : grise avec des veinules marrons, **trait** : jaunâtre, **éclat** : vertueux, **cassure** : conchoïdale, **aspect** : non homogène, **dureté** : 3, **texture** : massive, **structure** : microgranoblastique, microcristalline, **HCL** : fait l'effervescence. **Fig.24.**

Ce type de marbre correspond à un calcaire microcristallin composé essentiellement de la calcite (95%), dont les dimensions sont très réduites par rapport aux cristaux de calcite des autres faciès (marbre blanc et gris clair).

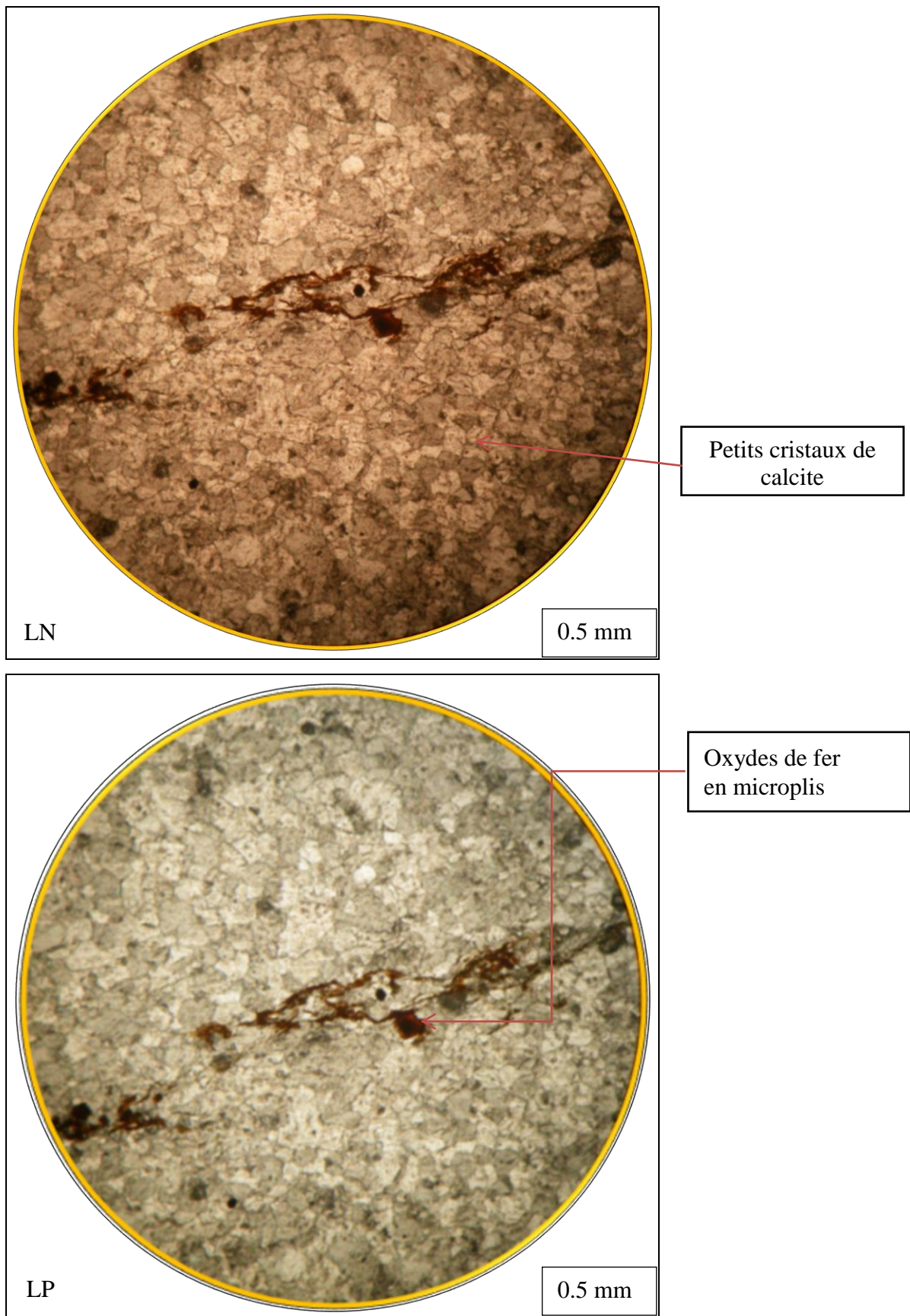
Cependant, dans ce type de marbre on note la présence des micro-plissements à l'échelle macroscopique et microscopique. Ces microplis correspondent à d'anciens horizons plus argileux ou plus riches en oxydes métalliques, ils dessinent souvent des plis synmétamorphiques accusés sous l'effet de la pression lors de métamorphisme.

Les marbres présentent fréquemment des structures fluidales similaires à celles d'une pâte fraîche puisque sous l'action de la pression et de la chaleur, la masse rocheuse se déforme souvent plastiquement à l'instar d'une pâte fraîche.

Les zones de métasomatites dans les marbres ont une couleur qui varie du gris, gris-foncé et même noir, c'est en fonction de la teneur des minerais de fer et du degré de ferruginisation.

Dans la présente lame, ces microplis sont bien soulignés par un remplissage de matériel beaucoup plus fin de l'oxyde de fer (fort possible de la pyrite) sous forme de veinules associée à ce microplis qui traverse le long de la lame comme impuretés.

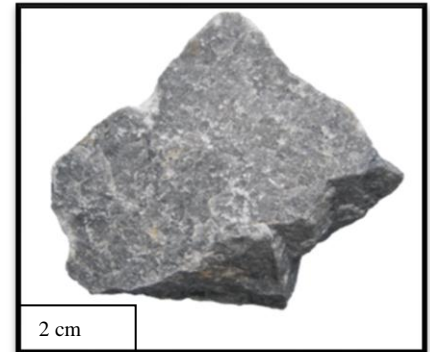
La calcite présente des formes isométriques, elle est incolore ou faiblement colorée en brun, en lumière polarisée non analysée elle présente des irisations au niveau des clivages, elle possède un pléochroïsme de relief très marqué. En lumière polarisée analysée, la calcite polarise principalement dans des couleurs rose et verte. **Fig.25.**



**Fig.25 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre
Réséda marron de Filfila, (obj×10).**

1.4. Échantillon n°4 : marbre gris foncé

Fig.26 : Photo du marbre gris foncé de la carrière de Filfila. (Ech n° :f.4).



La couleur : gris foncé, **trait** : grisâtre, **éclat** : vitreux, **cassure** : conchoïdale, fibreuse
aspect : non homogène, **dureté** : 3, **texture** : massive avec la présence des lentilles de quartz,
structure : micro-granoblastique, microcristalline, **HCL** : +. **Fig.26**

La roche correspond à un calcaire microcristallin composée essentiellement de cristaux de calcite (97%) de forme irrégulière allongée et de dimension variées de 0.5 à 1.20 mm.

Parfois on observe d'une manière nette la forme initiale de cristaux en plaquette allongée et irrégulière, cette dernière a été envahie par des masses d'un minéral de la famille des micas blancs, puis actuellement par la calcite, il est possible que la roche initiale a subi aux :
 roche initiale → remplacement par les micas blanc → remplacement par la calcite(marbre).
 On observe du mica coloré qui se développe sur la surface de ce première formant une sorte de franges séparant les grains de quartz de la calcite.

Le quartz se voit sous forme des individus (dans de petites cavités) mesurant 0.3 à 05 mm, dont le clivage et le macle ne sont pas décelables optiquement, sa forme est très variée car il se cristallise souvent en dernier, il prend donc la place qui lui reste (xénomorphe).

Le relief du quartz est très faible, parfaitement il est incolore, limpides, dépourvues de toute altération (ces caractères sont très importants pour le distinguer des feldspaths, feldspathoïdes), présence parfois d'inclusion aciculaires (tourmaline, rutile) ou d'inclusion liquide ou gazeuse (H₂O, Co₂), dont les détails ne sont observables qu'au fort grossissement.

En lumière polarisée, le quartz a une biréfringence faible, polarise dans les gris clairs et blancs du 1^{er} ordre à extinction droite et un allongement positif (caractère rarement vérifiable en lame mince en raison de l'absence de clivage ou de macles). Pendant la rotation de la platine, on observe une ombre à contour flou qui se propage d'un bord à l'autre de la section ce qui exprime le phénomène de l'extinction onduleuse (le phénomène n'est pas particulier au quartz, mais c'est pour ce minérale qu'il présente le plus de netteté). On observe dans la lame un petit cristal de microlithe en baguette, il est fort possible qu'il s'agit de feldspath. **Fig.27.**

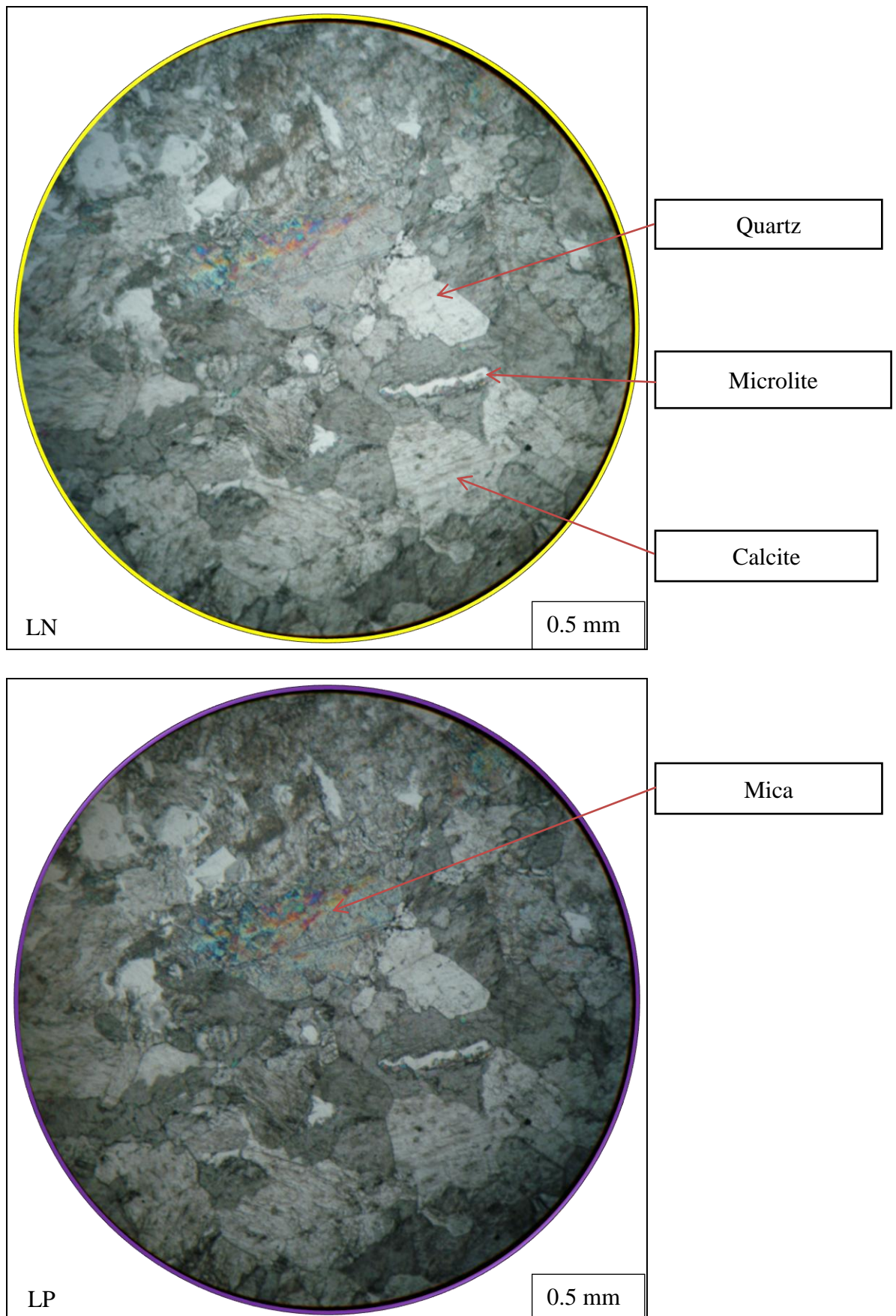


Fig.27 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris foncé de Filfila, (obj×10).

2. Les marbres de la carrière d'agrégat d'El-Chatt

L'étude de différents types de marbre dans la carrière d'El-Chatt révèle les résultats suivant :

2.1.Échantillon n°1 : marbre blanc

**Fig. 28 : Photo du marbre blanc
de la carrière d'El-Chatt. (Ech n° :ch.1).**



La couleur : blanc saccharoïde, **trait** : blanc, **éclat** : vitreux, **cassure** : conchoïdale et parfois suit les fissures, **aspect** : non homogène, **dureté** : 3, **texture** : massive, **structure** : granoblastique (de tailles presque égales sans orientation préférentielle), **HCL** : ++. **Fig.28.**

La roche initiale étant le calcaire microcristallin à gros grains, qui a subi de recristallisation plus avancée. Il ya en apparition de calcite pure à forme polygonale, dont les grains ont des contours légèrement dentés. Les cristaux de calcite sont plus grands par rapport au blanc de Filfila. Le marbre ici est cataclasé, les grains de calcite sont recoupés par des microfissures radiées et qui sont occupées postérieurement par des oxydes de manganèses (couleur grisâtre), lors d'une cataclase, la calcite a été bien déformée, ce qui explique la forme isométrique.

L'analyse pétrographique révèle une texture dont les grains les plus gros peuvent atteindre 1.5 mm et les grains moyens de 0.5 mm, cette différence entre la grosseur des grains varie en fonction du temps de refroidissement du processus métamorphique, qu'il a duré ≈ 15 Ma.

La grosseur des grains de calcite influe positivement sur la dureté du marbre, en effet, les marbres à grains fins à moyens possèdent la plus grande dureté, et les variétés à gros grains sont moins résistante et se traite plus difficilement (le marbre à grains hétérogènes, grâce à cette structure compliquée des grains, le marbre est très stable aux changements).

Toutes les caractéristiques optiques et cristallographiques déterminées dans le marbre blanc de Filfila, sont identiques pour le blanc d'El-Chatt, seulement ici, la calcite est dépourvue d'inclusions, elle est pure et montrant des clivages nets dans deux sens.

certain individus de calcite laissent apparaître des macles lamellaires polysynthétique, la formation de celle-ci s'explique par la répétition à l'intérieur d'un minéral durant sa croissance.

Il n'est pas rare que les individus maclés soient de taille plus importante que les cristaux non maclés qui les entourent, constatation que l'on ne sait toujours pas expliquer. **Fig.29.**

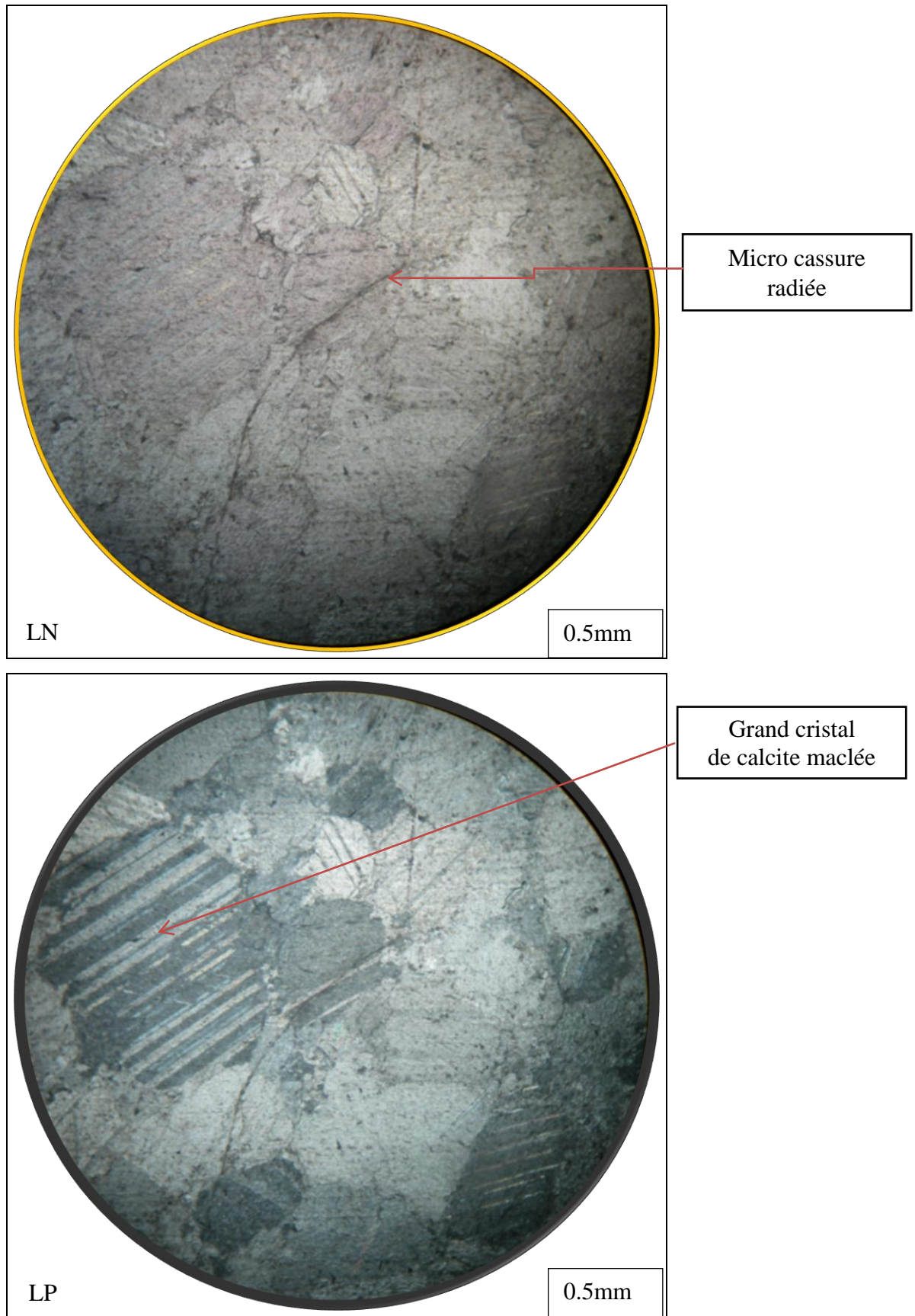


Fig. 29: Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre blanc d'El-Chatt, (obj×10).

2.2.Échantillon n° 2 : marbre dolomitisé

Fig.30 : Photo du marbre dolomitisé de la carrière d'El-Chatt. (Ech n° :Ch.2).



La couleur : jaune si présence de fer et rose et rougeâtre si présence de manganèse,

Trait : jaunâtre, **éclat :** vitreux, **cassure :** conchoïdale, **aspect :** non homogène présentant des fissures, **dureté :** 3.5-4, **texture :** massive, **structure :** granoblastique à éléments pseudobrechique, **HCL :** mois effervescence avec, **magnétisme :** aucun. **Fig.30.**

La roche initiale étant le calcaire microcristallin, qui a subi de recristaliation puis une dolomitisation, la calcite est partiellement remplacée par le composé magnésique, qu'est la dolomite formant ainsi le marbre dolomitisé.

Au niveau de la lame mince, le phénomène de la dolomitisation s'est traduit par l'apparition de zones à cristaux de dolomite (ou manganocalcite) de taille assez homogène (0.3 à 0.6 mm), les grains montrent des contours et formes isométriques subanguleuses, ils sont intimement accolés les uns aux autres en forment un agrégat monominérale continu, dont les bords des grains sont irréguliers avec un fort relief.

Au contact entre les grains de dolomite on révèle la présence des grains fins de calcite décelables par coloration de la roche qui est due par l'altération (de couleur nacré).

La distinction spécifique de la calcite de dolomite est pratiquement impossible sans mesures précises (indices, biréfringence). Une excellente méthode consiste à mesurer la valeur de N_p sur une section P ($\bar{1}011$). Ou par la position du plan de la macle, signalons enfin que les méthodes de coloration sélective où les plages formées de calcite se distinguent par une couleur blanche, alors que la dolomite est de couleur plus foncé. De même les grains de calcite montrent des formes beaucoup plus variées (xénomorphisme) que celles de la dolomite. La dolomite présente des formes généralement plus nettes que pour la calcite.

La dolomite peut avoir un grain extrêmement fin (d'ordre argileux), les géologues nous apprennent qu'il lui faut trois fois plus de temps que la calcite pour développer des grains de même taille dans des conditions identiques de température et de pression, une dolomie pure recristallise en plus grands cristaux pour un faible degré de métamorphisme, puis à degré croissant subit une dédolomitisation avec apparition de calcite et d'autres minéraux. **Fig.31.**

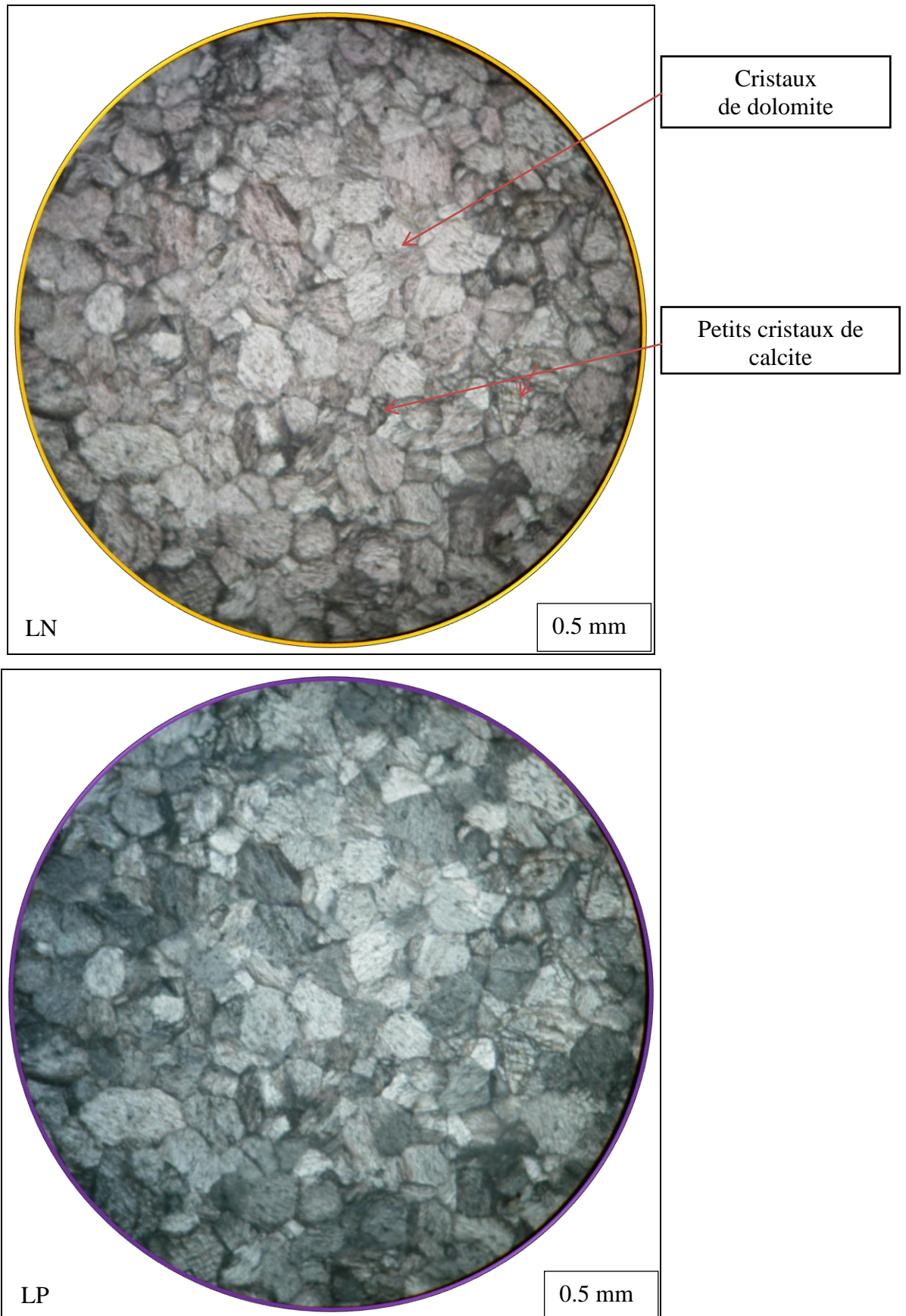


Fig.31: Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre dolomitisé d'El-Chatt, (obj×10).

2.3. Échantillon n°3 : marbre gris foncé

Fig.32 : Photo du marbre gris foncé de la carrière d'El-Chatt. (Ech n° : Ch .3).



La couleur : gris foncé, noire, **trait :** noirâtre, **éclat :** vitreux, **cassure :** conchoïdale. **Aspect :** non homogène présentant parfois des grandes lentilles de quartz, **dureté :** 3, **Texture :** stratiforme, **structure :** cryptocristallin, tachetée, mécritique, reliques organogène, **HCL :** + ce marbre donne l'impression que la roche initiale correspond à un calcaire microcristallin, pélitomorphe peu organogène detritique recristallisé avec lentilles remplies de quartz. **Fig.32.**

La recristallisation affectant ce calcaire pélitomorphe s'est traduite par l'apparition de zones à grains de calcite (80%) à contours flous, débarrassées de leur matière pélitiques. Leur dimension atteint jusqu'à 0.5 mm. Dans la bordure de la lame mince, on note la présence d'une lentille (1.5 mm / 0.5 mm) remplie par du quartz donnant une masse de quartzite en grains de 0.30 mm, à 0.7 mm, ces dernières se développent à parité des côtés de la lentille en cristaux allongés, rarement isométriques, ils sont purs et transparents et ont une extinction ondulante.

La présence de quartz rendre le marbre défavorable pour le biton (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin), et en présence d'humidité ils peuvent provoquer un gonflement du béton.

On observe aussi dans la lame, un lit mince de graphite sous forme une microfissure remplie par une matière noire, qui se dépose postérieurement à la lentille de quartz, cette dernière fait diviser le lit de graphite en deux parties.

La présence de tels éléments graphiteux abaisse la qualité du marbre dans le domaine de revêtement (risque de générer des phénomènes de rupture).

Dans la présente lame, la matière micritique est très dominante (la micrite est une calcite finement cristalline constituant tout ou partie de certaines roches carbonatées, la matrice existe au moment du dépôt, alors que le ciment précipite entre les grains préexistants.

Cette matière micritique joue le rôle de la matrice, la matrice se distingue aussi de ciment dans la lame mine par la teinte : le ciment est clair, la matrice est sombre. **Fig.33.**

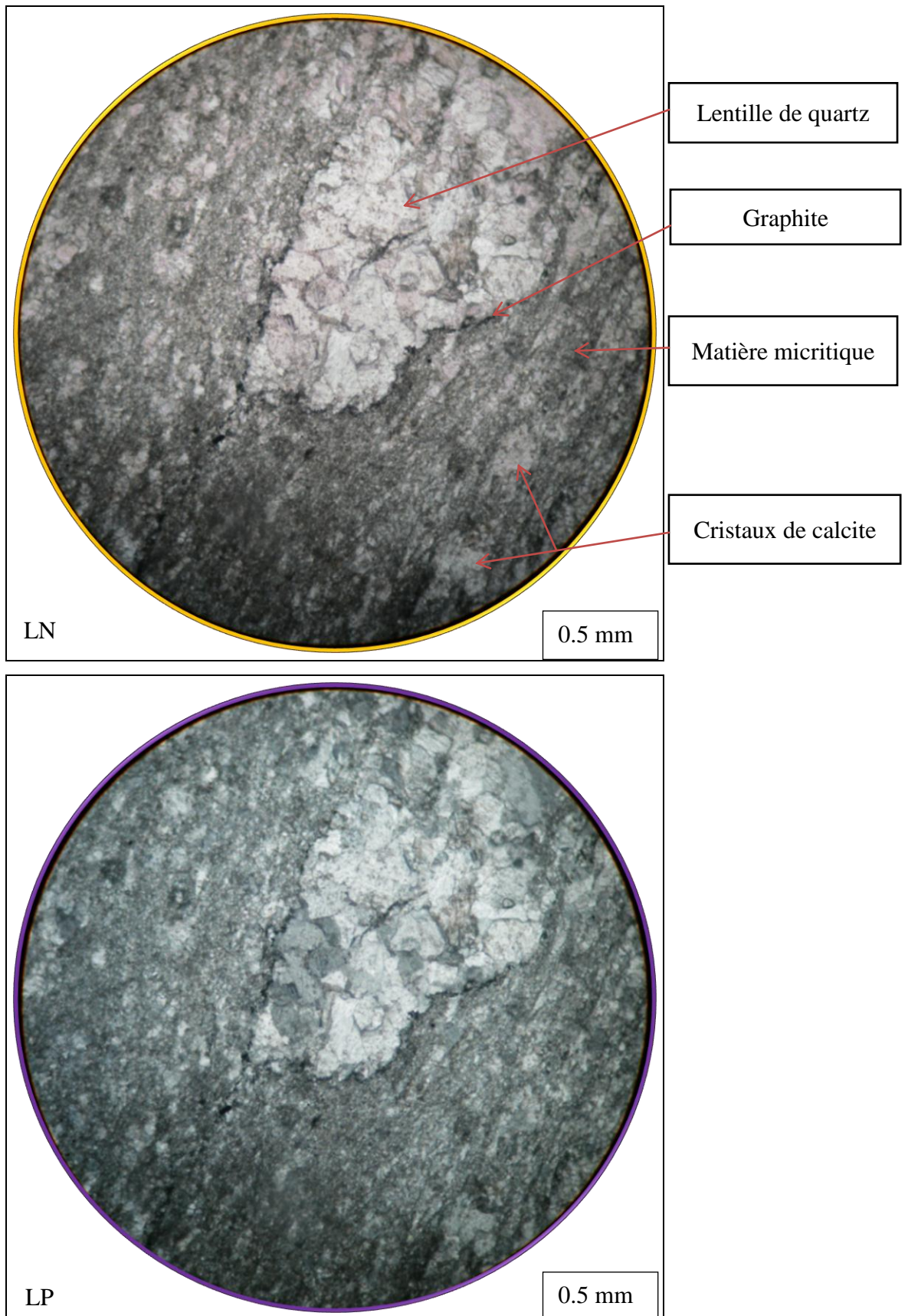


Fig.33 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris foncé d'El-Chatt, (obj×10).

CHAPITRE. 2 : MINÉRALOGIE DU MARBRE

type de marbre	Carrière de Filfila				Carrière d'El-Chatt		
	Blanc	Gris clair	Réséda marron	Gris foncé	Blanc	Dolomitisé	Gris foncé
Nature pétrographique	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin dolomitisé	Calcaire microcristallin
couleur	Blanc veiné	Gris clair	Gris Avec Des veinules marrons	Gris foncé, Noir	Blanc saccharoïde	Jaunâtre	Gris foncé, noire
Aspect	Homogène	Non homogène	Non homogène	Non homogène (lentille de Quarte)	Homogène (mais fracturé)	Non homogène (des partie non dolomitisé)	Homogène
Texture	Massif	Massif	Massif	Massif	Massif	Massif (parfois brèchique)	Stratiforme
Structure	Granoblastique	Microcristalline	Microcristalline	Microcristalline	Granoblastique	Crypto à microcristalline	Micritique et microcristallin
Calcite	99%	98%	95%	93	99	25-35	80
Dolomite	<<1	<1	<1		<1	75-65	--
Mica	--	--	--	3	--	--	1
Quartz	--	--	--	-2	--	--	3
Oxyde de fer	<<1	<<1	4	<1	<1	<1	<1
Micrite pélitique	-	-	-	-	-	-	15

Tableau .2: Synthèse des caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des marbres exploités dans le gisement de Filfila.

IV. ÉTUDE GÉOPHYSIQUE ET GÉOCHIMIQUE DU MARBRE DE FILFILA

1. ÉTUDE GÉOPHYSIQUE

1.1. Reconnaissance géophysique dans la carrière de Filfila

Dans le but de localiser les différents accidents tectoniques et mettre en évidence des anomalies, qui pourraient avoir un lien avec d'éventuels karsts ou des fissures, ceux-ci peuvent représenter un danger pour l'exploitation du marbre et sur son qualité en profondeur, ont été réalisés des travaux de prospection géophysique par l'équipe d'ORGM en (2011), on se basant sur la méthode pole-dipôle.

1.1.1 Méthodologie des travaux géophysiques

La méthode utilisée est celle de pole-dipôle, elle se caractérise par une bonne couverture horizontale, ainsi qu'une force du signal plus haute, elle est constituée de trois électrodes mobiles A, M et N, la prise B est située à une distance suffisamment grande, pour que les mesures entre MN ne dépendent que du courant émis en A, (il suffit de mettre B à une distance égale à 5 fois la distance AM utilisée pour que l'erreur soit inférieure à 5%). **Fig.34**

Elle a été réalisée suivant le dispositif « Schlumberger », qui consiste à injecter un courant électrique dans le sol par l'intermédiaire des électrodes A et B et à chaque station de l'électrode A, qui se déplace le long du profil à un pas donné (40m).

On prend 4 à 5 mesures de chaque côté à un pas de 10m pour éliminer l'effet de l'asymétrie.

La différence de potentiel est mesurée entre la deuxième paire d'électrodes MN.

Les électrodes MN sont disposées symétriquement le long de la ligne du profil centrée à un point « o : piquets » de telle sorte que la distance entre MN soit constante et égale à 20m.

L'intensité du courant (I) injecté à travers A et B, et la différence de potentiel (ΔV), mesurée entre les électrodes M et N sont utilisées pour calculer la résistivité électrique apparente (ρ_a) des terrains sous-jacents, les mesures sont affectées au centre du dispositif (le point « o »).

Cette méthode a été réalisée sur les profils (00 ; 02 ; 04 ; 06 ; 10 ; 20 ; 30 ; 40)

et du profil 08 du p.q. (02 au 08), les profils seront tracés selon la direction Nord-est et Sud-ouest à maille 10 x10 m. **Fig.35.**

NB : la conductibilité ici est de type électrolytique ou ionique (et non pas métallique), cela signifie que, ce sont les ions qui transportent les charges sous l'effet du champ électrique.

On procède au report de toutes les résistivités apparentes en fonction de la profondeur sur une feuille millimétrée, ensuite nous avons essayés de chercher une meilleure coordination en utilisant les données de terrain primaires et leurs contrôles.

Cette technique nous permette d'éliminer les valeurs qui n'ont pas le même ordre de grandeur, pour ne pas perturber l'allure de la courbe des diagrammes électriques.

Les calculs de la résistivité apparente sont procédés d'après la formule suivante :

$$\rho_a = K \times (\Delta U/I) \quad K = 2\pi \times (AM \cdot AN / MN)$$

À la base de la configuration géométrique choisie sur terrain, On peut, alors, tracer une pseudo-section de résistivité en effectuant une succession de mesures.

On obtient ainsi, une représentation qualitative de la variation de (ρ_a) latéralement et en profondeur, représentées sous formes de cartes de pseudo-section de résistivité en fonction de la profondeur.

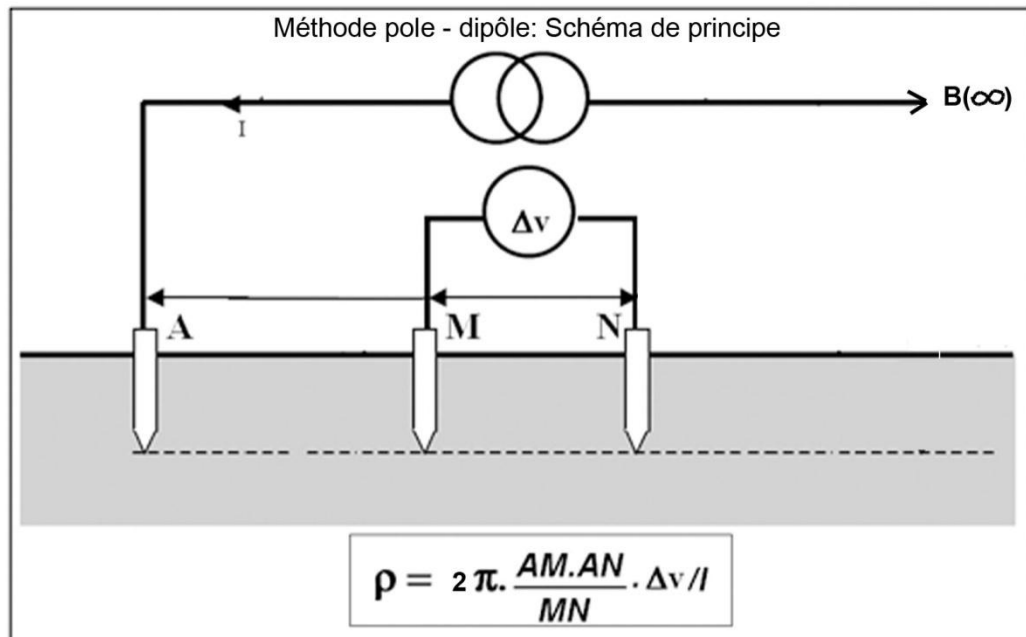


Fig.34 : Géométrie du dispositif du pôle dipôle.

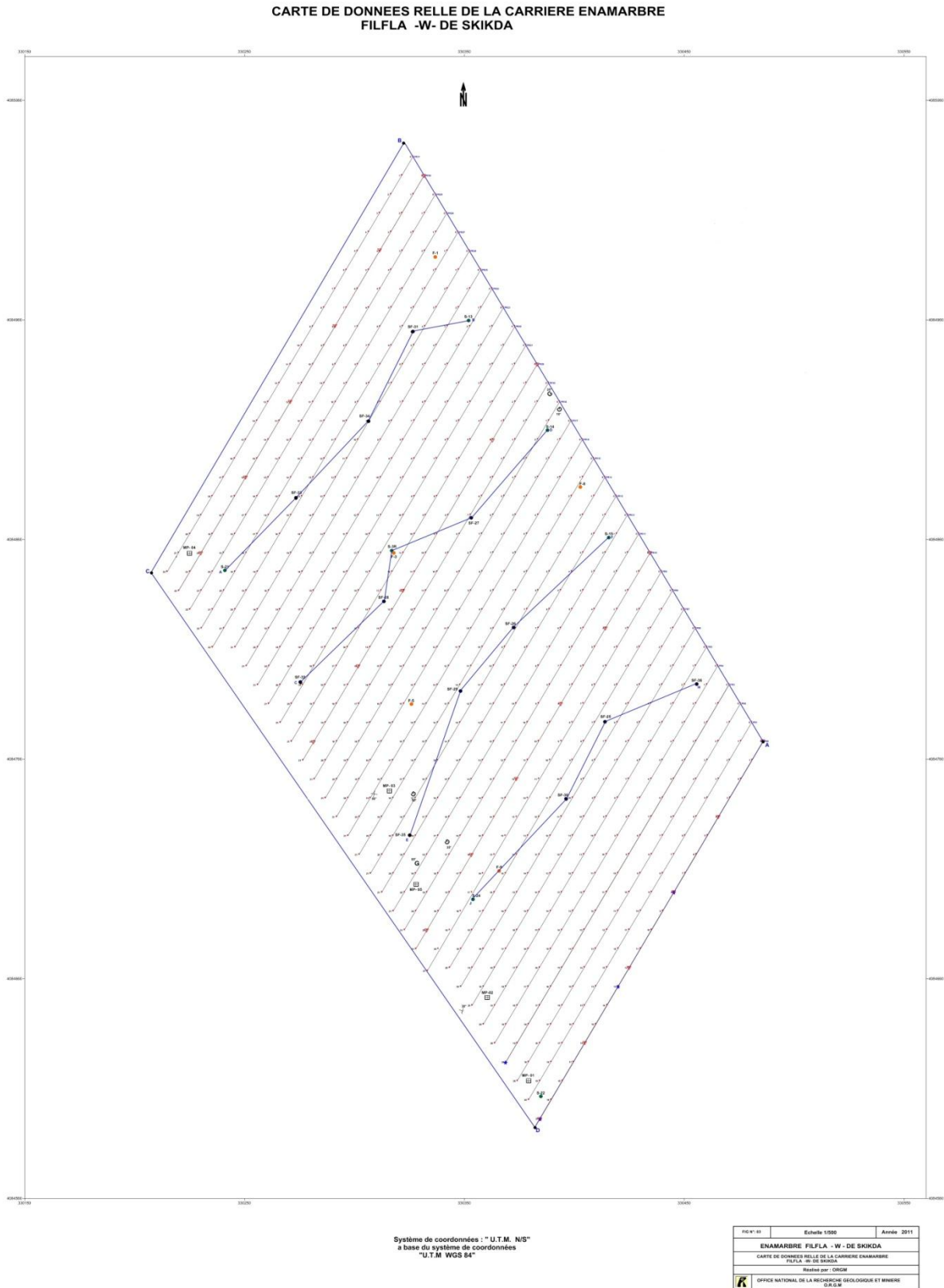


Fig. 35: Carte des données réelles : traces des profils géophysiques, lieux de prélèvements des échantillons, emplacements des sondages. ORGM (2011).

1.1.2. L'interprétation des données géophysiques

À la base des pseudo-sections de résistivité obtenues, les coupes réalisées montrent une évolution des résistivités apparentes latéralement et en profondeur, où nous avons essayé de ressortir en maximum d'informations géologiques sur chaque profil séparément, tel que les contacts géologiques et les phénomènes karstiques.

D'une manière générale, on remarque que ; plus on allant du profil (00) vers le profil (30) (**Fig.36**), les formations deviennent plus résistantes et compactes (marbre) où la résistivité est supérieur à 1000 Ohm, plus particulièrement au niveau du profil (20) la résistivité passe jusqu'au 10 000 Ohm. Ce qui explique la mise en place des formations résistantes plus développées au niveau du profil (20).

Le marbre est non fissuré, parce qu'on sait bien que ; dans les roches poreuses à forte teneur en eau interstitielle et en sel, comme les sables, argiles, sont plus conductrices, alors que dans les roches ignées, la résistivité apparente est très élevée.

Dans les sédiments, la résistivité est plus faible car elle croit avec le degré de compaction, en fonction progressive de l'expulsion de l'eau interstitielle, elle dépende aussi de la salinité de l'eau, les roches très compact : granite, gneiss quartzite ont une très grande résistivité (1000-100000), les argiles à cause de leur porosité et des ions absorbées sont en générale : bonnes conductrice (0,5- 10).

En plus, parfois les marbres sont en contact avec des calcaires, comme par exemple, sur le profil (20) au niveau du piquet 11, on a un contact bien lisible entre les calcaires et les marbres à la profondeur de 20 m, ce qui donne naissance à des fissures et à la formation des karsts sur le marbre comme sur le profil 30. Mais parfois le karst est remplis par des argiles comme dans le cas du profil (30) piquet (00 au 04), et aussi sur le profil (00), où on peut remarquer du piquet (00 au 04) la mise en place en profondeur d'une formation large de faible résistivité, qui peut être un karst rempli par des argiles et avec passage de la calcite.

D'une manière générale, ces karsts sont visibles dans le champ électrique soit :

- Par des minimums s'ils sont remplis de matériaux conducteurs (argiles).
- Par des maximums de résistivité, si ces derniers sont vides

En conclusion, le pole-dipôle, à un certain degré a atteint ses objectifs, à savoir la mise en évidence de zones susceptibles d'être associées à la présence de karsts, de même qu'elle a cartographié les différents accidents tectoniques seulement sur le profil étudié. Autrement-dit, leur exploitation reste très restreinte.

De même, l'application de cette technique (pole-dipôle) sur un milieu pareil (couverture très résistante) ne peut pas répondre aux objectifs (régional) du projet.

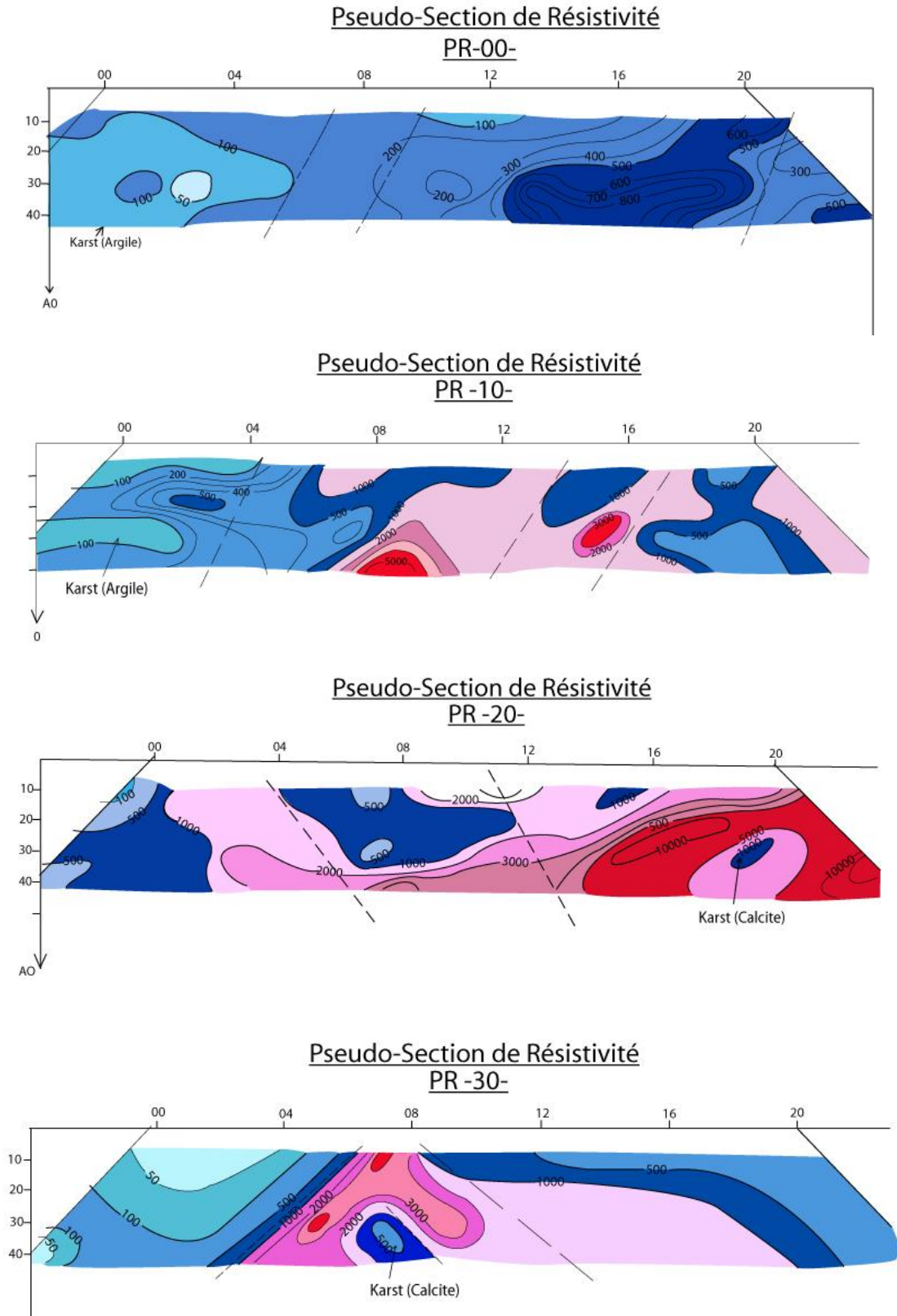


Fig.36 : Cartes de pseudo section de résistivité montrant les résultats des travaux géophysiques dans la carrière de Filfila, ORGM (2011).

1.2. Reconnaissance géophysique dans la carrière d'El-Chatt

L'étude géophysique du contact entre les deux carrières a été effectuée selon la demande de la direction générale, afin de déterminer les relations entre la carrière de Filfila et celle d'El-Chatt située au Nord-ouest et Nord de la première, et également d'étudier l'influence des tris d'explosifs dans la carrière sur la formation des fissures dans les marbres du carrière principale de Filfila, des sondages ont été effectués pour étudier cette région en profondeur.

L'étude géophysique avait pour objectif donc, de déterminer les zones tectoniques, c'est-à-dire ; les zones verticales ou fortement inclinées entre les deux carrières.

Les éventuelles zones tectoniques pourraient provoquer l'affaiblissement des ondes sismiques provoquées par le tir d'explosif dans la carrière d'El-Chatt.

Les études géophysiques ont été réalisées à la base des sondages électriques verticales (SEV), dans le système Schlumberger avec la ligne (AB) jusqu'à 450 m et la distance entre les sondages sur le profile 20 m (40 m).

Les mesures sur terrains ont été exécutées en (1986) au contact du deux chantiers, plus de vingt points de (SEV) ont été réalisés sur le profil qui passe par les sondages S35, S 26, S23.

Les données de forage et également les études géophysiques, ont montrées la présence d'une seule zone nette, et de deux autres qui sont probables verticales ou bien des zones tectoniques frottements inclinées.

Ainsi, on peut tirer la conclusion que : ces zones selon toute probabilité servent d'écran ou de zone d'amortissement de choc dans la direction d'extension de la vague d'explosion, et elles empêchent la fissuration dans les marbres du gisement principale de Filfila.

Les valeurs (ρ_a) déterminées dans les sondages ont été reflétées sous forme des courbes de variation du paramètre (ρ_a) le long des lignes du profile pour (AB) égale à 80 m, 200m, 450m.

L'interprétation quantitative des sondages a été faite en première lieu, afin d'avoir les paramètres de résistivité des formations géologiques particulière, nous avons réalisés l'interprétation des sondages effectués dans les trous S23, S 35, S26, et puis conformément au modèle physique on a interprété tous les sondages.

Les couches physiques dégagées sont celles de recouvrement, qui se caractérisent par une résistivité variant de 40 à 400 Ohm, et les formations métasomatiquement transformées (skarn) qui ont une résistivité élevée et forment une limite physique nette, seulement dans les environs du S 26, la limite physique passe au-dessus du toit du skarns, ce qui devrait être liée avec les effets des influences latérales aux voisinages d'une zone tectonique.

Le profile géophysique établi révèle la présence d'une zones tectonique nette et deux zones probables. **Fig.37.**

La présence des zones tectoniques probables (piquet 40 et 220) est indiquée par :

- caractère des courbes de sondage réalisées dans ces zones nettement différentes des autres courbes voisines.
- Limites physiques verticale se signalent sur les courbes de profile.

La zone tectonique plus nette se signale dans la région du piquet 300 par :

- 1-une coupure du bloc des marbres constaté dans les sondages 35 et 26.
- 2-de la limite physique verticale sur les courbes de profil.
- 3-la nature de la courbe du sondage réalisé, qui en profondeur est nettement différente de la nature des autres courbes.

Le forage et les études géophysiques exécutées sur la surface indiquée, ont permis de constatées la présence d'accidents dont un seul est net et deux autres sont probables, et qui servent d'écran ou bien de zone d'amortissement dans la direction du développement de l'onde explosive, et qui bloquent la fissuration dans les marbres du gisement de Filfila.

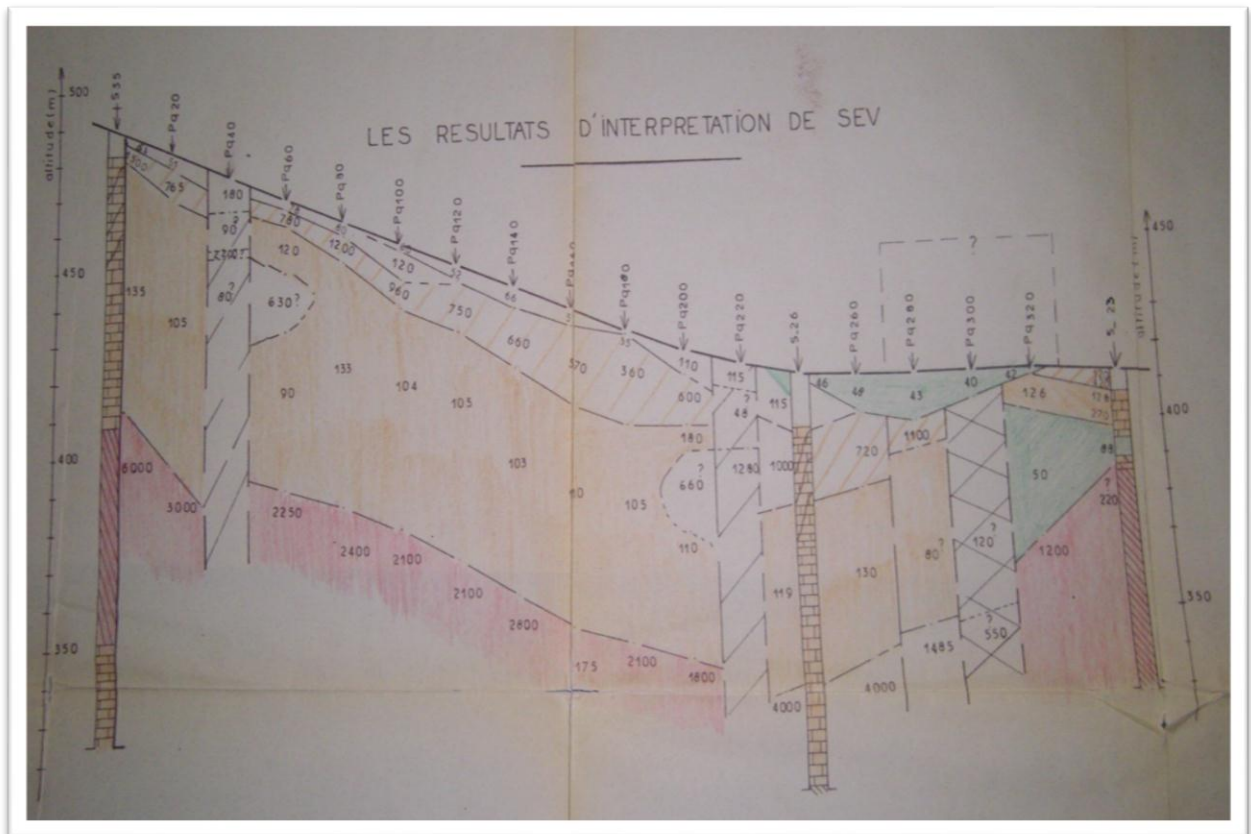


Fig.37 : Coupe géophysique passant par les sondages S23, S26, S35 dans le site d'El-Chatt. EREM (1987).

2. ÉTUDE GÉOCHIMIQUE DU MARBRE DE FILFILA

Afin de connaître les compositions chimiques des marbres de Filfila, il a été procédé au prélèvement de 40 échantillons de carotte des sondages réalisés par l'ORGM en (2011). (Voir annexe n° 5).

2.1.Échantillonnage

Après l'interprétation des résultats des travaux géophysiques, dix sondages de vérification ont été réalisés à une profondeur de 50 m pour chaque sondage.

Les dix forages sont implantés dans le périmètre de la zone d'étude. Ces sondages ont eu également comme objectifs d'établir le contact entre le marbre et les argiles skarnifiées, ainsi que la distribution des réseaux de fracturation (fissuration), de microfissuration, la présence de défauts, de karsts et la répartition des couleurs en profondeur.

Les travaux de sondages sont les plus indiqués pour l'exploration, étant donné que le pendage des couches ne dépasse pas les 30°. Les sondages y ont été placés suivant une maille géométrique allant de 50 à 40 m, dont la profondeur est de 50 m en moyenne.

L'emplacement des forages verticaux a été fait également en tenant compte de l'existence des carrières pour leur utilisation dans le calcul des réserves. Ces sondages sont placés dans la zone de l'actuelle exploitation, directement au contact avec les marbres.

Ils ont été situés sur des coupes perpendiculaires à la structure géologique et morphologique.

Le forage a été réalisé à l'aide de la sondeuse <<ACKER>> avec le lavage du fond de trous par l'eau, cette méthode de forage a permis d'obtenir une bonne récupération de carotte.

Sur le gisement, le taux de récupération est de (100%). Les sondages se trouvent dans quatre (04) profils d'évaluations (lignes AB, CD, EF, JH). Dans chaque profil on a 4 à 5 sondages :

- ✓ Dans la ligne AB, les sondages sont : S-21, SF-33, SF-34, SF-31 et S-13
- ✓ Dans la ligne CD, les sondages sont : SF-32, SF-28, S-3R, SF-27 et S-14
- ✓ Dans la ligne EF, les sondages sont : SFR-35, SF-29, SF-26 et S-15
- ✓ Dans la ligne JH, les sondages sont : S-24, SF-30, SF-25 et SFR-36

La puissance des zones de fissuration dans les sondages varie de 1,5 m à 2 m.

La puissance des filons de calcite dans les sondages varie de 0,15 à 6,0 m.

Le sondage SF-31 situé dans la zone de contact Nord-est des marbres avec les argiles skarnifiées a été déterminé par ce premier et a fait de 44,40 à 50,0 m.

Les épreuves de carottes ont été prélevées à intervalle fixés, à partir des dix forages implantés. Chaque épreuve de carotte a été sciée en cubes, puis ont été expédiés au laboratoire de Boumerdes pour faire l'analyse de la spectrométrie de fluorescence X.

2.2. Technique d'analyse

La méthode d'analyse de spectrométrie de fluorescence X est multi-élémentaire, non destructive, elle permet de déterminer avec précision la composition chimique globale d'un échantillon solide, en éléments majeurs et en éléments traces jusqu'au niveau du $\mu\text{g/g}^{-1}$.

Son domaine d'investigation s'étend du Bore (N=5) à l'Uranium (N=92).

Elle a pour avantages : une préparation simple des échantillons, la rapidité des analyses et une bonne reproductibilité.

Le principe de fonctionnement se résume comme suite : lorsque la matière est bombardée par un flux de photons X d'énergie suffisante, elle émet des rayons de même nature, caractéristiques des éléments qui la constituent. C'est le phénomène de fluorescence X.

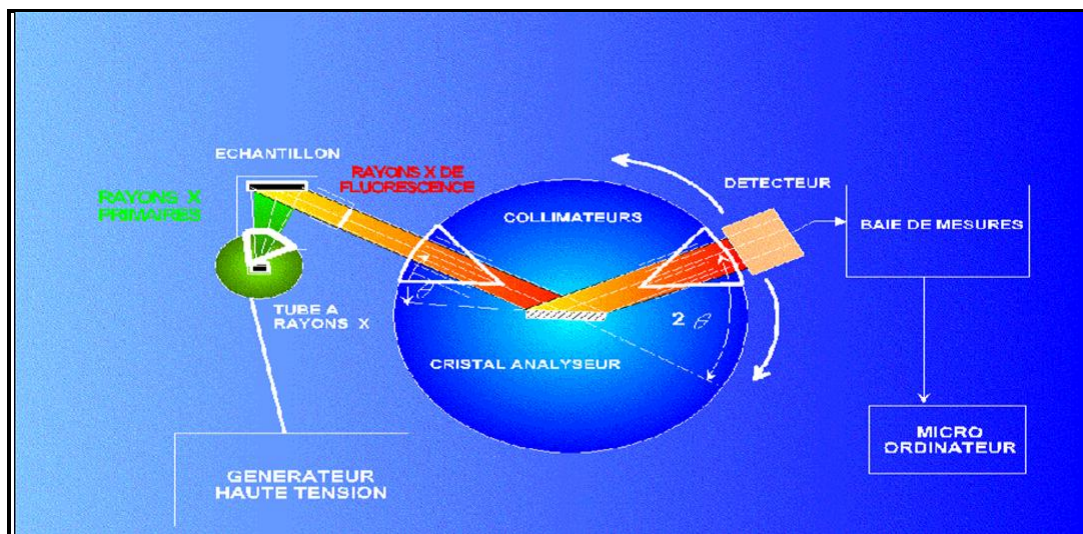
La séparation des raies d'émission après collimation, est réalisée par diffraction sélective sur un cristal analyseur (application de la loi de Bragg). **Fig.38** .

Le nombre de photons émis est mesuré par un compteur proportionnel.

Les intensités corrigées des effets inter-éléments sont corrélées linéairement avec les concentrations certifiées des matériaux de référence (géostandards), et c'est ainsi on reconne notre minéral.

Dans notre étude l'analyse chimique sur le marbre est conçues pour déterminer les éléments suivants : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 .

Le CO_2 et le PAF n'ont pas analysés, car seul le CaO et le MgO qui représentent l'intérêt majeur de cette étude.



**Fig.38 : Schéma montrant le principe de la méthode fluorescence x
À dispersion de longueur d'onde. Wikipédia (2014).**

CHAPITRE. 2 : MINÉRALOGIE DU MARBRE

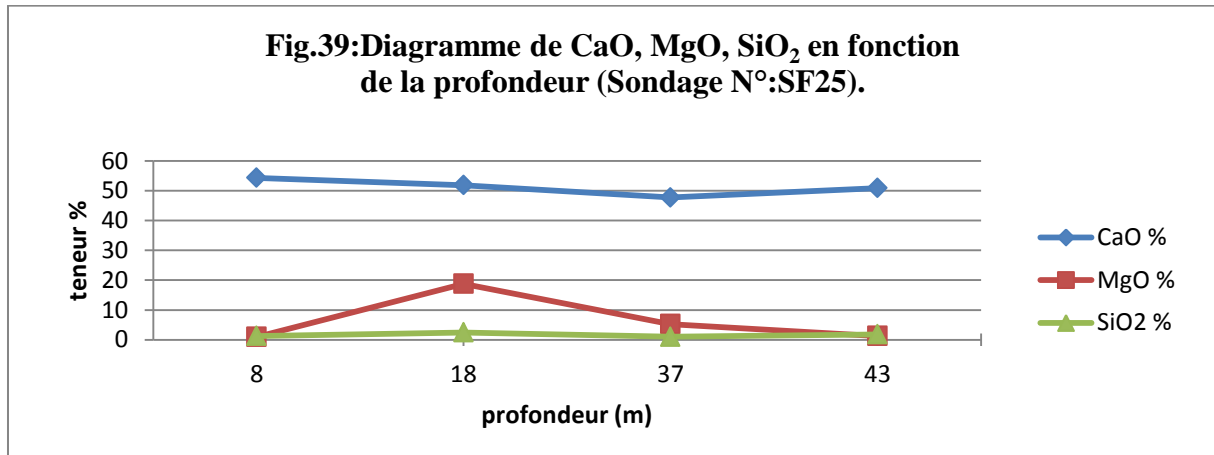
N°	N°Ech	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
01	S25-C01	1,28	0,68	0,345	<0,05	54,34	0,95	<0,05	0,07	<0,05	0,12
02	S25-C02	2,48	1,09	0,15	<0,05	51,86	1,88	<0,05	<0,05	<0,05	0,13
03	S25-C03	0,99	0,46	1,78	<0,05	47,73	5,27	<0,05	0,06	<0,05	0,11
04	S25-C04	1,80	1,08	0,48	<0,05	50,91	1,26	<0,05	0,22	<0,05	0,13
05	S26-C05	0,93	0,48	0,24	<0,05	52,91	0,87	<0,05	0,07	<0,05	0,06
06	S26-C06	1,61	0,85	0,07	<0,05	49,77	0,70	<0,05	0,24	<0,05	0,12
07	S26-C07	0,28	0,54	0,65	<0,05	56,89	1,02	<0,05	0,19	0,07	<0,05
08	S26-C08	1,58	0,93	0,19	<0,05	52,43	0,98	<0,05	0,28	<0,05	0,16
09	S27-C09	0,10	0,89	0,15	<0,05	55,09	1,78	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
10	S27-C10	0,35	0,88	0,47	<0,05	54,90	1,40	<0,05	0,15	<0,05	<0,05
11	S27-C11	<0,05	0,55	0,30	<0,05	54,69	1,04	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
12	S27-C12	<0,05	0,65	0,29	<0,05	56,28	2,04	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
13	S28-C13	<0,05	0,20	0,08	<0,05	55,50	0,83	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
14	S28-C14	<0,05	0,29	0,19	<0,05	55,07	1,31	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
15	S28-C15	1,01	1,28	0,37	<0,05	55,71	3,55	<0,05	0,11	<0,05	<0,05
16	S28-C16	<0,05	0,10	0,28	<0,05	56,43	0,81	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
17	S29-C17	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	56,61	0,92	<0,05	0,13	<0,05	<0,05
18	S29-C18	<0,05	0,23	0,07	<0,05	56,18	0,99	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
19	S29-C19	0,57	0,61	1,66	3,71	46,27	3,87	<0,05	0,27	<0,05	0,05
20	S29-C20	<0,05	0,09	1,09	<0,05	50,15	5,35	<0,05	<0,05	0,10	<0,05
21	S30-C21	2,08	1,23	0,44	0,07	52,91	1,50	<0,05	0,28	<0,05	<0,05
22	S30-C22	0,78	0,71	1,23	2,83	50,38	2,04	<0,05	0,22	<0,05	<0,05
23	S30-C23	<0,05	0,19	0,21	<0,05	56,11	0,82	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
24	S30-C24	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	56,20	0,61	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
25	S31-C25	<0,05	0,11	0,17	<0,05	53,70	2,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
26	S31-C26	0,65	0,65	0,52	<0,05	55,41	1,46	<0,05	0,12	<0,05	<0,05
27	S31-C27	0,72	0,85	0,31	<0,05	54,72	1,37	<0,05	0,12	<0,05	<0,05
28	S31-C28	2,69	0,94	1,56	0,05	50,18	2,27	<0,05	0,05	0,15	<0,05
29	S32-C29	0,38	0,24	0,14	<0,05	55,61	0,93	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
30	S32-C30	0,07	0,40	0,06	<0,05	56,22	0,96	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
31	S32-C31	0,12	0,37	0,16	<0,05	55,47	0,89	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
32	S32-C32	0,44	0,52	0,91	<0,05	37,14	14,74	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
33	S33-C33	0,33	0,18	0,60	<0,05	55,06	1,49	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
34	S33-C34	0,50	0,07	0,32	<0,05	53,86	2,23	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
35	S33-C35	0,75	<0,05	0,14	<0,05	54,57	0,80	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
36	S33-C36	0,78	0,09	0,62	<0,05	56,39	1,41	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
37	S34-C37	0,83	<0,05	<0,05	<0,05	54,82	0,94	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
38	S34-C38	0,82	<0,05	<0,05	<0,05	55,45	1,28	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
39	S34-C39	0,89	<0,05	<0,05	<0,05	54,50	0,79	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
40	S34-C40	0,83	<0,05	<0,05	<0,05	55,01	4,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Moyenne		0,66	0,46	0,40	0,20	53,58	1,99	<0,05	0,77	0,05	0,06

**Tableau.3 : Résultats des analyses chimiques de 40 échantillons
des carottes de sondages. ORGM, (2011).**

NB : Les chiffres rouges ne sont pas en conformité avec les normes URSS données par Romanovsky S. (1991).

2.3. Traitement des données d'analyse chimique

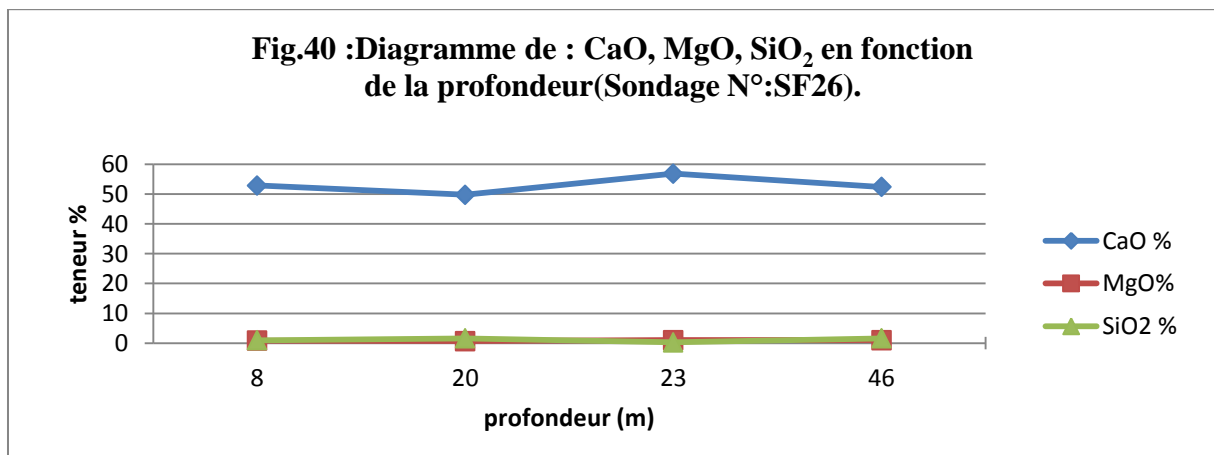
Les diagrammes suivants sont réalisés par l'Excel, à partir au tableau des résultats d'analyse chimique, qui regroupe les dix sondages en questions.



Les teneurs élevées en CaO se trouvent près de la surface à la profondeur de 8m (54,34%), il s'agit donc d'un marbre blanc gris, constitué essentiellement de calcite. Le CaO présente une diminution légère (47.73%) dans la profondeur de 37m.

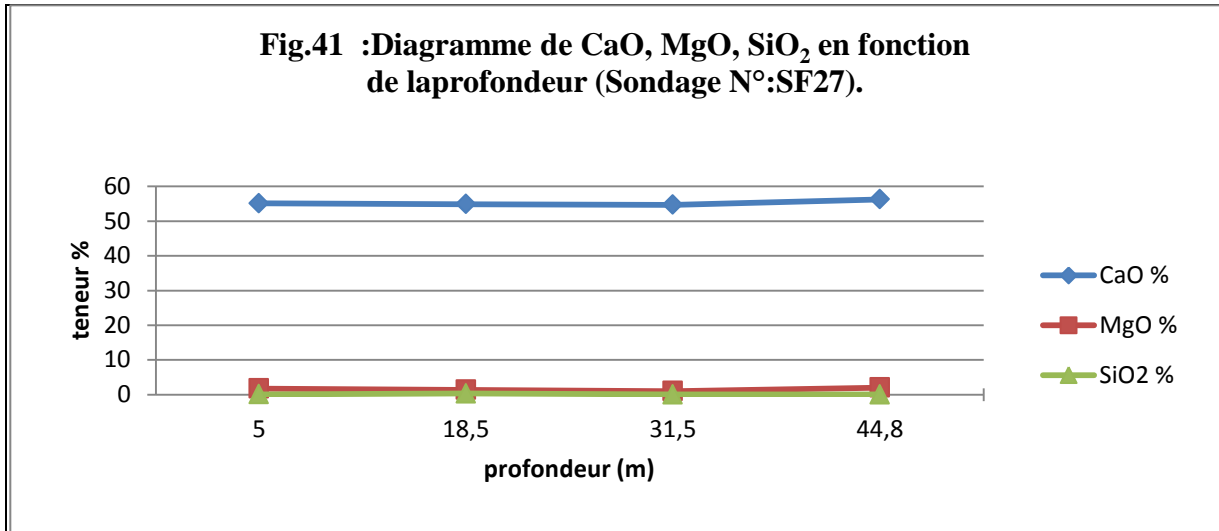
Des teneurs assez appréciables en MgO (18.8%) sont observées dans la profondeur 18m, c'est donc, le niveau de la zone d'influence (marbre gris -marbre blanc), cette teneur élevée en MgO est due à la présence de l'actinote dans la composition chimique du marbre.

Le SiO₂ est assez faible et ne montre pas de variations significatives, seulement dans la profondeur (18 m), le SiO₂ atteindre (2,48%), ceci est rentre dans la composition de certains minéraux tels que l'actinote, le quartz...



Dans le diagramme au-dessus, on observe une diminution relative de CaO (49.77%) à la profondeur 20 m, et puis juste après 3 mètres on observe une légère croissance de (7.12 %), ce phénomène peut être expliqué par un passage d'un marbre de structure rubanée.

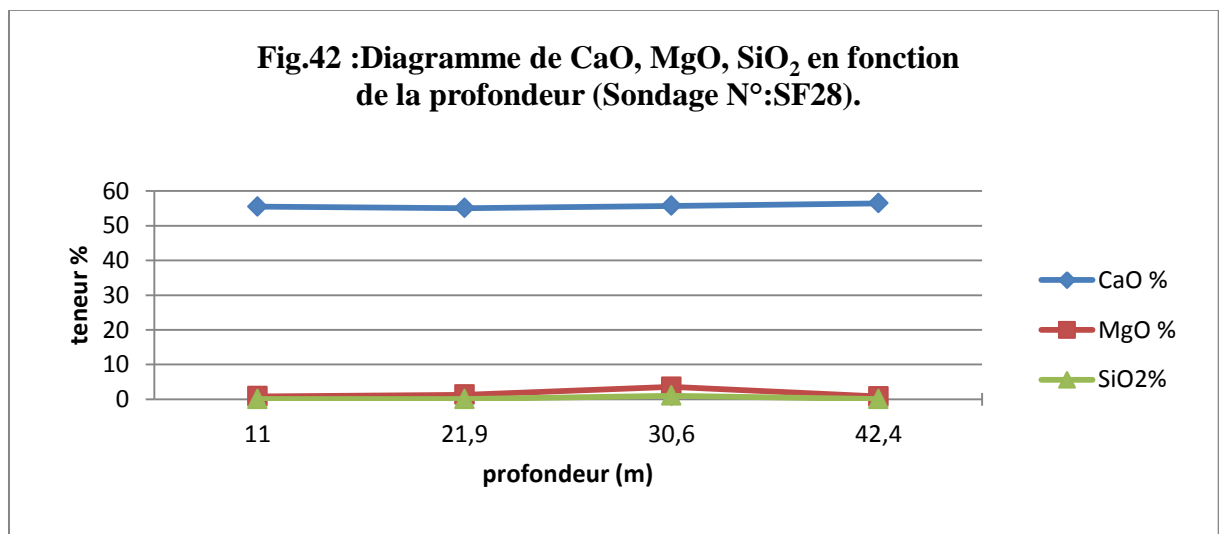
Les teneurs de MgO et SiO₂ sont presque négligeables le long de ce sondage, ce qui explique la dominance du marbre blanc.



Il existe clairement une stabilité des teneurs élevés en CaO (de 54.9 à 56.28 %) le long de ce sondage, ce qui correspond à des zones de marbre blanc gris et gris clair.

Cette couleur grisâtre est expliquée par la présence des teneurs plus ou moins élevées de MgO (2.04%) surtout à la profondeur de 44.8m.

Le SiO₂ est négligeable dans ce sondage.

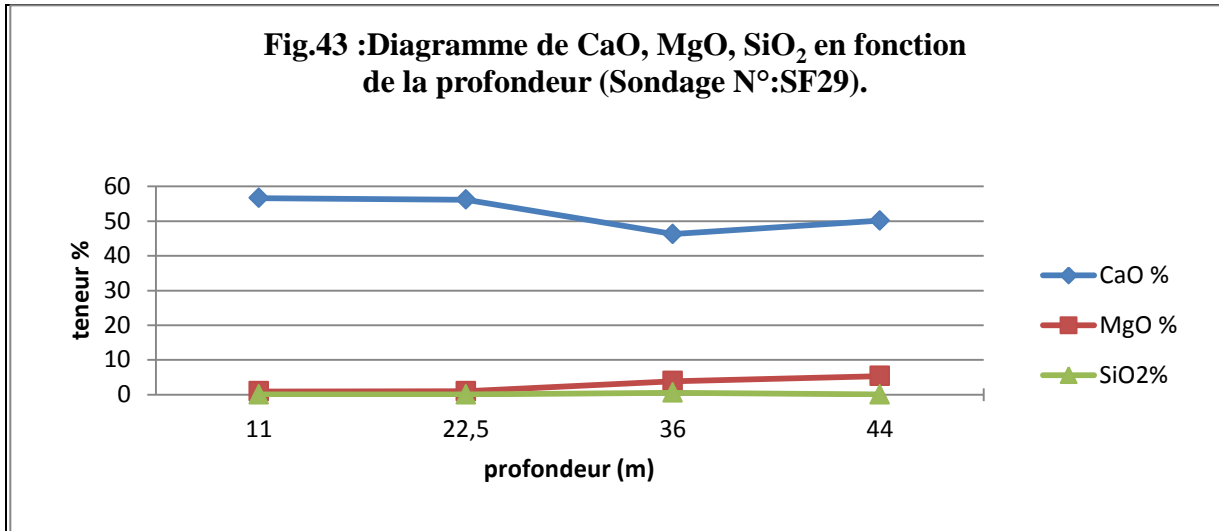


Le CaO présente des teneurs presque stables le long du sondage (55.07 à 56.43%), ce qui signifie l'homogénéité du marbre (entre le blanc et le gris clair).

Le MgO montre des teneurs relativement élevées (3.55%) dans la profondeur de 30.6 m, cette zone correspond aux marbres gris clairs.

Les teneurs de SiO₂ sont presque négligeables.

Fig.43 :Diagramme de CaO, MgO, SiO₂ en fonction de la profondeur (Sondage N°:SF29).

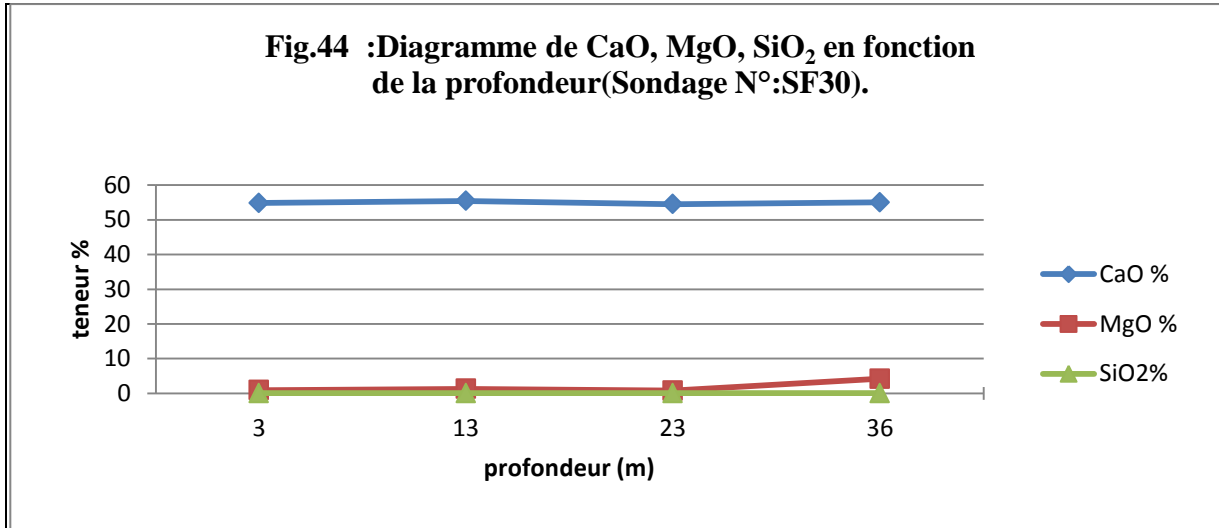


On remarque une petite réduction de la teneur en CaO (46.27%) à la profondeur 36 m, cette réduction est combinée par une augmentation du pourcentage en MgO (jusqu'à 5.35%).

La diminution de CaO et l'augmentation de MgO, est expliquée par la présence des intercalations de marbre blanc et marbre gris claire à foncé, en effet, c'est à ce niveau qui apparaît le marbre gris foncé.

Le SiO₂ ne présente aucune signification.

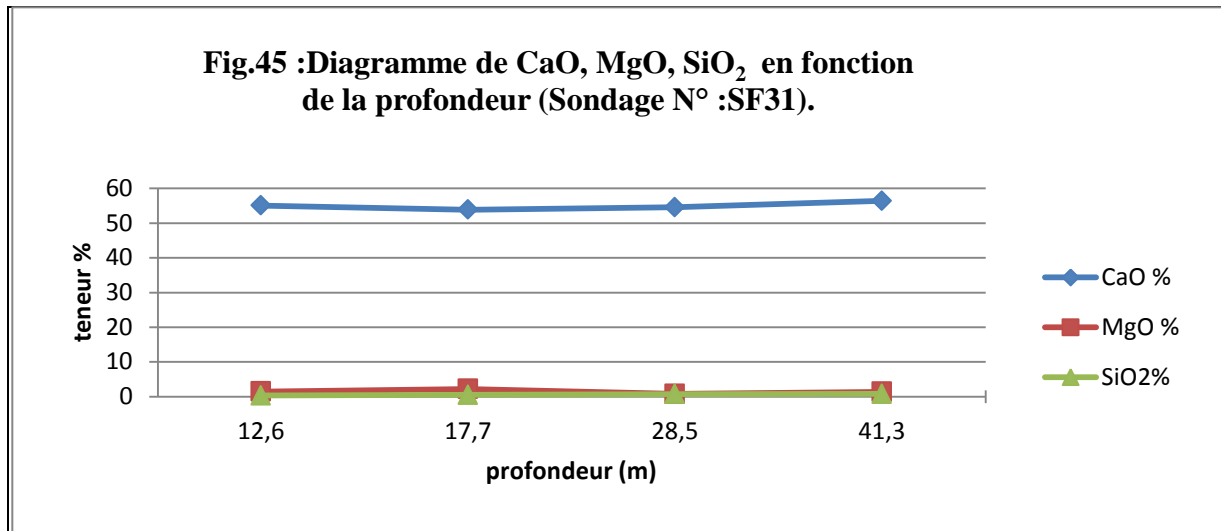
Fig.44 :Diagramme de CaO, MgO, SiO₂ en fonction de la profondeur(Sondage N°:SF30).



Dans le diagramme au-dessus, on remarque une stabilité de CaO le long de ce sondage (54.5 à 55.45%).

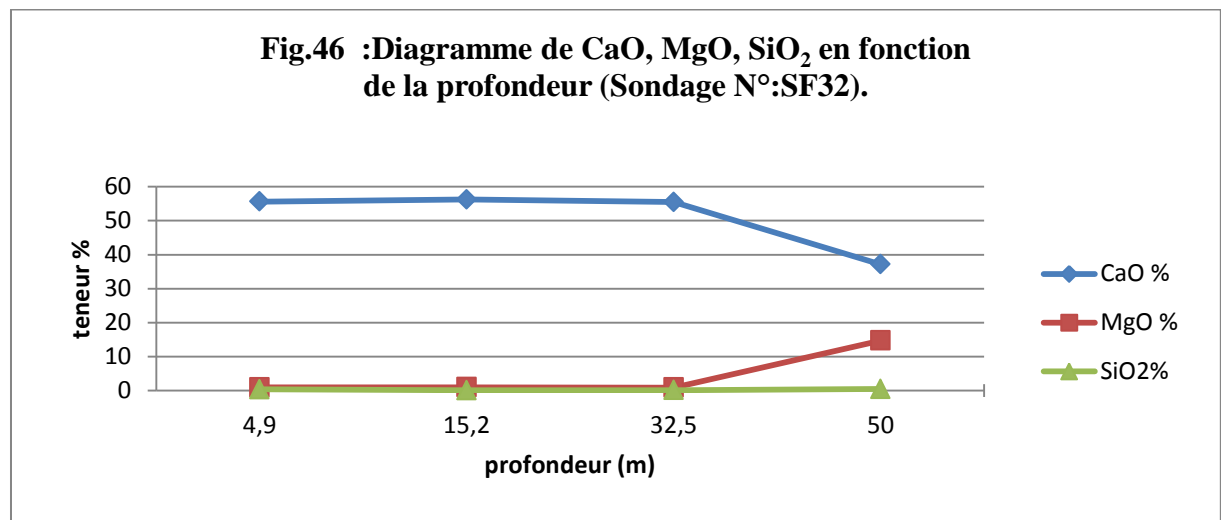
Une croissance dans les teneurs de MgO (de 0.79 à 4.21 %) est remarquée à partir de la profondeur (23m) jusqu'à (36m), ce qui représente un banc de marbre de couleur grisâtre.

Le SiO₂ dans ce sondage est négligeable.



Dans ce diagramme, on observe presque une stabilité dans les teneurs élevées de CaO (de 53.86 à 56.39 %) le long de ce sondage, et la présence des teneurs plus ou moins élevées de MgO (2.23%) montre qu'on est donc toujours dans le marbre blanc gris ou gris clair.

Le SiO₂ n'a aucune signification dans ce sondage.

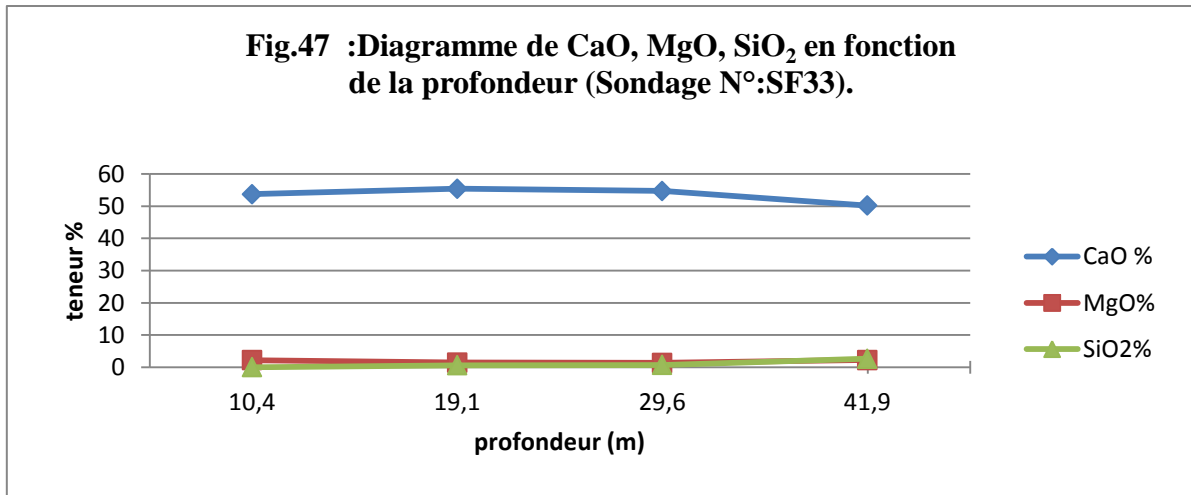


Dans ce diagramme le CaO présente des teneurs élevées (56.22%) et stable jusqu'à la profondeur (32 m), cette stabilité est combinée par des teneurs faibles de MgO (0.89%).

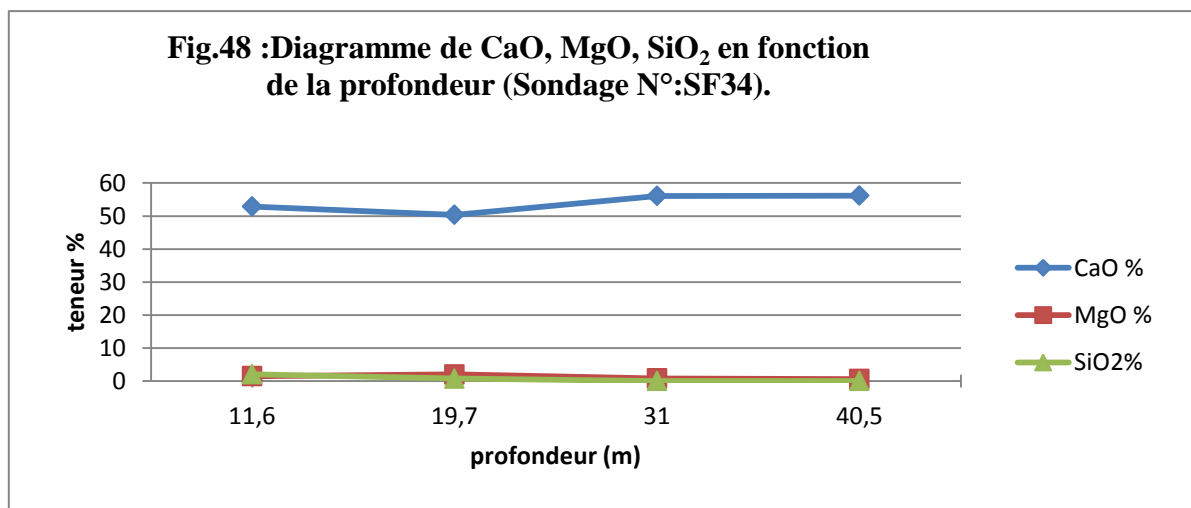
Au-delà de (32 m), on observe nettement une forte décroissance dans la teneur du CaO (37,14%) et une très forte croissance en MgO (14.74%), cette zone est dominée par la présence du marbre gris foncé.

Le MgO est due à la présence des micas (phlogobites) et amphiboles (actinotes) dans ce marbre.

Les teneurs de SiO₂ ne présentent aucune signification le long de ce sondage.



Dans le diagramme au-dessus, on voit une légère décroissance dans les teneurs en CaO à la base de ce sondage (50.18%), par contre au niveau de ces profondeurs (41.9) on observe des teneurs plus ou moins élevées de MgO (2.27%) et de SiO₂ (2.69%), ce niveau correspond à une intercalation du marbre gris foncé et le marbre saccharoïde (le plus dominant).

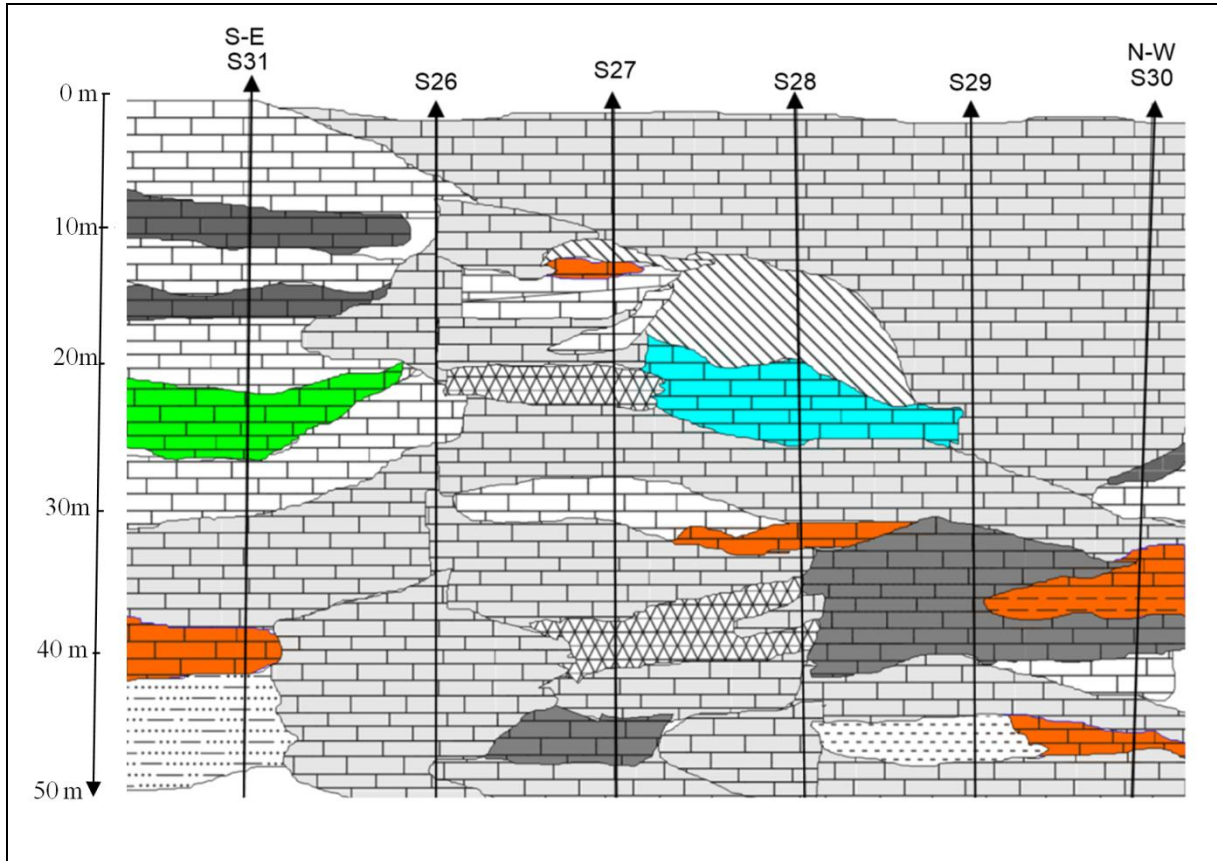


Dans le diagramme en haut, on observe des teneurs élevées en CaO (56.20%) surtout au niveau des profondeurs (31 m) et (40.5 m). cette zone correspond à un intervalle constitué de marbre blanc, gris clair, réséda, et de la calcite noir.

A la profondeur (19.7 m), une teneur de MgO atteint (2.04%), ce qui donne un aspect grisâtre au marbre (marbre gris).

À la profondeur (40.5m), le MgO est presque égale à zéro, c'est donc la zone du marbre blanc.

À la profondeur de 11.6m, on note une teneur relativement élevée en SiO₂ (2.08%), cette zone correspond à la zone du marbre réséda de couleur beige et présentant des fissures.



La légende

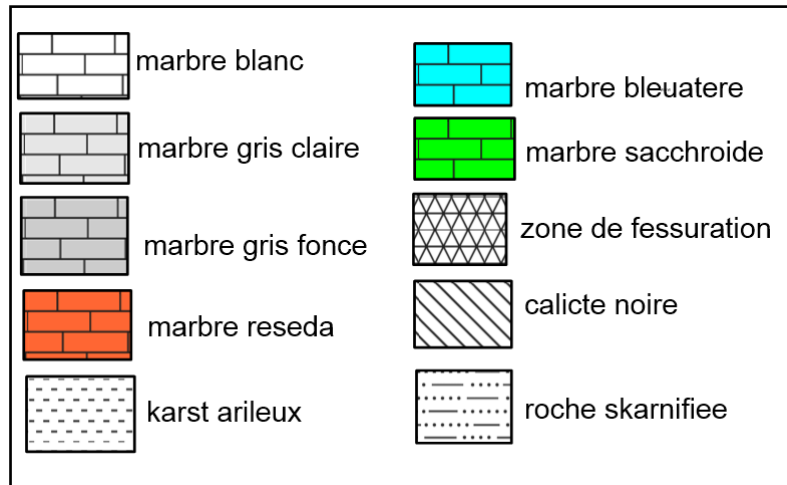


Fig.49 : Coupe géologique à la base des sondages : 31, 26, 27, 28, 29, 30.

Enfin, l'analyse géochimique des composants principaux du marbre de Filfila, a montré des corrélations négatives significatives, entre les trois oxydes : MgO, SiO₂, CaO, et dans certains cas une association chimique entre SiO₂ et CaO, ce qui représente le ciment siliceux des marbres.

V. CONCLUSION

La synthèse de l'étude minéralogique des échantillons prélevés en surface et en profondeur sur les marbres du gisement de Filfila a montré ce qui suit :

La roche est reconnue comme étant un calcaire sparitique métamorphique, microcristallin, possède une composition homogène, minéralogiquement se caractérise par la prédominance de la calcite (99 à 94%), associé à d'autres minéraux.

D'après sa composition pétrographique l'assise utile est assez homogène, elle est représentée habituellement par les marbres et les calcaires marmorisés microcristallins, avec la texture massive, la structure est essentiellement microcristalline ou granoblastique, plus rarement cryptocristalline.

Les cristaux de calcites sont de 0,1 à 1.6 mm de taille, ils sont parfois contaminés par le matériel pelitique. On note parfois la présence des silicates ferromagnésiennes, les minéraux opaques sont présents habituellement dans le marbre, généralement la pyrite ou de l'hématite sous forme de fines imprégnations de taille 0,1 à 0.5 mm, dans le fond on note parfois des restes organogènes en sections allongées.

Les quarante échantillons analysés dans les 10 sondages, confirment une seule nature de marbre, c'est-à-dire ; les marbres sont plus ou moins sains avec une forte teneur de CaO généralement de 49,05 à 55,89% (le fond carbonaté), on pourrait cependant supposer une stabilité de la teneur en CaO avec la profondeur, car seulement quatre échantillons qui ont donnés une teneur faible en CaO, il s'agit précisément de l'échantillon prélevé :

- de l'intervalle 36,3-37,3 m du sondage SF-N°25.
- de l'intervalle 19-20 m du sondage SF-N°26.
- de l'intervalle 36-36,5 m du sondage SF-N°29.
- de l'intervalle 49-50 m du sondage SF-N°32.

Cette diminution est justifiée de leur prélèvement des zones de faiblesses et près de la surface. Les marbres sont aussi caractérisés par une teneur plus ou moins élevée en oxydes de MgO (0,59 à 5,38 %) et par une petite quantité en oxydes des autres éléments, ces facteurs sont typiques pour les gisements des marbres.

Le contenu très réduit en Fe_2O_3 est de l'ordre de (0,22%) en moyenne, il rend ce marbre résistant aux taches quand il est utilisé à l'extérieur.

Enfin, statistiquement il apparaît que la composition chimique des marbres de Filfila répondent aux normes requises pour leurs utilisations comme une pierre de revêtements, à l'exception des résultats d'analyses mentionnés sur les tableaux en rouge qui sont hors norme.



CHAPITRE. 3 :
LA QUALITÉ DU MARBRE.

I. INTRODUCTION

Comme nous avons indiqué au début, la qualité du marbre est devenue aujourd'hui un des principaux enjeux dans les ouvrages d'art. Le présent chapitre est pour but d'estimer et d'évaluer la qualité du marbre qu'on extrait du gisement de Filfila. Nous allons prendre les normes URSS (disponible) données par Romanovsky S. (1991) comme un critère d'évaluation pour estimer la qualité du marbre de Filfila à la base de quelques techniques expérimentales.

En effet, la qualité des roches carbonatées en générale et le marbre en particulier, est déterminée en fonction de leurs compositions minéralogiques et chimiques, de leurs caractéristiques texto-structurales, de leurs degrés décoratifs, ainsi que de leurs propriétés physico-mécaniques et d'autres.

Bien que, la carrière de Filfila et la carrière d'El-Chat sont localisées dans la même formation géologique, il existe une certaines variations du marbre sur le plan décorative et surtout structural, la cause pour laquelle nous allons subdiviser cette partie en deux chapitres, un chapitre pour évaluer la qualité du marbre de Filfila et un autre pour celle d'El-Chat.

Nous essayerons à caractériser les principales variétés du marbre dans chacune des carrières, toute en montrant la répartition en couleur du marbre dans les carrières et les phénomènes qui peuvent affecter la qualité décorative du marbre.

L'utilisation du marbre de Filfila comme une matière de revêtement (blocs puis des dalles), fait donc appelle à remplir les paramètres dimensionnelles exigées par les fabricants dans les marbriers, d'où alors une étude de la fracturation sera porter dans la carrière de Filfila.

Une bonne interprétation de la configuration des fissures, causent une augmentation de la production en quantité et en qualité dans cette carrière, parce que le taux de la récupération dans la carrière de Filfila dépend de l'intensité des fissures et de leurs configurations.

Tandis que, l'étude de la fracturation dans la carrière d'El-Chat, sert à déterminer les zones tectoniquement stable, pour servir des gradins d'où alors l'orientation des travaux miniers.

Les propriétés physico-mécaniques des marbres sont conditionnées par leurs compositions minéralogiques, des particularités structurales et texturales, à cet effet un ensemble des essais physico-mécaniques seront traiter dans cette partie sur le marbre du gisement du Filfila, pour estimer leurs conformités aux normes URSS, en vue de leurs utilisations dans le domaine de construction (revêtement intérieur ou extérieur, fabrication du carrelage...).

II. ÉTUDE DE LA QUALITÉ DU MARBRE DE LA CARRIÈRE DE FILFILA

Les particularités qualitatives de marbre de Filfila pour la possibilité de leur utilisation comme un matériau de revêtement, seront estimées sur la base de l'étude de la valeur décorative, de la fracturation, et des essais physico-mécaniques et l'analyse chimique des échantillons prélevés de la surface et des carottes de sondages.

L'évaluation de la qualité de marbre de Filfila dans notre étude repose sur les normes adaptées en URSS, (voir annexe n° 1).

1. Étude de la qualité décorative

La couleur et le dessin de la pierre de revêtement représentent uns des paramètres de ses qualités les plus importants, la monumentalité des constructions dépend considérablement de la couleur et de la texture des matériaux de revêtement.

Les propriétés décoratives des roches sont dues aux particularités texto-structurale, à la grosseur des grains et au caractère de leur répartition dans la roche ainsi à leurs couleurs.

1.1. Les variétés de couleur du marbre de Filfila

Théoriquement, les roches du gisement sont de différentes couleurs de blanche à noire, la couleur du marbre dépende de la présence des impuretés minérales finement dispersés.

La présence de petites écailles de graphite donne au marbre une série de couleurs de gris claire à noire, l'inclusion de chlorite et de serpentine donne la couleur verte.

L'hématite et les carbonates de manganèse donne au marbre la nuance rose et rouge et la limonite donne la couleur jaune et crème.

Dans la masse principale de l'assise utile du marbre au site de Filfila, nous avons noté quatre couleurs principales de marbre, dont les répartitions et l'abondance sont données comme suite : **Fig.51**.

- Les variétés gris claire à nuance blanchâtre (partie N-E) : (72,75%).
- Le blanc et blanc veiné : dans le niveau supérieur de la carrière (partie Est) : (9,934%).
- Le marbre gris foncé est observé au coin Sud-ouest : (6.723%).
- Le marbre réséda marron (partie N-W) : (3.314%).
- D'autres variétés de marbre : vert, saccharoïde, statuaire, bleu se rencontre rarement au Sud-ouest et Nord-ouest du site d'étude : (3.188%).

L'utilisation des variétés grise de marbre en combinaison avec celle sombre permet de construire les ensembles de revêtement de haute qualité artistique.

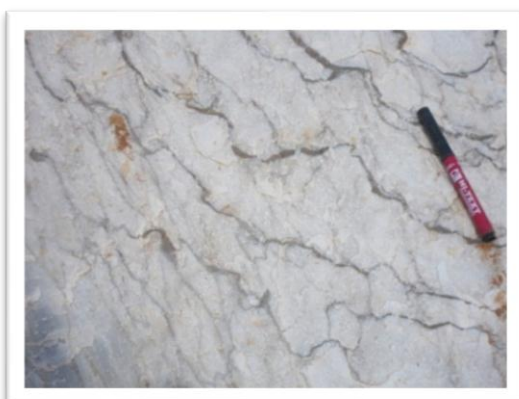
Les variétés des marbres grises perdent leurs éclats dans le revêtement extérieur sous l'action du soleil et prennent la nuance gris claire admissible.



Marbre blanc (centre de la carrière)



Marbre blanc gris (niveau supérieur)



Marbre Réséda marron (partie Nord-est)



Marbre gris foncé (partie Sud-ouest)

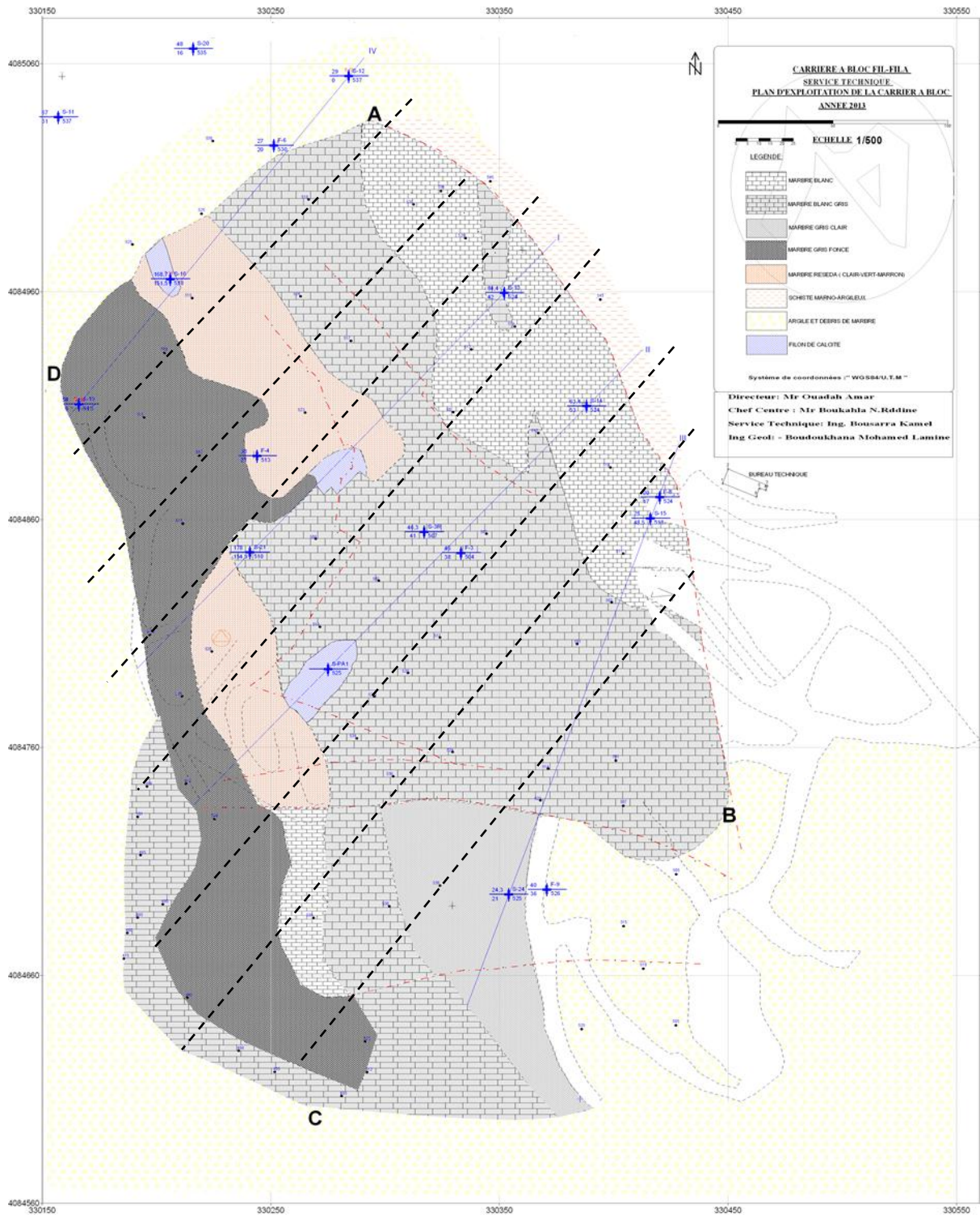


Marbre statuaire (partie Nord-ouest)



Marbre bleu (partie Nord-ouest)

Fig.50 : Photos montrant les des variétés décoratives du marbre de Filfila.



----- Profils d'échantillonnage

Fig.51 : Carte de la répartition spatiale des variétés du marbre en couleur dans la carrière de Filfila à blocs. ENMARBRE, (2013).

1.2. Les phénomènes affectant la qualité décorative du marbre

Le phénomène de la karstification affectant l'ensemble du gisement de marbre, est développé suivant une direction dominante Nord-est, les karsts sont remplis soit par des argiles ou de calcites et par endroit ils sont vides.

Théoriquement, le processus de mise en place des karsts est lié aux minéraux qui forment la roche, le carbonate de calcium (CaCO_3) est très peu soluble dans l'eau pure (13 mg/l à 16 C°). Mais la solubilité est bien plus grande lorsque l'eau contient du CO_2 dissous.

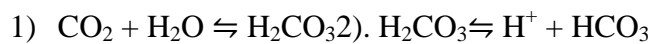
Le dioxyde de carbone se trouve librement dans l'atmosphère à des concentrations de l'ordre de (0,03%) par volume, mais dans les sols sa concentration augmente pour atteindre fréquemment (2% à 10%).

L'augmentation des teneurs de CO_2 au niveau des sols est due à la respiration des racines des plantes et des micro-organismes ainsi qu'à la décomposition de la matière organique.

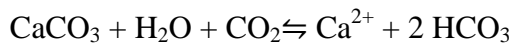
L'eau qui percole au travers du sol traverse une atmosphère chargée en CO_2 et s'enrichit en CO_2 dissous en fonction des réactions d'équilibre entre les phases aqueuse et gazeuse.

Ceci a pour effet de rendre l'eau plus acide, c'est-à-dire plus agressive vis-à-vis de la roche carbonatée sous-jacente. Cette acidité est apportée par les ions H^+ libérés lors de la dissolution du CO_2 dans l'eau.

➤ Équations de la dissolution du CO_2 dans l'eau :



➤ Équation de la dissolution de la calcite (CaCO_3) :



Suite ces réactions la formation des karsts n'a donc aucune relation avec le processus de la tectonique. **Fig.52.**

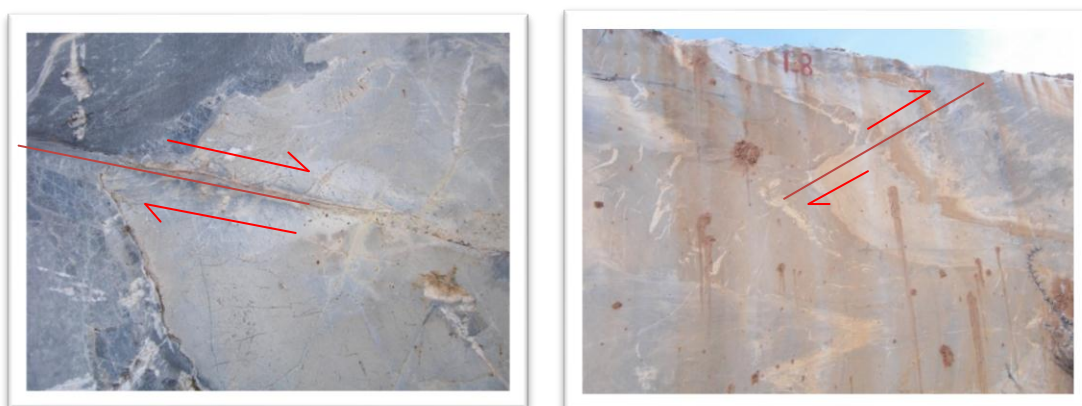
Cependant, le jeu de la tectonique se manifeste surtout par le phénomène de la fissuration, une étude priver sera porter dans ce mémoire pour évaluer ses effets sur la qualité du marbre.

Le phénomène de plissement et de cisaillement sont un peu rares, leurs naissances sont contemporains au premier stade de métamorphisme, ceci est expliqué par les différentes contraintes qui entraînent la masse batteuse, ils produits des hétérogénéités dans la roche qui rendre le marbre de mauvaise qualité (de troisième choix).

D'autre phénomène c'est les cassures aléatoires, elles sont dues surtout aux mécanismes criés par les engins lords de l'extraction, elles sont aussi peu fréquentes, mais ses effets rendre le marbre destiné vers la production des agrégats et ne pas des blocs de marbres.



Plissement dans les bancs de marbre



Cisaillement dans les bancs de marbre



Karstéfication dans les bancs de marbre cassure aléatoire dans les bancs de marbre

Fig.52 : Photos montrant les phénomènes qui affectent la qualité décorative du marbre.

Enfin, la présence de différents minerais hydrothermaux (mine de fer d'El-Halia et autres), a entraîné la coloration du marbre de Filfila, et donnée naissance à un gisement pratiquement unique au monde, où plus de cinq couleurs différentes de marbre se trouvent réunies.

2. Étude de la fracturation

Le taux de récupération dans la carrière de Filfila dépend du contexte tectonique local qui a affecté les marbres. Ces derniers ont subi à une fracturation naturelle plus ou moins intense.

En outre, on sait que ; la tectonique cassante a une incidence prépondérante sur l'organisation de cette fracturation. C'est pourquoi une étude structurale détaillée a été entreprise dans cette carrière en visant d'avoir s'il y a lieu une organisation géométrique de la fracturation ?

Cette étude vise essentiellement à chercher des zones à faible intensité de la facturation, dans le but de récupérer des blocs de pierres marbrières économiquement rentables.

2.1. Mesure de la fracturation

On peut, lorsque les conditions d'affleurement le permettent d'analyser la fracturation d'un milieu à une échelle ponctuelle dans des stations de mesures.

Fig.53 : Photo montrant la mesure de la fracturation apparente dans la carrière de Filfila.



Le site d'étude a été subdivisé en six (06) zones, d'une superficie de (1) hectare pour chaque zone, les mesures ont été effectuées dans chaque zone séparément, selon les conditions d'affleurement sur le terrain. La méthode de la mesure consiste à prendre des mesures de fractures (coordonnées, directions, pendages et longueurs), les mesures ce sont prélevés à l'aide de la boussole, GPS, et un décimètre (**Fig.53**).

Ensuite, on comptabilise les fractures, donnant l'expression de l'intensité de la fracturation, et de la distribution directionnelle en réalisant des rosaces qualitatives et quantitatives, ainsi que des histogrammes des longueurs et des directions (la densité de la fracturation ainsi que la maille élémentaire des fractures appartenant à des familles distinctes).

Les rosaces et les histogrammes de la fracturation présentent un double intérêt : ils permettent de faire ressortir les maxima directionnels d'une part, et de réaliser une étude comparative des intensités relatives de chaque famille d'autre part. Étudier l'orientation des fractures revient donc, à distinguer les différentes familles de fractures caractérisées par une densité de fracturation en nombre et en longueur cumulée. Les fractures sont regroupées selon leur orientation en (18) classes d'orientation par croissant angulaire de (10) degrés (rosaces).

La fréquence et la densité des fractures par classe d'orientation ont été calculées.

Les rosaces directionnelles de la fracturation sont exprimées en nombre ($N = x$) et les longueurs cumulées sont représentées pour chacun des blocs.

➤ Le volume des blocs unitaires peut être calculé en utilisant le nombre total des fractures.

-Déterminer la surface du bloc unitaire : la surface de la zone/le nombre total des fractures

-Le volume du bloc unitaire : surface unitaire \times épaisseur de la couche.

➤ Le sens de l'exploitation est généralement parallèle à la fracturation dominante.

La synthèse de toutes ces données permette alors d'interpréter de façon rationnelle les champs de fractures mais uniquement en surface. On peut se demander alors, si une extrapolation de cette organisation de la fissuration en profondeur est objective.

On peut déduire donc que, ces méthodes d'analyse permettent d'acquérir une bonne connaissance de l'organisation fissurée de ces marbres depuis la surface jusqu'en profondeur.

2.2. Analyse quantitative et qualitative de la fracturation

Nous prenons la zone(I), cette zone est située au Sud-est du périmètre d'étude, sa superficie est de 1,0364 ha, le nombre total du fractures dans ce bloc est : $N= 82$, ce qui traduit une densité de 0.01855 fractures / m^2 , la surface de la zone = 4420 m^2 , l'épaisseur du gradin = 3m.

La surface du bloc unitaire = la surface / le nombre total des fractures = $4420/82 = 53.902 m^2$

Le volume du bloc unitaire = surface unitaire \times épaisseur de la couche = 161.707 m^3

La distribution de la fracturation sur la rosace quantitative et l'histogramme des directions montre en effet, qu'une seule famille de fractures se démarque de l'ensemble avec une fréquence dépassant les (78 %), il s'agit de la famille de fractures N050°-060°E.

Pour la Zone (I), la famille dominante est N050°-060°E ; le sens de l'exploitation sera donc, parallèle à cette famille de la fracturation dominante.

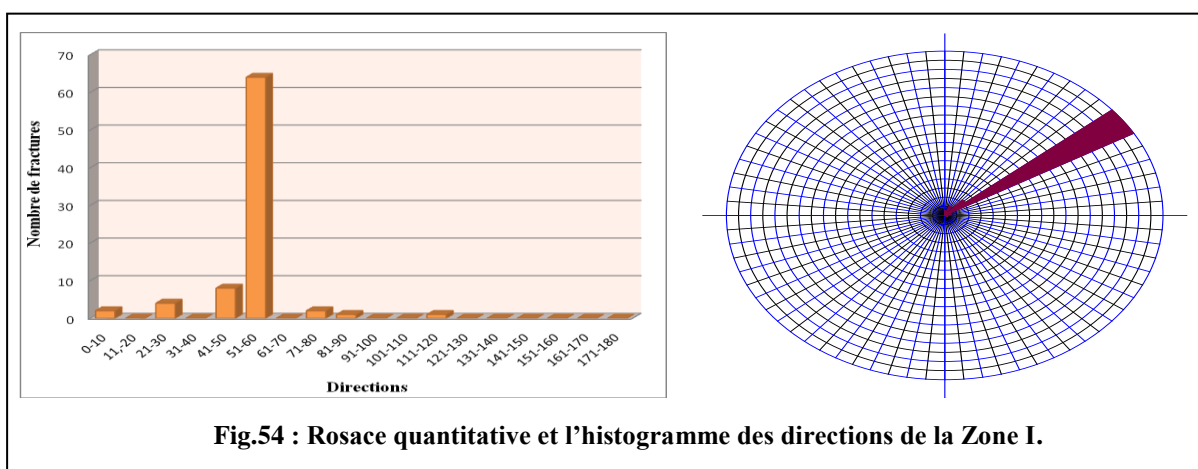


Fig.54 : Rosace quantitative et l'histogramme des directions de la Zone I.

NB : Les rosaces ont été réalisées à l'aide d'un logiciel de création graphique vectorielle appelé Adobe Illustrator, version : CS5 (15.0) 2010.

L'analyse de la distribution des fréquences de longueurs cumulées indique une forte similitude avec la distribution des fréquences en nombre de fractures, c'est à dire une fréquence des longueurs cumulées qui dépasse (54%) pour la famille N050°-060°E.

Ce résultat montre que, les principales classes directionnelles de fractures identifiées apparaissent les plus longues. Autrement dit, les fractures les plus abondantes en fréquence sont aussi les plus longues.

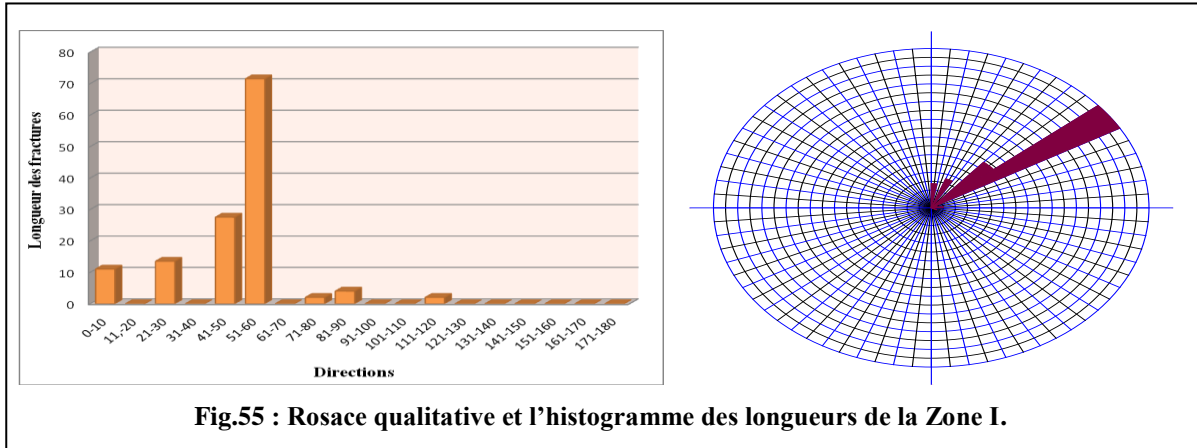


Fig.55 : Rosace qualitative et l'historgramme des longueurs de la Zone I.

La distribution de la fracturation sur la rosace quantitative et l'historgramme des directions globales montrent que ; deux familles de fractures se démarquent de l'ensemble.

Il s'agit de la famille de fractures N040°- 050°E qui dépasse les (21 %) en fréquence et de la famille de fractures N050°-060°E qui dépasse les (32 %) en fréquence.

Une troisième famille aussi apparaît, mais avec une fréquence faible qui ne dépasse pas les (10%), il s'agit de la famille de fractures N120°-130°E.

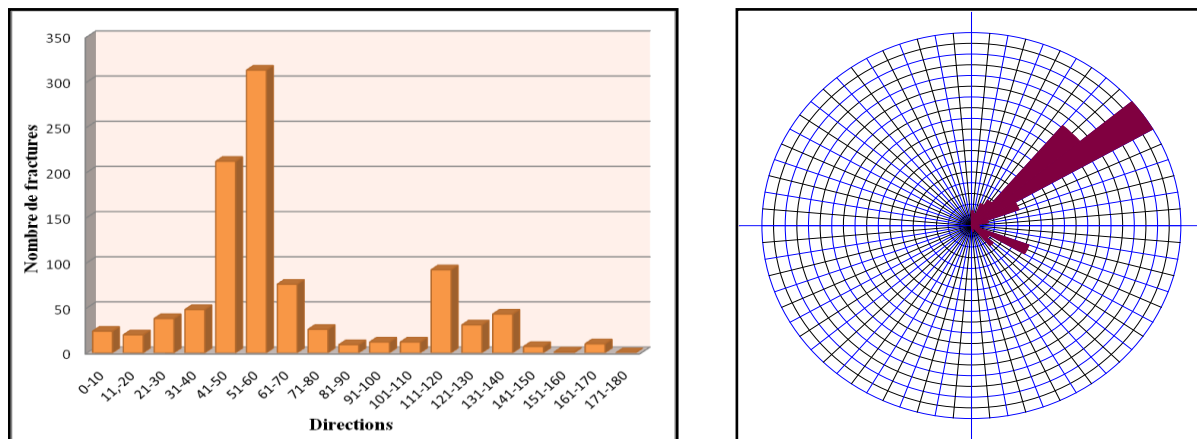


Fig. 56 : Rosace globale quantitative et l'historgramme des directions.

L'analyse de la distribution des fréquences des longueurs cumulées, indique une concordance avec la distribution des fréquences en nombre de fractures, c'est à dire une fréquence des longueurs cumulées qui dépasse (34 %) pour la famille N040°-050°E, (26 %) pour la famille N050°-060° E et (8 %) pour la famille N120°-130°E.

Ce résultat montre que les principales classes directionnelles de fractures identifiées apparaissent les plus longues.

Autrement dit, les fractures les plus abondantes en fréquence sont aussi les plus longues.

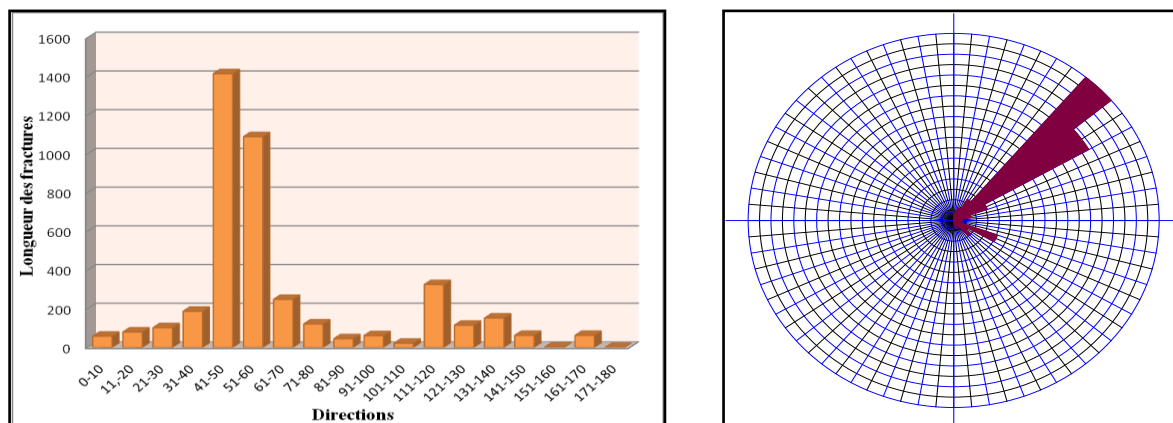


Fig. 57 : Rosace globale qualitative et l'histogramme des longueurs.

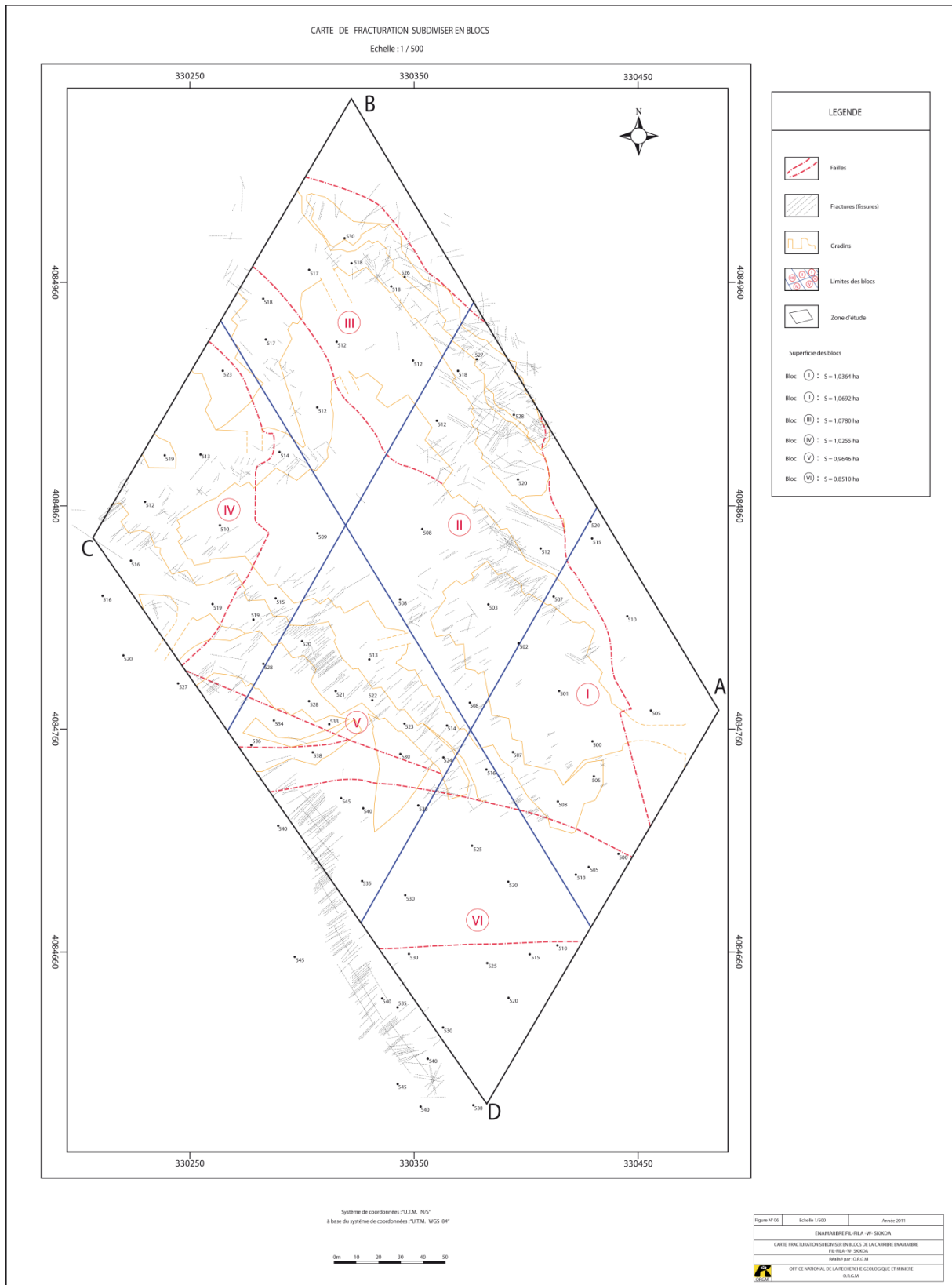
2.3. Distribution de la fracturation dans le périmètre d'étude

La carte de fracturation obtenue après les divers traitements compte environ (968) fractures de tailles variables, comprises dans l'intervalle (0,5 m à 30 m) avec une densité de 0.02 fractures/m², leurs longueur moyenne est de 5 m. (voir annexe n° 2). Les marbres sont habituellement massifs, faiblement fissurés. **Fig.58.**

ZONES	Superficie (ha)	Superficie de la zone exploitable m ²	Nombre des fractures	Densité (fracture en m ²)	Fréquence quantitative dominante (nombre %)	Fréquence qualitative dominante (longueur %)	Surface du bloc unitaire m ²	Volume du bloc unitaire m ³	Sens de l'exploitation
ZONE I	1,0364	4420	82	0.01855	N 50° N 60° 78 %	N 50° N 60° 54%	53.902	161.707	N 50° N 60°
ZONE II	1,0692	10060	276	0.0274	N 50° N 60° 34 %	N 110° N 120° 32%	36.449	109.347	N 50° N 60°
ZONE III	1,0780	9150	176	0.0192	N 50° N 60° 20%	N 50° N 60° 22%	51.988	155.965	N 50° N 60°
ZONE IV	1,0255	10255	170	0.0165	N 40° N 50° 28%	N 40° N 50° 36%	60.323	180.970	N 40° N 50°
ZONE V	0,9646	9646	186	0.0192	N 40° N 50° 46%	N 40° N 50° 50 %	51.860	155.580	N 40° N 50°
ZONE VI	0,8510	3184	78	0.0244	N 40° N 50° 47%	N 40° N 50° 53%	40.820	122.461	N 40° N 50°
TOTAL	6.0246	46715	968	0,0207	NE	NE	48,25	144,777	NE

Tableau.4 : Récapitulation des volumes des blocs unitaires des six zones. ORGM, (2011).

CHAPITRE.3 : LA QUALITÉ DU MARBRE



**Fig.58 : carte de fracturation subdivisée en six blocs,
(La carrière de Filfila). ORGM, (2011).**

Dans les zones denses, l'espacement entre deux fractures successives est de 1,0 mètre, et dans les zones de faible densité la distance entre deux fractures, varie entre 5,0 mètres et plus.

La longueur totale des fractures cartographiées sur la zone d'étude est d'environ 4145,7 m.

Les fractures les plus importantes mesurent 35 mètres environ.

Plus de (91%) des fractures ont une taille inférieure à 10 mètres, seulement (3%) des fractures, ont une taille supérieure à 15 m, les petites fractures sont donc, les plus nombreuses.

La carte de fracturation montre une homogénéité régionale dont les directions dominantes des fractures sont : Nord-est et Sud-ouest.

La densité de la fracturation au niveau du périmètre étudié diminue, en allant des niveaux supérieurs vers les niveaux inférieurs, ce qui nous a permis de déduire que ; la fracturation se traduit par un développement vertical.

Dans le détail, cette fracturation présente des perturbations de direction au niveau des zones (II) et (III), qui se situent à l'Est du périmètre d'étude à des altitudes qui dépassent 520 m, où on remarque l'apparition d'une famille Nord-ouest-Sud-est et des densités très élevées.

On remarque aussi que, la densité de la fracturation est très élevée dans la périphérie du massif, qui correspond à des altitudes qui dépassent généralement 520 mètres.

Pour les niveaux supérieurs (superficiels), on note une fracturation conjuguée, deux familles NE-SW et NW-SE, qui se localisent à la périphérie du massif et qui sont marqués par une très grande densité de fracturation.

Contrairement à la partie centrale du massif qui se trouve à 500 m d'altitude, elle présente des densités faibles et une seule famille de fracturation suivant la direction Nord-est et Sud-ouest.

Pour les niveaux inférieurs (profonds), on note une seule famille à Nord-est et Sud-ouest, qui se localise au centre du massif, et qui est marquée par une faible densité de fracturation.

NB : Le remplissage des fissures par les filons de calcite et les oxydes de fer et par fois les argiles, est une preuve décisive pour dire que ; la fissuration a une origine tectonique (naturelle) et ne pas lier aux tirs des mines. Parce qu'on sait bien les formations de tels ou tels remplissages nécessite au moins des milliers d'années, Age non approprié aux tirs des mines.

Enfin, les caractéristiques dimensionnelles (longueur et épaisseur) des blocs de marbres obtenues dans la carrière de Filfila, répondent aux exigences déclarées par les fabricants.

La puissance des zones de fissuration varie de 0,5 m à 8,2 m, donc, les marbres de Filfila sont valables pour l'obtention des blocs du premier groupe avec les paramètres de : 2,5 x 1,6 x 1,6 et de 3,0 x 1,6 x 1,6, et à partir de 1 m³ de roche on peut obtenir 20 plaques de 1 m² sur 5 cm d'épaisseur. La fracturation des marbres dans la carrière de Filfila, permet donc de se retrouver dans les limites de celles des normes **URSS** données par Romanovsky S. (1991).

4. Propriétés physico-mécaniques du marbre

La présente étude a pour but de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du marbre de Filfila, et de vérifier sa conformité aux spécifications techniques relatives aux carreaux de mosaïque de marbre destinés à un usage dans le revêtement intérieur et extérieur.

A cet effet, 05 monolithes ont été prélevés de la surface. (Voir les lieux de prélèvements, **Fig.35**), les dimensions de chaque bloc prélevé sont de : 30 x 30 x 30 cm, et de 30 à 40 kg (et plus c'est l'idéal), au total on aura 15 échantillons qui ont été prélevés pour les essais.

Après le sciage des blocs en cubes de 5x5x5 cm, ils ont été destinés au laboratoire central de Boumerdes pour y effectuer les tests physico-mécaniques.

4.1. Essai de la résistance à l'usure des gravillons (Micro-Deval)

Le principe implique une prise d'essai, constituée par 500 g d'une classe granulaire 4/6 - 6/10 ou 10/14 mm, est placée dans un cylindre métallique, tourne autour de son axe placé horizontalement, qui à son tour entraîne une usure par frottement.

L'évolution de la granularité est due à l'usure des pierres les unes contre les autres et contre les parois du pot, la vitesse critique pour laquelle le matériau et la charge restent collés à la paroi est obtenue : à 130 tr/mn (essai sec), à 160 tr/mn (essai en présence d'eau).

Le pourcentage de ces éléments fins produits au cours de l'essai constitue le coefficient MDE. (Panet M., Tourenq C. 1971), le tamis, qui sert à déterminer ce pourcentage, est de 1,25 mm.

Les résultats des tests physico-mécaniques sur l'échantillon n° MP-01 sont présentés dans le tableau ci-dessous : **(voir les résultats des autres échantillons dans l'annexe n° 4).**

Ech .N° MP1	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
01	2,69	2,71	0,73	0,20	340	250
02	//		//	//	//	//
03	//		//	//	//	//
Moyenne	2,69		0,73	0,20	340	250
Broyabilité en %		72				
Propreté superficielle en %		0,12				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	29,20	25,60	20,14	//	
Los angeles %	LA	//	//	//	28,70	

Tableau.5 : Résultats des propriétés physico-mécaniques, échantillon N°MP-01.ORG (2011).

On voit dans le tableau en trait gras, les valeurs plus ou moins élevée des MD pour cet échantillon, plus la classe granulaire est grande plus les MD sont de petites valeurs, ces valeurs indique l'hétérogénéité moyenne du marbre en question.

4.2. Essai de la résistance à la fragmentation des gravillons (Los Angeles)

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produite en soumettant le matériau aux chocs de billes normalisés d'acier de 10 mm de diamètre, et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles, l'évolution de la granularité est donc due au frottement granulats-billes, les classes granulaires qui peuvent soumis à l'essai sont : 4/6,3 mm – 6,3/10 mm – 10/14 mm – 10/25 mm – 16/31,5 mm et 25/50 mm. Le tamis qui sert à déterminer ce pourcentage est de 1,6 mm pour le LA. Si (P) est le matériau soumis à l'essai, (p) le poids des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, le coefficient de LA s'exprime par : $CLA = 100 \times p / P$. (El-Amrani Iz., El-Azhari H. 2009).

Le résultat de cet essai sur le marbre de Filfila est de 35,52%, cette valeur du coefficient de Los Angeles indique la résistance plus ou moins élevée du marbre à la fragmentation.

4.3. Essai de la résistance à la compression

Cet essai consiste à écraser un échantillon de roche entre les plateaux d'une presse puissante. La Rcu est déterminée à partir du moment où l'échantillon montre les premiers signes de destruction (fissuration et éclatement).

Elle correspond à une contrainte par unité de surface, et s'exprime généralement en Kgf/cm^2 , il recommandé d'effectuer la mesure sur des éprouvettes de forme cylindrique et d'une hauteur 2,5 fois supérieure au diamètre (80 mm ,40 mm).

Les éprouvettes sont conditionnées de 86 à 106 heures à $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et à $50\% \pm 5$. (El-Amrani Iz., El-Azhari H. 2009).

La contrainte et la déformation de compression sont représentées graphiquement sous la forme d'une courbe de contrainte-déformation, qui est ensuite utilisée pour déterminer selon le besoin : la limite d'élasticité, le coefficient de Poisson ν , le module d'Young E.

L'application de cet essai sur le marbre de Filfila montre que ; la résistance à la compression en état de saturation en eau varie dans des larges limites de 250 à 816 kgf/cm^2 , d'après cet indice les échantillons analysés sont en conformités avec les normes URSS.

Les échantillons qui montrent des valeurs moins de 400 kgf/cm^2 , une telle non-conformité peut être expliquée par l'existence dans certains échantillons des cassures, qui se produisent lors de la préparation des cubes, par ce qu'on note une valeur plus élevée de résistance à la compression par rapport à ceux qui possèdent de plus grande densité.

À notre avis, la valeur un peu diminuée de la résistance de ces échantillons, est compte tenu du fait que l'exploitation du gisement s'effectue par le front de taille en masse.

D'autant plus, la résistance tende à diminuée considérablement, en cas d'impuretés de pyrite de limonites et autres.

4.4. Essai de la porosité

La porosité contrôle tous les autres paramètres physiques de la roche, elle correspond au rapport du volume total des pores sur le volume total de la roche et s'exprime en pourcentage. Dans la pratique, la porosimétrie à mercure est la méthode la plus largement utilisée ; elle consiste à mesurer le volume de mercure susceptible d'être absorbé par une roche (par injection à haute pression sous vide). Où on utilise la porosimétrie à l'eau distillée au lieu du mercure suivant le même principe, et qui donne également des résultats comparables.

Le résultat que donne cet essai sur le marbre de Filfila montre que ; la valeur de la porosité varie de (0,37 à 1,10 %) en moyenne est de (0.71%), cette valeur témoignent de la structure assez compacte et homogène de l'assise utile du marbre. Théoriquement, les marbres les plus stables sont ceux ayant une petite porosité (de 0.0002 à 0.5 %).

4.5. Essai de la masse volumique

La masse volumique (densité apparente) est déterminée directement en calculant le rapport de la masse de l'échantillon sec, mesurée à l'aide d'une balance de précision sur son volume.

Les valeurs du poids volumétriques qui donne cet essai sur le marbre de Filfila montre qu'ils varient de 2690 à 2680 kg/m³, ce qui correspond aux roches utilisées pour la production des matériaux appliqués dans le revêtement des murs intérieurs et extérieurs.

4.6. Essai de la densité

La densité réelle est déterminée en mesurant le quotient de la masse de l'échantillon par la masse du même volume d'eau distillée, le volume d'eau équivalent au volume de l'échantillon est obtenu en plongeant l'échantillon complètement saturé dans un récipient gradué.

D'après le résultat de cet essai sur le marbre de Filfila on peut dire que ; les roches des marbres présentent des densités assez stables, moyenne de 2,70 g/cm³, celle-ci est très proche de celle de la calcite (2,71), cette valeur de la densité de la masse générale des échantillons, témoignent de la structure assez compacte et homogène de l'assise utile.

4.7. Essai d'absorption d'eau

Le principe de l'essai comporte : un échantillon (1 kg) est séché à l'étuve (110C° pendant 24 heures, puis on mesure sa masse (M₀), il est ensuite immergé dans l'eau distillée pendant plusieurs heures jusqu'à la saturation complète, on mesure sa masse M_s, le pourcentage d'absorption d'eau est calculé comme suit : $A = [100(M_s - M_0)/M_0]$. (Bendaoud M. 2013).

Les échantillons de marbres de Filfila qui ont subis a cet essai, montrent une valeur de l'absorption d'eau moins de (1%) et varie de (0,13 à 0,22 %), d'après cet indice les roches en question sont utilisables pour l'obtention de tous les types des matériaux de revêtement. Cette valeur représente un des facteurs influant sur la durée de vie des marbres, qui se manifeste

dans la mauvaise odeur que dégage le revêtement de sol lorsqu'il est trop humide (de colles, de mastics dont il existe sans aucun doute des matières organiques, qui ne résistent pas très longtemps à une humidité relative, même aussi faible que 80%). Le dégagement de gaz ne doit pas dépasser un certain plafond, l'absorption d'eau totale de chaque échantillon testé ne doit pas être supérieure à (8%). (Göran F. 1992).

NB : On peut donner une idée sur le point de ramollissement (perte de dureté en fonction de l'absorption d'eau) du marbre de Filfila, il varie de (0,69 à 0,93 %). ORGM, (2011).

4.8. Essais de broyabilité

L'essai consiste à entraîner en rotation (vitesse de 4500 tr/min) une plaquette en acier, dans un récipient clos contenant 500 g de matériau réduit à la fraction granulométrique 4/6,3 mm.

La perte de masse de la plaquette au bout de 15 min, permet d'obtenir un coefficient de broyabilité du matériau, le coefficient de la broyabilité à un temps (t) a donc été calculé suivant la formule : $\text{masse passant tamis } 1,66\text{mm} / m_{\text{initial}} \times 100$.

Pour notre marbre, la valeur de la broyabilité atteint un pourcentage de (65,11%), juste après les premiers dix minutes d'essai, ce qui reflète la dureté naturelle moyenne de ce marbre.

4.9. Essai de la propreté superficielle

Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée. Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm. Les gravillons sont souvent pollués par des particules fines qui adhèrent à leur surface.

Le résultat de cet essai sur le marbre de Filfila est de (0,14%), ce pourcentage correspond à la poussière provenant du concassage de roches saines, ou de fines des minéraux phylliteux (chlorites, argiles, ou des hydroxydes de fer), un pourcentage élevé de ces poussières provoque un problème sur le polissage de marbre.

N° d'ordre	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
Moyenne	2,69	2,70	0,71	0,18	739	586
Broyabilité en %		65,11				
Propreté superficielle en %		0,14				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	45,28	35,99	27,66		
Los Angeles %	LA				35,52	
observation	Indices admissible pour l'usage comme un matériau de revêtement					

Tableau.6 : Résultats moyennes des essais physico-mécaniques des marbres de Filfila. ORGM (2011).

Enfin, d'après les propriétés physico-mécaniques obtenus, et les normes industrielles exigées (normes URSS), les marbres de Filfila sont donc, utilisables pour l'obtention de tous les types des matériaux de revêtements intérieurs ou extérieurs.

III. ÉTUDE DE LA QUALITÉ DU MARBRE DE LA CARRIÈRE D'EL-CHATT

Les caractéristiques qualitatives du marbre d'El-Chatt en fonction du domaine d'utilisation, ont été faites d'après les résultats obtenus lors des analyses, des essais et d'après les observations faites sur le terrain. Le programme d'échantillonnage avait comme objectif la détermination de l'aptitude de la matière première, pour la production des agrégats et la poudre de marbre, pour leurs utilisations dans l'industrie de construction en qualité d'objet décoratives, ainsi que dans l'industrie alimentaire et dans l'agriculture pour l'enrichissement des sols aigres et pour la nourriture du bétail et de la volaille.

1.Étude de la qualité décorative du marbre

Vu que la qualité de la poudre de marbre, dépende de l'homogénéité du couleur du marbre broyée initialement, il est utile d'avoir une extraction sélective du marbre en fonction de couleur (bonne qualité de la poudre est drivée du marbre blanc).

En effet, nous avons constaté dans la carrière d'El-Chatt un développement des trois principales variétés de marbres : blanc, gris et gris foncé et le marbre jaunâtre (dolomiteux), d'autre variété présentés (réséda, rosâtre, blanc saccharoïde) se rencontrent sporadiquement. Le marbre noir et blanc statuaire ne se rencontre pas dans la carrière d'El-Chatt. **Fig.59.**

1.1. Le marbre blanc

Il s'affleure dans la parité Ouest de la carrière, la structure et la qualité des marbres blancs varient dans une mesurent considérables, selon les sondages, la puissance des marbres blancs parfois est de 57.5 m, dans certains endroits il est recoupé par des intervalles de 5 à 15 m des marbres gris et marbres gris foncées. (Kadirov A. 1980).

Sur la pente gauche de la vallée, les sondages recoups des marbres blancs relativement homogènes de puissance de 26.4 à 73 m, leur couleur est blanche et s'intrestratifient avec des intercalations de nuances bleuâtres plus foncées.

La lèvre inférieure des marbres blancs est recoupée par des variétés grises et grisent foncées partiellement dolomiteux, les marbres blancs d'El-Chatt présentent une fissuration dans laquelle se développent les minéraux de pyrite, quartz, galène, calcite à gros cristaux.

La teneur de ces minéraux accessoires de couleur foncée est in considérables et n'influe pas négativement sur l'apparence générale blanche des marbres.

1.2. Le marbre dolomitisé

Ces marbres se caractérisent par des faisceaux denses de petites fissures et de fort pendage, atteignant plusieurs centimètres et orientés grossièrement dans la direction Nord-est, l'extension et le pendage des fissures sont essentiellement subparallèles, on observe parfois

des passages et intersection réciproque, d'habitude les fissures sont cicatrisées du carbonate blanc ou gris plus rarement du quartz.

Les contacts entre les marbres dolomités et les marbre blancs aient une configuration complexe, ils se différencient aisément l'un de l'autre aux affleurements par leur couleur jaunâtre et par leur faisceau de diaclase.

Le degré de dolomitisation des marbres a un écart considérable de changement : à peine perceptibles des marbres jusqu'à la formation des zones importantes constituées de marbre dolomités continué. (Kadirov A. 1980).

La dolomitisation apparaît dans des zones fissurées des marbres sous forme d'auréoles impuissantes le long d'un certain système de diaclase.

Les contours des auréoles sont sinueux souvent rectiligne et limitée par des plans de fissures.

La couleur des auréoles est jaune claire, rosâtre plus rarement des nuances plus foncées.

Les flancs Nord et Est de la carrière d'El-Chatt, sur le bord droit de la vallée, sont constitués de marbre massifs non altérés sans trace de dolomitization, puis une faible dolomitization apparaît dans la partie S-W de la carrière, leurs dimensions varient de dizaines de centimètres au 3-5 mètres dans la section transversales.

Au fur et à mesure de l'avancement vers le Sud, le nombre des nids de marbre dolomitisé augment brusquement, donnant ainsi des dolomies continues (la cote de 555m).

L'association des marbres dolomités aux zones tectoniques et leurs substitutions nettes aux marbres de différentes compositions, atteste leur origine métasomatique plus postérieure.

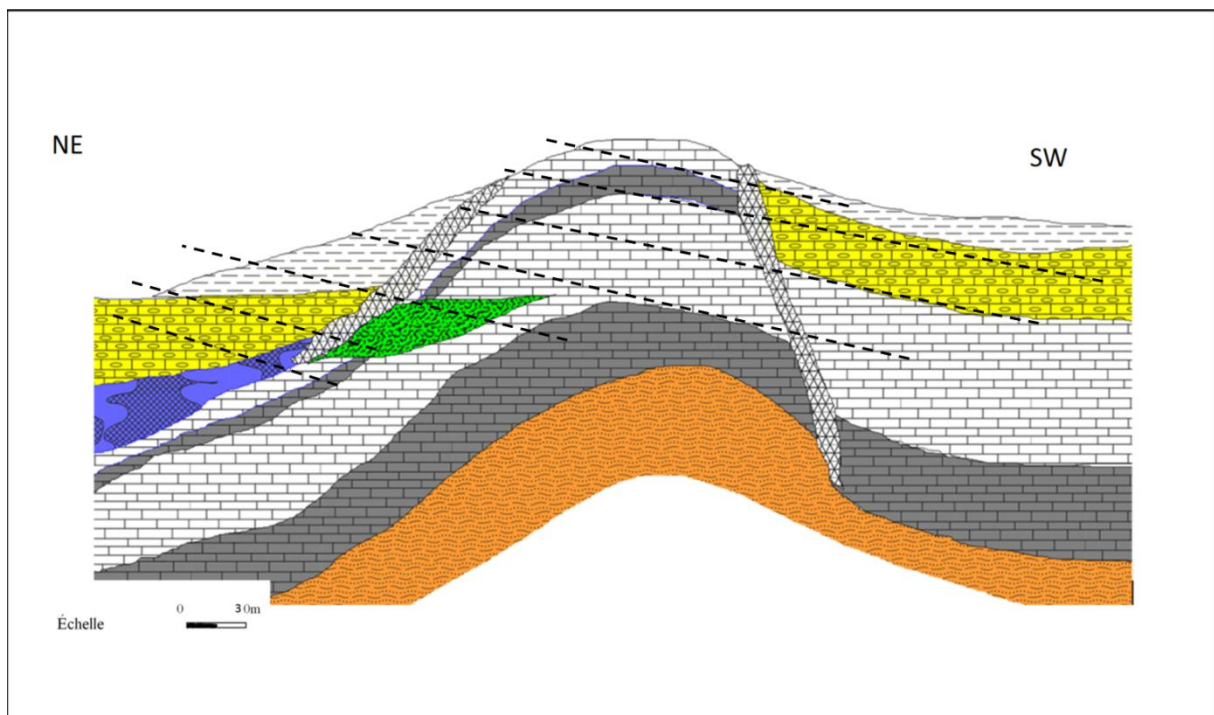
1.3. Le marbre gris et gris foncé

Ce groupe de marbre comprend les roches bien différentes par leur composition, par l'aspect extérieur et des particularités structurales et texturales et physionomie foncée.

Il est difficile d'individualiser permis eux des variétés grisent et grisent foncées, car ils se rencontrent presque toujours dans le même ensemble, mais par endroit on observe des transitions sous forme d'ombre foncée, les marbres gris et gris foncées reposent surtout à la profondeur, leur extension à la surface est très limités, où' il existe sous forme des bandes dont la structure est tachetée, brochoïdes plus rarement schisteuse et en taches discontinues, de quelques mètre de puissance. Les bandes foncées ont des nuances grise foncée brunâtre, vert grisâtre, elles forment par endroits un beau dessin sinueux de nuances variées attribuant aux marbres la physionomie de la variété réséda.

Les marbres gris et gris foncée sont recoupés dans les parties S-W de la carrière au-dessous de la couche des marbres blancs, dans la parité septentrionale de la carrière, les marbres gris et gris foncés ne sont plus constatés.

Dans les variétés gris foncées, la qualité des minéraux foncés augmente par endroits, il y a une dissémination pulvérulente de graphite, de même on trouve des marbres à grains fins d'une couleur blanche, qui passent parallèlement à la stratification des roches, aussi on signale par endroit des bandes et des nids d'une forme arrondie de 20 cm, constituées de cornéennes, la couleur de cornéenne est grise foncée. La présence des inclusions de cornéenne sous forme des conglomérats parmi les marbres, signalent probablement la sédimentation des carbonates dans la zone littorale. (Kadirov A. 1980).



La légende

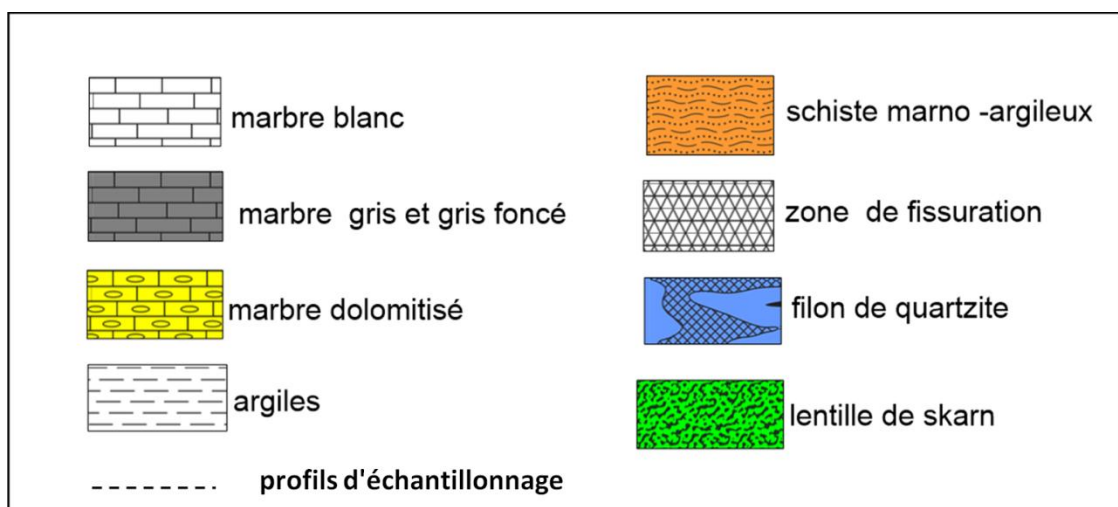


Fig. 59 : coupe géologique dans la carrière d'El-Chatt montrant les variétés du marbre. Bououden D. (2014).



Marbre blanc, (4^{ème} gradin).



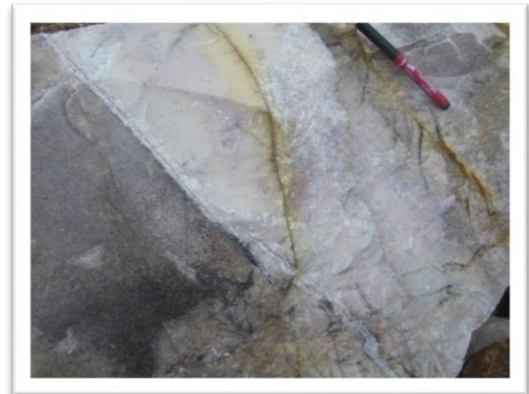
Marbre saccharoïde, (Maghlawi).



Marbre dolomitisé, (2^{ème} gradin).



Marbre gris foncé en bande, (3^{ème} gradin).



Marbre rosâtre, (2^{ème} gradin).

Fig.60 : Photos des variétés décoratives du marbre dans la carrière d'El-Chatt.

2. Étude de la fracturation

Dans ce cas, le but d'étudier la fracturation est de déterminer les zones stables, qui peuvent servir des gradins, afin de poursuivre les travaux de l'extraction du marbre en bonne qualité (non remplis par les argiles...).

En effet, dans la carrière d'El-Chatt, nous avons observé deux systèmes de la fracturation : sur les affleurements et sur les gradins de la carrière en activité (le flanc Est du quartier).

La fracturation présente une pente abrupte, presque verticale, leur extension étant de :

- NW 320 à 340°
- NE 60 à 80°

L'azymite d'inclinaison des couches de marbre est méridionale (Sud-ouest), sous un angle de 20 à 25 °, tandis que pour le gîte principale, les géologues Égyptiennes et Roumains notent une inclinaison Nord-est.

Le changement de l'azimute de pendage est de l'ordre de 180°, il s'explique notamment par l'influence de la faille tectonique puissante passant par la selle entre les deux quartiers, et associée au système de fissure ayant une direction Nord-est.

Le chantier de El-Chatt d'après sa formation naturelle se rapporte au quatrième groupe, c'est-à-dire, aux formations très disloquées, il se caractérise par des conditions de superposition de l'assise utile très accidentée, par la présence des dislocations plicatives, par un fort métamorphisme. **Fig.61.**

Les marbres composants l'assise utile sont partiellement froissées, disloquées par plusieurs failles (accidents à pendages apparents).

Selon les données du forage et à la suite des observations, nous avons constatés que ; les marbres du chantier d'El-Chatt dans la région de la carrière, ont un pendage apparent et disparaissent sur le flanc Est, c'est pour cela qu'il n'y a pas raison de continuer l'extraction dans cette direction.

La superposition la plus stable de l'assise de marbre selon les données des ouvrages avancés est au Sud et Sud-ouest du chantier d'El-Chatt, où il se raccorde avec le gisement principale de Filfila.



Changement brutale du pendage des bancs du marbre dolomitisé.



Dislocation des bancs de marbre dolomitisé.



Cisaillement radiale dans les bancs du marbre dolomitisé.

Fig.61 : Photos montrant le jeu de la tectonique dans la carrière d'El-Chatt.

4. Propriétés physico-mécaniques du marbre

Tous les variétés typiques de l'assise utile du marbre d'El-Chatt, ont été échantillonnées pour les essais physico mécaniques et pour la détermination de la blancheur.

Le prélèvement des épreuves de sondages a été faite à un intervalle variant de 1 à 4 m, chaque épreuve de carotte comprend deux blocs monolithes, ces blocs ils ont été sciés 2 cubes, le sciage des blocs en cubes de 5×5×5 cm ont été exécutés à la marbrerie de Skikda, les cubes (32) sont ensuite expédiés au laboratoire de Boumerdes pour faire les essais.

Les résultats des essais montrent que ; les propriétés physico-mécaniques des marbres d'El-Chatt sont en conformité avec les exigences techniques en vue de leurs utilisations dans la fabrication surtout des carrelages.

En effet, la porosité des roches est variée de (0.69 à 3.66 %) en moyenne de (2.13 %). L'absorption d'eau est de (0.11 à 0.29 %) en moyenne de (0.19%), ces deux valeurs confirment la présence de cavités, des pores et de fissures dans les roches observées sur le terrain.

La résistance des roches à la compression à l'état humide est variée de (346 à 877 kg/cm²) en moyenne de (704 kg/cm²) et celle à l'état humide varie de (346 à 877 kg/cm²) en moyenne de (616 kg/cm²), ces valeurs caractérisent le marbre comme matière première de bonne qualité pour la production des agrégats et de la poudre.

Le poids volumique est de (2.76 t/m³) alors que le poids spécifique est de (2.78g/cm³).

N° ECH	Lieu De prélèvement	Intervalle de l'échantillon			Poids spécifique g/cm ³	Porosité en %	Essais de compressibilité Kg/cm ²		Poids volumique g/cm ³	Absorption de l'eau en %
		de	à	total			Etat sec	Etat saturé		
1	S21	20	21	1	2.81	3.38	455	470	2,715	0.16
2	S23	13	14	1	2.77	3.03	551	471	2,686	0.21
3	S26	89	90	1	2.80	3.66	587	532	2,696	0.11
4	S31	38.2	39.2	1	2.86	0.83	899	857	2,834	0.24
5	S31	97.2	98.2	1	2.78	2.44	493	346	2,712	0.12
6	S32	28.8	29.8	1	2.88	0.92	996	340	2,853	0.12
7	S32	104.5	105.5	1	2.87	0.69	952	877	2,850	0.29
moyenne					2.78	2.13	704	676	2,763	0.19

Tableau .7: Résultats des essais physico-mécaniques sur le marbre d'El-Chatt.EREM (1987).

Un autre paramètre qui intervient lors de l'estimation de la qualité du poudre de marbre, c'est la blancheur.

La blancheur se définit comme étant, le rapport exprimé en pourcentage de radiation réfléchi sur un corps par un diffuseur à une longueur d'onde effective de (470 nm).

La blancheur s'exprime donc comme étant, la réflectance en pourcentage à une longueur d'onde de (470 nm) et se note comme elle lue sur l'instrument.

À cet effet, la surface des grains de calcaire subit alors à une préparation spécifique.

La blancheur du poudre de marbre d'El-Chatt a été déterminée d'après les échantillons analysés, elle varie de (20 à 94%) en moyenne (76.6%), cette valeur est considérée bonne pour la production du peinture.

Du point de vue qualitatif, la poudre de marbre d'El-Chatt est presque analogue aux poudres des marbres exploités dans la carrière principale (les blocs non marchands).

Cependant, pour avoir une bonne qualité du produit, les moellons devront être constitués par des roches de même tonalité et ne devront pas renfermer des inclusions nuisibles, poche argileuses.

Également au niveau de la station de concassage, il faut utiliser des cribles en bon état pour permettre de produire des grains bien calibré.

Dans les stations qui ne sont pas équipées de laverie le concassage de moellons recouverts par des dépôts de boue est à proscrire, car elle est à l'origine d'un produit fini de mauvaise qualité poudre et granulats terreux, gêneuse etc....).

Les moellons et la poudre produits du marbre d'El-Chatt sont stockés dans une grande plate-forme à ciel ouvert (où se trouve la trémie du concasseur primaire), leur qualité ça va être dégradé de plus en plus, vis-à-vis de leur exposition aux changements climatiques et météorologiques.

Tableau.8 : Résultats de la blancheur du marbre d'El-Chatt. EREM (1987).

N° Ech	Lieu de prélèvement	De	à	Totale	Blancheur %
1	S21	24	25	1	20
2	S23	25	26	1	31.5
3	S24	15	16	1	46.2
4	S25	7.40	8.40	1	94.00
5	S26	20.1	21.1	1	93.0
6	S31	11.3	12.3	1	92.5
7	S32	12	13	1	83
8	S33	6.4	7.4	1	49
9	S34	29.4	30.4	1	85
10	S35	4.7	5.7	1	75

5. Composition chimique du marbre

Le prélèvement des échantillons a été faite à partir des carottes de sondages implantés dans la carrière d'El-Chatt. (Les sondages ne sont pas disponibles).

Dans ce cas, les échantillons ordinaires ont été prélevés pour l'analyse chimique seulement sur les éléments suivants : CaO, MgO, Fe₂O₃, P₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, SO₃, CO₂.

D'après les résultats d'analyse chimique obtenue, le marbre de la carrière d'El-Chatt est caractérisé par une teneur élevée en CaCO₃ de (74.32% à 98.98%).

La teneur en CaO varie de (29.44 à 54.47%).

La teneur en SiO₂ varie de (0.17 à 5.2 %).

La teneur en Fe₂O₃ varie de (0.23 à 1.79%).

Toutes ces données nous permettent de conclure que ; les roches du chantier sont des roches carbonatées.

N° ech	Lieu de prélèvement				Teneur en élément										
	sondage	De	à	total	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	Paf	CaCO ₃
1	S21	24	25	1	0.10	54.05	0.70	0.23	0.39	0.02	0.16	0.56	40.45	42.67	95.14
2	S23	15	16	1	0.30	54.47	0.80	0.70	0.18	0.10	0.04	0.30	42.12	42.89	96.55
3	S24	20	21	1	0.01	32.05	20.21	1.08	0.87	0.10	0.11	5.02	44.36	45.47	76.41
4	S25	7.40	8.40	1	1.00	29.44	21.15	1.11	0.70	0.66	0.042	2.20	44.60	46.77	74.32
5	S26	20.1	21.1	1	0.70	52.43	2.62	0.48	0.75	0.18		1.00	42.87	43.35	95.30
6	S31	37	38	1	5.20	33.16	16.30	1.08	0.50	0.18	0.07	0.39	42.99	43.52	76.17
7	S33	6.4	7.4	1	0.90	52.09	3.02	0.53	0.50	0.08	0.017	0.20	46.89	42.55	98.98
8	S32	12	13	1	0.20	30.00	22.15	0.60	0.50	0.45	0.00	2.05	45.32	45.76	75.32
9	S34	29	30	1	0.40	52.72	2.62	0.48	0.50	0.17	0.02	0.17	41.38	43.6	94.10
10	S35	4.7	5.7	1	1.80	46.90	2.62	0.74	0.50	0.05		0.84	38.61	43.11	88.71
11	S36	18.3	19.3	1	1.40	53.04	0.20	0.63	0.05	0.22	0.009	0.98	38.00	42.09	96.10
12	S37	16.7	17.7	1	0.40	52.43	3.50	0.40	0.50	1.00	0.01	0.74	41.8	42.40	94.23
13	S38	24.12	25.12	1	1.60	30.84	11.93	1.79	0.50	0.98	0.02	0.66	43.56	43.64	74.40

**Tableau .9: résultats d'analyse chimiques sur
Les marbres de la carrière d'El-Chatt. EREM (1987).**

IV. CONCLUSION

En se basant sur les résultats des études précédentes, les caractéristiques des marbres du gisement de Filfila, répondent aux normes exigées dans le domaine de la construction et de la fabrication du carrelage, cependant, pour une amélioration de sa qualité et une utilisation en conformité avec les règles de l'art, voici les recommandations qu'on propose pour ces propos :

➤ **Recommandations pour améliorer la qualité du marbre**

-Pour minimiser les effets de fracturation dans la carrière de Filfila, il est recommandé d'orienter le front d'exploitation en sens parallèle à la direction prédominante des fractures, généralement suivant la direction NE- SW, (N40°-60°E).

-Le sens d'exploitation devra être déterminé suite à une observation méticuleuse des fronts et des plates-formes d'exploitation, pour définir les différentes directions de fissuration, d'où alors la production des blocs de premier choix.

-Avancer des forages suivant une maille plus ou moins serrée (10 m x 10m), à raison de 2 à 10 sondages /ha, profonds de 50 à 60 m au niveau de deux carrières, ceci pour avoir une appréciation qualitative des marbres et des informations fiables sur l'orientation des réseaux de fracturation en profondeur, et donner une bonne orientation des coupes de bloc de marbre suivant un volume à raison de 3 x 3 x 3 m, et assurer l'orientation voulue lors de l'extraction.

-Effectuer un bon débitage des blocs et des dalles sur le chantier : un mal débitage fait une très mauvaise impression. (Par exemple vices de polissage conformité des dessins).

-On recommande des travaux géophysiques par sismique de réfraction, pour avoir une bonne interprétation des réseaux de fracturation en surface et en profondeur à l'échelle régionale.

-Pour obtenir une poudre de haute qualité, il est recommandé de procéder une exploitation sélective par couleur : les parties blanches de la carrière d'El-Chatt (les niveaux supérieures).

-Procéder un bon stockage des poudres, afin de conserver leur blancheur d'où alors une possibilité de leur utilisation dans la fabrication des peintures.

-Procéder les essais de : gélivité, résistance au choc, d'altérabilité, résistance au glissement, la rugosité géométrique, pour déterminer l'hétérogénéité et les phénomènes liés aux gonflements, expansions et résistance au polissage...

➤ **Recommandations relatives aux domaines d'applications des matériaux**

-L'utilisation la plus indiquée pour les marbres de Filfila, est dans le domaine de la construction (revêtements intérieur et extérieur), il n'est pas recommandé d'utiliser ce marbre comme des plaques pour les paliers d'escaliers (marches), car il subit à la fraction.

-Dans des locaux publics tels que les restaurants, les boutiques..., les revêtements en marbre ne doivent pas seulement répondre aux exigences techniques, mais aussi aux exigences

d'ordre esthétique, c'est ainsi l'utilisation des variétés grise de marbre en combinaison avec celle sombre permet de construire les ensembles de revêtement de haute qualité artistique.

-Le revêtement en marbre ne sera pas jointoyé avec un mortier blanc, mais avec un mortier gris clair, car les joints blancs ne conservent pas leur blancheur immaculée à la longue.

De même, la pose de carrelage de marbre doit être effectuée sur des supports secs, pour éviter la formation de fissures ou les phénomènes de compression pouvant créer une rupture.

-A l'extérieur, il n'est indiqué d'opter pour des surfaces polies, mais plutôt pour des surfaces mates, car les eaux de pluie ternissent rapidement le poli. Aussi éviter les variétés des marbres grises car elles perdent leurs éclats sous l'action du soleil et prennent la nuance gris claire ...

-A l'intérieur, où on travaille avec des liquides, des taches mates peuvent se manifester, celles-ci peuvent toutefois s'éliminer moyennant un repolissage, ou par une imprégnation qui empêche la pénétration de substances colorantes dans la masse minérale, cependant le contenu très réduit en Fe_2O_3 (en moyenne de 0,22%) rend ce marbre résistant aux taches.

-Pour conserver le brillant naturel des surfaces en marbre, on évitera d'utiliser lors de nettoyage des produits qui contiennent des produits acidifères, on agira avec la plus grande prudence en manipulant des produits très acides, cependant si le revêtement en marbre est devenu terne et mat à des endroits très fréquentés, il est possible de le ramener à un état quasiment neuf par cristallisation, ou un repolissage mécanique.

-Pour le revêtement des terrasses ou des balcons en marbre, il est nécessaire de protéger et imperméabiliser ces aires contre les phénomènes météorologiques, qui peuvent dégrader et endommager le marbre (cycle de gel et de dégel et l'amplitude thermique jour / nuit).

-Pour le revêtement des sols des trottoirs en marbre, il est nécessaire de prévoir l'épaisseur appropriée, afin d'éviter les ruptures suite à des affaissements et des tassements de terrain.

-Utilisez les déchets des marbrières pour la production des miettes de marbres, en tant qu'un remplissage décorative mono ou pluri colore de différents produits mosaïques et de façade.

-On recommande aussi d'utiliser la poudre du marbre pour la fabrication du ciment (Portland (10 % de calcaire) conçu pour les bitons des milieux marins : La poudre du marbre a un rôle structurant des liaisons de la matrice cimentaire par une réduction de la porosité et une meilleure résistance à l'agression chimique, la diffusion des ions chlore est systématiquement diminuée, dans l'eau de mer les sels dissous sont principalement des chlorures et des sulfates. L'attaque du béton est le résultat de réactions entre les sulfates et chlorures et les constituants du ciment, le chlore peut s'insérer dans le réseau cristallin des C-S-H, il fait disparaître les fibres et crée une structure alvéolaire. (Chaid R. 2011).



CHAPITRE. 4 :
MÉTHODES D'EXPLOITATION
DU MARBRE.

I. TRAVAUX HISTORIQUE

Le gisement de marbre du Filfila a été actif depuis l'époque romaine sur le même site de l'actuelle carrière, à cette époque la méthode d'extraction repose sur des cales de bois était ingénieusement insérées dans les fissures ou dans les anfractuosités des rochers, une fois mouillées, ces cales gonflaient et finissaient par faire éclater des blocs de roche.

Cette méthodes d'extraction est restée la même pendant des siècles, en effet, les archéologues ont trouvés les traces d'une exploitation ancienne au pic et au marteau, de même la civilisation romaine a laissée comme, plusieurs monuments et statues réalisés avec le marbre blanc de Filfila, notamment au niveau des Russicada (Skikda) et Thamugadi (Timgad).

Il semble que, depuis l'époque Romaine jusqu'à au 19^{ème} siècle, l'exploitation du marbre dans le Djebel Filfila a été complètement abandonnée.

Vers le milieu du XVIII^e siècle, elle a été remplacée par des explosifs, mais ces derniers étaient si puissants que la plupart du temps un tiers seulement de la roche était utilisable.

Au cours du siècle 19^{ème}, la première concession pour l'exploitation de ce marbre, a été obtenue par la société marbrière Filfila « Hernandez Abeille Fils et Cie » en (1857).

Ces concessionnaires ont été remplacés par Doloise et Cie en (1861).

Au début du 20^{ème} siècle la société « George Lesieur » a repris l'exploitation de la carrière en (1927), et puis la société « Marmora » qui s'est poursuivie depuis jusqu'à sa nationalisation en (1966).

Dans les années (1970-1980), la « SONAREM » a entrepris l'exploitation du gisement de marbre de Filfila de façons plus intensive (méthode du fil hélicoïdal).

De même la SONAREM a commencée l'exploitation dans la carrière d'El-Chatt depuis (1974) ; l'exploitation s'effectuée par le tir de mine en vue de production des agrégats.

En juillet (1980), la création de l'ENAMARBRE a permis d'apporter un nouveau souffle à l'exploitation de la carrière de Filfila par l'introduction en (1984) d'une nouvelle technologie de sciage, c'est la méthode du fil diamanté.

En (1993), en complément avec le sciage au fil diamanté, une nouvelle technique vient d'imposer un nouveau mode d'exploitation : c'est le havage, mais cette technique face encore des contraintes géologiques et techniques dont :

- le problème pour déterminer le choix des orientations de l'exploitation (intensification des fissures et l'hétérogénéité du couleur).
- Rupture souvent des consommables stratégiques (fil diamante et accessoires... etc.).
- dans certains zones l'accès est très difficile, notamment pour le déplacement des machines, l'abattage des masses, le dégagement du remblai et la découverte.

II. MÉTHODE EXPLOITATION DU MARBRE DANS LA CARRIÈRE DE FILFILA À BLOCS

Ces dernières années la demande aux marbres et aux leurs dérivés, a connu un accroissement sans cesse, c'est à cause de l'évolution que connaît le pays en domaine de construction des logements, à cet effet, le pays a procédé une large gamme des travaux d'exploitation.

Une méthode d'exploitation est une succession de réalisation des travaux de découverte, de creusement et d'extraction de minerai et de développement dans un ordre bien déterminé.

En d'autre terme, un système d'exploitation caractérise le développement dans l'espace et dans le temps les travaux préparatoires, de découverte et d'extraction.

Dans le cadre de la réalisation du mémoire de magister, en ressources minérales et géomatériaux, un stage de quinze jours nous a permis de suivre les différentes méthodes d'exploitation, qui sont utilisées dans les deux carrières (Filfila et El-Chatt) et d'effectuer certains travaux de terrain tels que : documentation géologique, mesures sur la fracturation et échantillonnage.

La procédure de gestion de la production de blocs de marbre dans la carrière de Filfila (**Fig.62**), définit les conditions à réunir pour produire des blocs de marbre répondant aux normes de qualité en vigueur, avec une utilisation rationnelle des moyens humains et matériels et une application stricte des règles de sécurité.



Fig.62 : Photo de la partie sud de la carrière de marbre à blocs de Filfila. (2014).

1. Méthode d'extraction des blocs de marbre

L'exploitation du marbre dans la carrière de Filfila à blocs, s'effectuée soit au moyen de fil diamanté en combinaison avec la haveuse ou par le fil diamanté sans intervention de la haveuse, dans tous les cas l'usage de l'explosif est strictement interdit.

1.1. La technique combinée

Cette méthode est la plus utilisée et la plus rationnelle, elle consiste à effectuer une coupe horizontale par la haveuse, puis on pratique une foration de (02) deux trous verticaux à la hauteur du front, pour faire la saignée de la haveuse, après avoir réalisé toutes ces opérations on entame le sciage de la masse (deux coupes latéraux par une machine diamantée). **Fig.63.**

Nous pouvons récapituler le cycle d'exploitation par cette technique comme suite :

- Travaux préparatoires (nettoyage des fronts d'attaque) : le nettoyage des fronts devra être planifié pour éviter l'immobilisation des équipements de production de fronts.
- Foration verticale à l'aide d'un marteau pneumatique : la norme de la perforatrice est de 6 ml/h, le rendement pratique de la foration sur les marbres de Filfila est de 8-10 ml/poste.
- Le havage horizontal à l'aide d'une haveuse ou la foration horizontale et latérale pour procéder au sciage horizontale, la norme de la haveuse est de 2 cm/minute
Le rendement pratique du havage sur marbre de Filfila est de 10-14 m²/poste.
- Sciage verticale et latérale à l'aide du fil diamanté, la norme de la machine est de 4 m²/h.
Le rendement du sciage sur les marbres de Filfila est de 14-16 m²/poste par machine.
- Écartement de la masse à l'aide d'hydro bague et la préparation d'un très bon matelas de terrains stériles, de façon à bien amortir la chute de ces dernières.
- Abattage masse à l'aide du vérin : après écartage de la masse à l'aide d'un hydro bag ou aérobag, la présence de blocains et de petits blocs au sein de ce matelas est à proscrire.
- Traçage de la masse puis leur débitage en blocs à l'aide du fil diamanté, ou tranchage à l'aide d'un marteau manuelle et coin à ailettes.
- Déplacement des blocs par la chargeuse et leurs transports vers le lieu de traitement.
Les blocs marchands, les moellons, déblais et autres stériles devront être immédiatement évacués du front en cours d'exploitation après la fin du débitage, de façon à préparer le front en question à un nouveau cycle d'exploitation

NB : La haveuse permet la réalisation du front de pénétration qui permettra l'exploitation des fronts qui seront créés de part et d'autre de ce front d'attaque, mais les fronts qui seront exploités par la haveuse devront avoir des dimensions optimales.

Selon la configuration du gisement de marbre, la disposition des engins d'exploitation, se faite soit au niveau supérieur du front soit au niveau inférieur de ce dernier.

1.2. La technique de sciage

Dans ce cas, l'exploitation se fait sous forme d'un échiquier dépendant d'un front de pénétration créé sous forme d'un couloir, avec une base triangulaire, qui permet la coupe au minimum de 2 masses d'une épaisseur de 1,6 m chacune par le biais du sciage au fil diamanté, la découpe des blocs s'effectue dans deux sens : soit perpendiculaire à la stratification (contre-passe), soit dans le sens de la stratification (passe). **Fig.64.**

Le procédé général d'extraction est la découpe par bloc au moyen d'un fil diamanté selon :

- forage de deux trous, un est vertical ($\approx 15\text{m}$) et l'autre est horizontal ($\approx 20\text{m}$), se rejoignant.
 - le fil diamanté est ensuite introduit dans le forage par l'air comprimé.
- Il permet la découpe de gros blocs (environ 800 tonnes) à la vitesse de $10\text{m}^2/\text{h}$.
- on s'assure que la base du bloc (le lit) "fonctionne" bien (se fracture correctement).
 - l'abattage, pour cela, on utilise des coussins pneumatiques gonflés à trois bars, un tapis de terre réceptionne le bloc. Un cycle d'exploitation permet d'extraire 200 m^3 bruts par front.

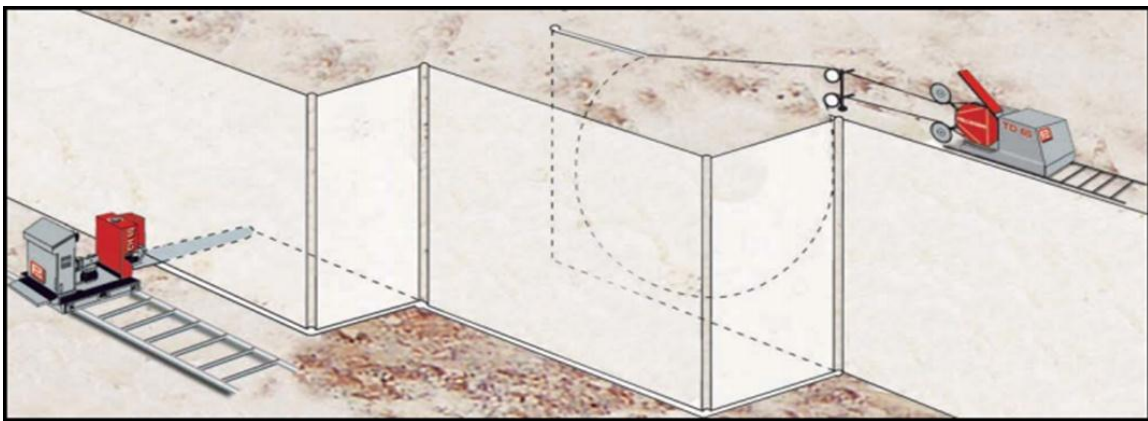


Fig.63 : méthode d'exploitation combinée (haveuse -fil diamanté).

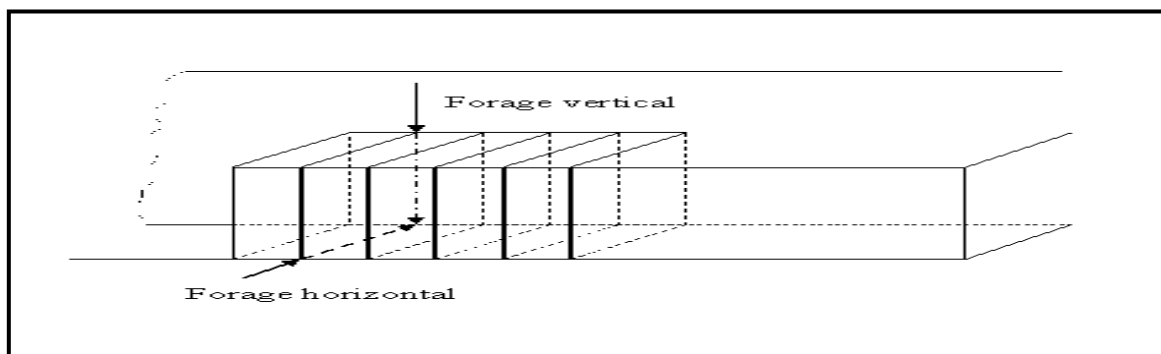


Fig.64 : Découpe des blocs de marbre par la méthode de sciage.

NB : Le sens d'exploitation devra être déterminé suite à une observation méticuleuse des fronts et des plates-formes d'exploitation, pour définir les différentes directions de fissuration. Enfin, l'expérience accumulée pendant des années d'exploitation dans cette carrière, a montré que ; la méthode d'exploitation combinée : haveuse- fil-diamanté est la plus efficace.

2. Processus de traitement des blocs de marbre

Nous pouvons distinguer deux étapes principales dans le processus de traitement du marbre issus de la carrière de Filfila:

2.1.Étape de classification

Une commission technique est chargée du suivi de la qualité et de la classification des blocs, et devra faire ressortir au niveau du registre de production la qualité des blocs produits (premier et deuxième choix ...et blocains).

Après l'abatage des masses de marbres, ces dernières vont voir un débitage en blocs par le fil diamanté, dont le volume de chaque bloc est varié entre 2 et 7 m³.

Dans les deux techniques d'exploitations utilisées, les masses abattues devront avoir les dimensions minimales suivantes :

-Longueur : + de 10 m, hauteur : +5 m, largeur : de 1,2 à 1,8 m, volume optimal brut : 80 m³

Les masses abattues seront débitées en blocs, dont les dimensions sont :

-Longueur :1,5 à 2,80 m, largeur : 1,5 à 1,80 m, hauteur :1,2 à 1,60 m.

Les volumes des blocs devront être de 1,5 m³ au minimum et de 7 m³ au maximum.

Les dimensions idéales pour les blocs de 1^{ER} choix sont :

-Longueur : 2 à 2,8 m, largeur : 1,5 à 1,8 m, hauteur : 1,3 à 1,6 m, volume : 4 à 7 m³.

Les blocs devront être sans fissuration apparente, homogènes sur le plan tonalité et sans défauts apparents, les 6 faces devront être équerries au fil diamanté.

Les dimensions idéales pour les blocs de 2^{ème} choix sont :

-Longueur :1,5 à 2,5 m, largeur:1,2 à 1,8 m, hauteur :1,2 à 1,6 m, volume : 2 à 7 m³.

Les blocs devront être équerries au fil diamanté sur au moins 4 faces et présenter une fissuration modérée, le bloc ne devra en aucun cas comporter des tonalités qui forment un contraste prononcé. (On dit : blocains, pour ceux qui ont des dimensions inférieures à 1 m³).

Les blocs avec des dimensions entre 1 et 2 m³ seront assimilés à des blocs de 2^{ème} choix.

2.2.Étape de transformation

Une fois les blocs sont classés par ordre de choix, ceux qui sont transportés à l'usine Skikda vont subir à une activité de transformation à l'échelle industrielle.

Cette usine de marbre est située à 3 Km de l'Est de la ville, elle est conçue pour la transformation des blocs de marbre transférés de la carrière à blocs en produits finis et la production des bibelots et articles décoratifs.

Au niveau de cette usine il y a différents ateliers, les blocs de marbre sont chargés sur le banc du châssis (chariot porte blocs), et à l'aide des lames diamantées, ces blocs sont coupés en dalles avec l'épaisseur voulue. **Fig.65.**

Les dalles produites subissent une coupe longitudinale en bandes de dimensions voulues à l'aide des débiteuses automatiques.

Ensuite, à l'aide des polisseuses automatiques à tapis, ces bandes subissent à l'opération de calibrage et de polissage.

Une fois le polissage terminé, les bandes vont dans le groupe d'alimentation d'une débiteuse multidisque, où un presseur va introduire les bandes sous les disques pour la réduction en carreaux et plaques de revêtement de dimensions voulues.

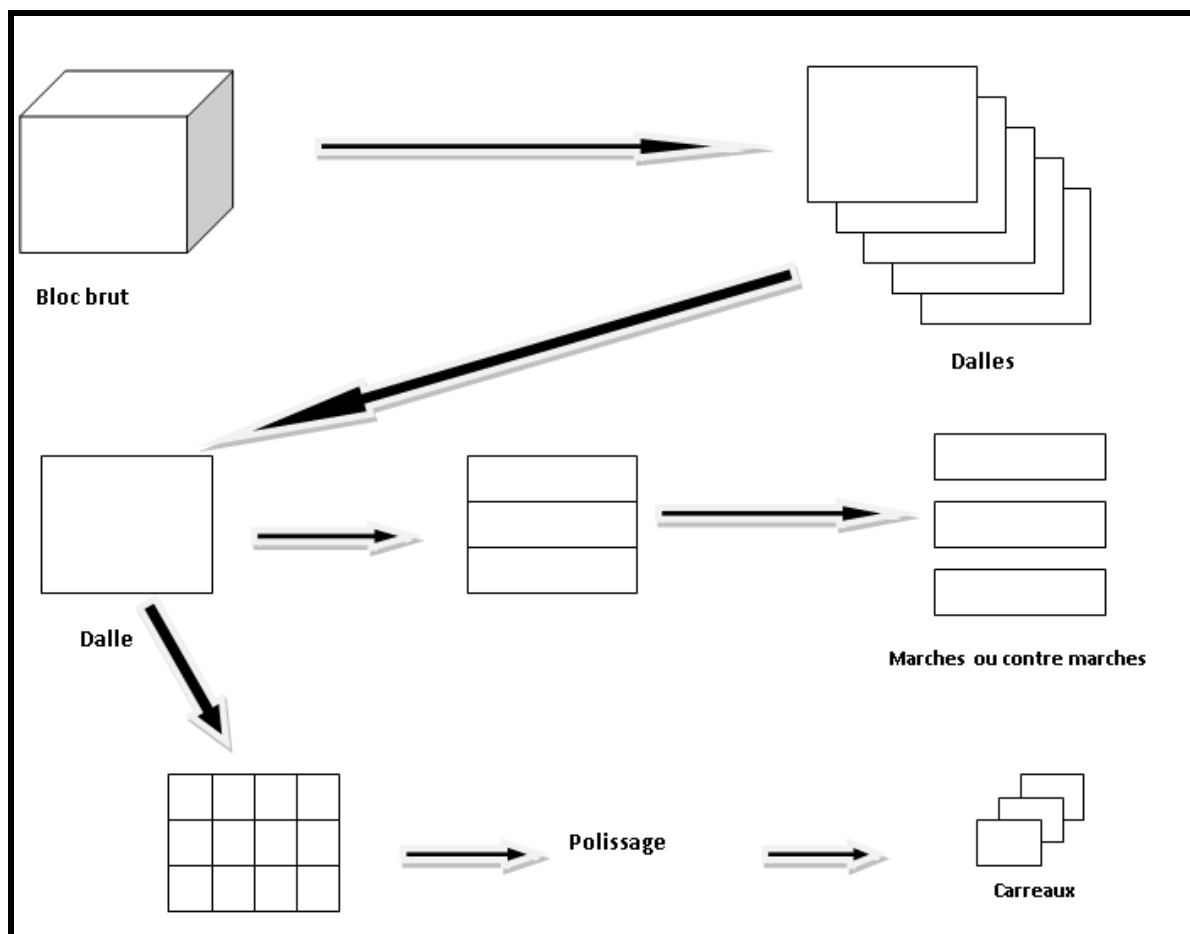


Fig. 65 : schéma montrant les différentes étapes de transformation des blocs de marbre.

Le châssis et la chaîne de traitement des tranches brutes. (Plaques, marches, contre marches et carreaux dans l'atelier de marbrerie).

3. Travaux de développement dans la carrière à blocs

Les travaux de développement ont pour principal objectif est de reconstituer les réserves préparées en marbre. En (2009), l'unité de marbre de Filfila a mis en place une stratégie d'élévation de la production, elle consistait à exploiter un large périmètre du gisement.

Cette décision a été prise à cause des blocages qu'ont connus certaines zones de la carrière, les côtés Sud et Nord de la carrière ont été bénéficiés de ce choix. ENNAMRBRE. (2014).

La zone de développement Sud comporte trois niveaux d'exploitation, les niveaux 530, 535 et 540, elle est caractérisée par un marbre altéré, de très mauvaise qualité (hétérogénéité).

À la fin de (2014), on prévoit le dégagement de 12000 m³ dans cette zone, ce volume sera répartie sur les trois niveaux de manière à ce que l'extension soit en continue, ainsi, assurer la continuité de l'exploitation dans les niveaux inférieures. Ces travaux ont pour impact la génération d'un nouvel espace exploitable ; des réserves préparées plus grandes pour une production plus fructueuse, un volume de plus de 33300 m³ de réserves préparées en (2015) sera le résultat des travaux de développement dans cette zone Sud. **Fig.66.**

La zone de développement Nord a été découpée en deux tronçons : tronçon (1) du côté Nord de la zone, et le tronçon (2) du côté des bureaux de la carrière , le volume à dégager est prévu pour la zone de développement Nord, a été de 3600 m³ de marbre brut, et un volume de découverte estimé à 3000 m³, le premier tronçon, étant presque achevé en (2014).

Un volume brut de 6000 m³ à abattre pour permettre l'extension vers le coté Nord-est de la carrière (Niv 518-Nord). Le taux de récupération prévisionnel dans cette zone est (0%).

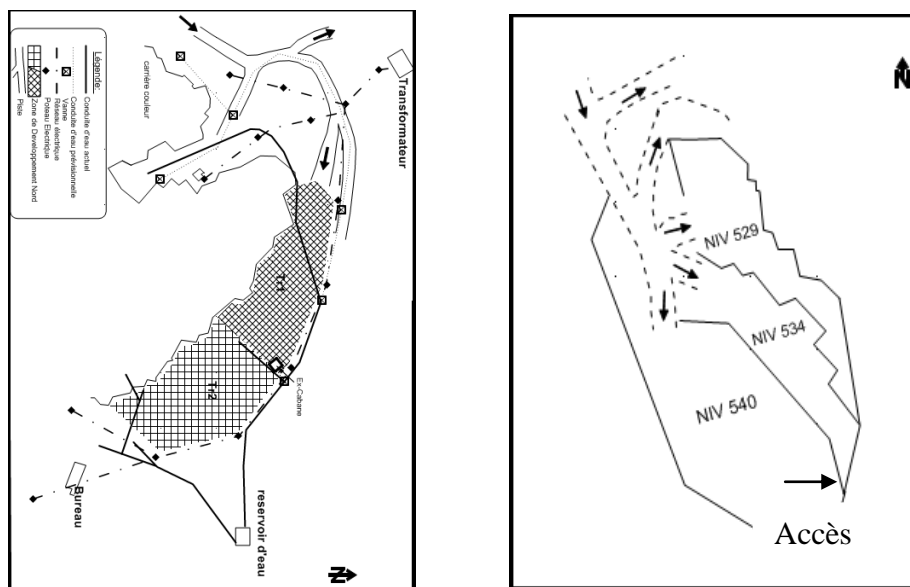


Fig.66 : schémas montrant les zones de développement Sud et Nord dans la carrière de Filfila à blocs. ORGM (2011).

4. Travaux de production dans la carrière à blocs

Les travaux d'exploitation au niveau de la carrière de Filfila, sont concentrés principalement dans deux zones ; une zone Sud et une autre Nord, chaque zone (ou carrière) a ses propres objectifs physiques et ses propres moyens matériels et humains.

4.1. La zone Sud

Elle constitue une expansion de quatre niveaux (506 côté Sud, 512, 518 et 524). Cette partie du gisement est caractérisée par une majorité de marbre de couleur blanche, finement cristallisé.

Selon les sondages effectués dans ce périmètre, une bonde de marbre gris foncé au Nord-ouest de la carrière Sud présente un plongement d'environ 50° de direction Nord-est.

Cette zone, comporte 20 fronts rentables qui représentent un taux de récupération de (34%).

Les modalités d'exploitation sont beaucoup plus proches et plus facile à manier et modifier.

4.2. La zone Nord

Elle comporte cinq niveaux d'exploitation (niveau 500, 506 côté Nord, 514, 518-A, et la carrière de couleur).

Elle présente une variété de marbre allant du blanc statuaire au gris foncé, en passant par le gris claire et le réséda du côté Ouest de la carrière Nord, le taux de récupération moyen dans cette carrière est de (44 %), elle se caractérise également par un grand volume de réserves préparées de plus de 74000 m³, la plateforme de travail dans cette zone est beaucoup plus spacieuse. L'expansion de cette zone est vers le Nord.

Carrière	CODE FRONT	Longueur (m)	Hauteur (m)	Largeur (m)	Volume (m ³)	Nombre de masse	Volume total (m ³)	Havage (ml)	Foration (M)
CARRIERE NORD	A1	12	9.6	1.7	195.84	1	195.84	12	9.6
	A3	6.7	12.2	1.7	138.96	1	138.96	6.7	24.2
	C13	5.5	4.2	1.7	39.27	1	39.27	5.5	8.4
	C14	7	4.4	1.7	52.36	1	52.36	0	7
	C16	6.5	4.7	1.7	51.94	1	51.94	6.5	9.4
	H20	11	2.4	1.7	44.88	1	44.88	11	4.8
	H21	10.5	2.3	1.7	41.01	1	41.01	10.5	4.6
TOTAL CARRIERE NORD					564.26	07	564.26	52.2	68
CARRIERE SUD	H8	9.5	4.5	1.7	72.68	2	145.36	9.5	9
	H15	10	2.8	1.7	47.60	2	95.20	10	2.8
	G28	8.5	4.7	1.7	67.92	1	67.92	8.5	9.4
	F9/inf	6.1	9.7	1.7	100.59	1	100.59	6.1	19.4
	F10/inf	5.2	9.7	1.7	85.75	1	85.75	5.2	19.4
TOTAL CARRIERE SUD					494.82	07	494.82	39.3	60
TOTAL GENERAL						14	1059.08	91.5	128

Tableau .10 : programme prévisionnelle de production (mois de janvier 2014).ENNAMRBRE (2014).

A noter que, la production en moellons de la station de concassage dans la carrière à blocs, est tirée à partir des rebuts et des blocs non marchands.

En effet, la production projetée pour l'année (2014) est de l'ordre de 60000 Tonnes de dérivés de marbre, soit 24500 m³ de rebut et blocs non marchands.

Le régime de travail se fait en deux (2) postes par jour, à raison de huit (08) heures par poste ; (06 h 00 à 13 h 30) et (13h00 à 20 h3 0), cinq jours par semaine, le taux moyen d'utilisation du temps de travail entre (60 et 80 %).

Les heures supplémentaires sont programmées exceptionnellement dans les week-ends, dans la mesure où des retards sont enregistrés dans certaines zones.

Le cycle d'exploitation pour une carrière fonctionnant en 2 postes de 8 heures, ne devra excéder 10 jours.

La production devra être suivie quotidiennement par le chef d'exploitation et les chefs de quartiers, et ce par des rapports et de réunions.

Des rapports de production devront être établis journalièrement, et seront analysés par les responsables de production, qui prendront les mesures adéquates pour pallier aux écarts dans la production.

À la fin de semaine, le chef d'exploitation devra tenir une réunion de coordination avec les chefs de quartiers et le responsable de maintenance, pour faire le point sur la production réalisée pendant la semaine, et préparer le programme de production pour la semaine suivante et régler d'éventuels problèmes techniques et de maintenance.

Les masses abattues pendant le mois sont enregistrées dans un registre, qui fera ressortir leurs dimensions et volume ainsi que l'année d'abattage.

Les blocs marchands devront comporter un numéro ainsi que l'année considérée et le front où la masse a été extraite (ex 930/02/A2).

Les blocs évacués journalièrement seront reportés dans un registre où sera précisée leur origine (production du mois ou stock des mois précédents).

À partir de ce registre des évacuations, on peut déterminer la production réalisée cumulée au moment considéré, en tenant compte du stock de début du mois.

D'après le rapport de l'ENNAMRBRE (2014), les définitions des objectifs réalisées durant l'année 2013 sont les suivant :

- Production annuelle (brute) : 36.000m³.
- Production annuelle (nette) :14.500 m³.
- Taux de récupération prévisionnelle : 40%.
- Réserves exploitables préparées : 95120 M³.

5. Calcul des réserves dans la carrière à blocs

Vu le type stratiforme du gisement, ainsi que les variations de la qualité du marbre en surface et en profondeur, des coupes géologiques ont été tracées perpendiculairement à la structure géologique et morphologique pour calculer les réserves. (Voir les traces des profils : **Fig.48**).

Cinq (05) blocs : A, B, C, D et E, ont été déterminés à partir de ces coupes géologiques.

- Le bloc A est délimité par la ligne de coupe-ligne I-I et I qui est la limite Nord du périmètre d=62 m.
- Le bloc B est délimité par les lignes de coupes I-I et II-II distantes de 62 m.
- Le bloc C est délimité par les lignes de coupes II-II et III-III distantes de 56 m.
- Le bloc D est délimité par les lignes de coupes III-III et IV-IV distantes de 63m.
- Le bloc E est délimité par les lignes de coupes IV-IV et IV qui est la limite Sud du périmètre distante de 63 m.

Chaque coupe a été décomposée en figures géométriques simples, en additionnant les surfaces des différentes figures géométriques élémentaires, on obtient la surface d'une coupe ou d'un panneau du bloc, les surfaces des différentes coupes ou panneaux sont alors récapitulés.

$$\text{Le volume du bloc} = \frac{(\text{surface } A + \text{surface } B)}{2} \times d$$

(A et B = surface des coupes, d = distance entre deux coupes : (délimitant le bloc ; le cas des blocs B, C et D). Dans le cas de bloc délimité par une seule ligne de coupe, on utilisera la

formule suivante $V = \frac{sA}{3} \times d$; (Blocs A et E).

Le volume global exploitable du gisement marbre Filfila est égal à la somme des volumes des 05 blocs, soit : 1 457 204,35 m³, soit : 1,45720435 millions de m³

Les réserves de marbre sont données en m³, (Volume x densité).

Année	Superficie du gisement	Catégorie	Désignations des marbres	Volume en m ³	Taux en %	Total des réserves m ³
2011 ORGM	6 ha permettre d'étude	B	Marbre gris claire à nuance blanchâtre	1 060135,22	72,75	1 457204,35
			Marbre blanc	144769,24	9,934	
			Marbre gris foncé	59559,85	6,723	
			Marbre saccharoïde	97978,17	4,087	
			Marbre réséda	48304,00	3,314	
			Marbre bleu	46457,70	3,188	

Tableau.11 : Réserves récents du marbre dans le gisement de Filfila (Secteur d'étude). ORGM (2011).

NB : Vu la carrière de marbre de Filfila à blocs est en état d'exploitation, la réserve est classée en catégorie B.

III. MÉTHODE D'EXPLOITATION DU MARBRE DANS LA CARRIÈRE D'EL-CHATT

La procédure de gestion de la production de dérivés de marbre dans la carrière d'El-Chatt (**Fig.67**), définit les conditions à réunir pour produire des différentes classes granulométriques répondant aux normes de qualité en vigueur, avec une utilisation rationnelle des moyens humains et matériels, et une application stricte des règles de sécurité de l'art minier et d'environnement.



Fig.67 : Photo de la carrière de dérivés de marbre (El-Chatt).

1. Méthode d'extraction dans la carrière d'El-Chatt

La méthode d'exploitation appliquée au gisement El-Chatt, est la méthode de fonçage transversale, avec un seul bord exploitable pour les gisements dressant, semi-dressant et à flanc de coteau.

Le principe de la méthode d'extraction dans cette carrière, comporte l'abattage de chaque front de taille par la détonation instantanée ou à microretard des lignes de trous de mine.

Ces trous sont régulièrement espacés, parallèles au front de taille et forés sur toute la hauteur du gradin, dépassant le niveau de la banquette d'environ un mètre.

Une partie importante de la charge d'explosif est placée au fond du trou, elle fait sauter le pied et fragmente la roche à la base, ensuite les charges réparties au-dessus, assurant la bonne fragmentation de la roche, cette dernière s'arrête soit à deux ou quatre mètres en dessous de la surface supérieure (en fonction de la profondeur du trou de mine), afin d'avoir un bourrage suffisant en terre humide bien damée.

Dans la carrière d'El-Chatt, les différents travaux miniers permettent l'extraction de moellons calibrés, qui sont traités au niveau de station de concassage se trouvant à proximité de cette carrière, pour la production de dérivés de marbre de différentes granulométries.

Les travaux d'extraction de marbre dans cette carrière, commencent généralement par les travaux de découverte, celle-ci présentent une grande importance dans les processus d'exploitation des carrières à moellons, ils doivent être planifiés au même titre que les travaux d'exploitation, car ils permettent de préparer l'assise utile à l'exploitation.

Les travaux de découverte consistent donc, à décapier les terrains meubles qui reposent sur l'assise utile par l'utilisation de bulldozers de grande puissance.

Les affleurements rocheux subissent au préalable des tirs à l'explosif, et les terrains meubles décapés sont chargés et transportés par des camions, depuis la carrière vers les zones de stockage, situées en dehors du périmètre des réserves géologiques de l'assise utile.

Les pistes et les tranchées d'accès doivent être réalisées en utilisant judicieusement les courbes de niveau pour obtenir une pente modérée de la piste.

En mois de janvier (2014), dans la carrière d'El-Chatt, les travaux de découvertures consistent à élargir l'accès du 4^{ème} gradin cote (Sud-est) de 10 m sur une longueur de 150 m.

La surface concernée par l'opération est délimitée par le trapèze (A₁, B₁, A₂, B₂).

Les coordonnées on système (UTM) des points A₁ ; B₁ ; A₂ ; B₂ sont données dans le tableau suivant : (ENNAMRBRE, 2014).

POINT	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
COORDONNÉES	X=606	X=621	X=579	X=586
UTM	Y=723	Y=716	Y=677	Y=674

Tableau.12 : localisation de la zone de découverte dans la carrière d'El-Chatt (2014).

Le volume de stérile à dégager est estimé par 11000 m³ et le but de ce travail est :

- Récupération de 84000 Tonne de réserve répartie sur les quatre gradins inférieurs.
- Élargir les accès des différent gradin afin de permettre aux équipements miniers de circuler librement et sans aucun risque.

À noter que ; le volume de stérile à dégager est composé essentiellement des roches dolomitisées, et des couches ferrugineuses dures, qui nécessitent pour leurs ameublements un débitage à l'explosif ou par moyens mécaniques.

Après avoir subi le décapage de la couverture de terrains stériles, l'exploitation du gisement doit être réalisée conformément au plan d'exploitation établi chaque année.

Les travaux d'exploitation doivent se réaliser aux niveaux des gradins, chacun dont la hauteur maximale de 15 m et une largeur de 10 m, l'accès à chaque gradin se fait par une piste d'une largeur minimale de 06 m.

L'assise utile du gisement de marbre fera l'objet donc, d'un cycle d'exploitation qui commence généralement par la foration, celle-ci est une opération importante qui permet la réalisation de plusieurs séries de trous, d'une profondeur égale à celle du gradin (en général 10 à 15 m), le diamètre des trous est en fonction de l'importance de la volée à réaliser.

La foration est réalisée par un chariot de foration, qui est alimenté en air comprimé par un compresseur de capacité 21 m³.

Après la foration, les trous sont bourrés à l'explosif, le tir à l'explosif permet d'obtenir une volée de marbres sous forme de moellons.

Un tir d'explosif provoque un choc, qui se traduit par un ébranlement du terrain et qui se propage à la manière d'un tremblement de terre, provoquant une perturbation dont l'intensité décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'origine de l'explosion.

Cette perturbation est constituée par une série d'oscillations autour d'une position d'équilibre, en s'amortissant, généralement l'explosion provoque l'ouverture de fissures anciennes, et la formation de nouvelles fissures.

La maille et le diamètre des trous de foration, ainsi que le dosage en explosif dans les trous, et la nature de l'explosif utilisé doivent permettre d'obtenir une production en moellons dont au moins (80 %), la forme et les dimensions des moellons sont assez importantes pour passer aux trémies de l'alimentateur du concasseur primaire.

En effet, les moellons dont les dimensions sont supérieures à celles des trémies seront rassemblés dans une zone de la carrière, pour faire l'objet d'une opération de débitage secondaire, soit par l'utilisation d'un brise roche, soit par pétardage à l'explosif.

D'une façon générale, les travaux de forage et de tir doivent assurer :

- Le degré nécessaire et la régularité de la fragmentation des roches.
- L'état normal de la base du gradin, c'est à dire une surface plate sans rebord.
- Une masse minière explosée avec la forme et les dimensions nécessaires.
- Action sismique sans danger pour des installations de concassage et l'environnement.
- Une grande sécurité du travail.

Les explosifs sont des mélanges de produits chimiques susceptibles de subir en un temps extrêmement court, une transformation accompagnée de forts dégagements de chaleur et de gaz, leurs effets sur le milieu voisin dépendent du volume du volume des gaz produits de la

quantité de chaleur dégagée, de la pression, de la température, et de la propagation de l'onde de choc dans le milieu environnant.

Pour la majorité des explosifs, la vitesse de détonation est de 1500 7500 m /s (400 pour la poudre noire en masse et 7800 ms pour la dynamite) et la chaleur d'explosion ou de transformation de l'explosive est d'environ 650 kcal /kg.

L'explosif le plus courant aux carrières est celle de la poudre noire, elle est composée de :

(75%) de nitrate de potassium, (10 %) de soufre, (15%) de charbon de bois.

La poudre noire qui est un explosif peu puissant, ne produisant pas une rupture franche est plus utilisée dans les carrières, car on désire obtenir de gros blocs pour des enrochements ou pour le débitage de la roche.

Dans la carrière d'El-Chatt, les chargements des trous par l'explosif est discontinu :

Anfomil → 80 à 90%
 Marmanit → 10 à 20%

<i>N</i> •	<i>Désignation</i>	<i>Nature</i>	<i>Résistance à l'eau</i>	<i>Dimension (Dxl) mm2</i>	<i>Poids (g)</i>	<i>Densité g/cm3</i>	<i>vitesse détonation (m/s)</i>
1	Marmanit III	Pulvérulent	Moyenne	50x610	1250	0.98	4500
2	Anfomil	granulat	Moyenne	SAC	25000	0.90	3000

Tableau.13 : Caractéristiques de l'explosif employé à la carrière d'El-Chatt.

Le dispositif pour réaliser la détonation dans la carrière d'El-Chatt, est constitué des éléments schématisés dans la **figure.68**.

Après le tir à l'explosif, les moellons répondant aux normes de traitement, sont chargés par l'intermédiaire des chargeuses à chenilles (de préférence), dans des camions de carrière de capacité supérieure à 20 tonnes, puis transportés jusqu'à la station de concassage.

Il faut prévoir un camion de réserve pour faire face aux éventuelles pannes des autres camions.

Le tonnage de moellons transportés chaque jour de la carrière vers la station, doit être journalièrement enregistré dans un registre ouvert spécialement à cet effet.

Les moellons seront stockés dans une grande plate-forme ou se trouve la trémie du concasseur primaire.

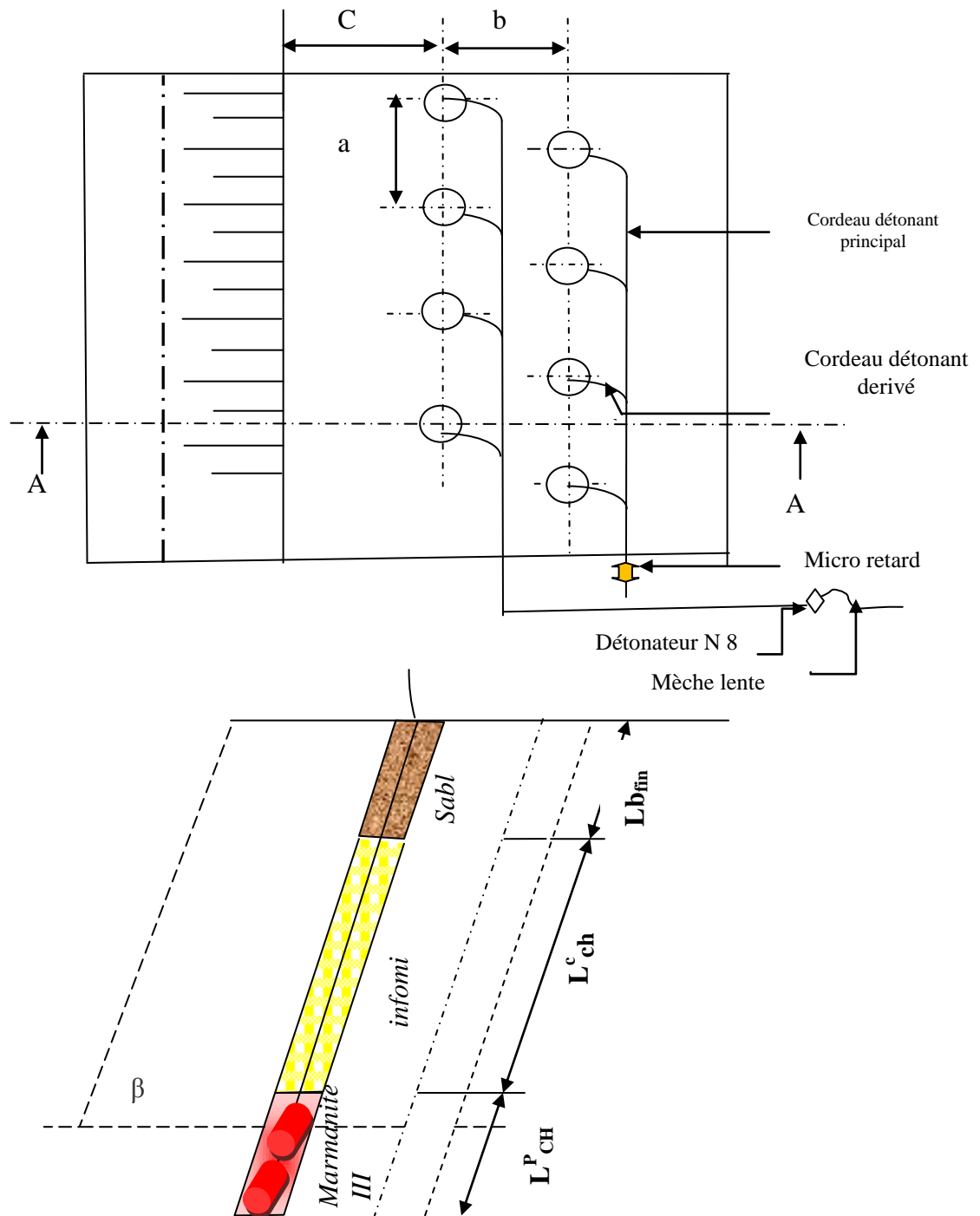


Fig.68 : Schéma de tir et structure de la charge sur une coupe transversale.

2. Processus de traitement des agrégats de marbre

La station de transformation est une chaîne d'équipements installée en série, qui transforme les moellons réceptionnés à partir des carrières, en produits finis de différentes classes granulométriques, les moellons sont traités selon 04 phases :

2.1. Phase de concassage

Le concassage est la distraction des roches préparés durant l'extraction, jusqu'à l'obtention des granulats de dimensions exigées et admissibles pour la phase de broyage.

Les moellons reçues sous forme de tout venant de 0÷850 mm, seront concassés et transportés par bande transporteuse jusqu'à un crible à deux étages où seront séparés :

Le (0÷5) mm : représente le stérile

Le (5÷100) mm : sera mis en stock tampon pour l'alimentation des deux stations secondaires Raffin et Dragon.

Le taux théorique de stérile après concassage est ($\approx 20\%$), le taux de récupération est de (80 %).

Le type de concasseur actuellement utilisé dans la carrière d'El-Chatt, est le concasseur à mâchoire simple ayant les caractéristiques suivantes :

- Dimension l'ouverture d'alimentation : 830 x 650 mm.
- L'ouverture de déchargement : 100 mm et débit horaire état neuf : 75 t/h.

2.2. Phase de broyage

Le broyage est la distraction des roches concassées, jusqu'à l'obtention des grains de dimensions nécessaires (5÷100 mm) et admissibles pour tous les processus technologiques : transport, criblage et stockage etc....

2.3. Phase de criblage

C'est le classement des granulats suivants leurs dimensions à l'aide des cribles, ces derniers à l'aide des mouvements vibrants transversaux des grillages métalliques, tôles perforés aux grilles.

Le criblage est donc, la phase finale du processus de transformation, qui consiste à la séparation des produits broyés en produits finis à commercialiser : 0/1,1/3,3/8,8/18.

2.4. Phase de transport à bande

Le transport des produits fragmentés à l'aide des convoyeurs à bandes ou bandes transporteuses assure de grandes débits d'une façon continue.

Produit (100%)	0/1 (35%)	1/3 (10%)	3/8 (15%)	8/18 (40%)
100000 T	35000	10000	15000	40000

Tableau.14 : Répartition de la production par granulométrie.

L'état vétuste de la station, ne nous permette pas de réaliser les objectifs assignés, elle nécessite la rénovation de certains organes.

Pour assurer la production de 100000 Tonne prévue en (2014), on prévoit la mise en service de la station BAIONI récupérée d'ALGRAN.

2.5. Stockage du produit

Les produits obtenus (poudre, poussière, granulats) sont stockés soit dans des sacs ou silos ou soit sous forme de tas à l'aire libre.

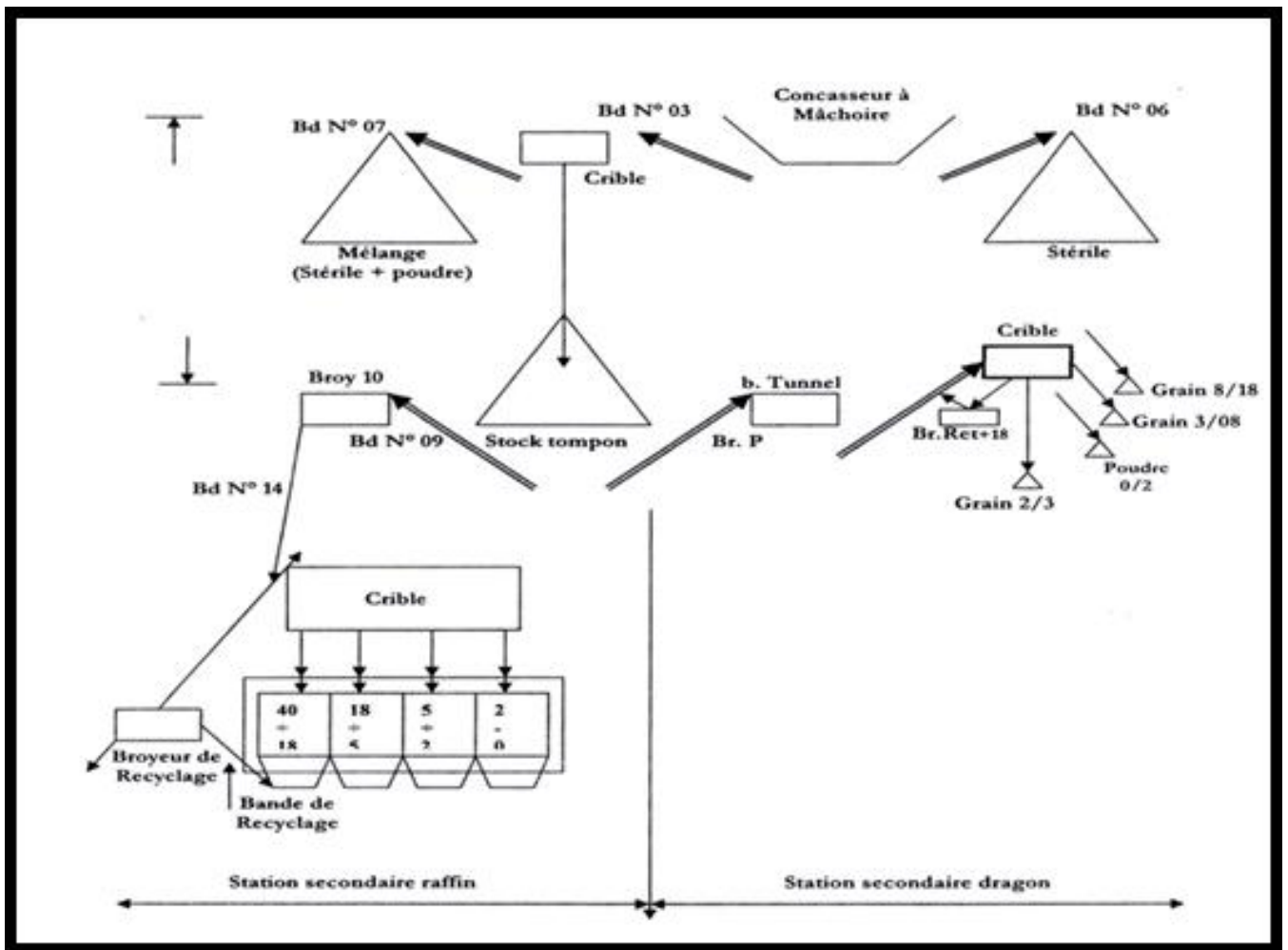


Fig.69 : Schéma de la station de concassage dans la carrière d'El-Chatt).

3. Travaux de développements

Les travaux de développement dans la carrière d'El-Chatt se déroulent en deux niveaux :

3.1. Au niveau supérieur

Les travaux de découpages, sont programmés afin de sécuriser les niveaux supérieurs de la carrière, et partager le chapeau de fer en gradin depuis le niveau 465 jusqu'au niveau 441.

La zone concernée par cette opération s'étale sur une superficie allant jusqu'à 3450 m².

Les volumes de stérile à enlever pour la création de chaque gradin sont représentés dans ce tableau :

N°Gradin	Niveau	Largeur (m)	Langueur(m)	Hauteur (m)	Volume de stérile à dégager (m ³)
4 ^{eme} Gradin N°457	465-457	30	50	8	12000
3 ^{eme} Gradin N°449	457-449	25	70	8	18000
2 ^{eme} Gradin N°441	449-44	15	150	8	44000

Tableau. 15 : volume de stériles à dégager lors de développements au niveau supérieur.

3.2. Au niveau de la fosse (351)

Consiste à créer trois gradins depuis le niveau 365 m jusqu'au niveau 348 m, afin de stabiliser le remblai sur le versant du stocke depuis des années (sur le flanc droit du tranche d'accès).

Les volumes à dégager pour la formation de chaque gradin sont représentés dans ce tableau :

gradin	niveaux	largeur(m)	longueur(m)	hauteur(m)	volume (m ³)
1	354-347	8	120	7	6720
2	361-354	8	70	7	3920
3	366-351	8	50	5	2000
total					12640

Tableau.16 : volume de stérile à dégager lors de développements au niveau de la fosse.

Les travaux qui viennent en suite, consistent à la poursuite de creusement des tranchées d'accès sur une distance de 100 m, le volume des stérile à déplacer est de 22500 m³.

Le volume à déplacer est : $v_1 + v_2 = 12640 + 22500 = 35140 \text{ m}^3$. (ENNAMRBRE, 2014).

Cette ouverture nous permettra d'accéder à 150000 m³ de réserve, soit 405000 T de marbre.

4. Travaux de production dans la carrière d'El-Chatt

Pour tous les travaux de production dans la carrière d'E-Chatt, il faut établir un tir de mine, le calcul des paramètres du tir est montré dans l'annexe n° : 6.

Mois	Node tir	Niveau Des travaux d'abattages	Longueur	largeur	hauteur	Poids volumique	Volume abattu (m ³)	Quantité en tonnes	Explosif (kg)		Accessoires			
									anfomil	marranit	cordeau détenant (m)	micro retard	mèche lente	détonateur n 8
Janv	1	4 ^{ème} gradin N 406	37	5.5	15	2.7	3010	8125	862.5	172.5	750	1	10	3
Févr	2	4 ^{ème} gradin	37	5.5	15	2.7	3010	8125	862.5	172.5	750	1	10	3
mars	3	3 ^{ème} gradin N391	48	5.5	15	2.7	3935	10625	1125	225	1000	2	10	3
Avril	4	3 ^{ème} gradin N391	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
Mais	5	2 ^{ème} gradin N376	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
juin	6	2 ^{ème} gradin	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
Juill	7	1 ^{ème} gradin N366	48	5.5	15	2.7	3935	10625	1125	225	1000	2	10	3
aout	8	1 ^{ème} gradin	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
sept	9	4 ^{ème} gradin	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
Oct	10	4 ^{ème} gradin	54	5.5	15	2.7	4398	11875	1237.5	247.5	1125	2	10	3
Nouv	11	fosse N351	37	5.5	15	2.7	3010	8125	862.5	172.5	750	1	10	3
Déc	12	fosse	37	5.5	15	2.7	3010	8125	862.5	172.5	750	1	10	3
Total							46298	125000	13125	2625	11750	20	120	36

Tableau .17 : Travaux d'abattage pour la production dans la carrière d'El-Chatt pour l'année(2013).ENNAMRBRE (2014).

5. Calcul des réserves dans la carrière d'El-Chatt

Le calcul des réserves du marbre estimées restant dans la carrière d'El-Chatt, a été faite en utilisant la méthode de bloc.

En considérant que chaque gradin représente un bloc séparé des autres gradins, ainsi, le gradin représente un bloc qui a les dimensions suivantes :

- La longueur du bloc est celle du gradin depuis le côté Sud jusqu'au côté Nord.
- La largeur représente la distance de l'arête supérieure du 5^{ème} gradin jusqu'à l'arête inférieure du gradin.

Donc, la superficie du gradin est le produit de sa hauteur et sa largeur.

Dans le tableau cité en bas, on montre seulement la superficie du bloc, qui rentre dans les calculs des réserves de la carrière d'El-Chatt.

Les réserves exploitables calculées, sont celles estimées restantes de ceux qui ont été exploitées depuis le début de l'exploitation.

N° DE GRADIN	Superficie Du Gradin en (m ²)	Longueur moyen du gradin en (m)	Volume du gradin en (m ³)	Volume en (t)
1 ^{ier}	375	150	56 250	151 875
2 ^{ème}	393	150	58 950	159 165
3 ^{ème}	420	145	60 900	164 430
4 ^{ème}	382.5	130	49 725	134 275.5
5 ^{ème}	225	100	22 500	60 750.0
TOTAL sur les gradins			248 325	670 495,5

Tableau.18 : les réserves exploitables calculées dans la carrière d'El-Chatt (2014).

Les réserves de la plateforme (la fosse), qui est actuellement le niveau 350 m (l'altitude de la plateforme actuelle), est calculée séparément avec la méthode de bloc.

La plateforme occupe une superficie de 10000 mètres carrés, et contient une réserve de 405000 tonne, elle est calculée comme suit :

- La surface de la plateforme est calculée par GPS et elle égale à 10000 m².
- La profondeur de la plateforme est examinée par la machine de foration, elle est prise en moyenne de 30m.

Donc, le volume de la plateforme actuelle est de 300 000 m³ (surface × profondeur), d'où alors les réserves de la plateforme (300 000 × 2.7), égale à 810 000 tonnes.

Donc, les réserves globales exploitables estimées restantes sont la somme des réserves restantes sur les gradins et celles de la plateforme :

Réserves estimées totales (la somme) = 810 000 + 670495.5 =1 480 495,5 tonnes.

NB : vu que la carrière de dérivés de marbre d'El-Chatt est encours d'exploitation, les réserves sont classées en catégorie **c1**. ENAMARBRE, (2014).

IV. CONCLUSION

Après avoir vu les différents travaux minières dans les deux carrières de marbre, nous proposons maintenant quelques recommandations pour leurs assurer une bonne gestion :

Au niveau de la carrière à blocs, les travaux d'exploitation pour l'année (2014) ont pour but d'extraction de 15000 m³ de blocs marchands, ce volume sera dégager à partir de 37500 m³ brut prévues à cet effet, dont le taux de récupération prévisionnel est de (40%). Cependant pour y arriver, les observations personnelles des travaux recommandés sont les suivants :

-Les travaux de développement doivent être entamés dans les temps et selon le programme établi pour les travaux préparatoires et sans plus tarder.

-Le service maintenance doit assurer le bon fonctionnement des équipements de production.

-Effectuer le déblaiement complet (travaux de découverte) sur le toit du gisement, ces travaux permettront de déterminer l'extension du marbre et niveler les superficies d'extension, qui permettra à leur tour d'englober une surface d'exploitation plus grande.

-En exploitant certain affleurement et de petites carrières autour du gisement, ceci causera un préjudice au gisement et aux marbres de haute qualité non décelés dans la zone d'extension.

Au niveau de la carrière d'El-Chat, malgré les efforts déployés pour améliorer la production en quantité et en qualité, cette carrière n'a pas arrivée à satisfaire les clients, à cause des cumuls de retard en travaux de découvertures et de préparatoires au niveau de la carrière et la vétusté du matériel de production. Donc pour assurer une exploitation effective et justifiée avec une récupération maximale de la matière première, on propose :

-D'établir une carte topographique du quartier d'El-Chat dans le système des coordonnées réelles, pour établir le projet de découverte et d'exploitation des marbres, déblais, routes...

-D'effectuer les travaux de découverte vers l'Est de la route à une distance de 60 m, jusqu'à la terminaison des marbres, après avoir exécuter ces travaux nous aurons les bords stables au Nord , et au Nord-ouest et sur le flanc Est du chantier, ce qui permettra l'exploitation à partir des gradins supérieure, qui assurera à son tour l'exploitation totale des réserves du chantier d'El-Chat jusqu'au repère de +300m.

-Faire des bonnes interprétations des coupes géologiques et les logs de sondages réalisés, avant chaque phase d'exploitation, pour ne pas provoquer une fermeture de la carrière.

-Procéder du capotage ou la mise en dépression éventuelle des installations de traitement les pour plus productrice de poussières, ceci pour protéger la santé des ouvrières.

-Remise en état de toutes les surfaces affectées par l'exploitation, par l'épandage de la terre végétale, notamment celles touchées par les travaux de décapage.



CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les différents travaux réalisés au niveau du gisement de marbre de Filfila, en vue d'élaborer un mémoire de magister option "ressources minérales et énergétiques", ont permis de dégager les résultats suivant :

Sur le plan géomorphologique, le gisement de marbre de Filfila, se localise à 25 km à l'Est de Skikda, il est encaissé dans un relief très accidenté (580 m), à la proximité de la ligne de partage des eaux de la crête de Filfila. L'expérience de l'exploitation des carrières a montré que ; les conditions géomorphologiques sont favorables pour l'exploitation à ciel ouvert.

Sur le plan géologique régional, la région d'étude fait partie de la zone plissée Alpine en Algérie du Nord, plus particulièrement au bloc paraautochtone de la petite Kabylie. La partie Ouest de la région est représentée par la série du Paléozoïque inférieur, qui chevauche le Jurassique, le Crétacé et le granite du Miocène, ceux-ci représente le paraautochtone du Filfila. Un tel contexte géologique régional est un métallotecte contribuant à la genèse du marbre.

Sur le plan géologique local, le gisement de marbre de Filfila, est attribué aux formations Mésozoïques constituant le bloc de para-autochtone de la petite Kabylie. Ce gisement est associé avec la formation du Lias inférieur, qui est constituée par des calcaires avec des restes de brachiopodes et des niveaux de dolomies, le contact d'une partie de celle-ci avec les intrusions granitiques, donne ainsi, l'assise utile marbre et les skarns. La puissance de l'assise de marbre est de 180 à 200 m, avec 1100 m de longueur et 300 m de largeur.

La structure du gisement est monoclinale à direction Nord-est et sud-est, à pendage Nord-est ou Est sous l'angle de 20-40°. Le gisement est affecté par des accidents disjonctifs, ces accidents sont concordants et transversaux par rapport à l'orientation générale du gisement. La plupart des accidents ont le pendage abrupt, et le long de ces accidents, on note la bréchification des marbres et le développement des filons de calcite et des karsts.

L'étude minéralogique du marbre montre que ; la roche est reconnue comme étant un calcaire métamorphique, se caractérise par la prédominance de la calcite (99 à 94%), associé à d'autres minéraux. D'après sa composition pétrographique, l'assise utile est assez homogène, elle est représentée habituellement par les marbres et les calcaires marmorisés microcristallins avec la texture massive, la structure est essentiellement microcristalline ou granoblastique, plus rarement cryptocristalline.

L'étude géochimique des quarante échantillons, confirme une seule nature de marbre, on pourrait cependant, supposer une stabilité de la teneur en CaO avec la profondeur.

Les marbres sont caractérisés par une petite quantité en oxydes des autres éléments, ceci est typique pour les gisements des marbres.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les marbres du chantier d'El-Chatt, ont en générale une structure granuloblastique et hétéroblastique. Dans l'agrégat carbonaté sont dispersés des grains isométriques de quartz, de micas, de graphite, de pyrite, de l'hématite et de galène, la teneur de ces minéraux accessoires n'est pas considérables et n'influe pas négativement sur la qualité des marbres (la blancheur).

En effet, la teneur de CaO dans ces marbres varie de (74.32%) à (98.98%), ils constituent une bonne matière première pour la production des dérivés de marbre : débris, farine, poudre.

La reconnaissance géophysique dans la carrière de Filfila, à la base des pseudo-sections de résistivité obtenues, on peut déduire une évolution des résistivités apparentes latéralement et en profondeur, surtout au niveau du profil 20, ce qui explique la mise en place des formations résistantes compactes (marbre), parfois les marbres sont en contact avec des calcaires et des karsts (faible résistivité). Les sondages électriques réalisés au bord de la carrière d'El-Chatt, montrent la présence d'accidents, dont un seul est net et deux autres sont probables, ces accidents servent d'écran ou zone d'amortissement dans la direction du développement de l'onde explosive, et qui bloquent la fissuration dans les marbres de Filfila.

En ce qui concerne les propriétés décoratives, le marbre de Filfila possède un haut degré des propriétés décoratives, mais il n'existe pas une régularité nette de répartition des variétés en couleur, la principale masse de l'assise utile, est constituée par les variétés gris claires à nuance blanchâtre : (72,75%) et blanche : (9,934%), les autres variétés sont peu importantes : marbre gris foncé (6,723%), marbre saccharoïde (4,087%), marbre réséda (3,314%), marbre bleu (3,188%). Toutes ses caractéristiques sont similaires avec les marbres blancs de l'Italie.

Les marbres d'El-Chatt, sont représentés par des marbres blanc plus dominant, marbre dolomitisé grises jaunâtre et gris foncés, d'autre variétés (rose, saccharoïde, réséda) se rencontrent d'une manière sporadique, le noir et le blanc statuaire ne se rencontrent nul part.

L'étude de la fracturation au niveau de la carrière de Filfila a montré que ; la densité de la fracturation diminue en allant des niveaux supérieurs vers les niveaux inférieurs, dans les niveaux supérieurs, on note une fracturation conjuguée, deux familles NE-SW et NE-SE, qui se localisent à la périphérie du massif, dans les niveaux inférieurs on note une seule famille à NE-SW qui se localise au centre du massif.

En effet, la distribution de la fracturation sur la rosace quantitative et l'histogramme des directions globales montre que ; deux familles de fractures se démarquent de l'ensemble.

Il s'agit de la famille de fractures N040°-050° E qui dépasse les (21 %) en fréquence, et de la famille de fractures N050°-060°E qui dépasse les (32 %) en fréquence, une troisième famille N120°-130°E est aussi apparaît, mais avec une fréquence faible qui ne dépasse pas les (10%).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les fractures les plus importantes mesurent 35 m environ. Plus de (91%) des fractures ont une taille inférieure à 10 m, seulement (3%) des fractures ont une taille supérieure à 15 m.

La distance entre les fractures est de 1,0 mètre et dans les zones de faible densité de fracturation la distance varie entre 5,0 m et plus. Les marbres répondent donc aux exigences dimensionnelles des fabricants, ils sont utilisables pour l'obtention des blocs du premier choix avec les paramètres de 2,5 x 1,6 x 1,6 et de 3,0 x 1,6 x 1,6. (Volume : 4 à 7 m³).

Dans la carrière d'El-Chatt, la superposition la plus stable de l'assise de marbre est vers le Sud et Sud-ouest du site, où il se raccorde avec le gisement principale de Filfila.

L'étude des propriétés physico-mécaniques a montré que ; les valeurs de densité et de porosité de la masse générale des échantillons, témoignent de la structure assez compacte et homogène de l'assise utile, dans tous les échantillons la valeur de l'absorption d'eau est variée de (0,08 à 0,20 %). D'après cet indice les roches en question, sont utilisables pour l'obtention de tous les types des matériaux de revêtement.

Le marbre du chantier d'El-Chatt représente le prolongement direct vers le Nord du gisement principal de Filfila, il devrait donc continuer en composition d'où aussi en qualité.

L'exploitation du gisement en question, permettra de créer la base fiable pour la production des matériaux de revêtements et de construction en Algérie, d'après les réserves estimées à la carrière de Filfila, on peut récupérer 10066 masses de marbre d'une longueur de 10 m, et une largeur de 5 m, et une hauteur de 2,9 m. La production annuelle de l'ENAMARBRE est de l'ordre de 30 000 m³, cela signifie que les réserves assureront un rendement durant 49 ans.

Au terme de ce travail, ce que je propose comme une étude complémentaire, est celle de la durabilité des matériaux, par ce que il ne suffit pas d'étudier la matière séparément pour dire elle est de bonne qualité, mais elle nécessite également une étude de l'interaction intervenant avec le temps entre l'ensemble des composants d'un élément de construction, ce qui conditionne leur durée de vie.

En effet, pour évaluer la durée de vie du marbre de Filfila, il est indispensable de connaître dans le détail, les mécanismes de détérioration rencontrés dans l'environnement de sa mise en œuvre, comme : humidité relative, température, précipitations, concentration d'agents agressifs... et il faut en outre prendre en considération les variations futures possibles de ces différents paramètres. Ainsi, on peut envisager que l'Europe connaît une acidification croissante de son environnement, susceptible d'affecter la longévité des ouvrages dont le marbre est l'un des matériaux constitutifs.

Enfin, le marbre de Filfila, avec toutes ses variétés et couleurs est très apprécié en Europe (Espagne, Italie, France) et dans les pays du Moyen Orient.



Bibliographie

Bibliographie

Afia M. S. (1969) : Recherche du marbre et pierre décoratives, étude géologique du gisement de Filfila, 98 p.

Belabed F. Zohra. (2007) : Étude géologique, pétrographique et géochimique du marbre de Filfila. Mémoire d'ingénieur, université Badji Mokhtar, Annaba, 112p.

Bendaoud M. (2013) : Essais sur carreaux de mosaïque de marbre monocouche (sur la base de la norme NFEN 13748-1).CNERIB, Alger, n° 150, 5P.

Bouabsa L., Marignac C., Cuney M. et Gherbi C. (2005) : Le complexe granitique langhien du Filfila (Nord-est constantinois, Algérie) : Nouvelles données minéralogique et géochimiques et conséquences pétrologiques. Bull. Serv. Géol, Algérie, vol.16, n°1,15-53.

Bouillin J. P. (1977) : Géologie alpine de petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El - Milia. Thèse Doctorat, Univ. P et M. Curie, 511 p.

Bouillin J. P. (1986) : Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. Bulletin de la société géologique de France.8, t. II, 547-558.

Bourefis A. (1994) : Étude pétrographique, minéralogique et métallogénique des skarns du Djebel Filfila (Skikda, Algérie). Thèse de magistère, université Mentouri. Constantine, 245p.

Bourefis A. (2007) : Pétrologie, minéralogie et géochimie des skarns, granites et cornéennes du Djebel Filfila(skikda, algerie).Thèse de doctorat d'état, univ. Mentouri. Constantine, 201p.

Chabbi R. (2007):Étude pétrographique, minéralogique et géochimique des granitoïdes et des pegmatites à MR associées, l'exemple du massif de Filfila, mém. M, uni.B.m,Annaba, 121p.

Chaid R. (2011) : Effet des déchets de marbre sur la durabilité des bétons en milieu marin.XXIXe rencontres universitaires de génie civil, Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011, 43-52.

Coquand H. (1854) : Description géologique de la province de Constantine. Mémoires de la société géologique de France, 2^{ème} série, tome. V, paris, première partie, 1-155.

Dalloni M. (1920) : La structure de la chaîne numidique. Observations sur les prétendus charriages de la région de Constantine. bull.soc.geol.fr. paris, 187-195.

Deleau P. (1935) : Présence du valangéin fossilifère au Djebel Safia (constantine) .C.R.Somm. Soc. Geol. Fr. Paris.159p.

Dominique T. (2014) : Le marbre de carrare utilisé à brou, association. Les amis du pays de la pierre, Montpellier, résumé, 9p.

Dubourdiou G., Durozoy G. (1950) : Observations tectonique dans les environs de Tébessa et de l'Ouenza (Algérie). Bull. Soc. Géol. Fr., 5^{ème} série, t. 20, 257-266.

Durand-Delga M. (1969) : Mise au point sur la structure du Nord-est de la Berbérie. Publication, service géologique d'Algérie, n°39, 89-131.

- Durand-Delga M., Fontboté J. M. (1980)** : Le cadre structural de la méditerranée occidentale. Mémoire du bureau de recherches géologiques et minières, 115p.
- Durand Delga M., Raoult J. F. et Villa J. M. (1967)** : Situation en fenêtre du secondaire du Djebel Safia (Nord- Constantinois, Algérie).C. R. Som, séances de, Soc. Géol. France, 101p.
- ENNAMRBRE. (2014)** : Rapports d'exploitation des carrières de Filfila et d'El-Chatt, inédite.
- EREM. (1987)** : Rapport sur la réalisation des travaux de prospection détaillée sur le chantier de marbre d'El-Chatt, inédite, 54 p.
- El-Amrani Iz., El-Azhari H. (2009)** : Évaluation des propriétés physico-mécaniques des pierres de construction du Maroc, université Mohammed V-Agdal, bulletin de l'institut scientifique. Rabat, section sciences de la terre, n° 31, 41-54.
- Ficheur E. (1903)** : Les terrains anciens et l'Éocène métamorphique dans les massifs numidiens. Bulltin. Société géologique de France, paris, série. n°4, t. III, 407-431.
- Fougnot J. (1990)** : Le magmatisme Miocène du littoral Nord- Constantinois (Algérie), caractères, origine signification .Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Lorraine, 358 p.
- Gharbi C. (1998)** : Caractérisation pétrologique, géochimique et métamorphique des leucogranites très évoluées du Filfila (Skikda). Thèse de Magister, univ. B.M. Annaba, 164p.
- Glangeaud L. (1933)** : Étude pétrographique et minéralogique de la laccolite post-Burdigalien du Djebel Arroudjaoud (Alger). Bull. S. G.F. Paris, 5^{ème} série, t.III, 367-379.
- Göran F. (1992)** : Évaluation de la durabilité et de la durée de vie des matériaux de construction : principes et méthodes. Lund institute of technology, sweden, 44p.
- Joleaud L. (1914)** : Feuille au 50.000^{ème} Philippeville, n° 14, avec notice explicative, publication .service. Carte géologique. Algérie.
- Kadirov A. (1980)** : Rapport sur les résultats de travaux de prospection préliminaire sur le chantier d'El-Chatt du gisement de Filfila, 47 p.
- Lemoy C. (1969)** : Contribution à l'étude géologique du massif du Filfila (Algérie Nord-orientale). Stratigraphie des unités allochtones ; structure et métamorphisme du massif. Thèse de doctorat. 3^{ème} Cycle, université de Nancy, France, 95 p.
- Mackenzie W.S. W., Yardley B.W.D., et Guilford C. (1990)**: Atlas of metamorphic rocks and their textures.Department of geology, faculty of science.Chulongkorn, Uni. Uk, 120 p.
- Maury P., et al. (2000)**: Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breaks off. C. R de l'Académie des sciences, sé. 2A, Fr, 331p.
- Ouabadi A. (1994)** : Pétrologie, géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap Bougaroun, Beni-Toufout et Filfila) d'Algérie Nord-orientale. Thèse de doctorat d'état, université de Rennes I, France I, 257 p.

- Ouchefouni A, Bououden D. (2012).** Étude géologique et substances utiles non métalliques du massif de Filfila (skikda). Mémoire d'ingénieur, université, Badji Mokhtar, Annaba, 91p.
- ORGM. (2011)** : Rapport d'exploration du gisement de marbre en bloc de Djebel Filfila. Inédit, 102 p.
- Perrin C. (1969)** : Contribution à l'étude géologique du massif du Filfila (Algérie Nord-orientale) : stratigraphie et sédimentologie de la série mésozoïque de l'unité inférieure. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Nancy, ronéot, 102 p, 24 figure, 23 planches.
- Phan K.D. (1969)** : Skarns et minéralisations associées. Chron. Mines. Rech. Minières, 292-311 et 339-362.
- Philipp R. (2009)** : Marbre. Association suisse de la pierre naturelle, 4p.
- Panet M., Tourenq C. (1971)** : Les essais de granulats. Connaissances actuelles et orientation des recherches, la revue générale des routes, 108 p.
- Foucault A., Raoult J. F. (2005)** : "Dictionnaire de Géologie", Dunod, 6^{ème} édition, 355 p.
- Raoult J. F. (1974)** : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord - Constantinois, Algérie). Mém. Soc. Géol. Fr, N. S, t. L III, n°121, 164 p.
- Romanovsky S. (1991)** : Rapport final sur la prospection complémentaire des marbres en bloc du gisement de Filfila. Inédite.
- Roubault M. (1934)** : La Kabylie de Collo, étude géologique. Thèse de doctorat d'état. Université de Paris, service des cartes géologiques d'Algérie, n°10, 272 p.
- Semroud B. (1970)** : Étude pétrographique du granite du Filfila (Skikda). Thèse de doctorat. 3^{ème} cycle, université d'Alger, 131p.
- Tchekhovitch V.D. (1971)** : Carte géologique de l'Algérie du Nord à 1/50 000. Filfila. N°15.
- Termier P. (1902)** : Sur le granite alcalin du Filfila. C. R. Acad. Sci, t. 134, 371-373.
- Villa J.M. (1980)** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat, Sciences, université Paris VI, 3 vol, 663 p.
- White A. J. R., Chappell B. W. (1984)** : Granitoid types and their distribution in the Lanchlan Fold Belt, southeastem Australia. Géol. Soc. Am. Mem, 159, 21-34.
- Wildi W. (1983)** : La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. géog. Phys, (24), 3, 201-297.
- Winkler H. G. F. (1974)**: Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer Verlag New York Inc.
- Zimmermann J. L., Penven M. J. (1986)** : Mise en évidence par la méthode potassium-argon d'un Age Langhien pour le plutonisme calco-alcalin de la Kabylie de Collo (Algérie). Compte rendus. Académie des sciences. Paris, 403-406.



LES ANNEXES

ANNEXE N° :1 : Les normes URSS en vue d'utiliser le marbre dans le revêtement

Les normes URSS du marbre en tant que une matière de construction, sont déterminées par Romanosky S. en (1991).

La substance de marbre utilisée pour l'obtention des matériaux de revêtements, doit répondre aux exigences suivantes :

➤ **Exigences physico-mécaniques :**

Caractéristiques	Exigences
Résistance à la compression	> 400 kg f/cm ²
Poids volumique	plus de 2.1 g/cm ³
Absorption d'eau	Pas plus de 30%
Densité	≥2,6 kg/cm ³
Coefficient d'absorption	≤0,75%
Module de rupture	>70 kg/cm ²

➤ **Exigences chimiques :**

Éléments en %	Teneurs en %
SiO₂	<1%
Al₂O₃	<1%
Fe₂O₃	<1%
TiO₂	<1%
CaO	>50%
MgO	>1%
Na₂O	<1%
K₂O	<1%
MnO	<1%

NB : Il est indésirable la présence des petites intercalations de silice et des formations plus durs ou plus tendre qui seraient corrodés lors du sciage des blocs, du polissage de la surface, ce qui entrave le traitement de la pierre.

Généralement on note dans le marbre la présence de quartz, graphite, hématite, pyrite, limonite, chlorite, feldspath, serpentine...la teneur de ces éléments ne dépasse pas (1%), par fois la teneur en quartz atteint (20%) à et même (40%).

La teneur en sulfates (SO₃) doit être inférieure à (0,2 %), si SO₃ est supérieure à (0,08 %).

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène.

➤ **Exigences dimensionnelles**

La fracturation joue le rôle essentiel, car c'est elle qui limite les dimensions des blocs utilisables (bloc unitaire) dans un domaine où il importe de disposer de surfaces de grandes dimensions, ce qui détermine le rendement de l'exploitation (rapport entre le volume de blocs marchands et de matériau brut extrait). Ce rendement doit être, en règle générale, au moins égale à (50%).

Les plaques fabriquées à partir du marbre dont les fissures visibles ne doit pas dépasser un tiers de leur largeur.

Les dimensions des blocs obtenus à partir des marbres pour la production des matériaux de revêtement sont les suivants :

Bloc de marbre	Longueur en (m)	Largeur en (m)	Hauteur en (m)
	0,25 à 3,5	0,2 à 2	0,2 à 2

En fonction de volume les blocs se divisent en 5 groupes :

Roche	Volume du bloc pour chaque groupe en m ³				
	I	II	III	IV	V
Marbre blanc	> 4,5 à 8	>2 à 4,5	> 1 à 2	> 0,4 à 1	> 0,01 à 0,4
Marbre en couleurs	> 4,5 à 6	>2 à 4,5	> 0,7 à 2	> 0,4 à 0,7	> 0,01 à 0,4
Calcaire	> 4,5 à 6	>2 à 4,5	> 1 à 2,5	> 0,4 à 1	> 0,01 à 0,4

Les plaques de revêtements sciées à partir des blocs de marbre, en fonction de leur largeur, se divisent en 5 groupes dont les dimensions limites doivent correspondre à celles présentées dans le tableau ci-après :

Groupe de plaque en fonction de leur largeur	Largeur, mm	Longueur, mm	Épaisseur, mm
I	> 800 à 1200	Non moins de la largeur mais pas plus de 1500	20 ; 25 ; 30
II	600 à 800		20 ; 25 ; 30
III	300 à 600		10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30
IV	150 à 300		10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30
Bande et carreaux	20 à 150		10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30

LES ANNEXES

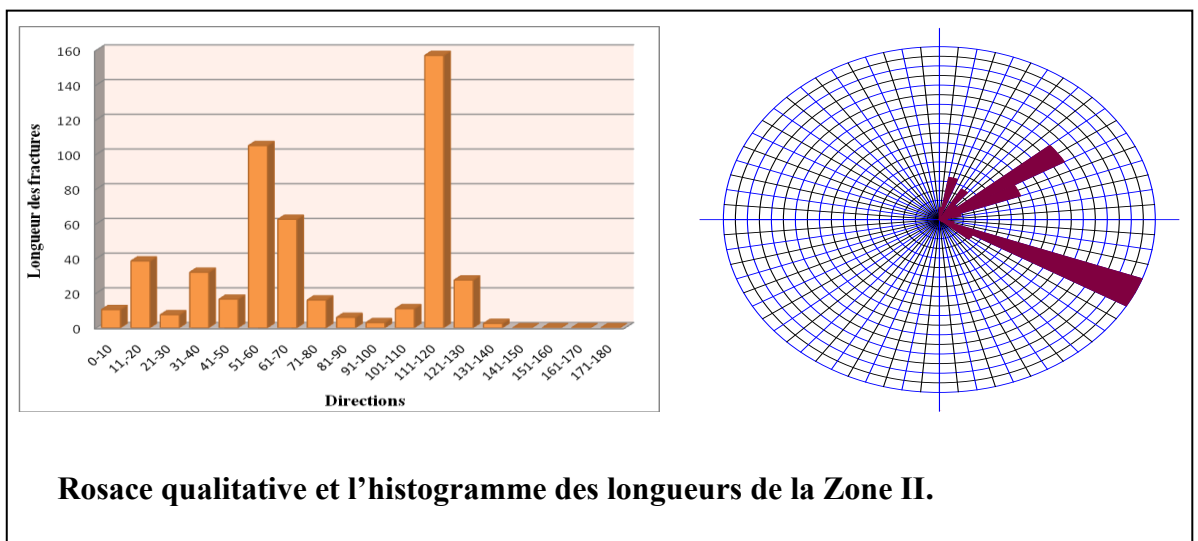
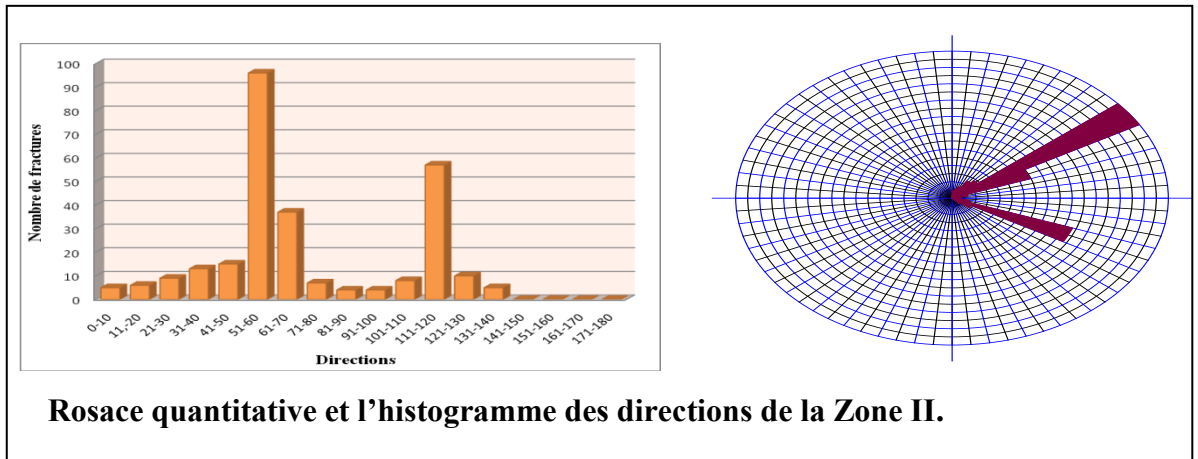
n°	D	L	n°	D	L	n°	D	L
793	165	2	837	055	4	881	055	5
794	135	3	838	060	4	882	050	2
795	050	10	839	055	4	883	055	10
796	050	10	840	060	10	884	060	10
797	051	10	841	060	2	885	065	5
798	051	10	842	040	4	886	040	5
799	051	10	843	045	4	887	060	5
800	051	10	844	045	4	888	060	5
801	051	10	845	048	10	889	065	5
802	051	10	846	050	4	890	065	5
803	051	10	847	050	10	891	045	10
804	051	10	848	060	2	892	095	10
805	051	10	849	060	2	893	045	10
806	051	10	850	050	2	894	045	10
807	051	10	851	040	10	895	045	10
808	045	10	852	040	5	896	045	10
809	045	10	853	045	5	897	043	10
810	050	3	854	050	10	898	043	10
811	048	2	855	055	10	899	050	10
812	048	2	856	045	10	900	050	10
813	050	2	857	050	5	901	050	10
814	030	10	858	050	5	902	050	10
815	040	2	859	050	10	903	050	10
816	050	2	860	050	10	904	050	10
817	050	2	861	050	10	905	050	10
818	045	2	862	055	11	906	085	10
819	050	4	863	045	10	907	050	10
820	040	4	864	050	10	908	050	10
821	060	4	865	050	5	909	050	10
822	045	5	866	040	5	910	085	10
823	050	4	867	045	5	911	085	10
824	045	4	868	050	5	912	075	10
825	052	4	869	045	5	913	075	10
826	040	4	870	045	5	914	080	10
827	035	4	871	050	5	915	070	10
828	045	2	872	050	5	916	075	10
829	050	10	873	045	5	917	055	10
830	045	2	874	050	5	918	055	10
831	040	2	875	050	2	919	055	10
832	045	2	876	060	2	920	055	10
833	025	2	877	055	1	921	055	10
834	043	3	878	050	2	922	020	10
835	055	4	879	055	3	923	040	10
836	060	4	880	050	5	924	050	10

n°	D	L
925	045	10
926	058	10
927	045	10
928	050	10
929	050	10
930	050	10
931	050	10
932	050	10
933	050	10
934	050	10
935	050	10
936	050	10
937	050	10
938	050	10
939	050	10
940	150	30
941	042	10
942	090	5
943	045	5
944	060	5
945	025	5
946	025	5
947	170	5
948	170	10
949	100	5
950	100	5
951	095	5
952	062	10
953	075	10
954	050	10
955	010	3
956	100	10
957	100	10
958	065	5
959	065	5
960	045	10
961	045	7
962	055	2
963	150	2
964	015	2
965	070	2
966	070	2
967	070	2
968	065	2

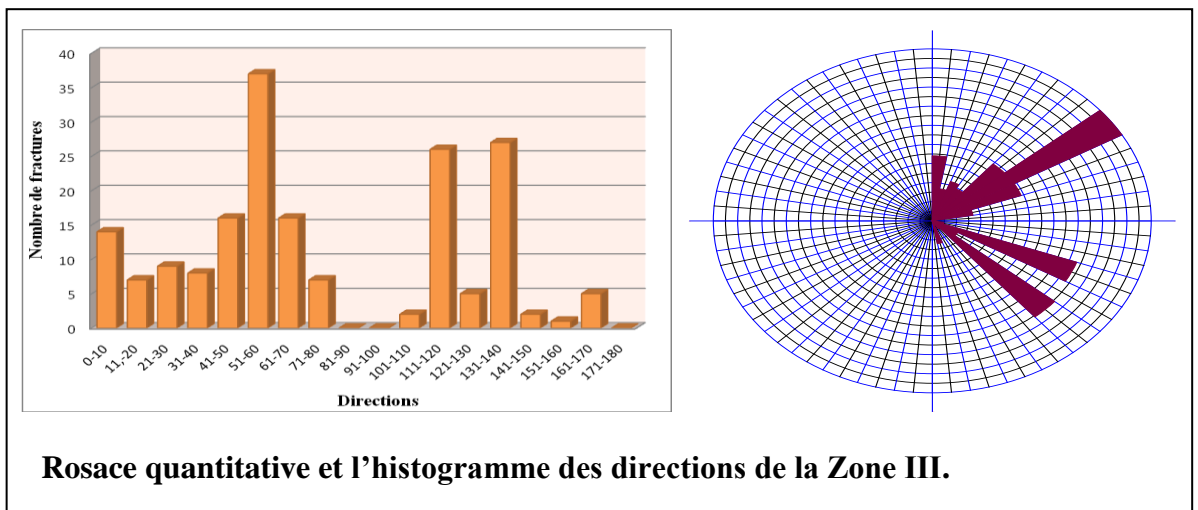
ANNEXE N° 3 :

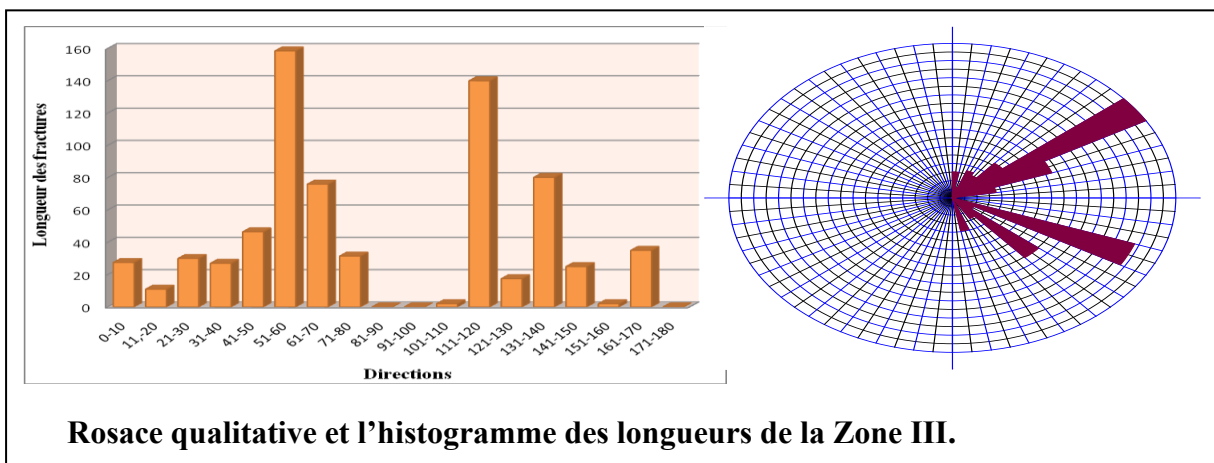
**Analyse quantitative et qualitative de la fracturation
(Zones : ii, iii, iv, v, vi) dans la carrière de Filfila**

➤ **La Zone II**

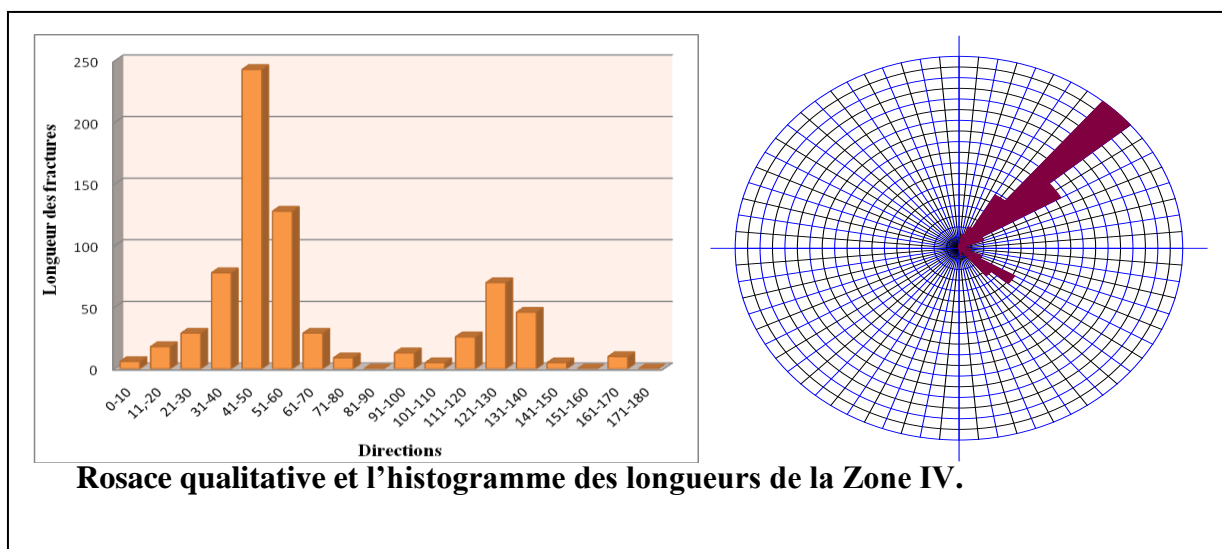
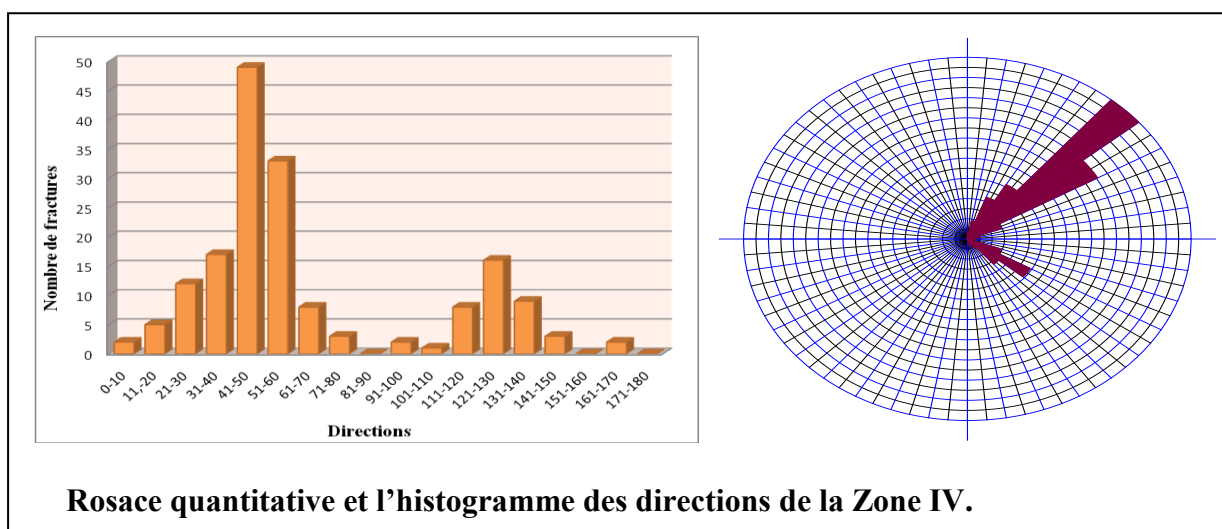


➤ **La Zone III**

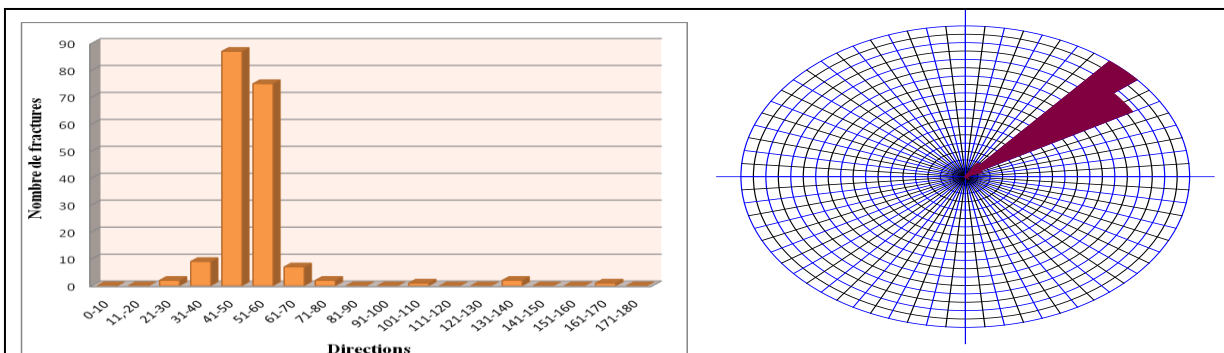




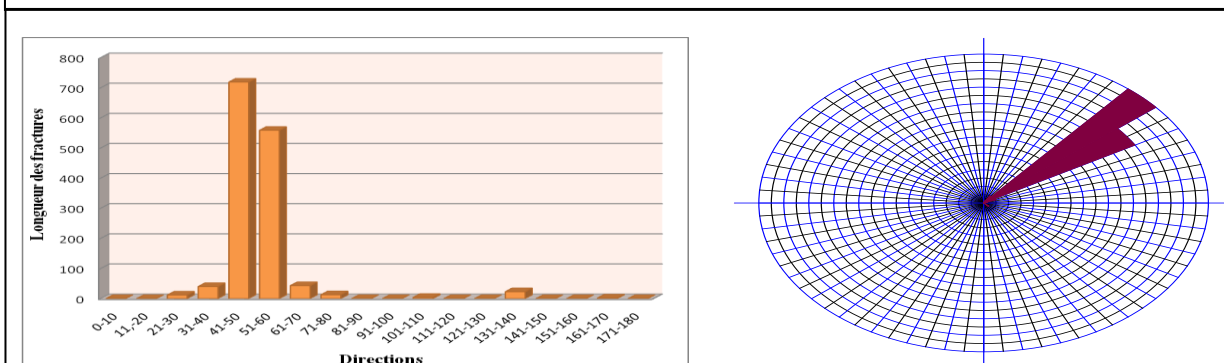
➤ La Zone IV



➤ La Zone V

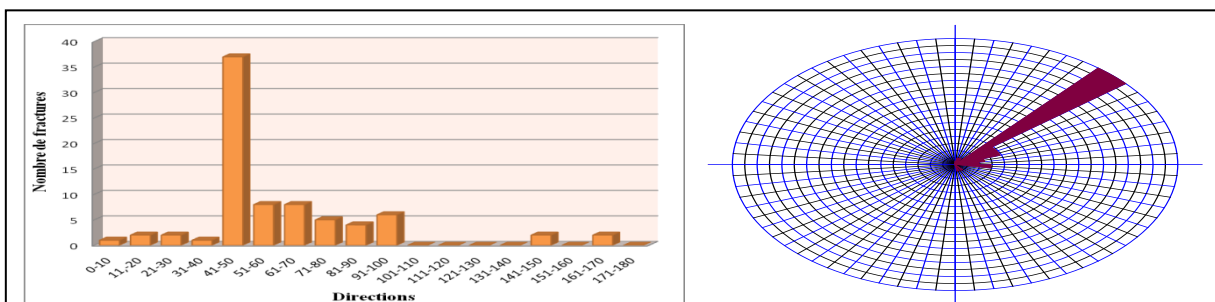


Rosace quantitative et l’histogramme des directions de la Zone V.

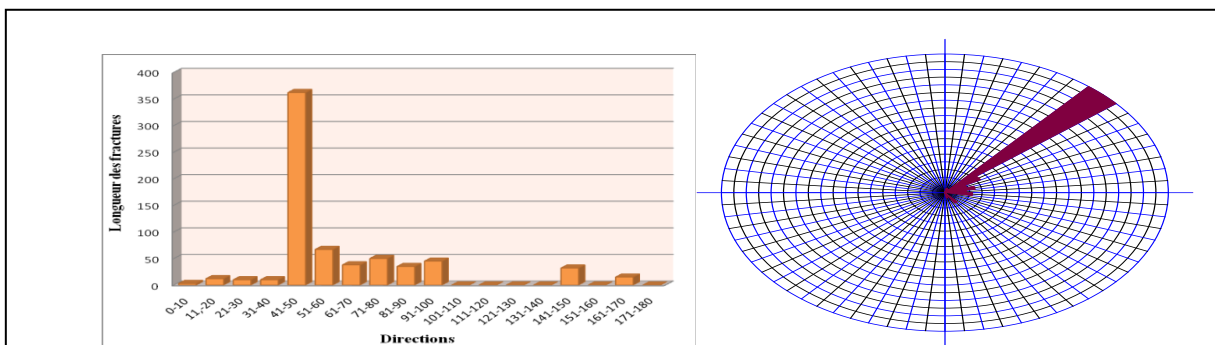


Rosace qualitative et l’histogramme des longueurs de la Zone V.

La Zone VI



Rosace quantitative et l’histogramme des directions de la Zone VI.



Rosace qualitative et l’histogramme des longueurs de la Zone VI.

ANNEXE N° 4 : Propriétés physico-mécaniques du marbre de Filfila

Ech.n°MP-02	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
01	2,69	2,70	0,37	0,13	631	485
02	2,69		0,37	0,13	879	561
03	//		//	//	//	//
Moyenne	2,69		0,37	0,13	755	523
Broyabilité en %		66,76				
Propreté superficielle en %		0,15				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	44,42	36,76	30,00	//	
Los angeles %	LA	//	//	//	32,56	

Ech. n° MP-03	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
01	2,68	2,70	0,74	0,12	1058	816
02	2,68		0,74	0,19	708	722
03	2,68		0,74	0,13	656	712
Moyenne	2,68		0,74	0,15	807	750
Broyabilité en %		40,40				
Propreté superficielle en %		0,12				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	38,80	28,40	22,60	//	
Los angeles %	LA	//	//	//	28,90	

Ech.n°NP-04	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
01	2,68	2,70	0,74	0,32	532	555
02	2,68		0,74	0,14	803	688
03	2,68		0,74	0,18	1049	695
Moyenne	2,68		0,74	0,21	795	646
Broyabilité en %		73,70				
Propreté superficielle en %		0,20				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	65,40	45,60	33,20	//	
Los angeles %	LA	//	//	//	40,76	

Ech.n°MP-05	Masse volumique en g/cm ³	Masse spécifique en g/cm ³	Porosité en %	Absorption d'eau en %	Résistance à la compression en kg/cm ²	
					Sec	Humide
01	2,69	2,72	1,10	0,20	977	651
02	2,69		0,73	0,19	978	881
03	2,69		1,10	0,26	1035	761
Moyenne	2,69		0,98	0,22	997	764
Broyabilité en %		72,70				
Propreté superficielle en %		0,13				
Classe en mm		4-6,3	6,3-10	10-14	16-31,5	
Micro deval %	MDE	48,60	43,60	32,40	//	
Los angeles %	LA	//	//	//	46,70	

ANNEXE N°5 : Les logs de sondages dans le gisement de marbre du Filfila.

Profondeur (en m)	Intervalle de forage par passe (m)		Récupération de carotte		Graphique de récupération	Construction du trou	Intervalle de description	Lithologie	Description géologique des roches	N° des carottes	Résultats des analyses chimiques																		
	de	à	Total	en m							en %	de	à	Longueur en (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO					
	1	2	3	4							5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0.00	1.30	1.30	1.30	100																								
2							13.1																						
3	1.30	2.80	1.50	1.50	100																								
4	2.80	4.30	1.50	1.50	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre de texture massive, finement cristallisé faiblement traversé par des fessures millimétriques généralement subvertical remplies de calcite à oxyde de fer, ces derniers ont été remarqué dans les niveaux suivantes (de 0.0à 0.5),(de 3.7 à 4.10) et (de 4.20 à 4.90).																				
5	4.30	5.80	1.50	1.50	100			7.60																					
6	5.80	7.00	1.20	1.20	100																								
7	7.00	8.50	1.50	1.50	100				carotte récupéré sous forme de débris(randelles) représenté par des marbres gris clair à nuance blanchâtre, de texture schistifées, à grains moyens non fissurés.	C01	7.60	8.60	1.00	1.28	0.68	0.35	<0.05	53.34	0.95	<0.05	0.07	0.12	<0.05						
8																													
9	8.50	10.0	1.50	1.50	100			10.80																					
10	10.0	11.0	1.00	1.00	100																								
11	11.0	12.50	1.50	1.50	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre de texture massive finement cristallisé, rarement traversé par des fessures colmaté de calcite blanc, des fessures millimétriques ont été localisé dans des niveaux suivant, 12.0,12.30,12.40 une fessure longitudinale d'épaisseur millimétrique traverse l'intervalle de 13.15à15.60m remplie de calcite à oxyde de fer les 20 derniers cm notant des dendrites de manganèse																				
12	12.50	14.00	1.50	1.50	100																								
13	14.00	15.50	1.50	1.50	100			15.80																					
14	15.50	17.30	1.80	1.80	100			17.30	Marbre gris clair à nuance blanchâtre, de texture schistifée finement cristallisé, recoupé par une fessure longitudinale remplie de calcite à oxyde de fer.																				
15	17.30	18.80	1.50	1.50	100																								
16	18.80	20.30	1.50	1.50	100						C02	18.0	19.0	1.00	2.48	1.09	0.15	<0.05	51.86	1.18	<0.05	0.26	0.13	<0.05					
17	20.30	21.80	1.50	1.50	100																								
18	21.80	23.30	1.50	1.50	100																								
19	23.30	24.80	1.50	1.50	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre, de texture massive à grains moyen, paraendroi recoupée par des fessures millimétriques remplies calcite à oxyde de fer, notant des fessures transversales dans les niveaux suivants 24.30,24.90,25.30,25.80 et des fessures longitudinale aux niveaux des intervalles suivants, 21.80-22.10m, 22.80-23.20m, de23.40 à23.50m, de 27.10 à28.0m, de 29.70 à29.80m, de 33.80 à34.30m et de 35.30 à35.60m																				
20	24.80	26.30	1.50	1.50	100																								
21	26.30	28.80	0.50	0.50	100																								
22	28.80	28.30	1.50	1.50	100																								
23	28.30	29.80	1.50	1.50	100																								
24	29.80	31.30	1.50	1.50	100																								
25	31.30	32.80	1.50	1.50	100																								
26	32.80	34.30	1.50	1.50	100																								
27	34.30	35.80	1.50	1.50	100																								
28	35.80	37.30	1.50	1.50	100			36.80	Marbre gris foncé à grains moyen de texture bréchifiée dure, recoupée à la profondeur 37.30 par une fessure d'épaisseur centimétrique remplie de calcite et crétaux de pyrite.	C03	36.30	37.30	1.00	0.99	0.46	1.78	<0.05	47.73	5.27	<0.05	0.06	0.11	<0.05						
29	37.30	38.80	1.50	1.50	100			38.50																					
30	38.80	40.30	1.50	1.50	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre, de texture bréchifiée, à grains moyen, recoupée à la profondeur 39.0m par une fessure transversale d'épaisseur millimétrique remplie de calcite.																				
31	40.30	41.80	1.50	1.50	100																								
32	42.00							42.00																					
33	43.10	43.30	1.50	1.50	100			43.10	Les premiers 20cm marbre gris foncé, le reste de l'intervalle marbre blanc massif, à grains fin non fissuré	C04	42.00	43.00	1.00	1.80	1.08	0.48	<0.05	50.91	1.26	<0.05	0.22	0.13	<0.05						
34	44.80	46.30	1.50	1.50	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre, de texture massif, à grains moyen, faiblement traversé par des fessures de différente direction et puissance remplies de calcite paraendroi, pyrités, notant surtout l'intervalle 44.20- 44.80m de profondeur																				
35	46.30	47.80	1.50	1.50	100																								
36	47.80	49.30	1.50	1.50	100																								
37	49.30	50.60	1.50	1.50	100			50.20	Marbre blanc, massif, à grains moyen.																				
38	50.60							50.60																					

LES ANNEXES

ORGM Antenne Régionale Est TEBESSA SONDEUSE : ACKER						Gisement : MARBRE FILFILA Sondage N°: SF26 Echelle : 1/100 Commencé le: 18/07/2011 Terminé le : 30/07/2011			Récupération moyenne des carottes: 100 % FIG N°: 09 Azimet de direction du trou : Vertical Angle d'inclinaison du trou : Vertical Profondeur : 50.00m Coordonnées de l'avant trou du forage : X : 330372 Y : 4084821 Z : 503.00																
Profondeur (m)	Intervalle de forage par passe (m)			Récupération des carottes		Graphique de récupération	Construction de l'intervalle de description	Lithologie	Description géologique des roches	N° des échantillons	Résultats des analyses chimiques														
	de	à	Total	en m	en %						de	à	Longueur échantillon (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO		
1							131																		
2	00.00	1.20	1.20	1.20	100		127		Marbre gris clair à nuance blanchâtre, massive, finement cristallisé, parendroit traversé par des fissures millimétriques de direction transversale, faisant un angle de 45° environ les fissures localisées sont les suivantes: 0.40m, 2.30m, 4.80m et 5.20m																
3	1.20	1.80	3.00	3.00	100																				
4	1.80	2.80	4.60	4.60	100																				
5	2.80	3.70	6.50	6.50	100																				
6	3.70	5.20	8.90	8.90	100																				
7	5.20	6.60	11.80	11.80	100			5.60 6.20	Marbre blanc, massive, finement cristallisé, non fissuré																
8	6.60	8.00	14.80	14.80	100																				
9	8.00	9.40	17.80	17.80	100				Marbre gris clair à nuance blanchâtre, parendroit intercalé par des passées de marbre blanc jusqu'à 20cm d'épaisseur de texture massive, finement cristallisé, faiblement recoupé par des fissures d'épaisseur millimétrique, et d'orientation transversale faisant un angle de 65° environ par rapport à l'axe de sondage.	C05	8.00	9.00	1.00	0.93	0.48	0.24	<0.05	52.91	0.87	<0.05	0.07	0.06	<0.05		
10	9.40	10.80	20.80	20.80	100				les niveaux recoupés par ces fissures sont les suivants 7.00m, 8.20m, 9.20m, 9.60m, 12.40m, 12.60m, 12.90m, 14.10m, 16.00m et 17.30m de profondeur.																
11	10.80	12.20	23.00	23.00	100																				
12	12.20	13.50	26.00	26.00	100																				
13	13.50	14.80	28.80	28.80	100																				
14	14.80	16.30	31.00	31.00	100																				
15	16.30	17.80	33.80	33.80	100																				
16	17.80	19.30	35.30	35.30	100																				
17	19.30	20.10	37.40	37.40	100																				
18	20.10	21.60	39.00	39.00	100																				
19	21.60	23.10	40.50	40.50	100																				
20	23.10	24.60	42.60	42.60	100		86		Marbre de couleur gris foncé à nuance bleuâtre, de texture schistifée, à grains moyen, recoupé par des fissures millimétriques remplies de calcite cristallisée,	C07	22.0	23.0	1.00	0.28	0.54	0.65	<0.05	56.89	1.02	<0.05	0.19	<0.05	0.07		
21	24.60	26.60	45.20	45.20	100				les niveaux traversés par les fissures sont: 21.60m fissure transversale, à 24.50m fissure longitudinale sur 15cm, à 25.40m une fissure transversale de 13cm d'épaisseur remplie de calcite pyritisée sous forme de crestaux, et à 25.70m une fissure longitudinale sur 10cm remplie de calcite accompagnée des crestaux de pyrite.																
22	26.60	28.30	47.50	47.50	100																				
23	28.30	29.80	49.30	49.30	100																				
24	29.80	31.30	51.00	51.00	100																				
25	31.30	32.80	53.80	53.80	100																				
26	32.80	33.60	55.40	55.40	100																				
27	33.60	35.10	57.50	57.50	100																				
28	35.10	36.60	59.10	59.10	100																				
29	36.60	38.10	60.60	60.60	100																				
30	38.10	39.60	62.70	62.70	100																				
31	39.60	41.10	64.80	64.80	100																				
32	41.10	42.60	67.40	67.40	100																				
33	42.60	44.10	69.50	69.50	100																				
34	44.10	45.60	71.60	71.60	100																				
35	45.60	47.10	73.70	73.70	100																				
36	47.10	48.60	75.80	75.80	100																				
37	48.60	50.00	77.80	77.80	100		50.00																		
38									Marbre gris clair à nuance blanchâtre, parendroit intercalé par des passées de marbre blanc, jusqu'à 20cm d'épaisseur de texture massive, à grains moyen, parendroit assez dur, traversé par des fissures généralement transversales par rapport à l'axe de forage, dans les niveaux suivants: à 31.30m, à 38.5m, à 39.0m, à 41.0m, à 42.5m et à 43.50m, de profondeur, ces fissures faisant un angle de 30° remplie de calcite à oxyde de fer, accompagnée des dendrites de manganèse, notant aussi des fissures longitudinales qui apparaissent à 45.7m, à 49.10m et à 49.9m de profondeur.																
39																									
40																									
41																									
42																									
43																									
44																									
45																									
46																									
47																									
48																									
49																									
50																									

LES ANNEXES

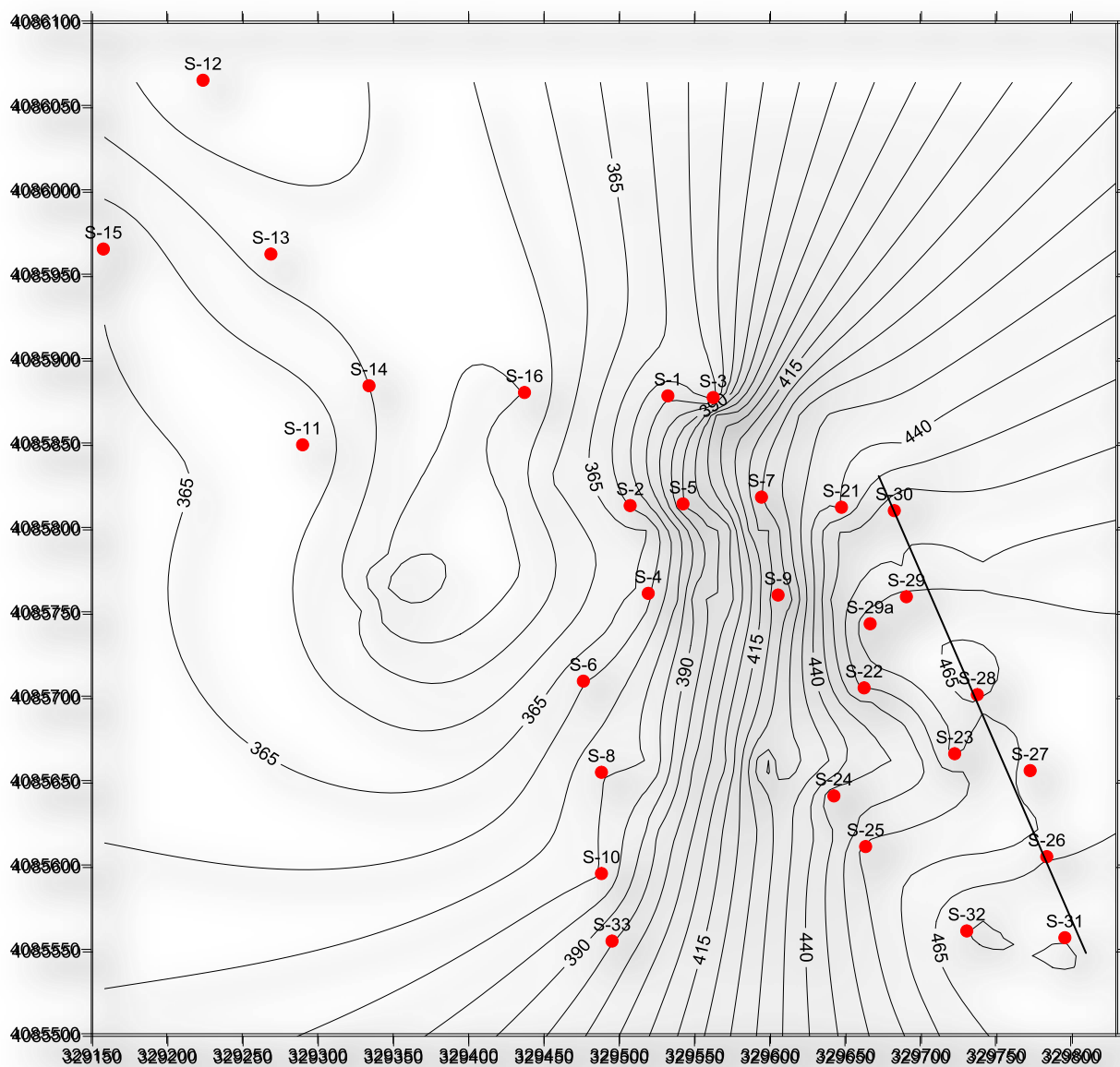
Profondeur (m)		Intervalle de forage par passe (m)			Récupération de carottes		Graphique de récupération	Construction du trou	Intervalles de description	Lithologie	Description géologique des roches	N° des échantillons	Résultats des analyses chimiques												
		de	à	Total	en (m)	en %							de	à	Intervalles échantillonés (m)										
															SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	0.00	1.50	1.50	1.50	100					Marbre gris claire à nuance blanchâtre, de texture massive, finiment cristallisé, parendroit intercalé par des passées centimétriques de marbre blanc, rarement recoupé par des fissures millimétriques remplies de calcite pyritisée sous forme des créstaux, notant surtout les niveaux 1.00m, 3.90m, et 9.90m de profondeur.															
2																									
3	1.50	3.00	1.50	1.50	100																				
4	3.00	4.50	1.50	1.50	100																				
5	4.50	6.00	1.50	1.50	100																				
6	6.00	7.50	1.50	1.50	100																				
7	7.50	9.00	1.50	1.50	100																				
8	9.00	10.50	1.50	1.50	100																				
9	10.50	12.00	1.50	1.50	100																				
10	12.00	13.00	1.00	1.00	100																				
11	13.00	13.70	0.70	0.70	100				10.55		Calcite noir cristallisé.														
12	13.70	14.80	1.10	1.10	100				11.20	Marbre réséda, de couleur gris à nuance marronatre.															
13	14.80	16.00	1.20	1.20	100				13.30	Marbre blanc, massive, à grais moyen, recoupé par une fissure subvertical colmaté de calcite oxyd															
14	16.00	17.20	1.20	1.20	100				14.80	Marbre gris claire à nuance blanchâtre, de texture massive, finiment cristallisé, non fessuré															
15	17.20	18.40	1.20	1.20	100				16.00	Marbre blanc, massive, à grais moyen, non fessuré															
16	18.40	19.60	1.20	1.20	100					Marbre gris claire, parendroit intercalé avec des passées centimétriques de marbre blanc, de texture schistifiée, faiblement traversé par des fissures colmaté de calcite pyritisé, notant surtout les niveaux suivant 18.40m, 18.80m, et 20.40m de profondeur.															
17	19.60	20.80	1.20	1.20	100																				
18	20.80	22.00	1.20	1.20	100																				
19	22.00	23.20	1.20	1.20	100																				
20	23.20	24.40	1.20	1.20	100																				
21	24.40	25.60	1.20	1.20	100																				
22	25.60	26.80	1.20	1.20	100																				
23	26.80	28.00	1.20	1.20	100																				
24	28.00	29.20	1.20	1.20	100					Zone de fessuration, représenté par des marbres gris claire, pyritisé suivant les fissures colmaté de calcite.															
25	29.20	30.40	1.20	1.20	100					Marbre gris claire à nuance blanchâtre, de texture massive, finiment cristallisé, recoupé par des fissures transversale, fait une angle de 45° environ dans les niveaux suivant, 23.20m, 23.40m, 23.70m, 23.75m, 24.0m, 24.80m, 25.0m, 26.40m, et 28.90m de profondeur, ces fissures sont remplies de calcite à oxyde de fer.															
26	30.40	31.60	1.20	1.20	100																				
27	31.60	32.80	1.20	1.20	100																				
28	32.80	34.00	1.20	1.20	100																				
29	34.00	35.20	1.20	1.20	100																				
30	35.20	36.40	1.20	1.20	100																				
31	36.40	37.60	1.20	1.20	100																				
32	37.60	38.80	1.20	1.20	100																				
33	38.80	40.00	1.20	1.20	100																				
34	40.00	41.20	1.20	1.20	100																				
35	41.20	42.40	1.20	1.20	100																				
36	42.40	43.60	1.20	1.20	100																				
37	43.60	44.80	1.20	1.20	100																				
38	44.80	46.00	1.20	1.20	100																				
39	46.00	47.20	1.20	1.20	100																				
40	47.20	48.40	1.20	1.20	100																				
41	48.40	49.60	1.20	1.20	100																				
42	49.60	50.80	1.20	1.20	100																				
43																									
44																									
45																									
46																									
47																									
48																									
49																									
50																									

LES ANNEXES

ORGM Antenne Régionale Est TEBESSA SONDEUSE :ACKER							Gisement :MARBRE FILFILA Sondage N°:SF28 Echelle : 1/100 Commencé le : 11/08/2011 Terminé le : 18/08/2011			Récupération moyenne des carottes:100 % FIG N°: 11 Azimet de direction du trou : Vertical Angle d'inclinaison du trou : Vertical Profondeur : 50.70m Coordonnées de l'avant trou du forage : X : 330313 Y : 4084833 Z : 509.25														
Profondeur (m)	Intervalle de forage par passe (m)			Récupération des carottes		Graphique de récupération	Construction du trou	Intervalle de description	Lithologie	Description géologique des roches	Résultats des analyses chimiques													
	de	à	Total	en m	en %						N° des échantillons en carotte	de	à	Intervalle échantillon en (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0.00	1.20	1.20	1.20	100																			
2	1.20	1.90	0.70	0.70	100																			
3	1.90	2.90	1.00	1.00	100																			
4	2.90	3.60	0.70	0.70	100																			
5	3.60	4.60	1.00	1.00	100																			
6	4.60	5.60	1.00	1.00	100																			
7	5.60	6.60	1.00	1.00	100																			
8	6.60	8.10	1.50	1.50	100																			
9	8.10	9.20	1.10	1.10	100																			
10																								
11	9.20	10.70	1.50	1.50	100						C13	11.0	12.0	1.00	<0.05	0.20	0.08	<0.05	55.50	0.83	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
12	10.70	12.20	1.50	1.50	100																			
13																								
14	12.20	13.70	1.50	1.50	100																			
15	13.70	15.20	1.50	1.50	100																			
16																								
17	15.20	16.70	1.50	1.50	100																			
18	16.70	17.20	0.50	0.50	100																			
19	17.20	18.20	1.00	1.00	100																			
20	18.20	19.70	1.50	1.50	100																			
21	19.70	21.20	1.50	1.50	100																			
22																								
23	21.20	22.70	1.50	1.50	100						C14	21.0	22.0	1.00	<0.05	0.29	0.19	<0.05	55.07	1.31	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
24	22.70	24.20	1.50	1.50	100																			
25																								
26	24.20	25.70	1.50	1.50	100																			
27	25.70	26.20	0.50	0.50	100																			
28	26.20	27.70	1.50	1.50	100																			
29																								
30	27.70	29.20	1.50	1.50	100																			
31	29.20	30.20	1.00	1.00	100																			
32	30.20	31.70	1.50	1.50	100																			
33																								
34	31.70	33.20	1.50	1.50	100																			
35																								
36	33.20	34.70	1.50	1.50	100																			
37	34.70	36.20	1.50	1.50	100																			
38	36.20	37.70	1.50	1.50	100																			
39																								
40	37.70	39.20	1.50	1.50	100																			
41																								
42	39.20	40.70	1.50	1.50	100																			
43																								
44	40.70	42.20	1.50	1.50	100																			
45	42.20	43.70	1.50	1.50	100																			
46																								
47	43.70	44.70	1.00	1.00	100																			
48	44.70	46.20	1.50	1.50	100																			
49	46.20	47.70	1.50	1.50	100																			
50																								
50.7	47.70	49.20	1.50	1.50	100																			
	49.20	50.70	1.50	1.50	100																			

LES ANNEXES

ORG Antenne Régionale Est TEBESSA SONDEUSE : ACKER						Gisement : MARBRE FILFILA	Récupération moyenne des carottes : 100 %				FIG N° : 14													
						Sondage N° : SF31	Azimut de direction du trou : Vertical																	
						Echelle : 1/100	Angle d'inclinaison du trou : Vertical																	
						Commencé le : 05/10/2011	Profondeur : 50.00m																	
						Terminé le : 09/10/2011	Coordonnées de l'avant trou de forage : X : 330326 Y : 4084956 Z : 512.70																	
Profondeur (m)	Intervalle de forage par passe (m)			Récupération des carottes		Graphique de récupération	Cotes altimétriques en m	Lithologie	Description géologique des roches	N° des échantillons de carottes	Résultats des analyses chimiques													
	de	à	Total	en m	en %						de	à	de	à	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1		0.00	1.30	1.30	1.30	100																		
2		1.30	2.00	0.70	0.70	100																		
3			2.00	3.30	1.30	100																		
4				3.30	4.80	1.50	100																	
5					4.80	6.30	1.50	100																
6						6.30	7.80	1.50	100															
7								6.80																
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13											C33	11.60	12.60	1.00	0.33	0.18	0.60	<0.05	55.06	1.49	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19											C34	17.30	18.30	1.00	0.50	0.07	0.32	<0.05	53.86	2.23	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29											C35	27.50	28.60	1.00	0.75	<0.05	0.14	<0.05	54.57	0.80	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
30																								
31																								
32																								
33																								
34																								
35																								
36																								
37																								
38																								
39																								
40																								
41																								
42											C36	40.60	41.60	1.00	0.78	0.09	0.62	<0.05	56.39	1.41	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
43																								
44																								
45																								
46																								
47																								
48																								
49																								
50																								



**Localisation des sondages implantés sur le gisement de marbre de Filfila
(Coordonnées GBS).**

NB : La figure montre aussi la trace de la coupe géologique présentée dans l'étude géochimique.

ANNEXE.6 : Calcul des principaux paramètres de forage et de tir de mine

➤ **La distance de sécurité (C_{max})**

C'est la distance entre l'axe du trou de la première rangée et l'arrête supérieur du gradin, elle est calculé d'après la formule suivante : $C_{max} = R \times D_r$ (m)

R : coefficient tenant compte de la destruction de la roche.

R : 40 roches moyennement destructibles, cas des marbres d'El-Chatt).

D_{tr} : diamètre du trou de forage $D_{tr} = 76 \text{ mm} = 0.076 \text{ m}$.

Donc $C_{max} = R \times D_{tr} = 40 \times 0.076 = 3.04 = 3 \text{ m}$.

➤ **Ligne de résistance au pied du gradin (W)**

C'est la distance horizontal limite entre l'axe du trou de première rangée et l'arrête inférieure du gradin.

Pour la carrière d'El-Chatt : $\alpha = \beta$, C'est-à-dire le trou est parallèle au front de taille donc la banquette est constante sur toute la hauteur du gradin : $W = c = 3 \text{ m}$.

➤ **Longueur du trou (L_{tr}) : $L_{tr} = h_g / \sin \beta + L_s$ (m)**

L'Angle d'inclinaison du trou par rapport à l'horizontal (β) : $\beta = 85^\circ$

Longueur de sous foration : $L_s = 0.3w = 0.3 \times 3 = 0.9 = 1 \text{ m}$

$$\text{Donc : } L_{tr} = 15 / \sin 85^\circ + 1 = 16 \text{ m}$$

➤ **La distance entre les trous dans une même rangée (espacement ; a)**

Il peut être déterminé d'après la méthode langeforce selon le rapport de maille (a/c).

Ce rapport influe sur la granulométrie des produits, pour l'obtention de granulats optimale (bonne fragmentation) il faut que : $a/c = 1,25$.

$$\text{Alors : } a/3 = 1,25 \Rightarrow a = 1,25 \times 3 = 3,75 \text{ m} \quad \text{on prend } a = 3 \text{ m}$$

➤ **L'écartement entre les rangés de trous (b)**

$$b = 0,85 \times a \text{ (m)} \quad b = 0,85 \times 3 = 2,55 \approx 2,5 \text{ m}$$

➤ **La consommation spécifique d'explosive (q_{ex})**

Pour les roches facturées et dont la dureté selon le diagramme du professeur Protodiakanov, varie entre 6,1 à 8 (cas des marbres de la carrière d'El-Chatt), la consommation spécifique d'explosive est égale à : $q_{ex} = (250 \text{ à } 350) \text{ (g/m}^3\text{)}$.

Dans notre cas une consommation de $(300-310) \text{ g/m}^3$ représente une bonne base d'estimation.

➤ **Volume abattu par un trou tiré**

$$V_t = w \times a \times H_{gr} \text{ (m}^3\text{)} \quad V_t = 3 \times 3 \times 3 \times 15 = 135 \text{ m}^3$$

➤ **la capacité métrique (la charge linéaire)**

$$P = 0,785 \times (D_{tr})^2 \times \Delta \text{ (kg/m)}$$

Où : D_{tr} : diamètre du trou

Δ : densité de l'explosive utilisé ; g/m³ (à convertir en kg/m³)

- Capacité métrique de la charge du pied : $P = 0,785 \times (0,05)^2 \times 980 = 1,93 \text{ kg/m}$
- Capacité métrique de charge de colonne : $P = 0,785 \times (0,076)^2 \times 900 = 4 \text{ kg/m}$
- **Longueur de charge explosive au pied du gradin** : $L_{ch}^p = 1,2 \times c = 1,2 \times 3 = 3,6 \text{ m}$
- **La quantité d'explosif au pied du gradin** : $Q_{exp} = P \times L_{p_{ch}} = 1,92 \times 3,6 = 6,91 \text{ kg}$
- **Nombre de cartouches utilisé au pied du gradin** : $N_{er} = \frac{Q_{ex}}{P_i}$
 $P_i = \text{Poids d'une cartouche explosive}$
 $N_{er} = 6,91/1,25 = 5,52 \approx 6 \text{ cartouches}$
- **Quantité réels d'explosive au pied du gradin** : $Q_{ex}^p = N_{cr} \times P_i = 6 \times 1,25 = 7,5 \text{ kg}$
- **La longueur réelle de la charge au pied** : $h_{ch}^p = N_{cr} \times L_{cr}/k$

L_{cr} : longueur de la cartouche d'explosive utilise

K : coefficient de tassement des cartouches pour le marmanit $K = 1.03$

D'où $h_{ch}^p = 6 \times 0,61 / 1.03 = 3,55 \approx 3,5 \text{ m}$

- **Longueur du bourrage** : $L_b = 40 \times \emptyset_{tr} \approx c=3\text{m}$
- **Longueur de la charge de colonne** : $L_{ch}^c = L_{tr} - (h_{ch}^p + L_b)$
 L_b : longueur du bourrage. $L_{ch}^c = 16 - (3,5 + 3) = 9,5\text{m}$
- **Quantité de l'explosif de colonne** : $Q_{ex}^c = L_{ch}^c \times P_c = 9,5 \times 4 = 37,5 \text{ kg}$

Volume à tirer pour une production $Q_p = 11875 \text{ t}$ soit 4398 m^3

1-Longueur du bloc

$V_b = A \times H_{gr} \times L_b$ $L_b = V_b / A \times H_{gr} \text{ (m)}$ $L_b = 4398 / 15 \times 5,5 = 54 \text{ m}$ $L_b = 54\text{m}$

2-Nombre de trous à tire par volée : $N_{tr} = V_b / V_{tr} = 4398 / 135 = 33 \text{ trous}$ $N_{tr} = 33 \text{ trous}$

3-Quantité total d'explosif par tir : $Q_{exp}^t = N_{tr} \times Q_{ch} \text{ (Kg)}$

Q_{ch} : quantité d'explosif dans un trou : $Q_{exp}^t = 33 \times 45 = 1485$ $Q_{exp}^t = 1485 \text{ kg}$

4-Quantité d'explosif de colonne (anfomil)

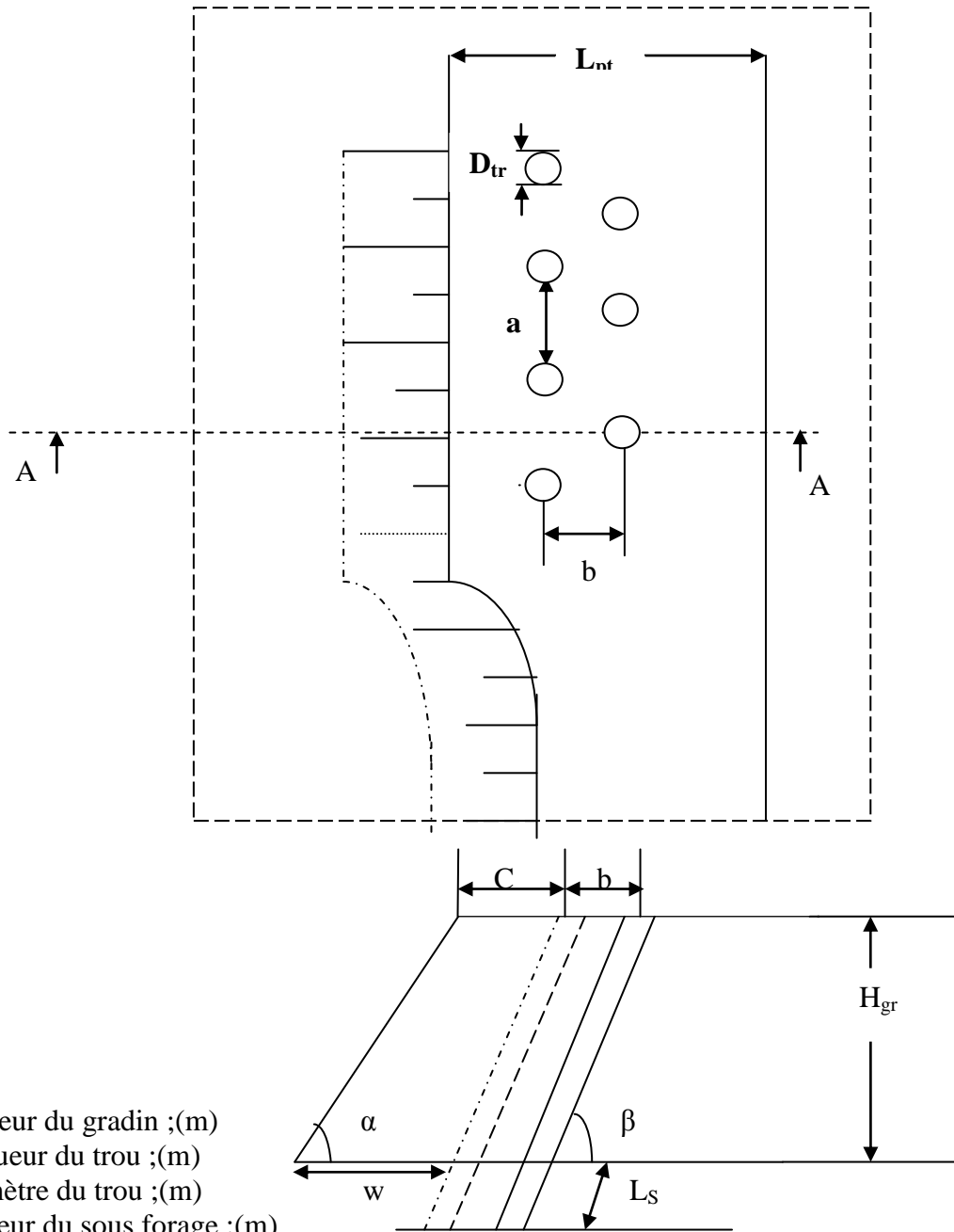
$Q_{anf}^t = N_{tr} \times Q_{exp}^c \text{ (kg)}$ $Q_{exp}^c = 37,5 \text{ kg}$

$Q_{anf}^t = 33 \times 37,5 = 1237,5 \text{ kg}$ $Q_{anf}^t = 1237,5 \text{ kg}$

5-Quantité d'explosif de pied :

$Q_{mar}^t = N_{tr} \times Q_{exp}^p = 33 \times 7,5 = 247,5 \text{ kg}$ $Q_{mar}^t = 247,5 \text{ kg}$

PLAN DE TIRE



Légende

- H_{gr} : hauteur du gradin ;(m)
- L_{tr} : longueur du trou ;(m)
- D_{tr} : diamètre du trou ;(m)
- L_s : longueur du sous forage ;(m)
- α : angle d'inclinaison du talus de gradin ;(°)
- β : angle d'inclinaison du trou (°)
- C : banquette ;(m)
- b : écartement ;(m)
- a : espacement ;(m)
- w : ligne de moindre résistance au pied du gradin ;(m)
- L_{pt} : plateforme de travail

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Situation du gisement de marbre de Filfila, (extrait de la carte topo N°15 au 1/50 000).....5

Fig.2 : La météo du Djebel Filfila, de 22 à 27-07- 2014(www.meteo.dz).....6

Fig.3 : Le réseau hydrographique de la région de Filfila.(la carte topo N°15 au 1/50 000).....7

Fig.4 : Localisation des carrières de la région de Filfila, (Google Earth).....9

Fig.5 : Position des différentes unités géologiques des Maghrébides avec une coupe transversale de la grande Kabylie. Durand-Delga M. et Fontboté J. (1980).....10

Fig. 6 : Position des failles majeures dans le petite kabylie.Durand-Delga M. (1980)..... 17

Fig.7 : Reconstitution paléogéographique des différents domaines des maghrébides au Crétacé inférieur.Bouillin J. P (1986).....18

Fig. 8 : Carte géologique et une coupe géologique dans le massif de Filfila .extrait de la carte géologique de la Feuille de Filfila à 1/50 000. Tchekhovitch V. D. (1971).....19

Fig.9 : Coupe géologique interprétative du massif de Filfila. Lemoy C. (1969) modifiée par Bouabsa L. et al. (2005).....21

Fig.10 : Colonne stratigraphique du massif de Filfila.Lemoy C. (1969).....22

Fig.11 : Carte géologique du massif de Filfila. Lemoy C. (1969), Bouabsa L. et al (2005).....24

Fig.12 : Les conditions d'apparition de la wollastonite. Winkler H.G.F(1964).....30

Fig.13 : Coupe géologique du gisement de marbre de Filfila. Bououden D.(2014).....36

Fig.14 : positions structurales des unités formants le territoire d'étude, extrait de la carte géologique de la Feuille de Filfila à 1/50 000. Tchekhovitch V.D. (1971).....37

Fig.15 : Photo du marbre blanc de carrare (Italie).42

Fig.16 : Photo microscopique du calcaire et de marbre.....43

Fig.17 : Model génétique de marbre.43

Fig.18 : Photo montrant l'utilisation du marbre dans les escaliers46

Fig.19 : Photo montrant le gisement de marbre du carrare en Italie.....47

Fig.20 : Photo du marbre blanc de carrière du Filfila (Ech n° :f.1).....49

Fig.21 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre blanc de Filfila (obj×10).....50

Fig.22: Photo du marbre gris clair de la carrière de Filfila(Ech n° :f.2).....51

Fig. 23 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris clair de Filfila(obj×10).....52

Fig.24 : Photo du marbre réséda marron de la carrière de Filfila (Ech n° :f. 3).....53

Fig.25 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre réséda marron de Filfila. (obj×10)...54

Fig.26 : Photo du marbre gris foncé de la carrière de Filfila (Ech n° :f.4).....56

Fig.27 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris foncé de Filfila(obj×10).....57

Fig. 28 : Photo du marbre blanc de la carrière d'El-Chatt (Ech n° :ch.1).....58

Fig. 29: Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre blanc d'El-Chatt,(obj×10).....	59
Fig.30 : Photo du marbre dolomitisé de la carrière d'El-Chatt, (Ech n° :Ch.2).....	60
Fig.31: Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre dolomitisé d'El-Chatt,(obj×10)...	61
Fig.32 : Photo du marbre gris foncé de la carrière d'El-Chatt, (Ech n° :Ch .3).....	62
Fig.33 : Photos en lumière naturelle et polarisée du marbre gris foncé d'El-Chatt, (obj×10).	62
Fig.34 : Géométrie du dispositif du pôle dipôle.....	65
Fig. 35: Carte des données réelles : traces des profils géophysiques, lieux de prélèvements des échantillons, emplacements des sondages. ORGM (2011).....	66
Fig.36 : Cartes de pseudo section de résistivité montrant les résultats des travaux géophysiques dans la carrière de Filfila, ORGM (2011).....	68
Fig.37 : Coupe géophysique passant par les sondages S23, S26, S35 dans le site d'El-Chatt. EREM (1987).....	70
Fig.38 : Schéma montrant le principe de la méthode fluorescence x À dispersion de longueur d'onde. Wikipédia (2014).....	72
Fig.49 : Coupe géologique à la base des sondages : 31, 26, 27, 28, 29, 30.....	79
Fig.50 : Photos montrant les des variétés décoratives du marbre de Filfila.....	83
Fig.51 : Carte de la répartition spatiale des variétés du marbre en couleur dans la carrière de Filfila à blocs. ENMARBRE, (2013).....	84
Fig.52 : Photos montrant les phénomènes qui affectent la qualité décorative du marbre.....	86
Fig.53 : Photo montrant la mesure de la fracturation apparente dans la carrière de Filfila.....	87
Fig.54 : Rosace quantitative et l'histogramme des directions de la Zone I.....	88
Fig.55 : Rosace qualitative et l'histogramme des longueurs de la Zone I.....	89
Fig. 56 : Rosace globale quantitative et l'histogramme des directions.....	89
Fig. 57 : Rosace globale qualitative et l'histogramme des longueurs.....	90
Fig.58 : carte de fracturation subdivisée en six blocs. ORGM, (2011).....	91
Fig. 59 : coupe géologique dans la carrière d'El-Chatt montrant les variétés du marbre. Bououden D. (2014).....	99
Fig.60 : Photos des variétés décoratives du marbre dans la carrière d'El-Chatt.....	100
Fig.61 : Photos montrant le jeu de la tectonique dans la carrière d'El-Chatt.....	102
Fig.62 : Photo de la partie sud de la carrière de marbre à blocs de Filfila.....	109
Fig.63 : Méthode d'exploitation combinée (haveuse -fil diamanté).....	111
Fig.64 : Découpe des blocs de marbre par la méthode de sciage.....	111
Fig.65 : Schéma montrant les différentes étapes de transformation des blocs de marbre.....	113

Fig.66 : Schéma montrant les zones de développement Sud et Nord dans la carrière de Filfila ENAMARBRE (2013).....114

Fig.67 : Photo de la carrière de dérivés de marbre (El-Chatt).....118

Fig.68 : Schéma de tir et structure de la charge sur une coupe transversale.....122

Fig.69 : Schéma de la station de concassage dans la carrière d'El-Chatt).....124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 : Coordonnées UTM et Lambert Nord algérien pour la concession de l'ENAMARBRE et le site d'étude, (ORGM (2011).....5

Tableau .2: Synthèse des caractéristiques pétrographique et minéralogique du marbre exploité dans le gisement de Filfila.....63

Tableau.3 : Résultats des analyses chimiques de 40 échantillons de carottes.ORGM(2011).66

Tableau.4 : Récapitulation des volumes des blocs unitaires des six zones.....83

Tableau.5 : Résultats des propriétés physico-mécaniques, éch N°MP-01.ORGM (2011).....91

Tableau.6 : Résultats moyennes des essais physico-mécaniques des marbres de Filfila.....94

Tableau .7: Résultats des essais physico-mécaniques sur le marbre d'El-Chatt.....103

Tableau.8 : Résultats de la blancheur du marbre d'El-Chatt.....104

Tableau .9: Résultats d'analyse chimiques sur les marbres de la carrière d'El-Chatt.....105

Tableau .10 : Programme prévisionnelle de production mois de janvier 2014.....115

Tableau.11 : Réserves récents du marbre dans le gisement de Filfila. (Secteur d'étude).....117

Tableau.12 : Localisation de la zone de découverte dans la carrière d'El-Chatt (2014)...119

Tableau.13 : Caractéristiques de l'explosif employé à la carrière d'El-Chatt.....121

Tableau.14 : Répartition de la production par granulométrie.....123

Tableau. 15 : Volume de stériles à dégager lors de développements au niveau supérieur....125

Tableau.16 : Volume de stérile à dégager lors de développements au niveau de la fosse....125

Tableau .17 : Travaux d'abattage pour la production dans la carrière d'El-Chatt (2013)....126

Tableau.18 : Les réserves exploitables calculées dans la carrière d'El-Chatt (2014).....127