

Institut des Sciences et Technologies
Département de Génie Minière
Centre Universitaire Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa

**CARACTERISATION GEOLOGIQUE, GEOMECHANIQUE ET
POTENTIEL INDUSTRIEL DES ROCHES CARBONNEES DE LA
REGION DE TEBESSA**

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Magister**
Option *Géotechnique*



Par
DEFAFLIA NABIL

Année 2007

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail est l'aboutissement de l'intervention de nombreuses personnes, à qui je tiens à exprimer ma reconnaissance. Il est cher à mon cœur d'exprimer toute ma gratitude à :

Mr. BOUMEZBEUR ABDERRAHMANE pour son sacrifice, sa patience, ses conseils et commentaires judicieux. Il a su me faire confiance depuis déjà de nombreuses années, je le remercie vivement pour tout.

Je n'oublierai jamais **Mr. KOWALSKI dit « EL HADJ NOUR EDDINE »**, décédé en 2004, pour sa rigueur scientifique et pour l'intérêt qu'il a porté à mes travaux depuis mon Ingéniorat.

Merci à **Mr. Dr. HOUAM ABDELKADER** pour ses riches enseignements au cours de l'année théorique de Magister, et ses discussions acharnées. Il a accepté avec plaisir de faire partie de mon jury.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à **Mr. Dr. SID MADANI** pour l'intérêt qu'il a porté à mes travaux au cours de l'année théorique de Magister. Je le remercie de faire parti de mon jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à **Mr. Dr. DJERRAB ABDERREZAK**, qui m'a fait l'honneur d'être dans mon jury.

Je remercie plus particulièrement mon collègue **YACINE BERRAH** pour son aide, et **Mme DJERRAB** pour la correction orthographique.

Merci à **Mr. BEN RAIDA MOHAMED**, directeur général de l'unité D'ELMALABIOD ENG, pour sa participation à ce projet.

Merci aux enseignants de l'Institut Des Sciences De La Terre et de La Nature pour leur aide, et plus particulièrement Mr **LAYACHI GOUAIDIA**.

Une mention, toute spéciale celle-là, est réservée aux techniciens du laboratoire de l' ENG.

Je n'omettrai pas également de souligner la participation effacée, mais très efficace, des membres du personnel et j'insisterai particulièrement sur **ABDENOUR** et 'ami' **SALEH** de l'Institut Des Sciences De La Terre Et De La Nature.

RESUME:

Les affleurements de roches carbonatées dans la région de Tébessa, d'un âge compris entre le Crétacé inférieur (Aptien) et l'Eocène, constituent une réserve importante de matériaux de construction. Cette réserve reste jusqu'à l'heure actuelle mal explorée, malgré la hausse sensible de la demande en matériaux de construction ces dernières années.

Ce programme de recherche aura comme première mission la caractérisation pétrographique et minéralogique des différents ensembles lithologiques. L'étude pétrographique et minéralogique sera orientée principalement sur la détermination et la quantification des phases minérales constituant la roche. Les déformations affectant les roches en question seront également étudiées d'une manière quantitative. Ensuite, les propriétés physiques et mécaniques communément utilisées en géomécanique seront déterminées et interprétées en fonction des caractéristiques géologiques.

Les données pétrographiques, minéralogiques, structurales et physico-mécaniques seront utilisées pour déterminer la qualité des gisements de la région pour les différents utilisations possible des matériaux (qualité de la roche masse, qualité de la roche comme source de matériaux pour béton, route, rip-rap, ballastes de chemin de fer, etc...).

La cartographie géotechnique a permis de dresser des cartes qui montrent la répartition les zones potentiellement exploitables, essentiellement pour les granulats.

Ce travail permettra l'élargissement de la banque de donnée, actuellement très maigre, concernant la qualité des roches en tant que gisement de matériaux de construction.

Cette cartographie servira de guide dans la réalisation des plans d'aménagement du territoire et pour la protection de l'environnement (ex : choix des sites de carrières, abris souterrains, etc...).

ملخص ص:

إن الصخور الكربونية المتواجدة في تبسة والمميزة لهذه المنطقة ذات العمر الجيولوجي من Crétacé inférieur حتى l'Eocène والمكونة لمخزون جد مهم لمواد البناء ولاستعمالات أخرى مثل إنشاء الطرقات وسكك الحديد. هذا المخزون المهم بقي لحد الآن غير مستغل بطريقة جيدة رغم الطلب الكبير عليه وخاصة في السنوات الأخيرة. إن هذا البحث يعتبر الخطوة الأولى لمعرفة المميزات الجيولوجية لمختلف الطبقات والأعمار الجيولوجية لهذه المنطقة. هذه الدراسة مواجهة لمعرفة المكونات المعدنية للصخور و التثوهات الحاصلة عليها على شاكلة الخاصة بالكمية. كما إن البحث يشمل دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لصخور الأم معتمدا على المميزات الجيولوجية. إن الخواص البترولوجرافية والمنرالوجية دراسة تساعدنا على تحديد نوعية المواد المتواجدة في هذه المنطقة. إن هذا العمل يساعدنا على تقديم بنك للمعلومات التي تعتبر ناقصة حاليا نحصر نوعية الصخور على أساس أنها قاعدة لماد البناء. بالإضافة إلى محاولة إنشاء خارطة طبوغرافية لهذه المنطقة لتكون بمثابة دليل لإنشاء تخطيط بياني من اجل تهيئة العمران وحماية البيئة وإعطاء أحسن اختيار لإنشاء المباني والاستغلال الأمثل لهذه المواد وتأثيرها على الاقتصاد الوطني إيجابا.

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale	01
CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	
1. situation géographique	04
2. caractéristiques de la région d'étude	06
3. Géologie régionale	08
3.1. Aptien	08
3.1.1. Aptien Moyen Et Inférieur	08
3.1.2. Aptien Supérieur	08
3.2. Turonien	08
3.2.1. Turonien Inférieur	08
3.2.2. Turonien Moyen	08
3.2.3. Turonien Supérieur	09
3.3. Maestrichtien	14
3.3.1. Maestrichtien Inférieur	14
3.3.2. Maestrichtien Moyen	14
3.3.3. Maestrichtien Supérieur	14
3.4. Quaternaire	14
4. Description tectonique et structurale de la région de Tébessa	16
5. Caractérisation pétrographique des roches carbonatées	21
5.1. Introduction	21
5.2. Analyse pétrographique des roches étudiées	21
5.3. Analyse microscopique	23
5.3.1 Calcaire aptien	23
5.3.2. Calcaire turonien	24
5.3.3. Calcaire maestrichtien	24
CHAPITRE II : APERÇU GENERAL SUR LES AGREGATS	
I. Les agrégats	25
I.1.Introduction	25
I.2. Economie	25
I.3. Définition des granulats	27
I.4. Processus de fabrication des granulats	28
I.4.1. Carrière	29
I.4.1.1. L'exploitation de la carrière	29
I.4.1.2. L'exploitation de la carrière en relief montagneux	31
I.4.2. Méthode d'extraction	31
I.4.2.1. La découverte	31
I.4.2.2. L'abatage	31
I.4.2.3. L'opération de Tir	31
I.4.2.4. Traitements des matériaux	32
II. La Classification	35
II.2. Classification chimique des roches	35
III. Caractéristiques Géotechniques	36

III.1.Caractérisation Des Granulats	36
III.2. Propriétés Physiques	37
III.2.1. Densité, porosité et coefficient d'absorption	37
III.2.2. Coefficient d'aplatissement (A)	37
III.3. Résultats et Interprétations	38
IV. Propriétés Géomécaniques Des Granulats	39
IV.1. Introduction	39
IV.2. La Résistance à La Fragmentation Dynamique	39
IV.3. Résistance à l'abrasion	40
IV.4. Résistance à l'Attrition	43
IV.5. L'essai Micro Deval Humide MDE	44
V. Discussion des résultats et interprétation	45

Chapitre III : POTENTIEL INDUSTRIEL DES ROCHES ETUDIEES

I- Pierres de tailles	47
I.1. Les Dimensions de la pierre de taille	48
I. 2. L'extraction industrielle	48
1.3. L'extraction manuelle	48
I.4. Terminologie de la taille et de la mise en œuvre de la pierre	49
I. 5. Propriétés Physiques	50
I.5.1. Densité	50
I.5.2. La porosité	51
I.5.3. Coefficient d'absorption	51
I.5.4.Résultats et interprétation	52
I.6.Propriétés Mécaniques	52
I.6.1. La résistance à la compression uniaxiale	52
I.6.2. Discussion des résultats et interprétation	53
I.6.3. Résistance à la flexion	54
I. 6. 4. La résistance au choc	54
I.6.5. Résultats et interprétation	55
I.6.6. L'indice de résistance : Essai Franklin	55
I.7. La vitesse des ondes sismiques	56
II. RIPRAP.	61
II-1 Introduction	61
II-2 Propriété Du RipRap	62
III. Ballast	62
III.1. Définition	62
III-2. Le ballast, à quoi ça sert	62
III.2.1. Dureté	62
III.2.2. Elasticité	63
III.2.3. Densité	63
III.2.4. Angularité et rugosité	63
III.2.5. Perméabilité	63
III.2.6. Conclusion	63

IV- Granulats pour béton	64
IV.1. Introduction	64
IV. 2. Propriétés des granulats pour béton	67
IV.2.1. Formes des Particules	67
IV.2.2. La capacité d'absorption d'eau	67
IV.2.3. Propriétés mécaniques	68
IV.2.4. Durabilité des granulats	68
IV.2.5. Résistance des granulats à la désagrégation	68
IV.3. Caractéristique géométrique des granulats	69
IV.3.1. Détermination de la granularité	69
IV. 3.2. Détermination de la forme des granulats : Norme NFEN 933-3	69
IV.3.3. Détermination de la Teneur en éléments coquilliers Norme NFEN 933-7	69
IV.4. Essai los Angeles Norme NFEN 1097-2	69
IV.5. Propriétés thermiques et d'altérabilité des granulats	69
IV.6. Propriétés chimiques des granulats	69
V- Granulat pour route	71
V-1. Introduction	71
V.2. Constitution des chaussées	73
V.2.1 Granulats non traités	73
V.2.2. Résistance des Granulats non traités à la dégradation	74
V.2.3. Granulats traités par un liant hydrocarboné	75
V.2.4. Granulats pour les couches de roulement	75
V.2.5. Propriétés des granulats pour la couche de roulement	76
VI. CONCLUSION	77

Chapitre IV : REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES QUALITES RELATIVES (A CHAQUE USAGE) DES ROCHES ETUDIEES.

I. La préparation des cartes géotechniques	78
I.1. Généralités	78
I.2 : Introduction	79
II. Définition d'une carte géotechnique	80
II-1. Introduction	80
II-2. Cartes à usages multiples	80
II-3. Cartes à usage particulier	81
II.3-1. cartes analytiques à usage particulier	81
II.3-2. cartes synthétiques à usages particulier	81
III. Commentaire	85
CONCLUSION GENERALE	86
BIBLIOGRAPHIE	88

Liste des Tableaux

Tableau.01 : Résultats des essais physiques de quelques granulas calcaires de Tébessa	38
Tableau 02 : Résultats de fragmentation dynamique pour les roches étudiées	40
Tableau 03 : Charge abrasive et fraction granulaire correspondante	41
Tableau 04 : Charge abrasive et classe granulaire correspondante pour l'essai Micro Deval humide (MDE : P 18 572)	44
Tableau 05 : Résultats du MDE des calcaires des trois sites étudiés	45
Tableau 06 : Résultats des essais mécaniques effectués sur granulats carbonatés de la région de Tébessa	45
Tableau 07 : Valeurs de densité d'un certain nombre de roches d'après Goodman(1989), celles des roches de la région de Tébessa sont obtenues après essais au laboratoire.	50
Tableau 08 : Porosité des roches étudiée	51
Tableau 09 : Valeurs des propriétés physiques des roches étudiées au laboratoire.	57
Tableau 10 : Spécifications des granulats pour enrobés hydrocarbonés (Dupain et al, 1995)	72

Listes des figures

Fig.01 : Situation géographique de la zone d'étude	04
Fig.02 : Carte Géologique de la wilaya de Tébessa	10
Fig.03 : Coupe géologique au niveau des calcaires de l'Aptien Dj-BOUROMAN	12
Fig.04 : Coupe Géologique au niveau des calcaires du Turonien Dj-BOULHAF	13
Fig.05 : Coupe Géologique au niveau des calcaires de Maestrichtien D'ADILA	15
Fig.06 : Esquisse Tectonique des environs de Tébessa et Hammamet	18
Fig.07 : Carte géologique simplifiée de l'Atlas saharien oriental aux confins Algéro-Tunisiens (WLIDI.1983).	20
Fig.08 : Photos de différentes classes granulaires	29
Fig.09,10. Station de fabrication de granulats	30
Fig.11 : Schéma d'exploitation dans une carrière d'agrégat	33
Fig.12 : Appareil Los-Angeles	42
Fig.13 : Appareil micro-Deval	43
Fig.14 : Graphe montrant la relation entre la résistance à la traction et la vitesse des ondes sismiques (d'après Irian et Deaman, 1978).	57
Fig.15, 16, 17, 18, 19, 20,21. Utilisation De La Pierre De Tailles	59
Fig.22 : Granulats pour béton	65
Fig.23 : Station de contrôle dans une carrière de granulats	65
Fig.24 : Granulats pour route et béton	66
Fig.25 : Granulats pour diverses utilisations	70
Fig.26 : Carrière de granulat	70
Fig.27 : Essai d'une carte géologique montrant les quatre âges étudiés, échantillonnage et localisation	83

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La géologie du Nord de l'Algérie, dans les zones les plus peuplées, est caractérisée par la prédominance de roches calcaires. Ces roches constituent une réserve importante de matériaux de construction. La grande majorité des carrières en exploitation se trouve naturellement sur des sites calcaires.

La demande de granulats pour subvenir aux besoins du plan de relance économique 2005/2009 nécessitera une augmentation en granulats et particulièrement en sable, produit de concassage.

Les sites en exploitation en 2005 sont au nombre de 1043 unités dont 933 carrières et 110 sablières. Il devient donc nécessaire d'investir dans cette activité.

La production de granulats doit subvenir à la demande suivante :

- La réalisation d'un réseau autoroutier de 4500km linéaire:
 - L'autoroute EST-OUEST, longue de 1216km dont 927km de programme neuf.
 - La deuxième Rocade d'Alger : 65km.
 - La troisième Rocade plus au Sud d'Alger : 140km.
 - La quatrième Rocade, encore plus au Sud : 300km.
 - La liaison autoroutière entre le port de Djendjen / les hauts plateaux : 100km.
 - La Rocade des hauts plateaux Est-Ouest : 1200km.
 - Les liaisons Nord Sud, pénétrantes au nombre de 8 : 1517km.
- La construction d'un million de logements.
- Le développement du secteur du transport ferroviaire par la réalisation ou le renforcement de plusieurs lignes.

L'accroissement de cette demande a déjà été fortement ressenti dans le courant du deuxième semestre 2006. Il est attendu à partir de juillet 2007 une très forte demande qui pourrait être plus ou moins atténuée dès la mise en exploitation des gisements mis à la disposition des entreprises chargées de la réalisation de l'autoroute Est-Ouest.

La demande sur la période 2006/2009 est estimée à 445,4 millions de tonnes de granulats dont 159 millions de tonnes de sable. Elle est répartie par année comme suit :

	Total granulats	U = millions de tonnes de sable
2006	134,7	48
2007	131,7	46
2008	103,4	37
2009	75,6	28
Total	445.4	159

L'offre est estimée sur la période 2006/2009 à 385 millions de tonnes dont 98,8 millions de tonnes de sables.

Elle se répartit comme suit :

	Total granulats	U = millions de tonnes de sable
2006	98,70	29,70
2007	87,20	19,80
2008	95,20	23,00
2009	105,90	26,30
Total	385	98,80

L'adéquation offre-demande montre que sur la période 2006/2007, il y a :

- un équilibre offre demande pour les granulats autres que sable,
- un déficit de 60 millions de tonnes en sable.

Les régions déficitaires en matière de granulats sont les suivantes :

- Alger : (Alger, Blida, Boumerdes, Tizi Ouzou, Bouira et Tipaza)
- Oran : (Oran, Mostaganem, Sidi Bel Abbès et Ain Témouchent)
- Tlemcen (Tlemcen, Naama et El Bayadh)
- Constantine (Constantine, Oum El Bouaghi et Mila)
- Skikda : (Skikda, Annaba, Guelma et El Tarn)
- Tébessa : (Tébessa, Souk Ahras et El Oued)
- Batna (Batna, Biskra et Khenchela)

Le déficit constaté sur la période 2006/2007 exige que les gisements potentiels de granulats soit être identifiés, caractérisés et cartographiés. Dans cet objectif, cette étude viendra éclairer

le potentiel de la région en matériaux.

La région de Tébessa est parmi les régions de l'Algérie les plus riches en calcaire. Ils forment une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation NE-SW, due aux diverses phases tectoniques récentes qui ont affectées la région.

Il existe plus de 17 carrières fonctionnelles, privées et étatiques, mais la capacité de production de ces carrières ne répond pas aux besoins de la région.

Ce projet de recherche vient à un moment où la demande sur les matériaux de construction a connu une hausse importante. Il vise à caractériser les gisements potentiels et évaluer la quantité de leurs produits, ce qui revient à dire à évaluer leurs propriétés géologiques, physiques et mécaniques.

Une étude géologique approfondie impose :

- une *étude pétrographique* : L'examen microscopique des lames minces doit fournir des informations sur la pétrographie, la minéralogie et les divers types d'agencements des minéraux.
- *la lithologie*: basée sur la description lithologique, la nature et la puissance des bancs et leurs caractéristiques géométriques et structurales.
- *l'altération ou l'altérabilité*: comprend les zones de broyages, les zones d'impuretés ou contaminées par des argiles, qui, en présence d'eau influent directement sur la qualité du produit.
- *Diverses discontinuités*: il s'agit des zones de faiblesses telles que joints, failles ou fracturations, fentes de tensions à remplissages et diaclases.

CHAPITRE I

CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET

GEOMORPHOLOGIQUE

CADRE GEOLOGIQUE

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La région d'étude appartient à la wilaya de Tébessa, située à l'est de l'Algérie, à la frontière algéro-tunisienne. Elle se présente comme une chaîne de montagnes, avec des altitudes allant de 800m à 1600m.

La wilaya de Tébessa est limitée :

- Au nord par la wilaya de SOUK AHRAS.
- Au sud par la wilaya d'OUED SOUF.
- A l'EST par la frontière ALGERO- TUNISIENNE.
- A l'OUEST par les deux wilayas OUM EL BOUAGHI et KHENCHELA.

La wilaya de Tébessa couvre une superficie de 21000Km², avec une population de 520000 habitants.

Le climat de la wilaya de Tébessa est semi-aride, caractérisé par l'alternance d'une saison chaude et sèche et d'une saison froide et peu humide. La pluviosité moyenne est faible, mais la neige peut s'observer sur les hauteurs depuis novembre jusqu'à mars.

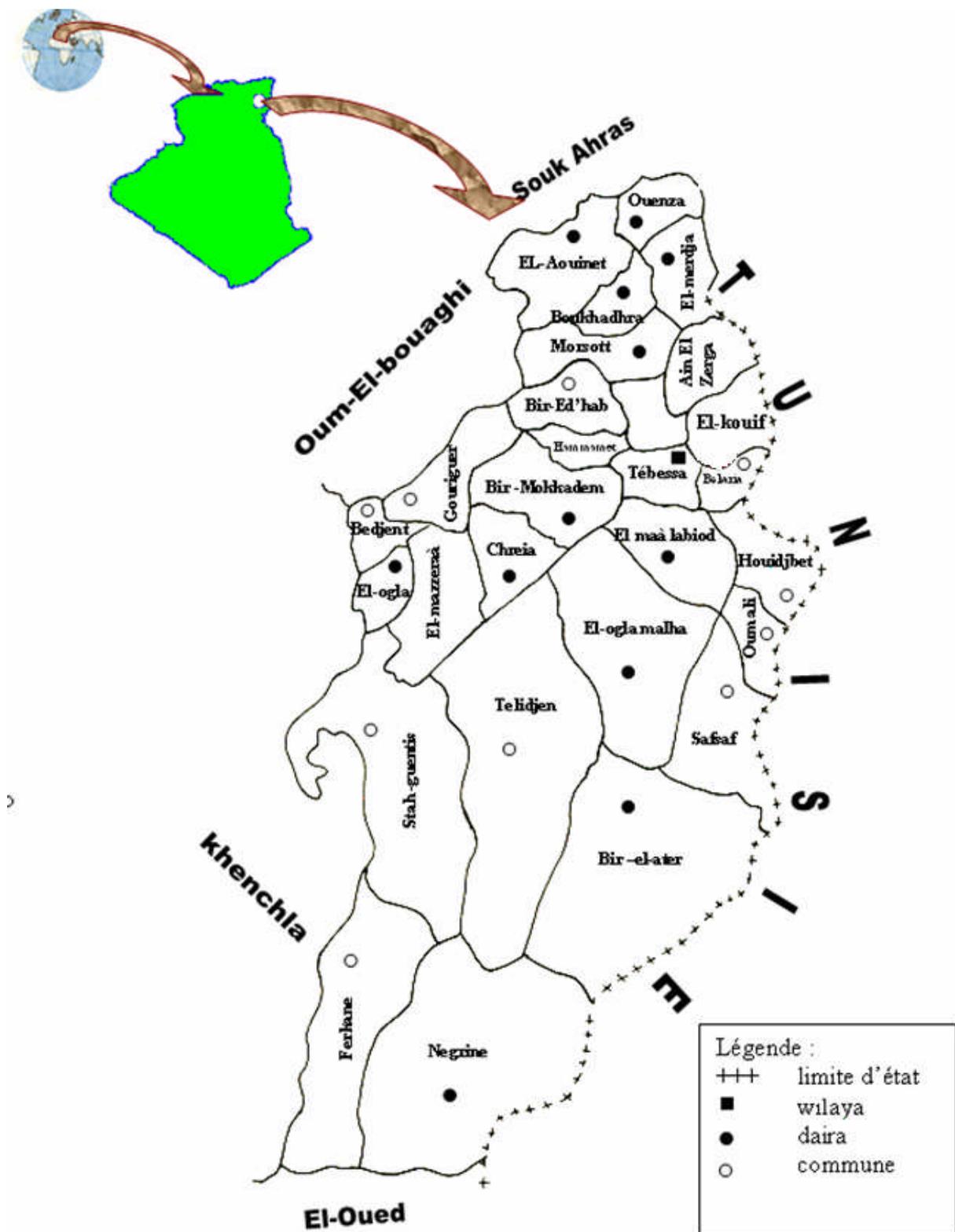


Fig N°01 : situation géographique de la zone d'étude

2- CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE :

Dans la région Nord du territoire de la wilaya de Tébessa, le relief se présente sous forme de massifs isolés aux formes escarpées (Dj. Ouenza, Dj.Harraba), ainsi que de dômes peu saillants (Di. Dyr), qui s'élèvent au dessus de vastes plaines dont l'altitude oscille entre 400 et 510m.

Le Djebel Ouenza est un grand anticlinal de direction SO--NE avec une altitude d'environ 800m. Le Djebel Méridef quant à lui, montre surtout une lame très redressée d'âge Aptien, ce petit anticlinal de direction SO--NE est coupé par une faille longitudinale qui en abaisse le partie SE. Il est affecté par trois injections triasiques et a une grande analogie avec Djebel El Ouenza. Le pays est drainé par l'oued Mellègue

En allant vers Morsott, la partie occidentale est occupée par la plaine de l'oued Ksob, et s'oppose à la région orientale, montagneuse, où les crêtes calcaires allongées selon un axe NE-SO séparent d'étroites dépressions marneuses.

L'importance prépondérante des formations marneuses a déterminé l'installation d'un relief de type inverse, dont le synclinal perché de Djebel Dyr, culminant dans sa pointe Sud à plus de 1472m d'altitude.

Dans la partie centrale, la plaine de Tébessa suivie par l'oued Chabro et oued El Ksob, correspond à un grand fossé d'effondrement qui coupe orthogonalement des plis d'axe S-NE. De grandes fractures, disloquant ces structures anciennes, ont naturellement accompagné l'enfoncement du grabben.

Ces divers mouvements ont concouru à donner au pays sa physionomie actuelle. La vaste plaine de Tébessa, à l'altitude moyenne de 800m, est entourée, de part et d'autre, de masses calcaires assez élevées (Bou Roumane 1545m) et d'arêtes rocheuses, que franchissent les cols de Bekkaria et de Tenoukla.

Au Sud-Ouest, la falaise de Doukane constitue la ligne de partage des eaux entre le versant méditerranéen (oued Kebir-Mellègue) et le versant saharien (oued Eerzgel).

Les caractères structuraux du relief de la plaine de Tébessa et de ses bordures ont des conséquences géotechniques et hydrogéologiques importantes à connaître, dont l'instabilité des versants et le caractère différentiel du bassin concernant les eaux souterraines.

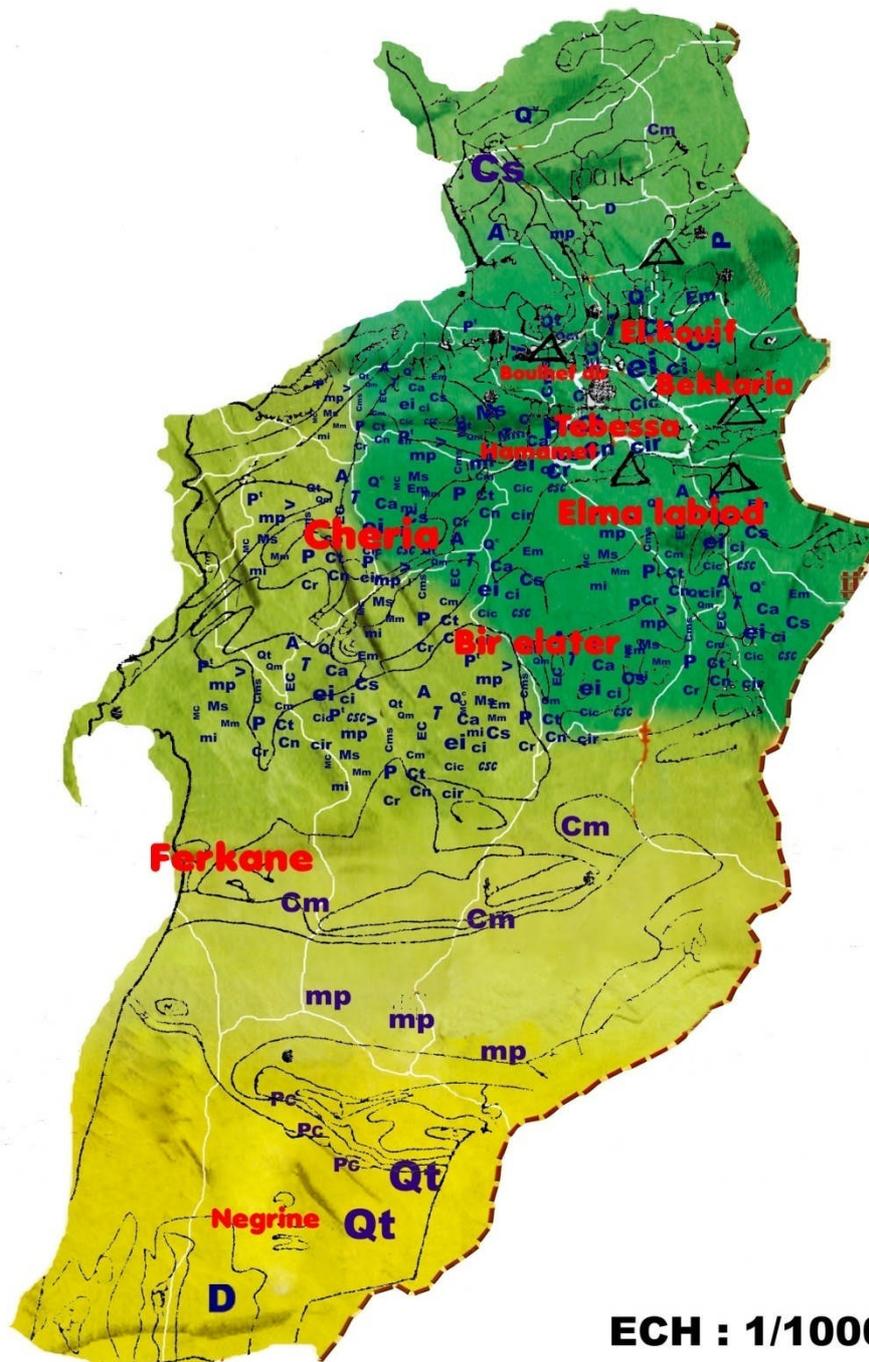
Dans la région de Cheria, la structure externe se présente comme un haut plateau de forme triangulaire, dont la pointe est tournée vers le Sud. Dans le pourtour de ce bassin, se trouvent des reliefs calcaires, d'une altitude moyenne de 1100m. Le point culminant se situe Nord de Cheria est de 1150m au sud elle est de 1050m. La surface totale du bassin est de 791Km². Parallèlement aux grand reliefs calcaires externes se développent de petits reliefs,

A l'intérieur du bassin, entre ces reliefs, les produits d'érosion ont rempli les dépressions et masquent les affleurements géologiques.

Dans la zone d'El-Ma-Labiod, ces structures sont recouvertes par le Miocène deltaïque et le Quaternaire.

Dans la partie Sud de la wilaya, les dépôts crétacés se noient brusquement dans la direction de la plate forme saharienne, recouverte d'une puissante assise de roches néogènes et quaternaires.

LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA WILAYA DE TEBESSA



LEGENDE

A	Alluvions actuelles: lacs, marécages, dayes, chotts sabkhas, limons et crouts gypse salines.
D	Dunes recantes.
Qt	Quaternaire continental: alluvions, regs, terrasses.
Qm	Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires associées. Qd les accompagnent.
Q^c	Calabrien: grès marins et formations dunaires associées.
Q^v	Villes franches: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges.
P	Piscesse continental: duella freonien non séparé (P ¹)
P¹	Piscesse continental: piscesse, redoubt, hémite.
P	Piscesse marine: Darguine, Darguine, Darguine, Darguine. Craie et formations dunaires associées.
MP	Mesozoïque (actuellement subdivisé en M ¹)
M¹	M¹₁ Miocène inférieur: marais salins, roches d'origine lacustre.
	M¹₂ Miocène supérieur: marais salins, grès, argiles.
	M¹₃ Miocène continental: argiles.
	M¹₄ Miocène inférieur: (non séparé).
E¹	E¹₁ Eocène moyen et inférieur marin.
	E¹₂ Eocène moyen et inférieur marin continental.
	E¹₃ Eocène inférieur marin.
C¹	C¹₁ Crétacé supérieur marin.
	C¹₂ Crétacé supérieur continental.
	C¹₃ Crétacé supérieur non subdivisé.
C²	C²₁ Crétacé moyen marin ou lagunaire. Divisé éventuellement en C ² ₁ turonien.
	C²₂ Crétacé marin non subdivisé: C ² canchérien.
C³	C³₁ Crétacé inférieur et faciès marins normaux.
	C³₂ Crétacé inférieur et faciès marins normaux. C ³ ₂ C ³ ₂ faciès isolaux ou subrecifaux. C ³ ₂ C ³ ₂ faciès continentaux ou lagunaires.
	C³₃ Eventuellement albiens et crétacés inférieurs séparés en C ³ ₃ .
F	TRUS LAGUNAIRES OU MARIN.

3. Géologie régionale

L'étude géologique s'inspire en grande majorité de travaux déjà réalisés tels que (Dubourdiou, 1949, 1956 et 1959 ; Durozoy, 1956 ; Blès et Fleury, 1970 et J. M. Vila, 1980 et 1994).

Les formations essentiellement carbonatées, ayant le potentiel d'être roche mère pour les matériaux de constructions, sont les suivantes :

3.1. Aptien

3.1.1. Aptien moyen et inférieur

Ce sont des calcaires massifs et dolomies; dont la moitié inférieure est à peu près entièrement dolomitique, d'une épaisseur de 400m. Les fossiles distingués sont les Gastéropodes, les Orbitolines et quelques Rudistes.

3.1.2. Aptien supérieur

Les formations sont représentées par des calcaires massifs, gris ou roux, admettant trois intercalations de quelques mètres de marnes et de marno-calcaires sans éboulis. L'épaisseur de l'Aptien supérieur est voisine de 70m. On note aussi la présence d'Orbitolines.

3.2. Turonien

Les formations du Turonien sont représentées du bas en haut par :

- 1- Une assise très constante de marno-calcaires gris et de marnes à fossiles, épaisse de 60 m à 70 m.
- 2- Une assise massive de calcaires beiges parfois roses et de dolomies ou de calcaires dolomitiques, avec une épaisseur de 80m à 100m.
- 3- Des calcaires à Lumachelles, des marnes noires gypsifères ou Lumachelliques avec une épaisseur de 150 m.

3.2.1. Turonien inférieur

Il est constitué par une assise très constante de marno-calcaire gris en petit bancs, avec une épaisseur de 60 à 70m. Plus au Nord de Tébessa, à Morsott, la formation est d'environ 300m d'épaisseur, et comporte des Gastéropodes et de rares Madrépores, alternant avec des niveaux de calcaires plus argileux.

3.2.2. Turonien Moyen

C'est une assise massive (80 à 100m) de calcaires beiges ou roses, et de calcaires dolomitiques. Les bancs sont épais, sauf dans la partie inférieure qui comprend uniquement les calcaires marneux aux environs immédiats de Tébessa. L'ensemble est presque

entièrement dolomitique à Dj. Anoual, Bekkaria et Tenoukla. La faune existante est dominée par les Radiolaires.

3.2.3. Turonien supérieur

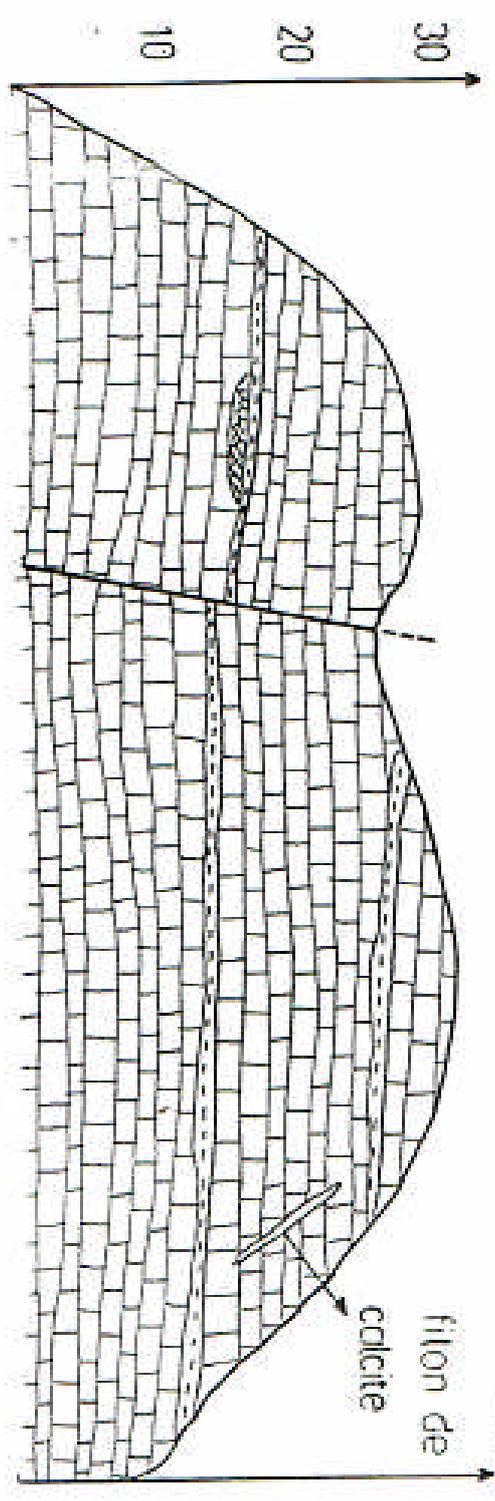
Son épaisseur est de 150m, il comprend de haut en bas: des marnes noires gypsifères, des marno-calcaires gris en plaquettes blanchâtres, avec des niveaux Lumachelliques qui se poursuivent dans le Coniacien.

NE

Fig. 03: Coupe géologique au niveau des calcaires de L'Aptien
Dj-BOUROMANE

SW

alt (m)



calcaire d'aptien

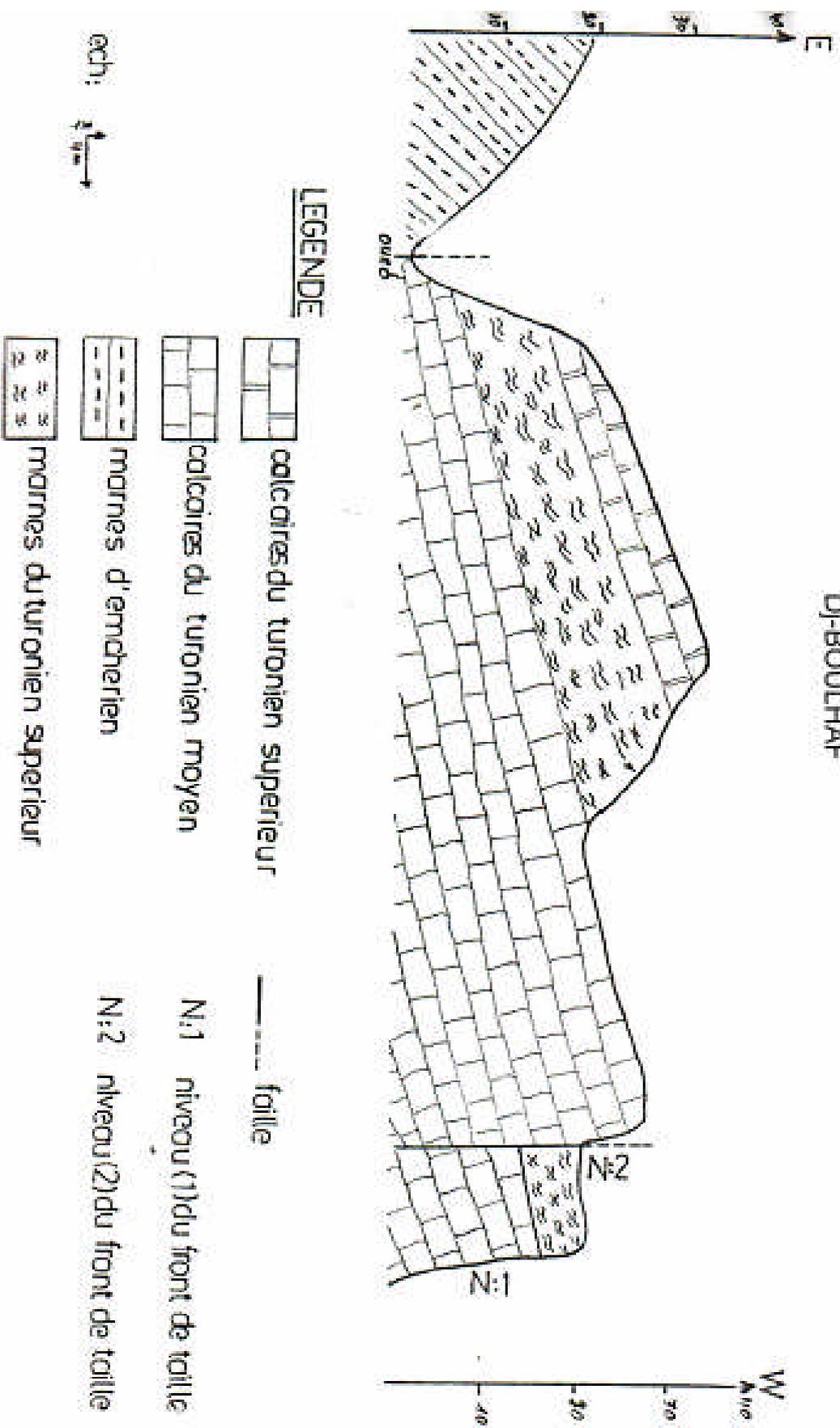
marnes

zone humide de ruissellement

faille

ECH: $\frac{E}{S}$
2m

Fig.04 Coupe geologique au niveau des calcaires du Turonien
 DI-BOULHAF



3.3. Maestrichtien

3.3.1. Maestrichtien inférieur

Il est constitué de 170m de marnes grises et de calcaires surtout dans la région de Morsott. Les marnes sont souvent masquées par les éboulis aux pieds des reliefs formés par l'assise précédente. Au dessus d'Ain Chabro, dans la région de Tébessa, les marnes passent à des marno-calcaires blancs. L'épaisseur est d'une trentaine de mètres. Un, et parfois deux gros bancs de calcaires ocres très durs existent à la base des marnes. Les masses calcaires finement bioclastiques livrent des sections de Globigérinidés et d'Hétérohélicidés.

3.3.2. Maestrichtien moyen

C'est une assise très constante et homogène dans toute la région et surtout dans la région de Tébessa, comprenant 80m environ de calcaires blancs massifs, bien lités, à nombreuses empreintes d'Inocérames. Au pied de Kef Gouraye, près de la limite frontière d'El Anba, des masses calcaires, détachées des grands reliefs, sont solidifiées sur les marnes sous-jacentes.

3.3.3. Maestrichtien supérieur

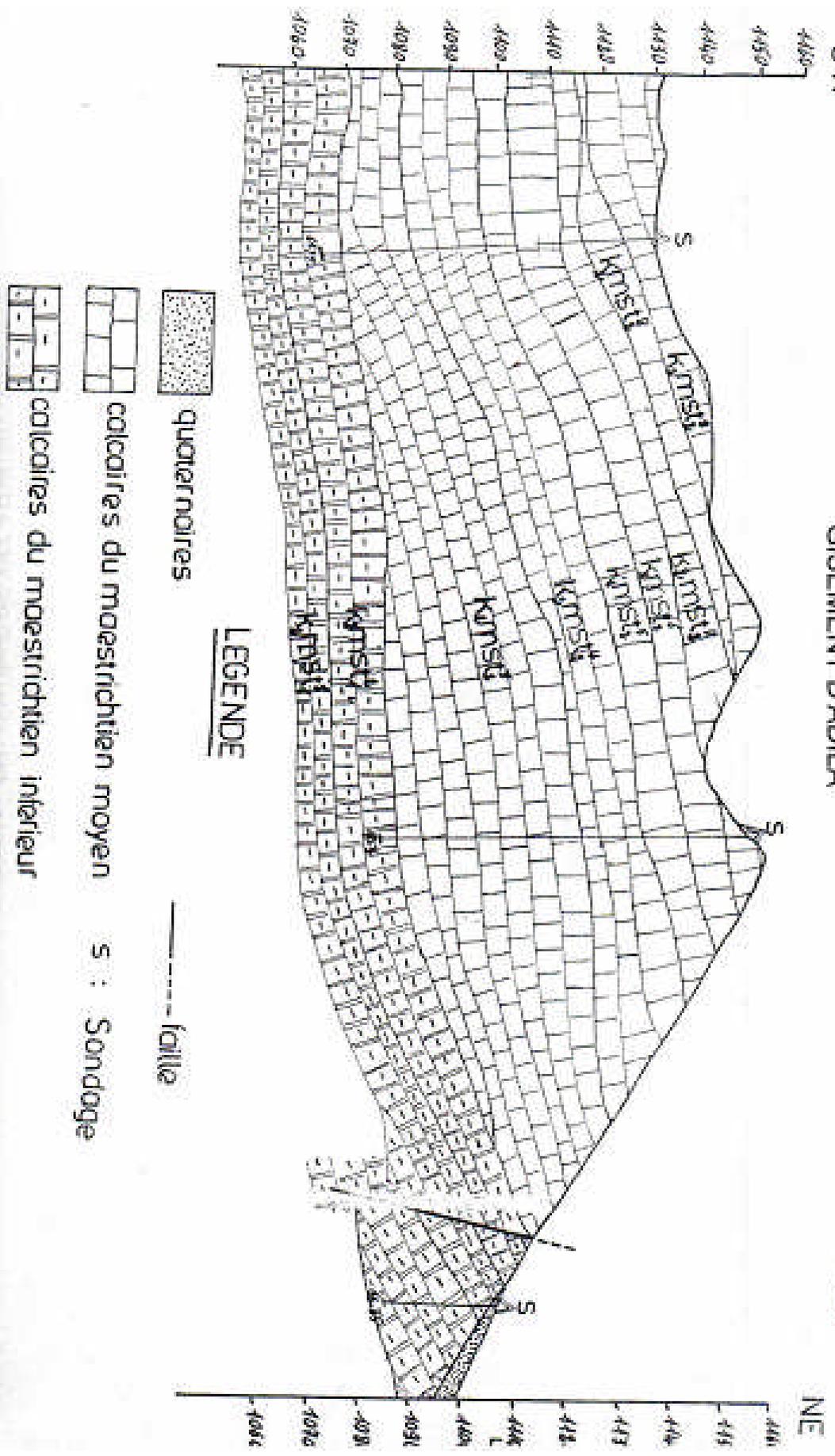
Il est représenté par 150m, en moyenne, de marnes grises montrant quelques intercalations calcaires à la base. Des Ammonites ainsi que des Foraminifères caractérisent le Maestrichtien.

3.4. Quaternaire

Il est représenté par des formations typiquement continentales. Ce sont essentiellement des limons alluviaux, à nombreux fragments détritiques grossiers. On observe également une large extension de la croûte calcaire, qui présente des irrégularités, soit en épaisseur, soit en granulométrie.

Fig.05: Coupe géologique au niveau des calcaires de Maestrichtien
 GISEMENT D'ADILA

ECH: 1/4000



4. Description tectonique et structurale de la région de Tébessa

Sur le plan structural, la région de Tébessa occupe deux zones géotectoniques, qui se différencient par l'âge de leur base plissée et par les particularités de leur structure.

Ce sont des plates formes, épi-hercynienne (Nord et centre du territoire) et antécambrienne Nord Africaine (Sud), divisée par une faille Nord Atlassienne.

La région de Tébessa est parcourue par de grandes structures synclinales et anticlinales de direction NE-SW. Ces structures sont bien visibles en particulier sur le plateau de Chéria et au Djebel Dyr. Dans la plaine d'effondrement, l'anticlinal NE-SW qui part de Chéria passe par Droudi et se retrouve à Fedj Tala, se matérialise dans la plaine dans les environs de Sidi Yahia par un affleurement de Trias.

Dans la zone d'El-Ma-Labiod, des structures plus profondes sont recouvertes par le Miocène continental. Elles sont donc antérieures au Miocène et à la phase de distension qui a provoqué l'effondrement de la plaine de Tébessa – Morsott, qui est beaucoup plus au Nord, derrière Bekkaria.

Si on ne considère que les terrains de la feuille Morsott, il est difficile de déterminer l'âge des plissements: Les seuls dépôts tertiaires, postérieurs à l'émergence éocène (sables littoraux attribués au Tortonien) sont localisés au coeur du synclinal de Djebel Dyr, où ils surmontent sans discordance apparente les calcaires du Lutétien inférieur.

Cependant, à l'est du Kouif, entre la limite de la feuille et la frontière Tunisienne, les mêmes sables du Miocène inférieur reposent en discordance sur les calcaires éocènes ou les marnes paléocènes.

D'autre part, on sait que plus au Nord (Feuilles Boukhadra et Dj.Ouensa ainsi qu'au Dj.Mesloul), le Miocène est discordant sur tous les termes de la série crétacée et qu'il remanie le Trias (feuille de Tébessa), aussi le Miocène est discordant sur les termes du Crétacé (G. Dubourdieu 1919-1951; 1956 et 1959).

Le plissement de la région est donc postérieur au Lutétien inférieur et antérieur au Miocène et se trouve, sans doute, responsable de l'émergence de la région à l'Eocène moyen.

Un grand accident de direction NNE-SSW semble couper et décrocher la plaine de Tébessa. Il s'agit d'une faille inverse. Le compartiment SW chevauche le compartiment NE, ceci est bien visible Djebel Chemla lorsqu'on emprunte la piste qui joint Morsott-Tébessa.

La construction SO de cet accident semble se perdre dans la profondeur de l'anticlinal central de Chéria. Sur la bordure Nord du plateau, il affecte principalement le Turonien.

Nous sommes dans le niveau structural moyen, l'empilement des structures vers la profondeur s'organise avec une réduction du rayon de courbure et, au delà d'une certaine profondeur, par la formation d'une faille surtout lorsque les niveaux deviennent compétents (ici les calcaires turoniens).

Vers le haut, cet accident s'amortit dans les marnes de L'Angoumien, du Coniacien, du Santonien et du Campanien inférieur. C'est ainsi semble-t-il que le Maestrichtien de Chéria n'est pas affecté. L'axe des grandes structures a un plongement vers le SO, le point culminant de la région se trouve au SO du synclinal du Djebel Dyr avec 1472m. Les sommets des reliefs calcaires qui s'étagent d'environ 1000 à 1500m, représentent les témoins d'une ancienne surface d'érosion, à peu près plane mais légèrement gauche, culminant à la pointe Sud du Djebel Dyr (à partir de ce point, elle s'incline régulièrement vers le nord et perpendiculairement à cette direction, vers le Nord-Ouest et Sud-Est).

Cette surface d'érosion, pratiquement pas déformée, est postérieure aux plissements et en particulier aux compressions tangentielles post-miocènes inférieures continentales: les formations sableuses ou conglomératique de cet étage constituent en effet quelques sommets de même altitude que ceux des formations environnantes plus anciennes qui déterminent cette surface. Elle est d'autre part antérieure à la formation du fossé de Morsott qui la recoupe nettement.

Les sédiments plio-villafranchiens comblent les parties basses des fossés tectoniques et ne s'observent jamais sur les reliefs environnants. Les fossés ont donc commencé à s'individualiser avant le dépôt du Plio-Villafranchien. Par ailleurs, les failles de bordure des fossés ont provoqué le redressement des couches plio-villafranchiennes, et même affectent la nappe d'épandage ancien, à l'Ain Torriche et sur la bordure Nord-Est du Djebel Belkefif.

L'individualisation des fossés est donc postérieure à l'élaboration de la surface d'érosion post-Miocène et a commencé avant le Plio-villafranchien, mais le jeu des failles bordières a du continuer jusqu'à une époque récente.

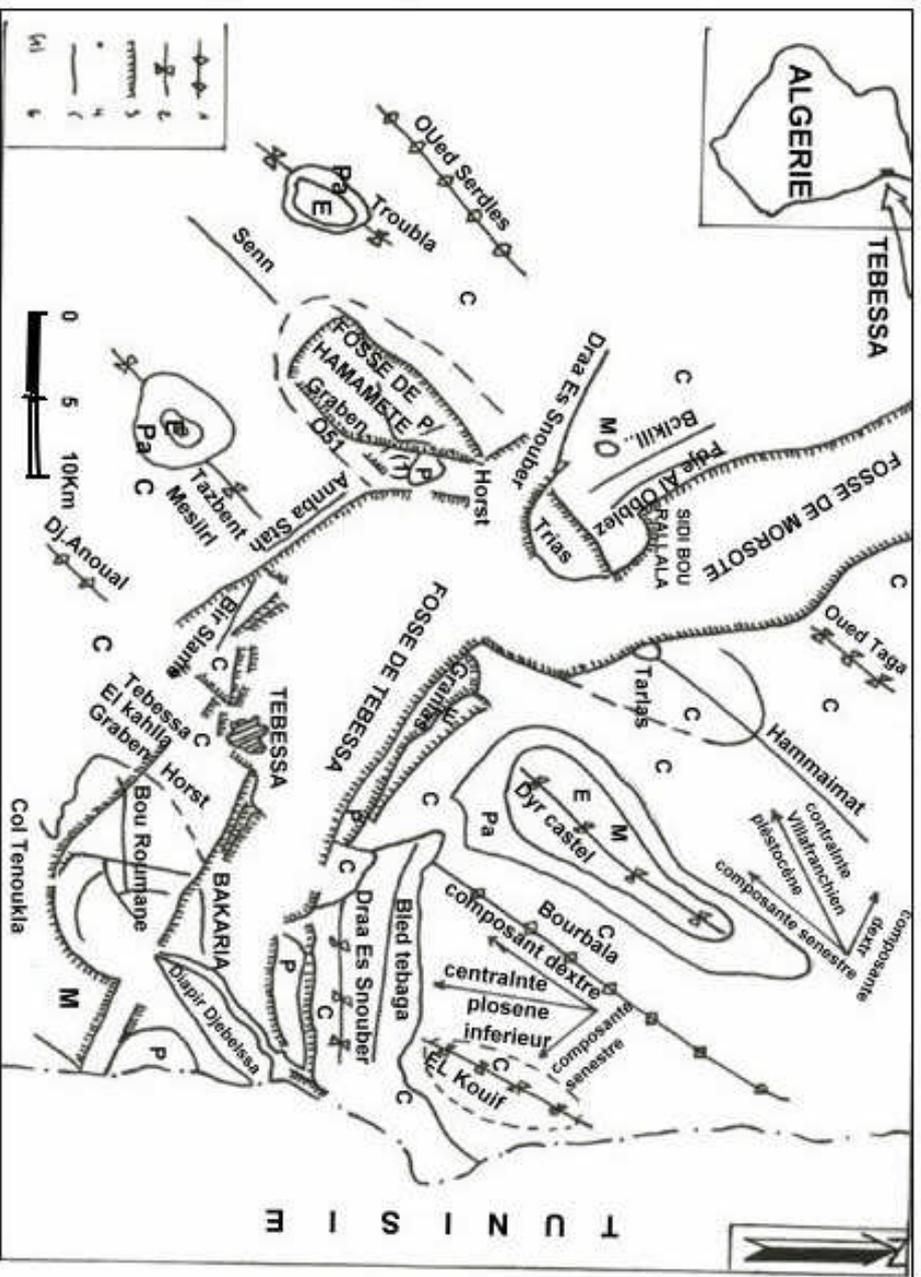
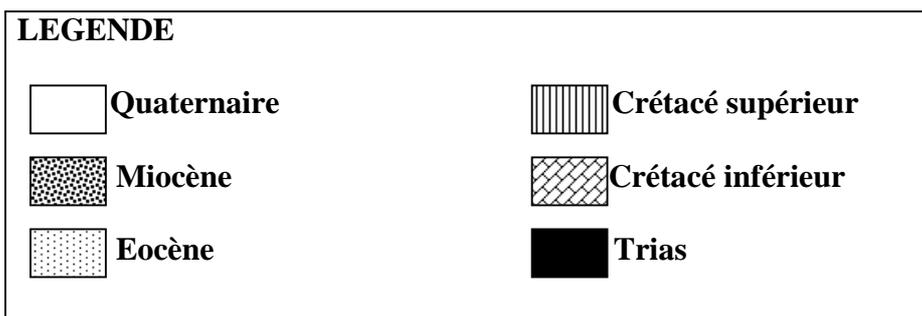
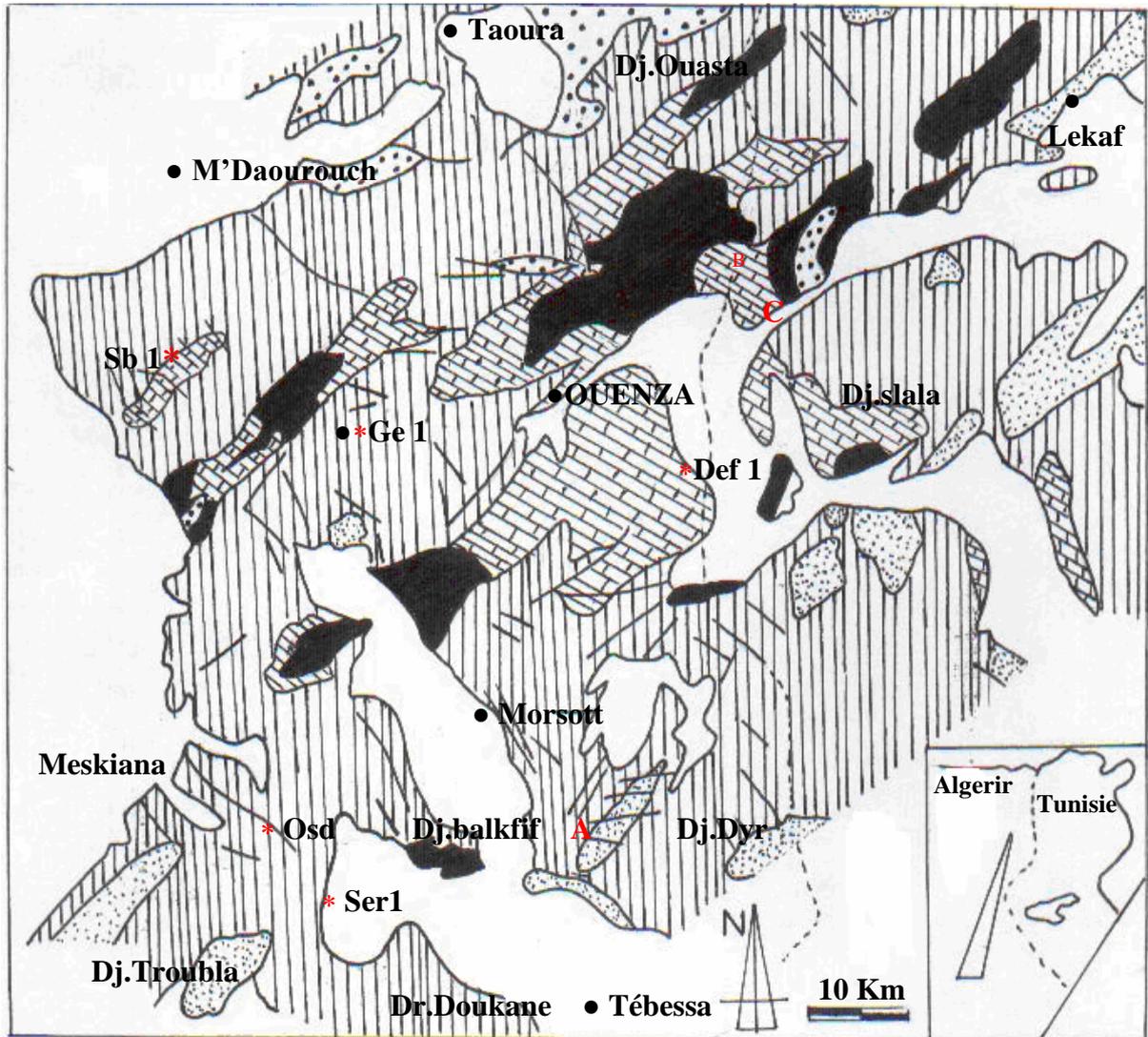


Fig06: Esquise tectonique des environs de Tébessa et Hammamet avec l'emplacement des directions des contraintes maximales.

C: Crétacé (cretaceous), E: Eocène (Eocene), M: Miocène (Miocene), P: Pliocène (Pliocene), Pa: Paléocène (Palaeocene), Q: Quaternaire (Quaternary), T: Trias (Trias), 1- anticlinal (Anticline) 2- synclinal (Synclinal), 3- limite du fossé (Ditch border), 5- faille (faults).

La surface de la plate forme épi-hercynienne (Atlas saharien) se caractérise par la présence d'étroits anticlinaux bien manifestés dans les reliefs, étendus sur des dizaines de kilomètres, alternant avec de larges synclinaux à fonds plat, constitués par des dépôts crétacés et paléogènes.

Dans le Sud de la wilaya, les dépôts crétacés se noient brusquement dans la direction de la plate-forme saharienne, recouverte d'une puissante assise de roches néogènes et quaternaires.



FIGN° : 07 Carte géologique simplifiée de l'Atlas saharien oriental aux confins Algéro-Tunisiens (WLIDI.1983).

5. Caractérisation pétrographique des roches carbonatées

5.1. Introduction

Les roches carbonatées sont des roches sédimentaires formées principalement par accumulation de micro-organismes à squelette carbonaté, accompagnée d'une précipitation de CaCO_3 , qui peut provenir de la dissolution partielle des coquilles, ou de la sursaturation en CaCO_3 du milieu. Les fragments d'organismes et les éléments détritiques que peuvent contenir les roches carbonatées leur donnent une allure granulaire. Fréquemment, les roches carbonatées se déposent soit, au même moment que des argiles, et dans ce cas on aura un calcaire argileux (calcaire marneux), soit en alternance, et dans ce cas, on obtient une intercalation de marnes et de calcaires.

La minéralogie est importante dans la détermination et la prévision de l'état de solidité de la roche, la texture, la taille et la forme des grains, le degré de compaction, la porosité, la présence de fragments lithiques, ainsi que la nature de la phase de liaison jouent, eux aussi, un rôle très important.

5.2. Analyse pétrographique des roches étudiées

L'Analyse pétrographique est élaborée comme suit :

- Une étude macroscopique à l'échelle du front de taille de chacun des faciès étudiés.
- Une analyse microscopique sur lames minces des échantillons pris dans chaque lithologie.

L'analyse macroscopique à l'échelle du front de taille a pour objectif de cerner d'abord la structure générale, l'agencement des couches (bancs de calcaires). A la lumière de l'observation de l'échantillon à l'œil nu, on peut commencer une étude microscopique plus détaillée.

A) Calcaire aptien

Les calcaires de l'Aptien de Dj Bouromane sont disposés verticalement et entourés par des zones de marnes vertes, jaunâtres. Ils forment une grande lentille de calcaires entre les marnes. Plus loin du gisement, à environ 300m, il existe une autre lentille de même allure. Ce sont des calcaires récifaux, entourés par des calcaires peu dolomitiques. De couleur gris foncé, ils contiennent des inclusions de barytine avec de la calcite bien cristallisée de couleur blanchâtre, orthorhombique. Il existe aussi des zones de morcellement et partiellement des stalactites et stalagmites dans de petites

grottes. Sur la partie superficielle du gisement, se développent des formes karstifiées avec de légères concavités et convexité des couches.

La stratification n'est pas visible et la recristallisation de la roche par la diagenèse s'explique par la non existence des fossiles.

La structure de la roche est microcristalline et les cristaux des filons de calcite et barytine sont bien développés.

B) Calcaire turonien

Les calcaires du Turonien de Dj Boulhaf sont de couleur beige, à veinules de calcite blanche de quelques millimètres d'épaisseur, et présentent de petites cavernes qui sont remplies par la calcite parfaitement ou partiellement. La structure est microgranulaire, mais il y a des changements au niveau de quelques bancs (grenue) qui s'expliquent par le passage organo-détritique. La structure à petites échelles est désordonnée, malgré cela, on voit la direction ces couches. La cassure est en éclat. Avec l'utilisation d'acide ou sans l'acide, on distingue des vides et des traces d'argile visibles à l'œil nu. Cette roche présente une texture massive.

L'affleurement étudié est un monoclinal, dont les bancs de calcaires présentent une direction et un pendage de N60° E45SSE. L'ensemble du massif de calcaire du Turonien est en effet un versant anticlinal, cette structure est le résultat de la tectonique que la région a subi, donc ce calcaire est le flanc d'un anticlinal coupé par une faille. Remarquons aussi que le massif présente des fissures obliques et d'autres en diagonale. La stratification est régulière et l'épaisseur des bancs varie entre 20cm et 02m. Du point de vue paléontologique, on distingue des Rudistes.

La surface superficielle de l'affleurement est recouverte par des terrains meubles d'épaisseur moyenne de 30cm.

La partie supérieure du front de Taille est attaquée par l'altération provoquée par les agents climatiques. En général, l'altération est faible, de couleur blanche, c'est une altération chimique.

C) Calcaire maestrichtien

C'est l'assise des calcaires du Maestrichtien moyen du gisement D'ADILA qui fait l'objet de cette étude et d'un échantillonnage. Elle se subdivise en huit groupes ou niveaux, lithologiquement différents. A partir du niveau 1 et jusqu'au niveau 8, ce

sont des calcaires faiblement marneux de couleur gris clair à brunâtre, contenant une substance argileuse, avec des microstructures.

Il se développe sous forme témoins, sur les points de reliefs les plus élevés suivant les niveaux hypsométriques des contacts visibles avec les couches sous-jacentes. La puissance de ce niveau atteint 6 m. Il est représenté par un calcaire blanc grisâtre de teinte crème à grains fins, massifs et très durs, pareil à ceux des niveaux 4, 6 et 8, à la base de ce niveau se développe une couche de calcaire de type conglomérats intraformationnels avec des galets de calcaires de couleur foncée, liée par une phase de couleur plus claire. On observe également, des rares inter-lits de calcaires marneux dont l'épaisseur est de 10 cm environ.

La récapitulation de cette description lithologique détaillée montre l'existence de trois types de roche qui se succèdent en se répétant sous forme de niveaux par ordre pair.

Les échantillons ont été prélevés sur chacun des trois types de roche.

- Calcaire gris clair faiblement marneux dur.
- Calcaire marneux.
- Calcaire blanc grisâtre à teinte crème, très dur (à grains fins).

5.3. Analyse microscopique

L'analyse microscopique faite sur lames minces nous a permis de confirmer des observations macroscopiques et de voir la texture interne de la roche, qui aura des conséquences certaines sur le comportement de la roche entière sous les diverses sollicitations externes.

5.3.1 Calcaire aptien

Le calcaire aptien est un calcaire dolomitique qui montre des cristaux de dolomites à forte biréfringence en mosaïque, il renferme également des grains de quartz isolés anguleux parfois bipyramidés de taille moyenne allant de (0.15- 0.56 mm), ces corpuscules quartzeux de néoformation ne sont pas jointifs mais noyés dans l'ensemble de la matrice. Ce calcaire est riche en bioclastes tels que certains fragments de tests de Brachiopodes de taille moyenne (0.84 mm), Lamellibranches (0.67 mm), on note aussi la présence d'Echinodermes et d'algues oxydées (1.16 mm). Cet ensemble est lié par un ciment pseudosparitique avec le reste de plages micritiques formant ensemble la phase de liaison. Les bioclastes sont souvent couverts d'une

gangue micritique, avec un remplissage sparitique interne. Des cristaux en mosaïque de taille moyenne allant de (0.2 - 0.56 mm) probablement de la dolomite, tapissent l'ensemble de la lame. On note aussi que certains intraclastes sont imprégnés d'oxyde de fer (0.37- 0.83 mm), ce dernier remplit les pores des fragments de fossiles et parfois en partie remplace leur squelette, on note également la présence de fractures à remplissage microsparitique de taille (1.05 - 3.16 mm).

5.3.2. Calcaire turonien

Ce calcaire du Turonien moyen, de couleur beige à veinules de calcite blanche de quelques millimètres d'épaisseur, contient aussi de petites cavernes remplies par la calcite. Par endroit, on observe des silicifications de petites dimensions. La biomicrite comporte une forte teneur en foraminifères.

5.3.3. Calcaire maestrichtien

L'observation microscopique a révélé la présence d'une matrice plus ou moins claire, dans laquelle sont noyées les Oolithes de forme circulaire, des microfossiles tels que les Foraminifères, Gastéropodes, et quelques bioclastes à structure fantôme. Pour la phase de liaison, on distingue dans la matrice micritique quelques plages microsparitiques discontinues et parsemées à travers la lame, on note aussi la présence de quelques oxydes tels que oxyde de fer remplissant les vides. Ces calcaires contiennent des microfissures d'orientation aléatoire. Ces microfissures ressemblent à celles dues aux retraits des mudstones, et peuvent être le résultat de la détente post-tectonique. A un autre niveau calcaireux, il s'agit de calcaire riche en micro-organismes (Algues, Foraminifères... etc.), des Oolithes et des traces d'intraclastes, noyés dans une matrice pseudosparitique. Cette disposition témoigne probablement d'un stade relatif d'une phase de recristallisation de ce niveau calcaireux maestrichtien.

On note également la présence probable de quelques cristaux automorphes de dolomites dans certains niveaux. Un réseau de micro fractures remplies de matériaux carbonatés est bien visible, quoiqu'il soit moins dense que dans le niveau précédent.

CHAPITRE II

**APERCU GENERAL SUR LES
AGREGATS**

LES AGREGATS

I.1 Introduction

Depuis toujours, l'Homme a façonné son cadre de vie et son habitat ; d'abord avec les matériaux qui se présentaient à lui : la terre, les pierres, les branchages, puis très tôt dans l'histoire, il utilise les roches dures telles que le granite, le calcaire ou le grès servant à la construction. L'industrie de la terre cuite se développa à l'aube de l'humanité pour fabriquer brique, tuiles... Il découvre en chauffant le gypse le plâtre, et le calcaire la chaux. Au fil de l'histoire, le développement de l'habitat urbain, des monuments, des systèmes de défense, des voies de communication, l'amène à utiliser la pierre du sous-sol local pour réaliser les ouvrages. Tous ces travaux utilisent des matières premières sous forme de morceaux de roches, soit naturels, sables et graviers soit obtenus artificiellement par concassage de roches naturelles : les granulats.

Les ressources en agrégats englobent toute combinaison de sable, de gravier ou de pierre concassée à leur état naturel ou transformé. Les agrégats sont des contributeurs essentiels aux industries du ciment et de l'asphalte qui, à leur tour, sont nécessaires à la construction des autoroutes, des barrages, des aéroports ainsi que des bâtiments résidentiels, industriels et institutionnels.

1.2. ECONOMIE

a- Importance des agrégats sur le plan économique :

En 2004, ce sont environ 173 millions de tonnes d'agrégats qui ont été produites. En 1994, on a estimé la production à quelques 136 millions de tonnes. Ces chiffres indiquent une augmentation de 27,2 t. 100 de la production au cours des dix dernières années. Sur les 173 millions de tonnes générées en 2004, 150 millions de tonnes ont été produites au moyen d'un permis, 7 millions de tonnes grâce une licence d'extraction d'agrégats, 4 millions de tonnes par l'industrie forestière et à peu près 12 millions de tonnes à partir de terrains privés dans les régions de la province qui ne sont pas réglementées en vertu de la Loi sur les ressources en agrégats.

Les agrégats sont à la base de l'industrie de la construction, qui est évaluée à 4 milliards d'euro et qui emploie 270 000 personnes. On estime que l'industrie des agrégats emploie directement 10 000 personnes. En outre, plus de 34 000 personnes sont directement employées dans des secteurs comme le transport et le matériel.

L'industrie des agrégats contribue également de façon importante à l'industrie de la fabrication du ciment et du béton de 1,9 milliard de dollars, à l'industrie du verre et des produits de verre de 1,3 milliard de dollars et à l'industrie de la fabrication des produits pharmaceutiques et des médicaments de 2,9 milliards de dollars.

b- granulats et sociétés :

16 000 personnes viennent grossir les rangs de la population de Tébessa chaque année. La consommation annuelle d'agrégats par habitant se situe entre 12 et 14 tonnes. Cela signifie qu'il faudrait produire deux millions de tonnes d'agrégats de plus chaque année afin de suivre la demande de la population, à moins que cette demande ne soit réduite par les initiatives de conservation des ressources en agrégats.

La demande du public pour les agrégats vise la construction de routes, d'établissements d'enseignement, d'hôpitaux, d'habitations et d'entreprises. Les ressources en agrégats sont également en demande dans le secteur manufacturier pour produire de l'acier, du vinyle, du verre, de la peinture, du papier, des produits pharmaceutiques, des fertilisants, du ciment et des produits d'aménagement paysager. Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats, Tébessa a pu offrir des coûts d'infrastructure et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché.

c- granulats et environnement

Les agrégats sont utilisés dans une foule d'applications environnementales qui protègent et améliorent notre milieu :

- Les réseaux de traitement de l'eau potable et des eaux usées filtrent à l'aide de sables de spécialité;
- Les épurateurs de cheminée d'évacuation des fumées utilisent le calcaire pour neutraliser les émissions acides avant de les libérer dans l'atmosphère;
- Le calcaire extrait des carrières (la chaux agricole) sert à améliorer l'état des terres agricoles et à produire des fertilisants biologiques;

- On utilise les agrégats pour blanchir le papier au lieu de recourir à un procédé chimique;
- On emploie le gravier pour améliorer ou pour créer des frayères pour les habitats de poissons comme la truite, le doré jaune et l'achigan;
- La roche taillée, sous forme d'enrochement et de gabions, sert à protéger les littoraux de l'érosion et à filtrer les bassins d'orage

I.3. DEFINITION DES GRANULATS

Les granulats constituent l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm.

Les granulats sont dits :

- naturels lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique.
- artificiels lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches.

Collis et Fox (1985) définissent les granulats comme étant des particules naturelles ou concassées qui, ensemble, avec ou sans liant, forment une partie ou totalité d'une structure de Génie Civil. D'autre part, dans leur définition économique et technologique, les granulats sont des petits morceaux de roches destinés à la réalisation des ouvrages de génie civil et de bâtiment. On peut les obtenir :

Soit en exploitant les alluvions détritiques non consolidés, de type sable et graviers des rivières.

Soit par concassage des roches massives correspondant à une multitude de situation géologique et à des localisations géographiques très différentes.

La carrière peut être implantée en plaine sur un plateau, en montagne, au bord d'une falaise.

Les statistiques montrent que les granulats sont à la tête de l'industrie extractive où des millions de tonnes sont consommés chaque année dans différents pays. Ils sont largement utilisés dans les ouvrages tels que : barrages, bâtiments, routes, chemin de fer ...etc. comme exemple ils forment environ 60 à 80 % en volume du béton. Il est ainsi exigé que ces produits soient durs, propres, durables, non réactifs et ne contiennent aucune substance pouvant avoir un effet contraire sur la

qualité du béton (solidité et durabilité). Cela fait que les granulats influencent l'économie et la sécurité des ouvrages en béton ou autre, tel que chemin de fer, filtres etc.

I.4. Processus de fabrication des granulats :

Sauf exception, les granulats sont issus d'installations classées appelées les carrières. Certains procédés de préparation des granulats non ordinaires se sont développés à partir des techniques existantes. Sont donc rappelés ci-après quelques éléments concernant les matériaux ordinaires et les carrières.

Par exemple, dans le cas de carrières de roche massive, la roche saine d'un site d'extraction n'est accessible qu'après décapage de la couche végétale et de la roche altérée, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. La matière première fait d'abord l'objet d'une extraction (à la pelle mécanique et/ou par abattage à l'explosif selon la roche), puis d'un traitement. Il en résulte des blocs de roche de taille variable, pouvant dépasser le mètre dans leur plus grande dimension. Les matériaux sont chargés et transportés depuis l'abattage (au front) jusqu'à l'usine de traitement d'une carrière, qui se compose de différents éléments. Toujours dans le cas des roches massives et pour expliquer les étapes de fabrication, on précise que le concasseur primaire réduit les matériaux une première fois. Les matériaux issus du concassage primaire, sont réduits si nécessaire par concassages successifs (secondaires puis tertiaires) afin d'obtenir des granulats de différentes tailles. En effet, la production issue du « primaire » n'est pas forcément orientée vers le « secondaire » ou vers le « tertiaire » pour réduire la dimension des granulats, car la commercialisation s'effectue en fonction de la demande du marché. Parfois, un lavage des granulats est réalisé en fin de traitement.

Les granulats sont ainsi désignés par d/D où d et D sont respectivement la plus petite et la plus grande dimension du grain ; l'intervalle $d-D$ s'appelle classe granulaire et la granularité désigne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulats. Les dimensions d et D correspondent à des tamis. On distingue les familles de granulats suivantes :

- fillers $0/D$, $D < 2$ mm avec au moins 70% de passant à 0,063 mm ;
- sablons $0/D$, $D < 1$ mm avec au moins 70% de passant à 0,063 mm ;
- sables $0/D$, $1 < D \leq 6,3$ mm ;
- graves $0/D$, $D > 6,3$ mm ;
- gravillons d/D , $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm ;

- ballasts d/D , $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

Une illustration des classes granulaires obtenues est proposée en figure 4, ci-dessous :



Gravillon grave	gravillon roulé	sable	gravillon concassé
Concassé Roche massive			

Figure 8 : photos de différentes classes granulaires.

La teneur en fines d'un granulat est définie en USA par le passant à 0,08 mm tandis que les normes européennes considèrent le passant à 0,063 mm.

I.4.1. Carrière :

I.4.1.1. L'exploitation de la carrière :

- Généralité :

La méthode d'exploitation est une succession de réalisation de travaux de creusement, de découverte et d'extraction du minerai dans un lieu déterminé.

Le choix de la méthode d'exploitation dépend des facteurs suivants :

- Caractéristiques géologiques du gisement.
- Production planifiée de la carrière.
- Nombre et puissance des engins qui permettent l'exploitation.
- Mode d'ouverture du gisement.
- L'allure du gisement et les propriétés physico- mécaniques des roches.



Fig.09 STATION DE FABRICATION DES GRANULATS



Fig.10 STATION DE FABRICATION DES GRANULATS

1.4.1.2. L'exploitation de la carrière à relief montagneux :

La technologie d'exploitation à ciel ouvert des gisements montagneux dépend considérablement des conditions topographiques, géologiques et climatiques.

Le relief de la surface est le facteur essentiel pour le choix de l'ordre d'exploitation du gisement, du mode d'ouverture, des engins miniers...etc.

La succession d'exploitation du champ de la carrière dépend du relief de la surface de la puissance et de l'angle de pendage du site.

1.4.2. Méthode d'extraction :

L'exploitation du gisement sera réalisée à ciel ouvert et suivant les opérations suivantes :

1.4.2.1. La découverte :

Le massif calcaire est recouvert d'une épaisseur donnée de stériles (+ 50cm à + 1m 50) qui sont évacués sur une surface non exploitable, non loin de la carrière. Ils seront utilisés ultérieurement pendant la remise en état des lieux.

1.4.2.2. L'abatage :

Consiste en la dislocation du massif rocheux par l'emploi d'explosifs, le massif doit être fragmenté en blocs d'une granulométrie telle, qu'ils pourront être chargés et transportés.

L'opération d'abatage se fait par des travaux de Tir et forage.

1.4.2.3. L'opération de Tir :

Le déroulement de l'opération de Tir à l'explosif se fait à la manière suivante :

Vérification des trous destinés au tir.

- Changement des trous selon le plan de Tir élaboré à cet effet
- Répartition de la quantité d'explosifs sur les trous avec stockage à zéro.
- Connections d'exploitation des trous par le cardon détonnant et le dispositif électrique.
- Evacuation de la zone de sécurité de Tir.
- Mise à feu des charges.
- Vérification des résultats de Tir et élaboration du PV de Tir.

1.4.2.4. Traitements des matériaux :

A - Changement et transport : Le chargement des pierres abattues est réalisé au moyen d'un chargeur. Les pierres sont chargées dans des dumpers, transportées puis déversées dans la trémie d'alimentation du concasseur primaire.

B - Concassage et Broyage : La suite du traitement consiste en concassages, le schéma ci-dessous détaille clairement le processus de production depuis le chargement au front jusqu'au stockage des matériaux.

On distingue trois grandes étapes dans le concassage :

- le pré concassage primaire qui réduit les plus gros blocs en matériaux dont l'utilisation est nulle et qui sont réinjectés dans la chaîne de traitement.
- Le concassage secondaire dont le produit n'est pas encore utilisable hormis pour le ballast des chemins de fer.
- Le broyage tertiaire qui donne des granulats durs et abrasifs (gravillons, sable).

Entre chaque étape, un criblage et un lavage peuvent être faits.

C- Criblage : ces opérations de criblage ou de tamisage permettent une sélection des grains. Par une succession de criblages, on peut trier les grains et obtenir des granulats de tous les calibres possibles.

D- Le stockage : Les classes de granulats produites sont systématiquement évacuées vers des stockages extérieurs d'une capacité moyenne de 100 à 200 tonnes chacun, par le biais de bandages transporteuses, ou tout autre moyen de transport.

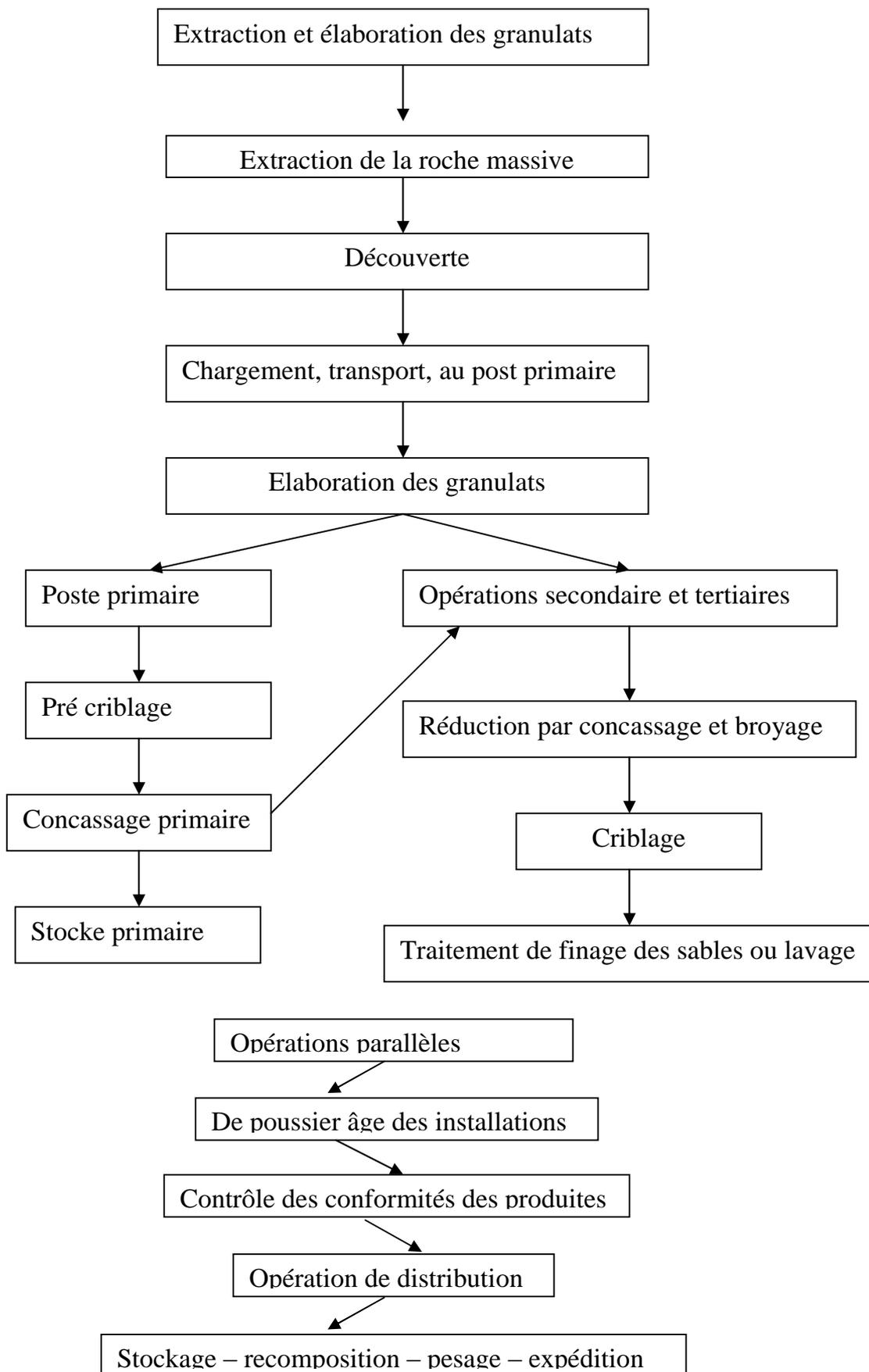


Fig.11 : Schéma d'exploitation dans une carrière d'agrégat

Dans la structure de la route ou du chemin de fer, soit constituant la couche de roulement ou la couche de base, les granulats doivent résister, sans ruptures excessives, aux contraintes imposées par le trafic. Ils doivent avoir une forme qui les aide à s'enchevêtrer pour donner la structure la plus dense possible.

Il est impératif de tester granulats avant de prendre la décision concernant leur acceptation ou rejet, quoique la réputation des produits et leurs bonnes performances, dans des conditions similaires, puissent être prises comme critères de sélection. La détermination des propriétés mécaniques des granulats est accomplie par une série d'essais standards tels que :

- Essai au choc (fragmentation dynamique : BSI 812,1910).
- Essai d'écrasement (résistance à l'écrasement : BSI 812,1990).
- Essai à l'abrasion (coefficient de Los Angeles : ASTM C131, 1989).
- Essai de 10% de fines (BSI 812,1990).
- Essai d'abrasion par la machine Dorry (BSI 812, 1990).

Les propriétés physiques telles que l'absorption de l'eau, la porosité et la densité sont aussi déterminées.

D'autres essais de nature chimique, permettant la détermination de la teneur en argile ainsi que son activité, sont aussi utilisés, tels que ; l'essai au Bleu de Méthylène (Afnor, 1990).

La philosophie derrière l'utilisation des essais peuvent être résumés comme la suivante :

Pour estimer la qualité, et les propriétés de nouvelles sources de granulats.

- 1- Pour vérifier si le type de matériau d'un dépôt donné subit des chargements significatifs.
- 2- Pour comparer la qualité des granulats à partir de différentes sources.
- 3- Pour s'assurer si les caractéristiques des matériaux sont conformes aux spécifications exigées.

Dans cette étude, les granulats calcaires de l'Aptien, du Turonien et du Maestrichtien, ont été évalués et comparés principalement à partir des valeurs de la résistance à l'abrasion, de coefficient de Los Angeles (LA), de la résistance à l'attrition (MDE). Nous avons également utilisé les propriétés physiques, telle que la densité, le coefficient d'absorption, ainsi que les paramètres géologiques, pour compléter l'évaluation et la comparaison des calcaires de la région.

II. LA CLASSIFICATION

La description et la classification appropriée pour un usage commun dans l'industrie a pour longtemps été un problème à résoudre, car dans les choix des granulats, il existe des paramètres contradictoires : exemple :- la résistance au polissage et la dureté.

La première classification utilisée tient en compte :- l'âge de la roche, la couleur, le contenu fossilifère, la taille des grains et la minéralogie.

La plus connue de ces classifications géologiques est basée sur la minéralogie et la texture : on connaît ainsi trois groupes :

- Igné
- Sédimentaire
- métamorphique

Les recommandations concernant la classification des granulats exigent toujours la description pétrographique détaillée, qui aide beaucoup dans l'étude des propriétés géotechniques. Il est cependant recommandé l'utilisation de la propriété mécanique et physique en plus de la caractérisation géologique.

Le modèle de description le plus utilisée est celui recommandé par la société géologique :

- la couleur
- taille de grain
- état d'altération
- nom pétrographique de la roche
- résistance mécanique

Ramsay et al, 1974 ont montré que la classification sur des bases purement pétrographiques peut être source de confusion.

Dans cette étude, la caractérisation des granulats se fait sur la base des propriétés géologiques précédemment citées, supplémentées par des indices géomécaniques.

II.1. CLASSIFICATION CHIMIQUE DES ROCHES :

On a pour habitude de classer les principales familles « chimiques » de roches comme suit :

les roches siliceuses acides- : l'index d'acidité correspond au rapport de la silice sur la somme des cations (Si/Σ cations). Si l'index est $> 60\%$ alors la roche est dite acide ou saturée ou baptisée minéral siliceux. Si l'index est compris entre 60% et $> 50\%$, alors

la roche ou le minéral est dite neutre. ex : **granite, rhyolite, quartzite, silex, gneiss....**

- **les roches silicatées -basiques-** : se dit des roches magmatiques ou métamorphiques pour lesquelles l'index est inférieur à 50%. Le quartz ne cristallise pas. Ces roches sont généralement sombres et denses. Bien que beaucoup plus rares que les précédentes à la surface des continents, elles représentent une source majeure pour la production de granulats. ex : **diorite, basaltes, amphibolites...**
- **les roches carbonatées** : il s'agit essentiellement des calcaires, roches constituées en majorité de cristaux de calcite (carbonate de calcium). Il est à noter que la présence de minéraux argileux mêlés aux cristaux de carbonates est fréquente. Si les proportions en sont importantes, la roche n'est plus un calcaire mais une marne.

Dans cette classification par famille chimique, il est à signaler que les matériaux alluvionnaires sont souvent constitués d'un mélange de grains de natures pétrographiques différentes. Ces dernières sont liées aux roches présentes dans le bassin versant du cours d'eau considéré.

III. CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES :

Qu'il s'agisse de granulats ou de matériaux destinés aux terrassements, quelques décennies de savoir-faire se sont traduites par la constitution d'un référentiel solide. Dans celui-ci, les matériaux sont classés en fonction de leurs propriétés (normes NF P 11-300 et XP P 18-540), et les règles d'usages des différentes classes ainsi obtenues sont codifiées dans les documents d'application des normes (tels que le GTR), dans les normes de matériaux de chaussées et dans les guides d'application (textes de spécifications) les concernant.

III.1. CARACTERISATION DES GRANULATS

Pour les granulats, les propriétés géotechniques sont réparties en deux familles :

- les premières sont dites « intrinsèques ». Elles dépendent essentiellement de certaines propriétés physiques des roches. Il s'agit notamment des résistances mécaniques, de la masse volumique des grains, ...
- les secondes sont dites « de fabrication ». Il s'agit des paramètres sur lesquels le processus de fabrication en usine a une influence majeure. Le principal d'entre eux est la granularité. On citera aussi la forme et la propreté ...

Les essais permettant de mesurer ces caractéristiques sont normalisés (comme exemple la norme française). La liste de ces normes fait l'objet d'un paragraphe de la norme générale XP P 18-540 à laquelle le lecteur est invité à se reporter. La norme XP P 18 540 est basée sur deux principes. Le premier est la catégorisation, qui dénombre 5 catégories de granulats pour usages routiers, correspondant à des valeurs-limites (catégories A à E) ainsi qu'une sixième catégorie (F) dont les caractéristiques sont renseignées par le producteur sur la fiche technique du produit (définie par la norme XP P 18 540). Le deuxième principe de cette norme concerne l'introduction de notions statistiques et d'incertitude d'essais ainsi que des règles de conformité.

III.2. propriétés physiques

III.2.1. Densité, porosité et coefficient d'absorption

La densité est définie comme étant la masse de matériau à la masse de même volume d'eau.

Le coefficient d'absorption de l'eau est la quantité d'eau absorbée par le matériau divisée par sa masse. Il représente en réalité une mesure indirecte de la conductivité hydraulique de la roche. Il est directement lié à la présence de vides, microfissures, ainsi que de minéraux secondaires hydrophiles. Il influence énormément la résistance à la désagrégation (Clifford, 1991).

La densité et l'absorption de l'eau, sont calculées selon la méthode standard (BSI 812,1989).

La densité apparente = $D/D-B$.

La densité sec = $D/A-B$.

La densité saturée = $A/A-B$.

Le coefficient d'absorption de l'eau = $A-D/D$.

Où :

D : la masse de l'échantillon à l'état sec (g).

A : la masse de l'échantillon à l'état saturé (g).

B : la masse de l'échantillon dans l'eau (g).

III.2.2. Coefficient d'aplatissement (A)

Définition : La forme d'un granulats est définie par trois dimensions principales :

- Longueur L : le plus grand écartement d'un couple de plans..... parallèles
- Epaisseur E : le plus petit écartement d'un couple de plans..... parallèles .

-Grosneur G : dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément .

Le coefficient d'aplatissement A d'un lot de granulats est déterminé par le pourcentage des éléments de l'échantillon tel que : $G/E > 1.58$.

Le coefficient d'aplatissement des granulats permet de caractériser la forme des granulats, dont la dimension est comprise entre 4 et **40 mm**, et de suivre la régularité des fournitures de gravillon.

Un gravillon de forme défavorable (plat ou allongé) présente un coefficient d'aplatissement élevé (**20 à 40 %**). Un gravillon de forme favorable (sphérique, cubique, modulaire) présente un coefficient d'aplatissement généralement compris entre **5 et 20 %**.

III.3. Résultats et Interprétations

Dans cette étude, les essais ont été réalisés selon le mode opératoire des normes citées ci-dessus. Les échantillons utilisés, concernant les roches étudiées, appartiennent à la classe granulaire 8/15 et ont donné les résultats suivants :

Catégorie de calcaire	Densité sèche	Densité saturée	Porosité (%)	Coefficient d'absorption (%)
aptien	2.68	2.73	2.5	0.96
turonien	2.40	2.62	2.9	2.89
maestrichtien	2.50	2.56	3.7-5.4 à 6.3	2.64

Tableau.01 : Résultats des essais physiques de quelques granulats calcaires de Tébessa.

Les variations des propriétés physiques suggèrent une réflexion sur le degré de compaction, le contenu minéralogique et fossilifère, et le volume du vide (microfissure et pores).

Les calcaires dolomitiques aptiens présentent les valeurs de densité les plus élevées, associées aux plus faibles indices de porosité et du coefficient d'absorption. Ces résultats s'expliquent par la présence de dolomite, qui est un minéral relativement dense, la présence de quartz, au degré de compaction plus ou moins important, ainsi

qu'au remplissage des fissures par des oxydes métalliques tels que le fer. A notre opinion, ce sont la dolomite et les oxydes métalliques qui sont responsables des valeurs élevées de densité.

Quant aux calcaires du Maestrichtien et du Turonien, ils contiennent un pourcentage de micrite plus ou moins important, et sont relativement riches en fossiles, ce qui pourrait être à l'origine de leur porosité, et leur coefficient d'absorption assez élevé. Le calcaire maestrichtien est moins compact que le calcaire aptien. Il présente la densité d'un calcaire ordinaire, c'est-à-dire d'un calcaire monominéral, peu fissuré, assez compact et dépourvu de fortes quantités d'oxydes métalliques.

On remarque que les propriétés physiques s'améliorent progressivement avec l'âge de la roche. Cela n'est en fait que l'effet des processus diagénétiques de recristallisation, lithification, cimentation et compaction que subissent les roches sédimentaires au cours du temps.

IV. Propriétés géomécaniques des granulats :

IV.1. Introduction

Les propriétés géomécaniques des granulats sont systématiquement déterminées, car elles reflètent le degré de résistance de ces matériaux aux différents agents de dégradation. Les granulats sont également exposés aux effets des conditions climatiques, souvent sévères (mouillage, séchage, gel, dégel). Krymine et Judd (1966) affirment que les véhicules en mouvement transmettent une charge d'impact de l'ordre de 25% de leur propre poids aux granulats. Dans la structure des chaussées, les granulats doivent résister à l'écrasement et aux chocs, et montrer un minimum de dégradation, du moment de leur mise en place, sous la charge du compacteur, jusqu'à la fin de leur période, présumée, de service. Ils doivent être résistants à l'abrasion et maintenir une bonne résistance au polissage. En plus, ils doivent supporter et diffuser uniformément les contraintes imposées à la couche de roulement, sur la couche de forme, efficacement et sans rupture ou déformation. Dans le but de satisfaire les exigences précédentes, les granulats doivent être suffisamment résistants et durs.

La résistance mécanique aux différents agents de dégradation et la dureté des granulats est généralement évaluée par de simples tests indices tels que la résistance à la fragmentation dynamique (FD), le Los Angeles (essai de choc), le coefficient de

polissage accéléré (CPA), la résistance à l'écrasement (RE) et l'essai micro-Deval (MDE).

IV.2. La résistance à la fragmentation dynamique : Essai de Fragmentation Dynamique

La fragmentation dynamique est un assai standard, originalement Britannique, qui a été conçu pour prévoir le comportement probable des granulats dans l'environnement géotechnique où prédominent les sollicitations par chocs, comme par exemple les routes. Il évalue, également, la résistance des granulats aux pulvérisations durant le malaxage, le compactage et en service.

Le coefficient FDR (coefficient de fragmentation dynamique résiduel) est simplement la fraction restant sur le tamis original exprimée en pourcent du poids total de l'échantillon.

$$\text{FDR} = (M_i / M_t) * 100.$$

Où:

M_i : Poids de la fraction restant sur le tamis original

M_t : Poids total de l'échantillon

Dans la présente étude sur ces trois types de calcaire, les résultats sont calculés comme suit :

$$\text{FD} = (350 - m) / 350 * 100 \text{ (FD coefficient de fragmentation dynamique)}$$

m = la fraction passant le Tamis 1.6 mm après le test.

Categories de calcaire	Fraction	Coefficient de (FD)
Calcaire Aptien	8/15	21
Calcaire turonien	8/15	19.75
Calcaire maestrichtien	8/15	17.52

Tableau 02: Résultats de fragmentation dynamique des roches étudiées

IV.3. Résistance à l'abrasion : Essai Los Angeles

Cet essai a pour but de mesurer la quantité d'éléments inférieure à **1.6 mm** produites par fragmentation et abrasion, en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en rotation (fig 12).

L'essai permet de mesurer la résistance combinée à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement réciproque des éléments d'un granulat. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produits en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottement dans la machine Los Angeles. Un coefficient Los Angeles faible correspond à un matériau résistant.

Dans la machine Los Angeles, on introduit avec précaution la prise d'essai **M =5000 gr** et la charge du boulet de la chasse granulaire choisie. Après 500 rotations de la machine, à une vitesse régulière comprise entre 30 et 33 tr par minute, il faut recueillir le granulat et le tamiser à **1.6 mm** , peser le refus.

Soit **m** le résultat de la pesée , le passant au tamis de 1.6 mm sera:

$$p = 5000 - m.$$

Par définition le coefficient Los Angeles est le rapport : **LA = P/M x 100.**

Les classes granulaires et les charges abrasives normalisées correspondantes pour chaque fraction granulaire sont données dans le tableau (11) d'après l'ASTM C131.

Classe granulaire en (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge en (g)
4 -6.3	7	3080
6.3-10	9	3960 +20
10-14	11	4840 -150
10-25	11	4840
16-31.5	12	5280 +20
25-50	12	5280 -150

Tableau 03 : *Charge abrasive et fraction granulaire correspondante.*

L'usure et la dégradation dans l'essai Los Angeles, sont le résultat de deux mécanismes, l'impact et l'abrasion. L'usure dans ce test est, en effet, beaucoup plus importante que l'abrasion. On a pu démontrer que l'abrasion ne représente que 20% de la valeur totale de l'usure dans l'essai Los Angeles. On a constaté que les roches dures, ont tendance à se fragmenter plus que les roches tendres qui s'usent beaucoup plus par abrasion, et donnent en conséquence un matériau plus fin.

L'essai Los Angeles, est sensible aux facteurs géologiques tels que la composition minéralogique, la taille des grains, la nature du ciment... etc.



Fig. 12 : Appareil Los-Angeles

IV.4. Résistance à l'Attrition : Essais Deval et Micro-Deval

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottement entre les granulats (l'attrition) et en présence de charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produits dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient micro- Deval est élevé, meilleur est le matériau.

Dans les cylindres de la machine, il faut introduire chaque prise d'essai **M = 500 gr**, et la charge abrasive (bille en acier de **10 mm** de diamètre) correspondant à la chasse granulaire choisie.

Les essais peuvent s'effectuer à sec ou en milieu humide. Dans ce dernier cas, on ajoute **2.5 L** d'eau par essai, après rotation des cylindres à une vitesse de 100 tr/min pendant 2 heures, il faut alors tamiser le matériau sur le tamis de **1.6 mm** et peser le refus. Soit **m** le résultat de la pesée, le passant au tamis de **1.6 mm** sera **p = 500-m**.

Par définition le coefficient micro- Deval est le rapport : **Md = m/M x 100**.

Lorsque cet essai est réalisé à sec on obtient **Mds**, et en présence d'eau **Mde**



Fig.13 : Appareil micro-Deval

IV.5. L'essai Micro Deval Humide MDE

L'essai consiste à mesurer l'usure produite par friction et impact entre granulats d'une part, et granulat et charge abrasive de l'autre, en présence d'eau dans un cylindre en rotation (ph.8), dans des conditions bien définies. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les trois classes granulaires: 4/6.3, 6.3/10 mm et 10/14mm représentant la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre.

La masse de la charge abrasive varie suivant les classes granulaires utilisées (Tab. 12). Si "M" est la masse du matériau soumis à l'essai, " m "la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produite au cours de l'essai, la résistance à l'usure ou le coefficient Micro Deval est donné par la relation suivante :

$$\text{MDE}=100*m/M.$$

Par définition, cette quantité sans dimension est appelée suivant la méthode employée:

- Coefficient Micro-Deval du granulat (MDS).
- Coefficient Micro-Deval en présence d'eau du granulat (MDE).

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (nombre de billes)
4/6.3	2000± 5
6.3/10	4000± 5
10/11	6000± 5

Tableau 04 : Charge abrasive et classe granulaire
Correspondante pour l'essai Micro Deval humide (MDE : P 18 572)

a- Procédure de l'essai

L'appareil Micro-Deval est constitué de deux cylindres (fig 17) en acier dur, ayant chacun un diamètre de 200 mm et une longueur de 154 mm. Le spécimen de granulat pesant 500 grammes, lavé et séché, avec la charge abrasive correspondante (Tab.12) sont introduits ensemble dans le cylindre avec 2.5 litres d'eau. Ce dernier, bien fermé, est disposé horizontalement et tourne avec une vitesse de 100 ± 5

révolutions par minute pendant deux heures. Après l'essai, le spécimen est recueilli dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes, en ôtant la charge abrasive, et il faut alors le laver sous un jet d'eau, le sécher, et peser ce refus après l'avoir passé sous le tamis de 1.6 mm ; soit " m' "le résultat de la pesée.

Pour notre étude, l'essai a été réalisé sur un granulat de 6.3/10 avec 4000 g de charge abrasive, conformes aux recommandations de la commission européenne de standardisation (P 18 572), les résultats sont présentés dans le tableau (13) suivant :

Catégories de calcaire	fraction	MDE
Calcaire Aptien	8/15	27
Calcaire turonien	8/15	20.43
Calcaire maestrichtien	8/15	18.85

Tableau 5 : Résultats du MDE pour les calcaires des trois sites étudiés.

V. Discussion des résultats et interprétation

Pour bien comprendre les granulats de différentes provenances, il faut que l'effet de la forme des granulats, sur les valeurs des propriétés indices, soit éliminé et ne reste que l'effet des paramètres géologiques.

Les valeurs de Los Angeles et micro-Deval obtenues à partir des essais mécaniques réalisés au laboratoire sur les quatre catégories de granulats issus des roches étudiées sont résumés dans le tableau suivant :

Catégorie de calcaire	Coefficient de Los Angeles	Coefficient de Micro-Deval
Aptien	22.5	27
Turonien	19.40	18.60
Maestrichtien	21.25	19.41

Tableau 6 : Résultats des essais mécaniques effectués sur les granulats carbonatés de la région de Tébessa

Une lecture rapide des résultats obtenus à partir des essais au laboratoire, nous permet de constater ce qui suit :

A première vue, les calcaires du Maestrichtien et du Turonien présentent les meilleures caractéristiques mécaniques. Ils sont plus résistants aux chocs et à l'abrasion, produisent ainsi un degré plus faible de fragmentation et d'usure. Cela peut s'expliquer par fissuration moins importante. Le calcaire maestrichtien et celui du Turonien sont également plus compacts (liaison entre les grains plus importante).

Les calcaires dolomitiques de l'Aptien, plus compacts que les calcaires du Maestrichtien et du Turonien, empruntent leur valeurs de (FD, LA, MDE) élevée à la présence de discontinuités (microfissures). Ces dernières, quoiqu'elles soient remplies, restent des plans de faiblesse qui favorisent la fragmentation et l'usure surtout durant la phase initiale des tests.

CHAPITRE III

POTENTIEL DES ROCHES ETUDIEES

I- Pierres de taille :

La pierre a été façonnée par l'homme depuis les temps paléolithiques, les anciens fondateurs de ces monuments doivent leur prestige à la durabilité et à l'apparence attractive de la pierre ex : pyramide, temples romains.

Quoique la pierre de taille dans la construction ait connu un recul important devant le béton et la brique, elle enregistre une hausse remarquable ces dernières années. Sa beauté, sa durabilité, et sa haute résistance ont rendu son utilisation presque réservée aux constructions de prestige (Banques, musées, monuments, ...etc). Les roches les plus utilisées comme pierres de taille sont généralement les grès, calcaires, marbres, schistes, serpentine, granite, gabbro, syénite....etc.

Si on peut, par différents procédés, améliorer les propriétés des matériaux tels que la céramique, le béton ; ce n'est jamais le cas pour la pierre de taille. Le matériau tel qu'il est extrait du gisement, doit avoir des propriétés physiques et mécaniques conformes aux normes exigées. Chaque pierre ou groupe de pierres doivent satisfaire aux critères géotechniques sur la base desquelles elles ont été choisies. Les matériaux de qualité médiocre ne peuvent pas être renforcés par d'autres de bonne qualité mais sont plutôt rejetés. La qualité de la pierre est souvent fonction de l'environnement de service, par exemple : Ashlar cladding sheets, building stone, ce qui est bon pour le building stone n'est pas forcément ok pour l'ashlar.

Les spécifications des différents produits pour lesquelles un gisement va être exploré dictent le programme d'essai à entreprendre lors de la phase de reconnaissance. L'objectif de l'évaluation est de subdiviser, selon les spécifications, le gisement en zones, caractérisées chacune par une même qualité.

Dans le cas de la pierre de taille ou de blocs de défense maritime, la taille des blocs qui peuvent être extraits est d'une importance capitale. Dans ce cas, il faut définir au préalable la taille probable des blocs à obtenir lors de l'opération d'extraction. Elle est fonction de l'épaisseur des couches et de la nature des discontinuités (nombre de familles de joints, espacements et orientation des joints). La distribution de la taille des blocs est souvent représentée par une courbe type Gauss. Pour des raisons économiques, les blocs marginaux seront concassés pour être utilisés comme granulats.

Les variations minéralogiques, pétrographiques et structurales influencent d'une manière considérable l'homogénéité du gisement de point de vue de l'apparence (couleur, contenu fossilifère, taille des grains...etc.

I.1. Les Dimensions de la pierre de taille.

Les Dimensions de la pierre de taille sont conformes à des normes, identifiées par l'utilisateur des pierres de taille, selon l'utilisation qui va en être faite.

La production des pierres de taille suit deux procédures : Industrielle et Manuelle.

I. 2. L'extraction industrielle :

L'extraction des pierres de taille dans l'industrie et par des machines électriques comporte des lames de coupage et d'usure. Ces machines comportent des porte-objets, ces porte-objets ont des dimensions et des diamètres différents, chaque diamètre étant destiné à une utilisation bien définie.

- Pierre de taille de dimension de 30cm de longueur à 60cm de largeur.
- Pierre de taille de diamètre de 40cm de L à 80cm de largeur.
- Pierre de taille de 50cm à 1m de largeur.
- Pierres des tailles à des grossissements bien définis, selon les demandes de l'utilisateur.

En conclusion, l'extraction mécanique des pierres de taille est plus facile et plus rapide pour l'utilisation et pour l'industrie.

I.3. L'extraction manuelle :

Pour tailler manuellement un bloc de pierre, on commence par « dresser » une première face, dans laquelle tous les points se trouvent sur le même plan. Cette première face sert ensuite de référence pour la mise à l'équerre des autres faces de la pièce.

La pierre de butée est d'abord placée sur un chantier en bois ou un autre bloc de pierre. Le tailleur trace ensuite les arêtes de la face de référence. Il amorce la taille en réalisant des ciselures et des plumées d'une largeur de 3 à 6cm environ. Le reste du parement ainsi délimité peut alors être taillé à l'aide du ciseau ou du pic jusqu'à arrivée au niveau des ciselures.

Ce travail demande une précision croissante au cours des différentes phases. Il est important d'utiliser chaque outil à plein rendement, et il faut travailler assez profondément pour effacer les traces de l'outil précédent. Si le travail n'est pas précis,

des creux se forment, des protubérances restent et les surfaces risquent d'être gauches, ce qui entraîne de gros écarts de dimension sur les autres faces de la pièce.

Une fois obtenu un bloc parfaitement régulier, on travaille les parements selon le type de finition désirée, de la plus rugueuse à la plus fine. C'est là qu'interviennent la scie, le poinçon, le ciseau, les gradins, la boucharde ou le marteau taillant.

I.4. Terminologie de la taille et de la mise en œuvre de la pierre :

Avant d'aborder la réalisation d'une pierre de taille, il est important de préciser certaines définitions :

- Pierre taillée, généralement parallélépipédique, utilisée dans une construction appareillée.

- Face de référence : surface du bloc de pierre travaillée la première et qui sert de référence pour le travail du reste des faces, c'est la raison pour laquelle elle doit être totalement plane et dégauchie. C'est la face la plus grande, souvent le parement qui est communément choisi comme surface de travail.

- **Tracé** : ligne au crayon ou au point à tracer sur la pierre servant de référence pour les différentes opérations de taille.

- **Ciselure** : surface plane de longueur variable, réalisée au ciseau sur les bords de la pierre, qui sert de référence pour le dégauchissage des faces. Une fois le bloc façonné, les ciselures sont affinées et constituent les arêtes de la pierre.

- **Plumée** : surface striée de 3 à 6cm de longueur, qui divise une surface de travail de grande dimension en plus petites portées, les plumées servent de points de repère additionnels et permettent de dégrossir la matière jusqu'au niveau des ciselures.

- **Parement** : surfaces apparente d'un ouvrage ou d'un élément d'ouvrage. Désigne plus spécialement la face d'une pierre de taille qui reste apparent au sein d'un ouvrage.

- **Assise** : rangée de pierre disposée horizontalement dans une construction.

- **joint** : correspond à la jonction de deux pierres : garniture venant remplir l'espace de jonction.

- **Lit de pose** : face inférieure d'une assise, en contact avec les pierres de l'assise du dessous.

- **Lit d'attente** : face supérieure d'une pierre, qui reçoit les pierres de l'assise du dessus.

- **Façonnage** : ensemble des procédés utilisés pour la taille d'une pierre.

En plus des propriétés géométriques et esthétiques, pour qu'une roche soit bonne pour être exploitée comme pierre de taille, il faut qu'elle remplisse des conditions relatives aux propriétés mécaniques et physiques. Les propriétés physiques et mécaniques généralement exigées pour estimer la qualité des roches pour être utilisées comme pierre de taille sont :

I. 5. PROPRIETE PHYSIQUE

I.5.1. Densité

La densité est un nombre sans dimension, égal au rapport d'une masse d'une substance homogène à la masse du même volume d'eau pure à la température de 3,980°. La densité de l'eau pure à 3,980° est égale à 1. En d'autre terme, la valeur de la densité permet de déterminer la flottabilité d'un matériau dans de l'eau pure. La densité d'une roche reflète le degré de compaction et le cristallinité de la matière constituant la roche. La densité est un bon indice qui peut révéler l'état de dureté et de solidité de la roche (Irfon et Dearman, 1978 ;Dobrenner et de Freitas, 1988).

Dans le cas des carbonates, la dolomitisation s'accompagne théoriquement d'une augmentation de la densité, car la densité du minéral dolomite est autour de 2,8 à 3,1, et celle de la calcite autour de 2,7.

Les résultats de la densité des roches carbonatées pour les roches étudiées montrent que les roches aptiennes ont la valeur de densité la plus élevée (2,6), celle du Turonien est de 1,9 et 2.2 pour le Maestrichtien.

Densité	Roche
2.70	Calcaire compact Marbre
2.25	Shale Oklahoma (pennsylvanien) à.
2.52	1000 m
2.62	1666,66m
2.71	Basalte
2.6	Calcaire aptien de Tébessa
1.9	Calcaire turonien de Tébessa
2.2	Calcaire maestrichtien de Tébessa

Tableau 07 : Valeurs de densité d'un certain nombre de roches d'après Goodman(1989), celles des roches de la région de Tébessa sont obtenues après essais au laboratoire.

I.5.2. La porosité

La porosité d'une roche exprime le rapport en pourcent du volume des pores ou vides interstitiels au volume total de la roche. Elle peut donner une idée claire sur l'état de fracturation de la roche ainsi que le degré de contact entre les grains, duquel dépendent la cohésion et la solidité de la roche. L'utilisation de la porosité comme indice de qualité pour l'évaluation rapide de l'état d'altération du granite.

Roche	Porosité
Calcaire Aptien	2.1 %
Calcaire Turonien	1.9 %
Calcaire Maestrichtien	1.7 %

Tab 08 : Porosité des roches étudiées.

- Les calcaires aptiens ont une porosité de 2.1% ; témoignant un degré de compaction considérable.
- Les calcaires du Turonien et du Maestrichtien ont des valeurs de porosité entre 1.7%/1.9%. Les deux derniers sont encore moins poreux.

I.5.3. Coefficient d'absorption

La quantité d'eau absorbée par un échantillon de roche exprimée en pourcent de son poids est le coefficient d'absorption de l'eau.

Dans les différents environnements géotechniques, l'eau avec d'autres paramètres minéralogiques et ou structuraux influence considérablement le comportement du matériau et peut, dans certains cas, accélérer l'altération et causer la destruction complète des matériaux. Cette propriété nous renseigne également sur le caractère non gélif des roches. En effet, une roche poreuse, une fois que l'eau entre à l'intérieur et se solidifie sous l'effet de basses températures, peut éclater.

I.5.4. Résultat et interprétation :

Les propriétés physiques des roches étudiées (la densité, la porosité et le coefficient d'absorption) dépendent des caractéristiques minéralogiques, texturales, et structurales.

Calcaire	Densité sèche	Densité saturée	Porosité %	Coeff d'ab (%)
Aptien	2.9	3.1	2.1	0.81
Turonien	2.3	2.5	1.9	0.35
Maestrichtien	2.2	2.7	1.7	0.5

Tab 09 : Propriétés physiques des roches étudiées au laboratoire.

Les résultats obtenus pour les propriétés physiques (densité, porosité, et coefficient d'absorption) montrent que ces roches sont saines, non altérées et peu fracturées.

I.6. PROPRIETES MECANIQUES

I.6.1. La résistance à la compression uniaxiale

La détermination de ce paramètre a l'avantage d'être simple et ne demande pas d'équipements sophistiqués. La résistance à la compression simple (R_c) est la charge maximale à laquelle un échantillon de dimensions données, sous compression entre les deux plateaux d'une presse, perd son intégrité.

Elle est calculée de la manière suivante:

$$R_c = F/S.$$

Où:

R_c : la résistance à la compression simple.

F : la charge maximale de rupture.

S: la surface de la section de l'éprouvette.

La résistance à la compression simple est largement utilisée dans la caractérisation des roches pour la pierre de taille, car elle est considérée comme la propriété la plus adéquate pour estimer solidité de la pierre de taille. Dans l'industrie, l'intervalle de résistance à la compression simple des roches utilisées comme pierre de taille varie de 14-20MPa.

I.6.2. Discussion des résultats et interprétation

Les essais de compression uniaxiale ont été élaborés au moyen d'une machine d'essai d'un type courant sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 46 mm. Les éprouvettes ont une longueur égalant deux fois leurs diamètres, selon les recommandations de l'ISRM (1978).

Ces éprouvettes sont taillées perpendiculairement à la stratification, pour les calcaires étudiés, ce qui nous a permis de pouvoir évaluer l'effet de l'anisotropie de la roche.

Les essais ont été réalisés sur des spécimens à teneur en eau et humidité correspondante à celles du laboratoire.

Les calcaires dolomitiques de l'Aptien ont une résistance à la compression uniaxiale parallèlement à la stratification de 102 Mpa. De point de vue pétrographique, ces calcaires ont des grains de taille relativement réduite avec de nombreux cristaux sub-anguleux de dolomite et de quartz allant de 0.15 à 0.56 mm. La phase de liaison est essentiellement microsparitique avec la présence de dolomite en faibles proportions. Le ciment sparitique est présent comme matériau remplissant les pores. En plus, l'observation microscopique montre l'agencement des cristaux de dolomite liés par leurs faces, indiquant l'aspect plus ou moins compact des constituants. La roche présente une densité relativement élevée de 2.66 et une porosité de 1.9%, plus basse comparativement aux autres calcaires.

La rupture des éprouvettes semble appartenir au mode de rupture par cisaillement. Ce type de rupture est une conséquence directe de la présence de fractures préexistantes préalablement mentionnées.

Les calcaires du Maestrichtien et du Turonien ont pour le premier une nature biomicrosparitique, et pour le deuxième une nature microsparitique, contenant des fragments de fossiles complètement recristallisés. Ils donnent une résistance à la compression simple (Rcs) variant entre 151 et 159 Mpa. Ces valeurs sont les plus

élevées obtenues sur les roches étudiées, et peuvent être le fait de la faible densité de fissuration. La porosité du calcaire varie de 1.2, 1.5 à 2.84 % avec une densité saturée de 1.68 à 2.6. Le mode de rupture correspond à la catégorie de rupture axial clivage.

La faible densité et la forte porosité traduisent un agencement architectural des constituants, relativement moins compacts. Le degré de liaison entre les grains est ainsi faible et se traduit par une diminution générale de la résistance de la roche.

En conclusion, le calcaire de l'Aptien a des propriétés physiques et mécaniques meilleures que celui du Maestrichtien et du Turonien. Leur résistance à la compression est plus élevée que pour les calcaires aptiens; ce qui est en fait l'effet des discontinuités, souvent fermées, des calcaires aptiens.

I.6.3. Résistance à la flexion

La charge qui provoque la rupture d'un échantillon prismatique en forme parallélépipédique de roche est connue par la résistance à la flexion. L'importance de ce paramètre s'exprime quand la roche est sollicitée en flexion tel que «loading, paving, contrefort (contilver)».

Malgré l'importance de ce paramètre, nos moyens nous n'ont pas permis de réaliser cet essai.

I.6.4. La résistance au choc

a. Essai sclérométrique

Cet essai est conçu principalement comme test non destructif pour le béton (Schmidt, 1951). Il a été ensuite recommandé par la société internationale de mécanique des roches pour la réévaluation de la résistance des matériaux rocheux (Deere et Miller, 1966) ; il donne de bons résultats sur l'état d'altération des roches. Il n'est, en effet, que la version quantitative du marteau de géologue. C'est un excellent outil pour reconnaître les matériaux de même qualité lors de la phase d'exploitation. Ce dernier est en réalité une estimation de la dureté et de l'élasticité de la roche. Deere et Miller (1966), Ramsay et al (1974) et Irfan et Dearman (1978). ainsi que plusieurs autres chercheurs ont utilisé ce test pour l'évaluation de la compression simple.

I.6.5. Résultats et interprétation

Dans cette étude, le scléromètre utilisé est du type "N", l'énergie d'impact délivrée est de 2.207 Nlmn. Dix lectures pour chaque point de mesures ont été faites sur terrain pour chacune des deux directions, parallèle et perpendiculaire à la

stratification. Ce même instrument est utilisé dans le laboratoire pour tester la dureté des échantillons sous forme de blocs de roches de dimension approximative de 200x150x100 mm³ prélevés sur les fronts de tailles des carrières d'étude. Au laboratoire, les échantillons testés ont été fixés avec précaution sur un plancher.

Les valeurs sclérométrique les plus élevées dans ce programme ont été obtenues sur les calcaires de l'Aptien. Elles varient dans l'intervalle de (65-67) parallèlement à la stratification, et de (58-60) perpendiculairement à la stratification, ce qui veut dire que la résistance ou la dureté des roches est plus élevée parallèlement à la stratification que perpendiculairement (Tableau. 6).

Ces valeurs élevées du Schmidt Hammer s'expliquent par la nature minéralogique et physique de ces calcaires dolomitiques. Ils ont une densité élevée avec une porosité très réduite, conséquence d'une compaction importante. Les valeurs de dureté obtenues parallèlement et perpendiculairement à la stratification confirment l'anisotropie de la roche. Il est bien clair que les valeurs sclérométriques perpendiculaires à la stratification sont systématiquement inférieures à celles obtenues parallèlement à la stratification.

I.6.5. L'indice de résistance : Essai Franklin

L'indice de résistance ou l'essai Franklin est une mesure indirecte de la résistance à la traction des roches (Broch et Franklin, 1972). Il a l'avantage d'être rapide, peu cher, et n'exige aucune laborieuse préparation de l'échantillon. Il est donné par la relation suivante:

$$I_s = P/D \cdot D$$

Où :

I_s: Indice de résistance à la tension.

P : Charge de rupture.

D : Epaisseur de l'échantillon (distance entre les deux plateaux coniques).

Franklin (1971); Broch et Franklin (1972) ; Beniawski et Hawkes (1977) ont intensivement étudié le test et ont proposé une relation entre ce dernier et la résistance à la compression simple (R_{cs}).

$$R_{cs} = 24 I_s.$$

I_s = l'indice de résistance

Ils ont aussi trouvé que I_s est inversement proportionnel à la taille du spécimen. Cela s'explique par l'augmentation du nombre de microfissures avec le volume du spécimen et par conséquent, beaucoup plus de microfissures participent au

processus de fendage. Cela a conduit à l'établissement d'un diagramme pour corriger les valeurs de I_s , obtenues sur des spécimens de tailles différentes, pour une taille de référence choisie. De nombreuses études faites sur le test ont montré qu'il est très sensible aux facteurs géologiques tels que : la nature du ciment ou matrice, la taille des grains, l'altération, l'anisotropie et la teneur en eau... etc.

Il est également très pratique sur terrain car il permet de tester un nombre important d'échantillons et augmente la représentativité des valeurs obtenues.

Quoiqu' il soit essentiel pour ce genre d'étude, cet essai n'a pas été réalisé, vu la non disponibilité de l'appareil Franklin.

I.7. La vitesse des ondes sismiques

La vitesse des ondes sismiques est un indice d'identification et de classification des roches. Elle est couramment mesurée pour estimer certains paramètres tels que le degré de fracturation ou d'altération des roches. Elle est également utilisée pour le contrôle et la vérification de la qualité du béton.

Dans notre travail, on fixe de part et d'autre du spécimen cylindrique deux transducteurs, reliés par deux câbles à l'unité principale. L'unité émet des signaux électriques qui se convertissent en pulsions dans le transducteur (transducer), et passent à travers le spécimen pour être revues par le second transducer qui les transforme en signaux électriques, une deuxième fois. Le temps que met l'onde entre les deux transducteurs est affiché sur un écran à affichage numérique, et correspond au temps que met l'onde pour traverser l'éprouvette rocheuse (fig. 6).

La vitesse de l'onde sismique dans l'échantillon est cependant déterminée par une simple division de la longueur de l'échantillon sur le temps de transit.

$$V=L/t.$$

Où:

L: longueur de l'éprouvette.

t : temps de transmission.

A la lumière de plusieurs travaux de recherche, la vitesse des ondes sismiques donne de bonnes corrélations avec les autres propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression simple R_{cs} , l'indice de résistance à la traction de Franklin ,voir figure (14).

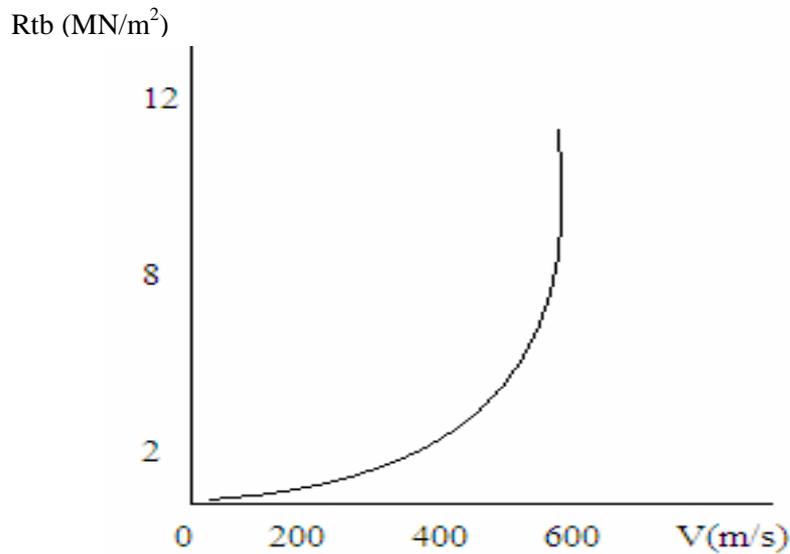


Fig.14
:

Graph e montrant la relation entre la résistance à la traction et la vitesse des ondes sismiques (d'après Irian et Deaman, 1978).

Sachant que la vitesse des ondes sismique V_p est calculée à partir de la mesure du temps de propagation des ondes à travers une éprouvette, cette quantité est sensible à la porosité et surtout à la microfissuration de la roche, ainsi qu'à d'autres facteurs géologiques tels que la taille des grains, le degré de compaction et l'altération des minéraux.

Les plus jeunes calcaires dans la région de Tébessa sont les moins compacts et les plus fissurés. Dans ces matériaux, les fissures sont d'ordre centimétrique, se situant le plus souvent le long des bordures des stromatolithes. Les vitesses de 4951 m/s et 5100 m/s, dans une direction respectivement perpendiculaire et parallèle à la stratification, montrent clairement l'effet des microfissures et leur orientation. Ces calcaires présentent les plus faibles valeurs de vitesses d'ondes sismiques. Ils présentent également des valeurs de porosité très élevées (15.2%) et de densité la moins élevée (2.15).

Les pierres de taille sont constituées d'éléments de même taille qui sont placés les uns à côté des autres avec leur plus grande dimension ancrée dans le sol. Avec cette disposition, les pierres de taille se stabilisent, les forces longitudinales sont absorbées et évacuées vers le pied du talus. L'ensemble est plus résistant que le riprap lors d'un

déversement. Ce revêtement en blocs de pierres est spécialement approprié pour des pentes de talus élevées.

Les Pierre de Taille de calcaire un peu dur sont sculptées selon la forme recherchée.

Les pierres de Taille sont utilisées dans la finition pour la construction des blocs des logements et des bâtiments. Elles peuvent aussi être utilisées pour la construction des pistes et des routes, dans des zones propices à des glissements et à des mouvements tectoniques.

L'aspect du calcaire donnera un aspect différent, adaptés aux différentes utilisations souhaitées. La composition de ce calcaire est propre à chaque gisement et d'une couleur différente, ce qui donnera diverses couleurs de pierres de Taille.

Le terme pierre de Taille désigne les blocs de pierre dont toutes les faces sont dressées c'est -à- dire taillées pour obtenir des plans plus au moins parfaits. Les joints de parement (face visible du bloc) sont alors rectilignes, l'appareil (arrangement de la maçonnerie) est polygonal.

On distingue comme hauteur de l'assise (rang des pierres de même hauteur) :

- Le « grand appareil » (plus 35cm de haut).
- Le « moyen appareil » (entre 35et 20cm).
- Le « petit appareil » (moins de 20cm).

La pierre de Taille doit être :

Résiliente :

Une pierre trop longtemps exposée aux intempéries sur toutes ses faces, ou changée sur ses arêtes, perd sa résistance aux chocs.

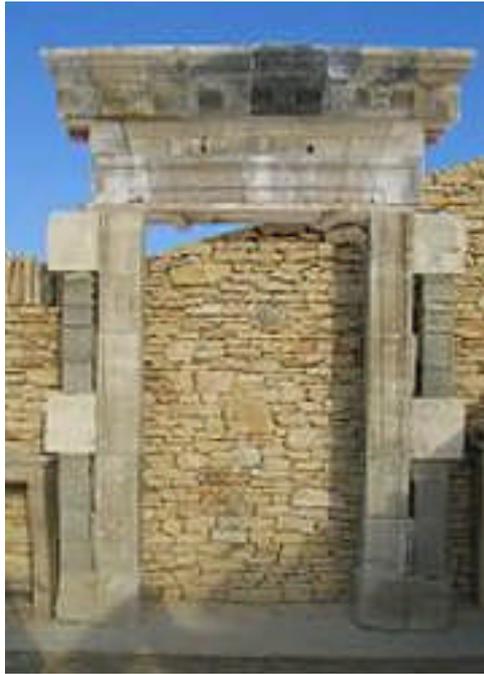


Fig.15



Fig.16



Fig.17



Fig.18



Fig.19



Fig.20



Fig.21

UTILISATION DE LA PIERRE DE TAILLES

RIPRAP.

II-1 INTRODUCTION

Le Rip rap, connu comme roche de projectile ou armure de roche, peut être une roche ou tout autre matière employée pour stabiliser le rivage. Le Rip rap réduit l'érosion de l'eau en résistant à l'attaque hydraulique et en absorbant l'énergie des vagues.

La forme de la roche est importante, elle doit être dans tout les cas angulaires pour donner une structure enclenchée. Le Rip rap est évalué par la taille de ses éléments.

Un diamètre indiquera cinquante pour cent de la roche (en poids) plus grande et cinquante pour cent plus petit. La vitesse de l'écoulement d'eau est généralement le facteur de détermination pour la Taille de la pierre. Le Rip rap change dans la Taille de plusieurs centimètres aux formes de béton coulé de plusieurs mètres. La taille et le matériel seront indiqués par un ingénieur ou un code de bâtiment local.

Le Rip rap est employé souvent en même temps qu'un géotextile ou dans des premiers de gabion des utilisateurs.

La stabilisation de rivage, voit la gestion de cote over topping de barrage.

- Déversoirs.
- Biofiltrrs.
- Bio swales.
- Séchage les ponts.
- Construction de jetée.
- Construction de route.
- Champs septiques de drain.
- Stabilisation de pente.
- Construction de gabion.
- Mur de soutènement remployant.
- Serties de ponceau.

III. BALLAST :

III-1 DEFINITION

On appelle ballast le lit de pierres ou de graviers sur lequel repose une voie de chemin de fer.

Son rôle est de transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.

On utilise généralement de la pierre concassée, de granulométrie variant entre 30mm et 60mm. On utilise du gravillon fin (10mm à 35mm) pour le nivellement. Les carrières où l'on extrait et transforme ces matériaux sont appelées ballastières.

Les éléments du ballast doivent s'imbriquer, de façon à former une masse compacte, mais perméable. Les traverses sont enchâssées dans le ballast, ce qui assure la fixité de la voie.

Le ballast subit deux types d'usure, dont la contamination par des matériaux parasites, par exemple de la terre. On procède à des désherbages, mais il est nécessaire de remplacer le ballast régulièrement. On observe également le tassage du ballast sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie. Il est alors nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie sous les traverses.

III-2. Le ballast, à quoi ça sert ?

Les qualités que doit avoir le ballast, histoire de le voir autrement que comme un gros tas de bêtes cailloux juste bons à casser des vitres.

III.2.1. Dureté :

Elle doit lui permettre de résister aux efforts reçus ainsi qu'à l'usure par abrasion du fait de vibrations engendrées dans la masse par les charges de roulement.

III.2.2. Elasticité :

Cette élasticité, qui permet d'amortir la transmission des charges reçues et d'atténuer l'amplitude des efforts dynamiques, est à rechercher pour l'ensemble des éléments de ballast assemblés entre eux.

III.2.3. Densité élevée :

Un ballast lourd leste mieux la voie et résiste mieux aux différents efforts auxquels il est soumis.

III.2.4. Angularité et rugosité :

Les éléments de ballast doivent pouvoir s'assembler entre eux de façon à former un tout compact. Il est donc utile que les arêtes soient assez vives et les surfaces assez rugueuses pour permettre la cohésion de la masse. De plus, le contact ballast-traverse doit pouvoir assurer une immobilisation de ces dernières par pénétration des arêtes vives des éléments de ballast dans la masse des traverses (bois, rugosité ou alvéoles du béton).

III.2.5. Perméabilité :

Elle sera, pour l'ensemble du Ballast, d'autant plus grande que les vides existant entre les éléments assureront mieux l'écoulement de l'eau, c'est donc un problème lié à la granulométrie du ballast ainsi d'ailleurs qu'à la dureté, car l'abrasion produit des poussières qui comblent progressivement les vides et freinent l'écoulement de l'eau.

III.2.6. Conclusion :

La ballast est une masse élastique, creuse, compacte, bloquant les traverses, dont le nivellement peut-être réalisé au millimètre en emboîtant entre eux des super cailloux de 2,5 à 5cm de taille.

Dans notre étude, le Maestrichtien du gisement d'Adila est le meilleur site pour la production du ballast destiné à l'utilisation pour la construction de chemin de fer.

IV- Granulats pour béton

IV.1. Introduction

Le béton est un matériau artificiel fait de granulats réunis entre eux au moyen d'un liant généralement hydraulique. Il se prépare par simple mélange de ses constituants avec une certaine quantité d'eau. En effet, les granulats sont les constituants majeurs du béton ; ils forment entre 60 à 80 % en volume. Cependant, ils jouent un rôle très important dans la qualité et l'économie du béton.

Les propriétés désirées des granulats pour béton ont fait le thème de plusieurs congrès et objet de plusieurs recherches, bien qu'il reste encore difficile de traduire les recommandations en spécifications ainsi que de concevoir des tests pour l'évaluation précise du comportement de ces matériaux en service. Néanmoins, l'essentiel exigé des granulats pour béton c'est qu'ils restent stables dans

l'environnement de service durant toute la vie prévue de l'ouvrage. Ils ne doivent avoir aucun effet contraire sur la performance ou l'économie du béton.

Pour des raisons techniques et contractuelles, ces exigences doivent être définies quantitativement, cela conduit à choisir des tests, des procédés d'évaluations et des critères d'acceptation appropriés. Néanmoins, il reste difficile de confirmer et de s'assurer des performances des granulats à long terme, par le biais des tests. Seulement dans ce cas, il convient d'avoir recours au jugement des experts, quoique le but d'établir les spécifications soit toujours pour minimiser ces besoins. Dans les contrats, il est toujours signalé que les granulats doivent être propres, durables, non réactifs et de qualité approuvée sans qu'il y ait des limites d'acceptations ou de rejet, ce qui mène à une polémique contractuelle. Sur un autre plan, il convient de ne pas spécifier les qualités qui peuvent être contradictoires, et par conséquent, sources potentielles de litige.

Ainsi, on se limite dans ce chapitre à discuter les granulats d'une densité moyenne donnant un béton normal de poids volumique aux environs de $2,4 \text{ t/m}^3$. Les granulats ayant une densité élevée peuvent être utilisés pour avoir des bétons de densité allant jusqu'à 3, alors que les granulats légers peuvent donner des bétons d'une densité aux environs de 2 (Larrard, 1995).



Fig.22 : Granulats pour béton



Fig.23 : Station de contrôle dans une carrière de granulat



Fig.24 : Granulats pour route et béton

IV. 2. Propriétés des granulats pour béton :

Certaines propriétés des granulats affectant les bétons, ont une relation directe avec les méthodes de production. Parmi ces facteurs, on note la forme et la taille des granulats, ainsi que la présence de fines et d'argiles qui ont une relation directe avec la demande en eau du béton.

Sachant que la présence de fines, argiles, éléments plats et éléments légers ...etc., même indésirable, échappent souvent au contrôle, l'amélioration du produit peut être atteinte par un procédé de séparation.

IV.2.1. Formes des Particules

Il n'existe jusqu'à l'heure actuelle aucune spécification rigoureuse concernant la forme des particules. L'indice d'aplatissement est arbitrairement limité à 54 % pour les granulats grossiers (BSI 882).

Jusqu'à l'heure actuelle, on n'a signalé aucun problème sérieux concernant la performance de béton causé par la forme des granulats. Cependant, Smith et collis(1993) ont montré que la présence de particules plates influence négativement la maniabilité du béton, les éléments équidimensionnels l'améliorent. La présence importante d'éléments plats dans le béton provoque une ségrégation dans le mélange et une résistance réduite au durcissement.

L'état de surface des particules granulats a aussi un effet sur le degré de résistance du béton. La rugosité de la surface des particules augmente le degré de liaison entre le gel du ciment et la particule. Les granulats lisses développent un faible degré de liaison.

IV.2.2. La capacité d'absorption d'eau :

Le coefficient d'absorption de l'eau est un indice de conductivité hydraulique d'un granulat qui a un rapport direct avec sa résistance mécanique, retrait et durabilité. Il a été constaté que les granulats ayant un coefficient d'absorption réduit ont des caractéristiques et un comportement en service meilleur que ceux à coefficient d'absorption élevé. Ce dernier, peut être dû à la présence de minéraux secondaires tels que les argiles, les micro-fractures et les pores. Les minéraux argileux peuvent gonfler ou rétracter, menaçant sérieusement le comportement et la performance du béton.

La valeur limite du coefficient d'absorption pour un béton de densité moyenne est aux environs de 2 à 3%, au-delà de cette limite, les granulats deviennent pratiquement hydrophiles.

IV.2.3. Propriétés mécaniques :

Plusieurs méthodes et essais ont été conçus pour la détermination des propriétés mécaniques des granulats. On peut cependant citer l'ASTM C131, BSI 812, AFNOR et bien d'autres. L'essentiel des propriétés mécaniques des granulats est qu'ils ne subissent aucune dégradation durant le malaxage et le transport et qu'ils n'influencent pas la résistance du béton durant le service. On a remarqué que la résistance mécanique du béton n'est pas uniquement liée à celle des granulats car ces derniers ont une résistance mécanique largement supérieure à celle du béton. On procède à un choix rigoureux des granulats quand les propriétés voulues du béton dépassent celles du béton ordinaire.

IV.2.4. Durabilité des granulats :

Pour accomplir la fonction qui leur a été attribuée, les granulats doivent conserver leur intégrité et ne subir aucun changement de propriétés physiques ou mécaniques pouvant influencer négativement la performance ou l'aspect esthétique du béton. Il est impossible de négliger l'effet de la qualité des granulats sur la qualité du béton. En plus des propriétés du ciment et la quantité d'eau, les granulats doivent être stables dans les conditions environnementales ou industrielles de l'ouvrage dont ils font partie.

On a remarqué que les problèmes de durabilité du béton sont en général dus à une mauvaise investigation et évaluation du type de granulats et des conditions de services.

Parmi les facteurs essentiels desquels dépend la stabilité des granulats, figurent le contenu minéralogique et le pourcentage de minéraux secondaires.

IV.2.5. Résistance des granulats à la désagrégation :

La résistance du granulat à la dégradation **ou** à la désintégration est évaluée par la cristallisation d'un sel dans les pores des granulats, ainsi que le mouillage-séchage et réchauffement-refroidissement. Cet essai est connu sous le nom de résistance à la désagrégation des granulats dans une solution de Sulfate de Magnésium $Mg SO_4 nH_2O$, il simule l'effet des conditions naturelles telles que mouillage-séchage et la cristallisation du sel. La désintégration des granulats, dans ces conditions, s'achève suite à l'accroissement des cristaux de sel à chaque cycle de test qui en compte cinq, chaque cycle consiste à l'émersion de l'échantillon de granulats dans une solution de $Mg SO_4 nH_2O$ de concentration donnée. Pour 24 h,

L'échantillon est ensuite ressorti de la solution, rincer pour 5^{ème} puis transféré à l'étuve pour 24 heures. Après le 5^{ème} cycle, la perte de poids exprimée en pourcent du poids total de l'échantillon est la valeur de la résistance à la désagrégation. Les limites d'acceptation des granulats d'après l'ASTM (C33 ; C88) sont de 18 % pour les granulats grossiers et 15 % pour les granulats fins.

L'expérience a montré que les limites des spécifications, même respectées, ne garantissent pas une bonne performance des granulats en service. En pratique, on ne peut affirmer la qualité d'un granulat que si les valeurs sont largement inférieures à celles des spécifications.

IV.3. Caractéristique géométrique des granulats :

IV.3.1. Détermination de la granularité :

Le respect d'une régularité dans la répartition granulométrique d'un produit est essentiel quel que soit l'usage du produit.

IV. 3..2. Détermination de la forme des granulats : Norme NFEN 933-3

La forme des granulats, déterminée par le coefficient d'aplatissement a une incidence sur la résistance et la maniabilité du béton.

IV.3.3. Détermination de la Teneur en éléments coquilliers Norme NFEN 933-7 :

Les granulats d'origine alluvionnaire peuvent comporter des coquillages qui, s'ils sont en trop grandes proportions, peuvent diminuer sensiblement la résistance et l'ouvrabilité des bétons.

Propriétés mécaniques et physiques des granulats pour béton :

IV.4. Essai los Angeles Norme NFEN 1097-2 :

Dans le béton, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture. La résistance à la fragmentation est évaluée par l'essai Los Angeles.

Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau - Norme NFEN 1097-6

Dans les bétons, la proportion des granulats et la quantité d'eau contenue sont directement liés à ces deux paramètres.

IV.5. Propriété thermiques et d'altérabilité des granulats :

Détermination de résistance au gel-dégel Norme NFEN 1367-1.

Cette caractéristique est exigée pour prévoir le comportement des granulats dans des conditions climatiques sévères.

IV.6. Propriétés chimiques des granulats :

Détermination des chlorures solubles dans l'eau Norme NFEN 1744-1.

L'action des chlorures est particulièrement néfaste sur les armatures par un phénomène de corrosion, pouvant provoquer l'éclatement du béton.

- La présence de sulfate dans les granulats peut-être à l'origine de réactions expansives.
- La détermination des composés organiques affectant la prise et le durcissement de l'élément de fer.



Fig.25 : granulats pour diverse utilisation



Fig.26 : carrière de granulat

LES DIMENSIONS DES GRANULATS POUR BETON:

- 0 mm- 5 mm [0/5].
- 5 mm- 15 mm [5/15].
- 15mm-25 mm [15/25].

Élimination de la teneur humique NFEN 1744-1.

Leur effet sur le béton se traduit essentiellement par une diminution des résistances et un allongement du temps de prise.

Un béton dans certaines conditions peut être atteint d'une pathologie provoquée par une réaction entre la silice des granulats et les alcalines des ciments. Cette réaction se traduit par une formation de gel expansif pouvant entraîner un éclatement du béton.

V- Granulat pour route

V-1..Introduction.

En dehors des propriétés classiques telles que ; dureté, porosité et résistance à la compression simple, dont les définitions et méthodes de mesure sont généralement, connues par les géologues et les géotechniciens. La géotechnique routière en considère d'autres, dont les spécificités (Tab. 10) dépendent étroitement de la technique de confection des chaussées ou bien de la mécanique de leur comportement en service, tel que: la forme, la résistance à l'attrition, la résistance à la fragmentation par chocs, au gel, au polissage ; on peut également, ajouter l'aptitude à l'adhésivité aux liants hydrocarbonés.

Trafic essieux de 13tonnes	Spécification	Couche de liaison	Couche de roulement
T ₄ (<25/jours)	A	≤30	≤30
	LA	≤30	≤25
	MDE	≤25	≤20
	CPA	≤2	≤0.45
	P	≥50	≥2
	ES		≥50
T ₃ (25 à 150/jours)	A	≤30	≤25
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA	≤2	≤0.5
	P	≥50	≥50
	ES		
T ₂ (25 à 150/jours)	A	≤25	≤20
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA	≤2	≤0.5
	P	≥50	≥50
	ES		
T ₁ (150 à 300/jours)	A	≤20	≤20
	LA	≤25	≤20
	MDE	≤20	≤15
	CPA	≤2	≤0.5
	P	≥50	≥50
	ES		
T ₀ (>750/jours)	A	≤20	≤20
	LA	≤25	≤15
	MDE	≤20	≤15
	CPA	≤2	≤0.5
	P	≥50	≤2
	ES		≥50

Tableau 10 : Spécifications des granulats pour enrobés hydrocarbonés (Dupain et al, 1995)

Soit :

A : Coefficient d'aplatissement.

LA : Coefficient de Los Angeles.

MDE : Coefficient de Micro-Deval humide.

CPA : Coefficient de polissage accéléré.

P : propreté des granulats.

ES : Equivalent de sable.

V.2. Constitution des chaussées

Dans les différentes parties de la chaussée, les granulats doivent avoir des propriétés adéquates pour mieux résister aux sollicitations imposées, et contribuer à la répartition des charges pour limiter la déformation du terrain naturel. Notons également, que le volume sollicité s'évase vers le bas et que les efforts vont en diminuant au sein de la chaussée. En conséquence, la qualité des matériaux exigés pour les diverses couches, va en diminuant, de la surface vers la profondeur. On distingue, généralement, les couches de surfaces et le corps de chaussée :

Les couches de surfaces comprennent la couche de roulement et facultativement la couche de liaison.

La couche de roulement doit contenir la meilleure qualité possible de granulats, car c'est de toute la plus sollicitée. Les granulats (traités par des liants hydrocarbonés ou hydrauliques) qui la constitue doivent être de qualité supérieure, compacte et résistants, conservant une forte rugosité pour éviter la glisse et l'eau doit pouvoir s'en évacuer aisément.

Le corps de chaussée et généralement constitué de haut en bas: d'une couche de base constituée de matériaux traités ou non, d'une couche de fondation en grave non traitée ou en matériaux traités et facultativement, d'une sous couche anti-contaminant et drainante qui peut être constituée de géotextiles.

Dans certains cas, pour améliorer la portance du terrain naturel et faciliter le réglage, on ajoute du tout venant ou des limons traités par exemple. L'épaisseur des diverses couches est déterminée en fonction du trafic journalier de poids lourd, du type de sol de fondation et des conditions climatiques (ex : gélivité).

V.2.1 Granulats non traités :

En effet, les granulats dans la couche de roulement sont, généralement, de qualité supérieure avec de bonnes qualités adhésives. Les granulats des couches de fondation, non traités en général, doivent avoir une résistance à l'écrasement adéquate,

et ne libèrent pas de fines plastiques. Un tapis anti-contaminant en géotextile, séparant le corps de la chaussée du terrain naturel, est facultatif.

L'objectif principal des granulats non traités, dans les différents horizons de la chaussée (couche de fondation et couche de base), est :

- 1) Servir de plate forme pour la construction.
- 2) Diffuser efficacement les contraintes imposées par le trafic.
- 3) Remplacer les couches susceptibles de geler.
- 4) Faciliter le drainage.

Les propriétés (1) et (4) sont généralement contradictoires, la première, pour accomplir son rôle, doit avoir un module de déformation élevé, ce qui nécessite une granulométrie dense. Malheureusement pour un bon drainage.

Dans les pays du tiers monde, la chaussée est pratiquement entièrement faite de granulats non traités, exception faite sur une mince couche d'enrobés à la surface.

Les propriétés requises des granulats, pour qu'ils soient acceptés comme matériaux non-traités pour chaussées sont :

- Une bonne résistance à l'abrasion et à l'attrition.
- Une bonne résistance à la météorisation (désagrégation par les processus physiques et chimiques dans l'environnement de service).

V.2.2. Résistance des Granulats non traités à la dégradation

a- Introduction

En service, les charges imposées sont transmises d'une particule à l'autre par le biais des arrêtes et coins. Au début du chargement, les arrêtes, les coins et les facettes, en contact les uns avec les autres, sont écrasés, ce qui a pour résultat une plus large surface de contact. Si les charges persistent, il en résulte des propagations de fissures et éventuellement une rupture des particules, soit en flexion, soit traction indirecte. En service, les sollicitations répétées des particules peuvent causer la fatigue des matériaux et mener au processus de dégradation jusqu'à l'échelle des grains constituants.

b- Influence de la forme et taille des granulats

Suite à ce qui a été évoqué au chapitre précédent, le coefficient d'aplatissement joue toujours en faveur d'une diminution totale de la résistance des granulats. Leur forme facilite leur dégradation suite à l'application de stress perpendiculairement à leurs longs et moyens axes. Il a été démontré que l'augmentation de la taille des granulats influence négativement leur résistance à la

pulvérisation, cela s'explique par l'augmentation de la probabilité de présence de microfissures de taille critique.

c- L'influence de la teneur en eau :

En pratique, il a été démontré que la présence de l'eau dans les structures de la chaussée réduit considérablement sa durée de vie. La présence de granulats altérés accélère d'une manière remarquable le processus de dégradation.

Quelques granulats calcaires ont montré une réduction de 68 % de leur résistance après saturation (Smith and Collis, 1993).

d- L'influence de la granulométrie :

Les tests conçus actuellement pour prévoir le futur comportement des granulats, en service, utilisent souvent une seule classe granulaire (8-15 ou 15-25); par contre pour la chaussée, on a affaire à un mélange de classe granulaire. Plusieurs auteurs, tel que Ghani (1969), ont montré qu'une granulométrie dense subit une dégradation moindre. Cela est le fait de l'amortissement des chocs qu'offrent les particules fines (Smith et Collis, 1993).

V.2.3. Granulats traités par un liant hydrocarboné

La qualité requise des granulats pour les divers types d'ouvrages n'est pas toujours la même. Pour les ouvrages hydrauliques, les granulats doivent avoir en plus d'une bonne adhérence au bitume et une capacité d'absorption basse. Pour les couches de roulements des routes et des pistes, les granulats doivent avoir, en plus des bonnes qualités adhésives et hydrauliques, une bonne résistance mécanique pour donner à la structure un bon module de déformation. Il faut cependant signaler que le déficit n'est pas toujours associé aux choix des matériaux de bonne qualité, mais comment doit-on utiliser, d'une manière rationnelle, les matériaux disponibles?

V.2.4. Granulats pour les couches de roulements :

Les granulats traités aux liants hydrocarbonatés sont largement utilisés comme couches de roulement pour les routes, les pistes d'atterrissage des aéroports ainsi que pour les ouvrages hydrauliques. Les gravillons situés à la surface des chaussées sont soumis à des sollicitations importantes. Sous des chocs répétés, le gravillon peut se fragmenter, particulièrement dans les routes à fort trafic, où le passage répété et rapide des roues des véhicules en présences de fines, parfois abrasifs, accentuent le phénomène de polissage suite aux glissements entre pneumatiques et chaussées. Ces phénomènes diminuent le coefficient de frottement de

la chaussée et accroissent les risques de dérapage et les distances de freinage des véhicules.

Pour les couches de roulement des routes et les pistes d'atterrissage, les granulats doivent avoir une bonne adhérence au bitume, une résistance à l'abrasion, au polissage, aux chocs, et à l'écrasement. Ils doivent donner au mixe un bon module de déformation.

Pour les ouvrages hydrauliques, les granulats, en plus d'une bonne adhérence au bitume, présentent un coefficient d'absorption bas; en effet, on utilise généralement une granulométrie étalée pour réduire la perméabilité du Mixe.

V.2.5. Propriétés des granulats pour la couche de roulement :

Plusieurs chercheurs, recommandent que les granulats enrobés dans un liant hydrocarboné ou **hydraulique**, destinés pour les couches de roulement, doivent répondre aux exigences de durabilité et de sécurité, qui se résument aux points suivants (Collis et Fox, 1985) :

- 1- Résistance à l'écrasement (RE) ; généralement par le test britannique, la valeur de la résistance à l'écrasement (ACV) ; valeurs des 10 % de fines, et la résistance au choc (AIV) essai de la fragmentation dynamique et l'essai de Los Angeles (LAV).
- 2- Dureté : résistance à l'abrasion (LA) et à l'attrition (MDE).
- 3- Résistance au polissage : essai de polissage accéléré (CPA).
- 4- Bonne adhérence au béton.
- 5- Résistance à l'altération (météorisation) ; essai de désintégration par la solution de MgSO₄.
- 6- Avoir une bonne résistance pour pouvoir contribuer à l'augmentation de la rigidité du mélange.

VI. CONCLUSION

L'examen des résultats de notre étude sur les calcaires maestrichtien, aptien, et turonien en relation avec leur utilisation dans notre vie montre que :

- Les calcaires turoniens : avec leur description géologique et leur coupure granulométrique par exemple description géologique ; structure et couleur, pendage stratification en dit que le calcaire Turonien on peut utiliser et en dyties leur production en plusieurs travaux comme les bétons, la réalisation des routes et les Ballasts 25/0- 40/70.

- Les calcaires aptiens : leur mauvais classement leur permet uniquement d'être utilisés pour le béton et la réalisation des pistes.

- Les calcaires maestrichtiens : sont adaptés à la production de granulats de bonnes qualité. Leur description géologique est bonne.

Leur utilisation peut être multiple : Ballast, rip rap, granulat pour route et pour béton des filtres.

De part leur qualité et leur grande quantité, les calcaires maestrichtiens doivent être considérés comme un groupe pilote pour la production de granulat.

Pour les chaussées, selon les conditions d'emploi, les granulats incorporés ou non dans un matériau composite à liant hydrocarboné, sont soumis à des sollicitations diverses, ce qui impose de sévères spécifications vis à vis de leur résistance mécanique.

En effet, les caractéristiques mécaniques exigées pour les granulats destinés aux routes sont évaluées par des essais tels que : Los Angeles, Micro-Deval humide et la fragmentation dynamique. Les granulats utilisés sans traitement particulier doivent présenter un minimum de résistance aux chocs et à l'attrition qu'imposent les véhicules.

Pour notre cas, l'étude géotechnique effectuée sur les granulats calcaires de la région d'étude, montre que ceux-ci revêtent une importance considérable pour être utiliser comme matière première dans la construction des chaussées.

Les calcaires aptiens, avec les propriétés physiques et mécaniques déjà vues aux chapitres précédents, sont conformes aux normes exigées pour les différents niveaux de la chaussée. Du point de vue mécanique, ces calcaires peuvent être classés comme matériaux de bonne qualité.

Dans les couches de roulement, vu le contraste de dureté existant entre la calcite, la dolomite et le quartz, le matériau conserve une microrugosité, importante pour avoir et maintenir un coefficient de polissage adéquat. Ces propriétés de résistance et d'anti-polissage rendent les granulats du calcaire dolomitique favorables pour être utilisés dans toutes les couches de roulement.

Dans les couches de bases, comme grave non traités, ils ont une résistance convenable, sont insensibles à l'eau et ne libèrent pas de fines, et par conséquent, ils restent stables.

Les calcaires du Maestrichtien et du Turonien, vu les propriétés physiques et mécaniques qu'ils possèdent, peuvent être utilisés sans risques dans la couche de base, quoique leur résistance puisse être largement influencée par l'eau.

Pour la couche de roulement, la nature monominérale des granulats a toujours joué en faveur d'une surface glissante et cela malgré la dureté de la roche. A cela s'ajoute la solubilité des calcaires et leur polissage uniforme. Il en découle que le calcaire du Maestrichtien n'a pas les propriétés requises pour être dans la couche de roulement, surtout pour les routes à fort trafic.

CHAPITRE IV

REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

DES QUALITES RELATIVE

II- a préparation des cartes géotechniques :

I- 1 : Généralités

La cartographie géotechnique a vu le jour au moment où s'est amorcée la coopération entre les géologues et les ingénieurs pour la réalisation des grands ouvrages de génie civil, tunnels, barrages et voies ferrées, les premières cartes n'étaient guère différentes des cartes géologiques actuelles. Les ingénieurs exigeant un nombre croissant de données géologiques quantitatives, ce type de données est apparu d'abord dans des textes explicatifs, puis dans des légendes développées et, enfin sur les cartes géologiques elles-mêmes. On y retrouve donc des informations de caractère plus spécifique sur l'aspect technique des phénomènes géologiques et sur leur interprétation. De nos jours, ces cartes explicatives sont toujours d'un usage courant et il arrive même qu'on leur donne le nom de cartes géotechniques.

Les cartes géotechniques peuvent être destinées à des usages très variés. Par exemple, il peut s'agir de planifier l'utilisation du sol dans une entreprise complexe d'utilisation et de développement de régions à caractères diversifiés, les dimensions de telles régions peuvent aller de l'étendue d'un district urbain à celle d'un état tout entier. Certaines cartes ne sont utilisables qu'à des usages déterminés ; d'autres, de conception plus large, peuvent servir à plusieurs usages, ce qui permet de résoudre des problèmes plus généraux. Elles peuvent être le point de départ des études préliminaires d'un projet (construction urbaines et industrielles, voies de communication, ouvrages hydrauliques, etc...). L'échelle et la précision de ces cartes dépend de l'usage auquel elles sont destinées ; elles peuvent avoir des contenus différents, donner une représentation d'un choix varié de caractéristiques naturelles et évaluer ces caractéristiques de différentes façons. Malgré cette variété et cette spécificité, les cartes géotechniques, de même que les cartes lithostratigraphiques et les cartes tectoniques, doivent se conformer à certaines conventions, à une classification et des principes communs, et à un certain degré de normalisation. Cela représente une tâche considérable et très difficile, qui est à réaliser dans le cadre de la coopération internationale entre les ingénieurs géologues.

I.2 : Introduction :

La géologie de l'ingénieur a pour objet de fournir les informations de base nécessaires pour établir les plans d'utilisation des sols et pour préparer, calculer, réaliser et entretenir les ouvrages de génie civil. De telles informations sont indispensables pour évaluer la possibilité de réaliser la tâche envisagée, qu'il s'agisse de l'utilisation des sols ou des grands travaux et, en ce qui concerne ces derniers, pour faciliter le choix du type et de la méthode de construction les plus appropriés afin d'assurer la stabilité d'un ouvrage dans son environnement naturel et permettre l'exécution de l'entretien indispensable.

Une carte donne la meilleure image d'un environnement géologique, elle indique notamment le caractère et la variété des conditions géotechniques, leurs différentes composantes et leurs relations mutuelles, mais c'est un modèle simplifié des faits, et la complexité des divers facteurs géologiques et dynamiques ne peut jamais être intégralement représentée.

Une carte géologique doit posséder les caractères suivants :

- Elle doit représenter l'information objective nécessaire pour évaluer les caractéristiques géotechniques dont la connaissance est indispensable dans trois domaines: aménagement régional, construction (choix du lieu et de la méthode la plus appropriée), exploitation minière.

- Elle doit permettre de prévoir les modifications des données géologiques qui peuvent se produire sous l'effet des travaux envisagés et de suggérer les mesures préventives nécessaires.

- Elle doit présenter l'information de telle sorte qu'elle soit facilement comprise par les professionnels qui l'utilisent et qui ne sont pas forcément des géologues.

Les cartes géotechniques doivent être établies à partir des cartes géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques. Mais elles doivent présenter et évaluer les faits fondamentaux fournis par ces cartes en termes de géologie de l'ingénieur.

II. Définition d'une carte géotechnique :

Une carte géotechnique est une carte géologique qui fournit une représentation généralisée de toutes les composantes d'un environnement géologique qui ont une importance pour l'aménagement du sol et pour la conception, la construction et l'entretien des ouvrages de génie civil et des mines.

Les caractères géologiques représentés sur les cartes géotechniques sont les suivants:

- Les données des roches et des sols,
- Les conditions hydrogéologiques,
- Les conditions géomorphologiques,
- Les phénomènes géodynamiques.

Les cartes géotechniques doivent comporter des coupes d'interprétation, un texte explicatif et une légende. Elles peuvent aussi comporter certaines données documentaires qui ont été réunies pour la préparation de la carte. Il faut parfois plus d'une feuille pour indiquer toutes ces informations.

II-1. Introduction :

Le contenu des cartes géotechniques et le nombre des détails relatifs aux conditions géotechniques sont fonction de l'échelle de la carte et de l'usage auquel elle est destinée. Il convient de ne pas oublier l'objectif essentiel de la cartographie géotechnique, à savoir que l'établissement des cartes géotechniques doit être fondé sur des principes généraux bien définis indépendamment du fait que les cartes de différentes échelles sont conçues pour résoudre différents types de problèmes. Le respect de cette règle permettra de comparer directement des cartes tracées à la même échelle pour des régions différentes et facilitera également la réalisation de cartes d'échelle moyenne ou petite, par exemple à partir de cartes à grande échelle, sans qu'il soit nécessaire d'y apporter des changements considérables.

Les cartes peuvent être définies par leur objet, leur contenu, leur échelle; ce qui donne lieu à des types de cartes fort nombreux.

II-2. Cartes à usages multiples :

Elles peuvent être analytiques ou synthétiques ;

- 2-1. cartes analytiques à usages multiples.
- 2-2. cartes synthétiques à usages multiples.
- 2-1. cartes synthétiques à usages multiples, à petite échelle.

2-2. cartes synthétiques à usages multiples à moyenne échelle.

2-3. cartes synthétiques à usages multiples à grande échelle.

II-3. Cartes à usage particulier.

3-1. cartes analytiques à usage particulier.

3-2. cartes synthétiques à usage particulier.

Dans notre étude, la carte géotechnique est une carte à usage particulier. Une telle carte est destinée à satisfaire un besoin spécifique de la géologie ou doit donner des informations sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur. Les cartes peuvent être analytiques ou synthétiques, et peuvent être exécutées à n'importe quelle échelle.

Les techniques utilisées pour représenter les unités lithologiques et pédologiques, les conditions hydrogéologiques et les phénomènes géomorphologiques et géodynamiques sont les mêmes que celles utilisées pour les cartes à usages multiples.

II.3-1. cartes analytiques à usage particulier

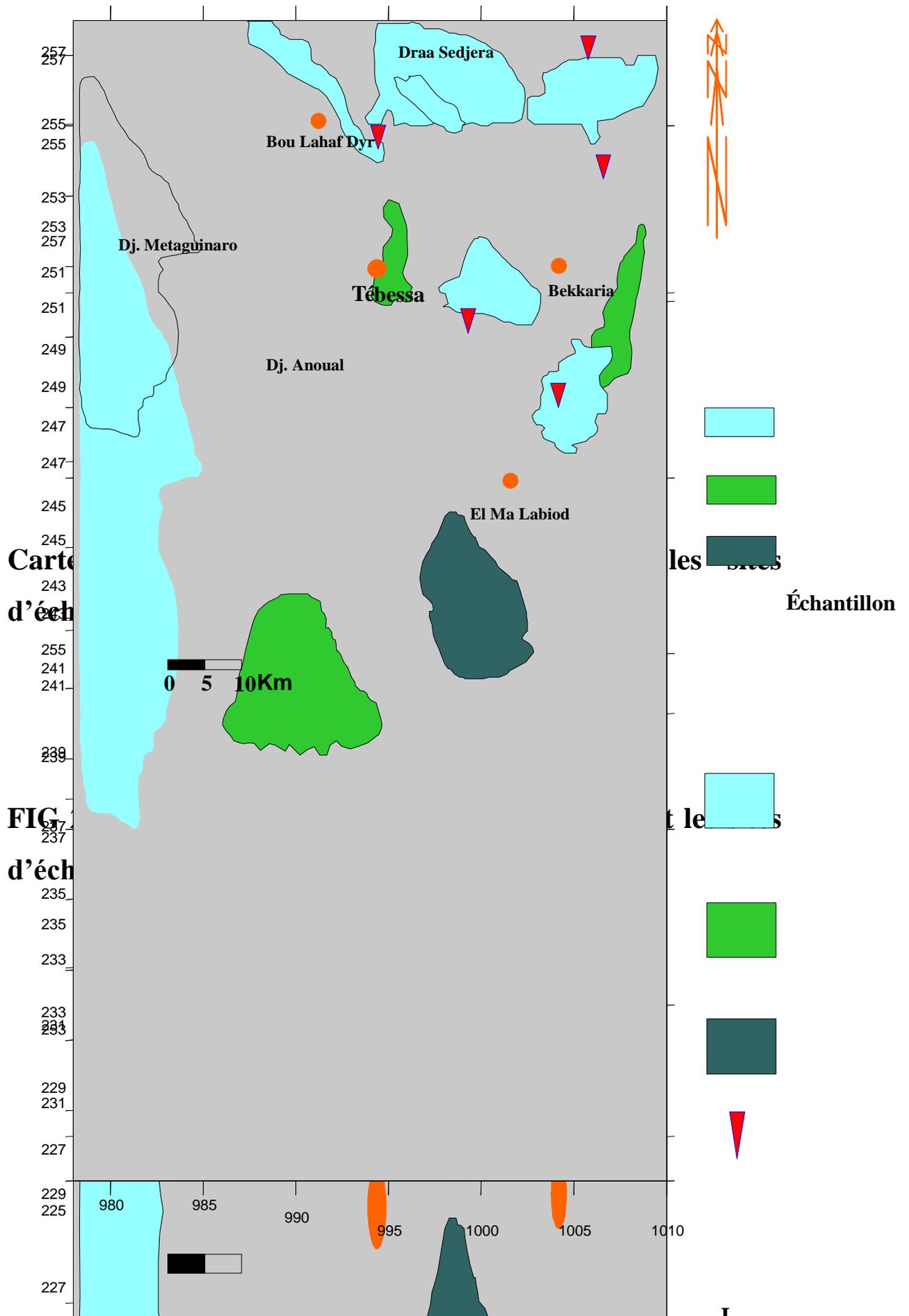
Elle représente diverses composantes des conditions géotechniques et elles les évaluent en fonction d'un but spécifique.

II.3-2. cartes synthétiques à usage particulier.

Ces cartes représentent sur une seule feuille les composantes fondamentales des conditions géotechniques, elles les classent et les évaluent en considérant un seul objectif spécifiques. Cet objectif peut être une opération d'urbanisme, la construction d'un ouvrage souterrain ou de voies de communication. L'évaluation des composantes pour différents buts spécifiques pourra aussi être réalisée sur une carte de zonage géotechnique en groupant des unités territoriales d'après l'uniformité de leurs conditions géotechniques. Une telle carte de zonage pourra être constituée par une feuille séparée ou, si elle est à petite échelle, elle pourra être combinée avec la carte des caractéristiques géotechniques.

II- 4. Coupes géotechniques :

Les coupes géotechniques sont le complément indispensable de tous les principaux types de cartes géotechniques. Le nombre et la direction des coupes sont choisis en tenant compte de la géomorphologie et de la structure géologique, afin de montrer la relation qui existe entre les composantes des conditions géotechniques.



III. Commentaire :

Cette carte, choisie comme exemple d'une carte analytique spéciale à petite échelle, appartient à une série de cartes établies pour la région de Tébessa, à l'échelle 1/100000.

La carte est un type standard de carte géologique de Tébessa avec une légende descriptive détaillée concernant les qualités des formations étudiées (Aptien, Turonien, Maestrichtien).

Elle sert à souligner les rapports étroits qui existent entre la roche et leur utilisation.

D'après cette représentation cartographique, on peut conclure :

Dans toute la région d'étude, les granulats de l'Aptien sont des granulats destinés à la construction des routes et la fabrication du béton. Ces calcaires sont des granulats de densité relativement élevée.

Les granulats du Maestrichtien sont différents selon les zones, toujours dans la région de Tébessa. Leur qualité est meilleure dans la région d'El-Malabiod et leur utilisation est possible dans divers domaines, comme les routes, les bétons, et les ballasts, spécialement pour le chemin de fer.

Dans les autres zones, les granulats du Maestrichtien sont presque exclusivement destinés au béton.

L'échantillonnage qui a été fait dans le Maestrichtien de la région d'El-Malabiod montre une densité des niveaux compétents de l'ordre de 2.59 à 2.68. Cette densité est presque du même ordre dans toute la région, avec une différenciation de 0.10 à 0.40.

Les granulats du Turonien sont de même qualité dans toute la région, à l'exception de la région de Boulhef dyr, où ils sont destinés à la fabrication des pierres de taille. On peut donc dire que cette région est caractéristique par ces granulats.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale :

Dans ce programme de recherche, il n'a été traité que des granulats dans le meilleur quant il s'agit des pierre de taille. A partir de l'étude des roches carbonatées de la région de Tébessa, il a fallu aboutir à une relation entre les caractérisations géologiques, géomécaniques et le potentiel industriel.

Ce travail a montré la relation entre les propriétés physiques et mécaniques, la nature géologique des roches et leur importance économique pour l'état de roche intacte, et spécialement de granulats.

Les roches carbonatées de l'Aptien, du Maestrichtien et du Turonien représentent un spectre important de minéralogie, texture, degré de compaction et degré de microfissuration. Chacun de ces éléments a un effet non négligeable sur les propriétés géotechniques des échantillons étudiés.

Dans ce travail, ont été déterminées les propriétés des granulats à partir de la classification des roches des formations carbonatées, grâce aux trois essais Los Angeles, fragmentation dynamique et micro-Deval humide.

On en conclut que **les calcaires ayant les meilleures propriétés géotechniques à l'état intact ont souvent les meilleures propriétés à l'état concassé en granulats.**

Les propriétés physiques et mécaniques de ces roches carbonatées, soit à l'état de roche intact ou de granulats, **s'améliorent progressive avec l'âge.**

D'autre part, dans ce travail, ont été étudiées les roches et roches masse requises pour les pierres de taille, le riprap, le ballast, les granulats pour routes et les granulats pour béton :

- les granulats étudiés peuvent être utilisés pour la construction du chemin de fer avec les ballasts, celle des bâtiments (granulat pour béton) et celle des routes (granulats pour route).
- tous les granulats du Maestrichtien et du Turonien sont valables pour ces utilisations
- le granulat de l'Aptien utilisé dans la construction des routes.

Finalement, une représentation cartographique des roches étudiées a été faite, indiquant les sites et leurs utilisations.

Donc : l'utilisation du granulat pour béton, route et ballast est presque valable pour tous les âges (Maestrichtien, Aptien),

- l'utilisation comme pierre de taille est limitée au Turonien et spécialement à la région du Boulhief Dyr, où les roches présentent de bonnes caractéristiques pour servir de pierre de taille (aspect, dureté et teneur en eau).

→ On recommande l'élaboration de cartes plus détaillées représentant les différents sites susceptibles de constituer des gisements importants de matière première de granulats afin de permettre une mise en valeur de ces substances utiles.

Edyr, où les roches présentent un aspect, une dureté et une teneur en eau caractérisant bien la pierre de taille.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Association Française de normalisation (Août 1999). NFP 18-621-2 Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats

Association Française de normalisation (Août 1999). NFP 18-621-2 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.

Allison R.J. (1987). Non-destructive determination of young's modulus and its relationship with compressive strength, porosity and density. Geol. Society publication N° 29PP. 63-96

Arquie G. et Tourenq C. (1990). Granulats. Pet C. AEN PC ; P 717

Boumezbeur, A. and ramsay, D, M (1998). The interrelationship between intact rock and aggregate strength indices.

Broch et Franklin (1972). Quarry management journal, july 1998.

Brace W.F. (1991) dependence of fracture strength of rocks on grain size. Proc. Symp. Rock Mech. N° 4, penn. State. Univ, Pp. 99-103.

Bratli B. (1992) the influence of geological factors on mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. Eng. Geol, N° 33.Pp.31-44.

Carte géologique de l'Algérie, feuille publiée en 1956,

Cauchot j ; charonnat y ; Goox M.T. et Irastoraza barbet D (1993). Les granulats et les chaussées en béton de ciment RGRA N° 17/pp.42-43.

Colli et Fox(1985).An evaluation of basic igneous rocks as beton surface aggregates.p.25-32.

Claude Tourecs : granulats, sables, graviers, et concassés de carrière ; techniques de l'ingénieur, C902-11-1993.

Charreau M ; petit jean M. et Tourenq C. (1996). Granulats des normes pour L'EUROPE. Objectif 2000. RGRA N° 740.pp20.22.

Chiarelli A.S; Shao JF ; le desert B. et Hoteit. N (2001).

Etude expérimentale du comportement mécanique d'argile raides application au stockage de déchets Radioactifs. Annales du bâtiment et travaux publics, pp.11-16.

Clifford T.S. (1991). An evaluation of the engineering proprieties of some Nigerian **D'andrea et al, 1956, Denis et al 1987, Allison, 1987).**caractérisation géologique et mécaniques des roches carbonater ,pp.26-22.

Dagalier G. (1996). Gisement de matériaux calcaires. Revues mines et carrières. Industrie minérale, Mass, pp.34-36.

Dubourdiou G. (1949). Cart géologique aux 1/50 000 feuilles de Djebel ouenza, N° 125notice explicative, Pub. Serv. Carte géol, Algérie.

Dubourdiou G. (1956). Etude géologique de la région de l'Ouenza (Confins Algéro-tunnisien). Thèse. Sc. Paris Publ, serv. Cart géol, Algérie Beelt.N° 21.pp65.

Dubourdiou G. (1959). Esquisse géologique du Djebel Mesloul (Algérie orientale). Serv. Cart, géol, Algérie, Bult. N° 21.pp162.

DUROZOY G.(1956) carte géologique au 1/50.000 Tébessa.

Dupain R. ; lanchon R. et saint-Arroman J.C. (1995). Granulats, sols, ciment et béton, Paris castélla, P 236.

Dupain p et Tourenq C (1992). Normalisation Française dans le domaine des granulats, RGRA N° 700pp ; 54-57.

Dupain pet Tourenq C (1993). Granulats et microrugosité Bull. liaison. Labo. P et CN° 185, pp.145-151.

Durville J.L.et Heraud H. (1995). Description des roches et des massifs rocheux. C352Techniques de l'ingénieur, traité construction, pp1-12.

Dyke C .G. and dobreiner L (1991). Evaluating the strength and deformatibility of sandstones, Eng. Géol, N° 24pp123-134.

Farmer (1983) Description des massifs rocheux. Techniques de l'ingénieur, pp3-14.

FLEURYJ.J ; (1966) stratigraphie du crétaé et de l'éocène (Aptien- lutétien)

De la feuille an 1/50.000 de Morset N° 178 (Algérie, Constantine, Atlas saharien).
Publ. Serv. Carte géologie. Algérie N° 539p 147.157

Haguenaer B- (1996). La localisation est l'utilisation économique, optimale des ressources carbonatées, proceeding, 5th Int, conf, sol, Mec hand fond, Eng. Paris vol ,2.p.771.

Irian et Deaman, 1978, la relation entre la résistance à la traction et la vitesse des onde,pp.45-52.

Kowalski W.M ; Boufaa K ; 1996) les sédiments Miocènes des environ de Tébessa (NE de l'Algérie) et leurs relations avec la tectonique. Bull. Soc. Hist. Nat. Pays de Montbéliard.

Larrard F. (1995). Une approche de la formation des bétons légers de structure, Bull, Liaison, labo, pet, ch N° 195, pp 39 -47.

Larrard F. et Belloc A. (1999). L'influence du granulat sur la résistance à la compression des bétons, Bul. Labopet, ch N° 129,pp41-52.

Lees et Kennedy(1978) et Neville (1981)

M.G. Bétier ; M.L Royer, M.H Termier ; M.R. Laffitte .carte géologique de l'Algérie, feuille publiée en 1956, Par le service de la carte géologique de l'Algérie.

Nouvelles normes européenne granulats 2004.

- (2004) EN 932-2 Identifications pétrographique
- (2004) EN 932-1 et EN 932-2) échantillonnages.
- (2004) EN 932- 1 caractéristiques de fabrication.
- (2004) EN 933- 6 caractéristiques de fabrication.
- (2004) EN 933-10 GRANULAIR.

Pirmel L. (1990). La géologie de l'ingénieur et les matériaux de construction, conférence thématique. Int. Assol. Eng. Géol gongres, 6. Rotte rdam, pp, 2937-2963.

Serratice J.F et Dureville J.L (1997). Description des roches et de la massive rocheuse exploration des deux de bases de données. Bull. Liaison labo, pet C, N° 211, pp73-87.

Smith et collis (1993). Aggregates , somd, gravel and crushed rock aggregates for engineering proposes. Geol,soc, 2 ed, london.

Schmidt (1951) L'influence du granulat sur la résistance Bul. Labopet, ch N° 2,pp22-32.

Tebib horria ; (2002), diplôme de magistère, l'influence des facteurs géologiques sur les propriétés physiques et mécaniques des roches intactes et leurs dérivées granulats (roches, carbonatées de la région de Tébessa).

Tourenq C (1994). La normalisation dans le domaine des granulats –RGRA, L, C, P, C, № 720pp.16-0).

VILAJ.M ; 1980 la chaîne Alpine d'Algérie nord-orientale et des confins Algéto-Tunisiens. Thés doctorat d'état, univ.P. Et M. curie, Paris VI. (206). Publ. Serv. Carte géologique. Algérie.

Van Atta et al (1976), caractéristiques de fabrication des granulats.

W.Wildi, (1983). Carte géologique simplifiée de l'Atlas saharien oriental aux confins algéro-tunisien.