

5/03

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MINIER

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en génie minier

THEME

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

**Influence des caractéristiques géomécaniques
et pétrographiques sur la qualité d'un ballast**

Encadré par :

Mr. K. OMRACI

Mr. A. SEBAI

Présenté par :

Aounallah FATTAH

Assia GHEMMOUR

Année universitaire 2002/2003

Résumé

Ce travail a été consacré à l'étude géologique et géotechnique des granulats susceptibles d'être utilisés comme ballast dans les chemins de fer algériens. Cette étude a concerné trois carrières : Keddara (ENOF), Si-Mustapha (ENG) et Hadjeb El-Hachimia (ENG). Des essais ont été effectués sur des échantillons de ces carrières afin de déterminer des propriétés physiques (Poids volumique, Coefficient d'absorption), géomécaniques (LA, MDE, MDS) et pétrographiques (étude de lames minces). Les résultats de ces essais expérimentaux nous ont permis de constater l'impact de chaque paramètre sur la dureté relative globale (DRG), caractéristique prise en compte pour déterminer la qualité du ballast.

Mots clés : Ballast, granulats, géomécanique, pétrographie.

Abstract

This project deals with the geological and geotechnical study of the used granulate for ballast in the Algerian rail way lines. This study has concerned three quarries : Keddara (ENOF), Si-Mustapha (ENG) and Hadjeb El-Hachimia (ENG). Tests had been carried on samples of these quarries in order to determine physical (volumic weight, coefficient of absorption), geomechanical (LA, MDW, MDD) and petrographical properties (study of thin samples). The result of these experimental tests allowed us to ascertain the impact of each parameter on the global relative hardness, characteristic taken into account to determine the quality of ballast.

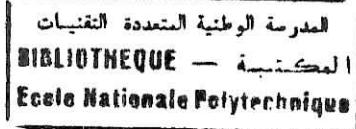
Key words: Ballast, granulate, geomechanic, petrography

ملخص

هذا العمل مكرس للدراسة الجيولوجية و الجيوتقنية للحصى المؤهل للاستعمال في خطوط السكك الحديدية الجزائرية. هذه الدراسة خصت ثلاث محاجر (قدارة، سي مصطفى و حاجب الهاشمية). أجريت تجارب على عينات من هذه المحاجر لغرض تعيين خواص فيزيائية (الكتلة الحجمية، معامل الامتصاص)، جيوميكانيكية (لوس أنجلس، ميكرو دوفال رطب وجاف) و بيتروغرافية (دراسة شرائح رقيقة). قد سمحت لنا نتائج هذه التجارب التقنية ملاحظة اثر كل عامل على الصلابة النسبية المجملية، خاصية مأخوذة بالاعتبار من أجل تعيين نوعية البالست.

الكلمات المفتاحية: بالست، حصى، جيوميكانيك، بيتروغرافيا

Dédicace



Je dédie tout mon dévouement et tous mes efforts consacrés à ce projet :

A la mémoire de Amis...

A mes parents qui m'ont toujours soutenue de par leur amour et leur compréhension.

A mes frères et ma petite sœur que je chéris.

A tous mes proches.

A mes amis de l'association Amine ainsi qu'aux enfants de la colonie de Bouzaréah.

A mes amis de Ain-El-Hammam.

A tous mes amis d'enfance de Boumerdès et à ceux de l'école polytechnique et d'ailleurs...

A la famille Zouggar qui m'a accueillie à bras ouverts dans son foyer et m'a permis de réaliser ce projet en m'épargnant bien des peines ; et à cet égard ma reconnaissance et celle de ma famille est infinie.

Assia Ghemmour

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes frères et sœurs

Mes grands-parents

Toute ma famille

Rahim Med, Salah Berrazoug, Ali Djelida

Tous mes amis Mohamed, Aberrahmen, Youcef, Foued

Tous ceux que j'aime.

Fattah

Remerciements



Au terme de ces années d'études, il nous est très agréable d'adresser nos remerciements les plus sincères à tous nos professeurs du primaire à l'université pour avoir accompli leur noble tâche .

Nous remercions nos promoteurs Mr. Omraci et Mr. Sebaï de nous avoir confié l'étude de ce projet fort intéressant et de nous avoir dirigé, orienté et prodigué leurs précieux conseils dans cette entreprise qui nous a beaucoup appris.

Nos vifs remerciements et notre gratitude vont aux nombreuses personnes qui nous ont aidés à réaliser notre projet, en prenant de leur temps et de leur énergie et en nous faisant profiter de leur expérience et de leurs connaissances.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	02
Chapitre I : Propriétés de la voie ferrée et rôle du ballast.....	03
I-1. Définition de la voie ferrée.....	04
I-2. Efforts supportés par la voie.....	04
I-3. Interactions véhicule - voie.....	04
I-4. Caractéristiques techniques de la voie.....	05
I-5. Caractéristiques physico-mécaniques du ballast.....	07
I-5-1. Caractéristiques physiques des granulats.....	08
I-5-2. Caractéristiques mécaniques du ballast.....	10
I-5-3. Rôle du ballast dans la voie ferrée.....	13
I-5-4. Types de détériorations du ballast.....	16
I-5-4-1. Détérioration du ballast par usure mécanique.....	16
I-5-4-2. Détérioration des caractéristiques du ballast par pollution.....	19
I-5-4-3. Détérioration des caractéristiques du ballast par l'altération.....	21
Chapitre II : Exemples de carrières à granulats.....	23
II-1. Carrière de Hadjeb El- Hachimia.....	24
II-1-1. Généralités.....	25
II-1-2. Contexte géologique régional.....	27
II-1-2-1. Stratigraphie régionale.....	27
II-1-2-2. Pétrographie régionale.....	29
II-1-2-3. Tectonique régionale.....	29
II-1-3. Contexte géologique du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	30
II-1-3-1. Stratigraphie du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	30
II-1-3-2. Pétrographie du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	31
II-1-3-3. Tectonique du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	32
II-1-3-4. Hydrogéologie du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	33
II-1-4. Technique d'exploitation du gisement de Hadjeb - El - Hachimia.....	34
II-1-5. Conclusion.....	34

II-2.	Carrière de Keddara.....	35
II-2-1.	Généralités.....	36
II-2-2.	Contexte géologique régional.....	38
II-2-2-1.	Stratigraphie régionale.....	38
II-2-2-2.	Pétrographie régionale.....	42
II-2-2-3.	Tectonique régionale.....	42
II-2-3.	Contexte géologique du gisement de Keddara.....	43
II-2-3-1.	Stratigraphie du gisement de Keddara.....	43
II-2-3-2.	Pétrographie du gisement de Keddara	43
II-2-3-3.	Tectonique du gisement de Keddara.....	44
II-2-3-4.	Hydrogéologie du gisement de Keddara.....	44
II-2-3-5.	Géochimie du gisement de Keddara.....	44
II-2-4.	Technique d'exploitation de la carrière de Keddara	45
II-2-5.	Conclusion.....	45
II-3.	Carrière de Si-Mustapha.....	46
II-3-1.	Généralités.....	47
II-3-2.	Contexte géologique régional.....	49
II-3-2-1.	Stratigraphie régionale Pétrographie régionale.....	49
II-3-2-2.	Pétrographie régionale.....	51
II-3-2-3.	Tectonique régionale.....	52
II-3-3.	Contexte géologique du gisement de Si-Mustapha	54
II-3-3-1.	Stratigraphie du gisement de Si-Mustapha	54
II-3-3-2.	Pétrographie du gisement de Si-Mustapha	55
II-3-3-3.	Tectonique du gisement de Si-Mustapha	56
II-3-3-4.	Hydrogéologie du gisement de Si-Mustapha	58
II-3-4.	Technique d'exploitation du gisement de Si-Mustapha	59
II-3-5.	Conclusion.....	60

Chapitre III : Etude expérimentale	61
III-1. Essais physico-mécaniques.....	62
III-1-1. Propriétés physiques	62
III-1-1-1. Définitions	62
III-1-1-2. Appareillage.....	64
III-1-1-3. Exécution des essais.....	64
III-1-1-4. Résultats expérimentaux des propriétés physiques.....	66
III-1-1-5. Interprétation des résultats.....	68
III-1-2. Essai Los-Angeles	70
III-1-2-1. Principe de l'essai.....	70
III-1-2-2. Appareillage.....	71
III-1-2-3. Déroulement de l'essai.....	72
III-1-2-4. Résultats expérimentaux de l'essai Los Angeles.....	75
III-1-2-5. Interprétation des résultats.....	77
III-1-3. Essai Micro-Deval	79
III-1-3-1. Principe de l'essai.....	79
III-1-3-2. Appareillage.....	80
III-1-3-3. Déroulement de l'essai.....	81
III-1-3-4. Résultats expérimentaux des propriétés physiques.....	85
III-1-3-5. Interprétation des résultats	86
III-1-4. Dureté relative globale.....	88
III-2. Etude pétrographique.....	90
 Conclusion générale	 94

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale

La voie ballastée a depuis le 19^{ème} siècle, gardé son caractère important jusqu'à nos jours, puisqu'elle est sans cesse développée et perfectionnée pour des conditions de trafic plus dense, des vitesses de véhicules plus importantes et des exigences de sécurité et de confort pour le transport des voyageurs et des marchandises plus strictes.

Toutefois, les réseaux de chemins de fer à travers le monde ont choisi et employé pour le ballast différents matériaux selon leurs conditions nationales leurs expériences et leurs spécificités. L'Algérie a comme de nombreux pays, opté pour une caractérisation des granulats destinés au ballast par des essais géomécaniques et des descriptions pétrographiques. Or la qualité des roches utilisées actuellement est le plus souvent moyenne à médiocre.

Afin d'illustrer cette carence, nous proposons dans le présent mémoire d'énoncer les caractéristiques su-citées à travers des exemples de carrières à granulats, en subdivisant l'étude comme suit :

- Une partie théorique où l'on s'intéressera au ballast en tant qu'élément capital dans la construction et l'entretien de la voie. Les principales qualités physico-mécaniques, géologiques et géotechniques seront décrites.
- Une deuxième partie portera sur la description du contexte géologique ainsi que les techniques d'exploitation des carrières suivantes : Keddara (ENOF), Si-Mustapha (ENG) et Hadjeb El-Hachimia (ENG).
- Une troisième partie sera consacrée à l'étude expérimentale qui a porté sur la réalisation d'essais physico-mécaniques (essai Los Angeles, essai Micro-Deval, densité, coefficient d'absorption...) et de confection de lames minces sur des échantillons de granulats récoltés in-situ dans les carrières étudiées.

Enfin, on mettra l'accent sur la contribution de la géologie à la compréhension des propriétés qualitatives du ballast.

Chapitre I

Propriétés de la voie ferrée et rôle du ballast

I-1. Définition de la voie ferrée [01]

La voie est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticités et d'amortissements variables qui transmettent à la plate-forme, elle même déformable, la charge dynamique des roues.

La voie classique comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses reposant sur une épaisseur variable de ballast, en principe isolé de la plate-forme par une sous-couche.

I-2. Efforts supportés par la voie ferrée [01]

La voie supporte des efforts verticaux, transversaux et longitudinaux. Si ces derniers n'ont que peu d'influence sur la superstructure, les autres ont des actions déterminantes sur les éléments constitutifs de la voie.

Ces efforts restent rarement dans le domaine élastique et les deux extrémités de la chaîne de transmission des efforts sont encore insuffisamment connus :

- Le contact rail-roue
- Le contact ballast – plate-forme

La masse par essieu, la charge totale annuelle et la vitesse, constituent les paramètres fondamentaux dans l'étude des efforts et de la fatigue supportés par la voie.

I-3. Interactions véhicule-voie [01]

Il existe des interactions dynamiques voie-véhicule très étroites puisque les véhicules exercent des efforts statiques et dynamiques sur la voie et que les imperfections de celle-ci réagissent sur la stabilité des véhicules qui exercent sur la voie des efforts dans les trois directions :

- **Longitudinale** : Les efforts longitudinaux sont dus essentiellement aux accélérations et freinages. Ces efforts sont peu importants et ne posent d'éventuels problèmes que sur certains ouvrages d'art.

- **Verticale** : La résistance de la voie aux efforts verticaux reste généralement dans le domaine élastique d'une part et d'autre part la plate-forme est suffisamment résistante pour s'opposer aux efforts dynamiques les plus élevés qui lui sont imposés.

- **Transversale** : La résistance opposée par la voie aux efforts latéraux sortent rapidement du domaine élastique et la voie conserve des déplacements résiduels importants dès que les efforts dépassent une limite relativement peu élevée .

I-4. Caractéristiques techniques de la voie [10]

On caractérise l'élasticité de la voie sous charge par un certain nombre de paramètres :

- **Module de voie**

$$k = \frac{r}{z}$$

z étant l'enfoncement correspondant à une charge r uniformément répartie sur le rail.

- **Coefficient de réaction de la traverse**

$$\rho = \frac{R}{z}$$

z étant l'enfoncement correspondant à une charge R d'une traverse par file de rail.

- Coefficient de ballast C

$$C = \frac{\rho}{s} = \frac{R}{zS} = \frac{P}{z}$$

P étant la pression moyenne exercée sur la surface s d'appui de la traverse. La voie est constituée par une chaîne de matériaux ayant chacun leur élasticité propre :

- Plate-forme.
- Sous-couche en matériaux granulaires.
- Ballast.
- Traverse.
- Semelle.
- Rails.

Si ρ_i est le coefficient d'élasticité d'un de ces éléments, l'élasticité de la voie ρ est égale à :

$$\frac{1}{\rho} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\rho_i}$$

De cette relation, nous remarquons que ce sont les éléments de faibles élasticités qui conditionnent l'élasticité de la voie. Voici quelques valeurs du coefficient ρ (cf. tableau 1) :

Différents éléments de la voie	Coefficient d'élasticité (10^4 N/mm)
- Rail	5000 à 10000
- Traverses en bois	50 à 80
- Traverses en béton	1200 à 1500
- Ballast bourré	10 à 30
- Semelle caoutchouc	10 à 20
- Ballast et sol gelé	8 à 10
- Plate-forme rocheuse et graveleuse	2 à 8
- Plate-forme argileuse	1,5 à 2
- Plate-forme marécageuse	0,5 à 1,5

Tableau 1 : Exemples de valeurs des coefficients d'élasticité ρ_1

I-5. Caractéristiques physico-mécaniques du ballast [01] [10] [03]

La couche de ballast :

- Assure, en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux météoriques.
- Constitue un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments du ballast).

Aussi, le ballast doit posséder des caractéristiques physiques et mécaniques très strictes.

I-5-1 Caractéristiques physiques des granulats

Les spécifications sont relatives à la:

- Forme.
- Dimension.
- Granularité.

Varient d'un pays à l'autre, selon:

- La qualité des roches disponibles
- Le type de traverses utilisées
- Le type de structure de la voie
- La méthode d'entretien de la voie
- L'intensité du trafic

Les caractéristiques physiques des granulats sont spécifiées par les paramètres suivants :

- Granulométrie

La dimension des éléments du ballast joue un rôle important dans la résistance de la voie aux mouvements transversaux et longitudinaux. La granulométrie du ballast utilisée actuellement en Algérie est de 25/50 mm. On utilise aussi du ballast fin (gravelette 16/31.5 mm) au niveau des appareils de voie et des embranchements.

- Forme des granulats

La forme du ballast utilisé pour la voie doit être polyédrique et à arêtes vives, alors qu'une couche de ballast comportant des granulats cuboïdes ou angulaires de dimensions mixtes confère normalement à la voie une élasticité et une résistance très élevées, les granulats ne doivent donc être ni trop longs ni trop plats .

Ils doivent satisfaire à certaines conditions de forme en étant conforme à des prescriptions quant à leur longueur (L) , épaisseur (e) et diamètre (D). Une bonne angularité des granulats (matériaux concassés dont la forme des grains est très contrôlée) compense une mauvaise granularité en augmentant le frottement intergranulaire.

- Homogénéité des granulats

De par son influence négative sur le comportement mécanique du ballast, la proportion en poids des granulats friables ou altérés ne doit pas dépasser :

- La limite normale : 3 %
- La limite absolue : 6 %

Il est bien établi que l'utilisation du ballast hétérogène formé de roches de nature, d'âge et de dureté différents, s'altère très rapidement.

- Propreté des granulats

Le ballast doit être exempt de gangues, poussières, sables, fines et de débris. Le pourcentage de matière polluante doit être maintenu, si nécessaire par lavage, inférieur ou égal à 1%.

I-5-2. Caractéristiques mécaniques du ballast

Le ballast est soumis à de multiples sollicitations que les traverses lui transmettent :

- Des charges concentrées verticales, transversales et longitudinales.
- Des vibrations, qu'il doit diffuser jusqu'à la plate-forme.

Le temps et l'environnement agressent et détériorent ses caractéristiques mécaniques et physiques ; pour ces raisons, les granulats de ballast doivent satisfaire à certaines conditions relatives à leurs résistances mécaniques (dureté). Cette dureté doit être envisagée sous le double aspect de :

- La résistance combinée à la fragmentation par chocs et usure par frottement réciproque des granulats (fragilité).
- Des essais, dont le but est de mesurer *in-situ* ou de reproduire ces phénomènes en laboratoire, ont été mis au point :

a) Résistance à l'attrition et à l'usure (Essai Micro-Deval)

Les matériaux de la couche de ballast, sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, subissent des déplacements relatifs provoquant une usure par frottement aux points de contact entre les granulats. Ce phénomène a été reproduit en laboratoire sous le nom d'essai Deval.

L'évolution des granulats provoque l'apparition des fines. L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments dont le diamètre est inférieure à 1.6 mm (tamis de maille carrée) produite dans la machine (à sec ou en présence d'eau) par les frottements réciproques intergranulaires.

b) Résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles)

Le ballast, sous l'effet des contraintes qui lui sont transmises évolue :

- Par frottement des granulats entre eux.
- Par chocs engendrés par les traverses et les bourroirs.

Ces deux phénomènes ont été reproduits en laboratoire pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs (présence de boulets normalisés) et usure par frottement réciproque des granulats sous l'appellation de l'essai Los Angeles.

L'évolution du matériau sous les sollicitations précitées, provoque l'apparition de fines. Le coefficient Los Angeles est le rapport de la quantité de fines inférieures à 1.6 mm (maille carrée) produite dans la machine Los Angeles, et la masse de la prise d'essai.

Pour avoir une idée des valeurs courantes de l'essai Los Angeles pour un ballast de qualité, citons dans le tableau ci-après les normes admises par certains pays (cf. Tableau 2) :

Pays	Essai Los Angeles (%)
Algérie	LA < 34
France	LA < 25
Canadian National Railways	LA < 20
Southern Pacific Transportation Company (Canada)	LA < 25

Tableau 2 : Normes admises par certains pays pour l'essai Los Angeles dans le cas de granulats utilisés comme ballast.

c) Dureté relative globale (DRG)

La dureté d'un granulats s'exprime sous l'appellation « Dureté Relative globale ». Un abaque permet la détermination, pour chaque échantillon prélevé, d'un coefficient de dureté DR.

Dans le cas du ballast, la valeur de DR est la plus faible des deux valeurs obtenues successivement à partir des couples de coefficients : (MDS,LA) puis (MDE,LA).

Dans le cas des graves, la valeur de DR est obtenue à partir du seul couple de coefficient (MDE,LA).

MDS : Micro- Deval Sec

MDE : Micro -Deval en présence d'eau

LA : Los Angeles

DR : Dureté relative

Le coefficient de dureté globale **DRG** est égal à la plus faible des deux valeurs ci-après :

- $\overline{DR} - \sigma_{DR} / 2$: DR moyenne - l'écart type de la DR / 2
- $DR_{\min i} + 2$: La plus faible valeur de DR + 2

$$\overline{DR} = \sum DR_i / n ; i=1...n.$$

$$\sigma_{DR} = \sqrt{\text{var}(DR_i)}$$

$$\text{var} = \sum (DR_i - \overline{DR})^2 / (n - 1) \text{ d'où:}$$

$$\sigma_{DR} = \sqrt{\left[\sum (DR_i - \overline{DR})^2 / (n - 1) \right]}$$

n : nombre d'échantillons soumis à l'essai.

I-5-3. Rôle du ballast dans la voie ferrée

Les couches d'assise d'une voie ferrée comprennent (cf. Figure1) :

a) La couche de ballast

Sur les lignes classiques, l'épaisseur normale de ballast, mesurée sous traverse au droit des rails, est de 0.25 m sous une file de rail en courbe afin de ne pas augmenter exagérément l'épaisseur de ballast sous l'autre file de rail. Cette couche de ballast :

- Assure la transmission et la répartition sur la plate-forme des charges exercées par les véhicules.
- Assure l'ancrage des traverses en béton dans le sens longitudinal et transversal.
- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales.
- Permet au moyen du bourrage-dressage mécanisé, la rectification rapide du nivellement et du tracé de la voie.
- Contribue à la capacité d'amortissement de la voie grâce à ses propriétés rhéologiques. Ce rôle amortisseur du ballast résulte de la dissipation d'énergie par frottement des grains de ballast entre eux. Ce frottement est rendu possible par la granularité particulière du ballast, matériau uniforme ne comportant pas de petits éléments.

La capacité d'amortissement du ballast s'accroît si l'on augmente l'épaisseur de la couche ; cette épaisseur doit être d'autant plus forte que la vitesse et le trafic supportés par la voie sont plus élevés.

Par contre, il est nécessaire que la sous-couche et la plate-forme contribuent le moins possible à la capacité d'amortissement. En effet, ces couches plus profondes doivent avoir une durée de vie beaucoup plus longue que celle du ballast périodiquement renouvelé.

b) La sous-couche

C'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plate-forme. Cette sous-couche est :

- Sur voie neuve constituée de matériaux grenus bien gradués.
- Sur voie ancienne le plus souvent constituée de vieux ballast, de grave, de sable, de scories et de sol.

Les couches d'assises doivent répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses et contribuer aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

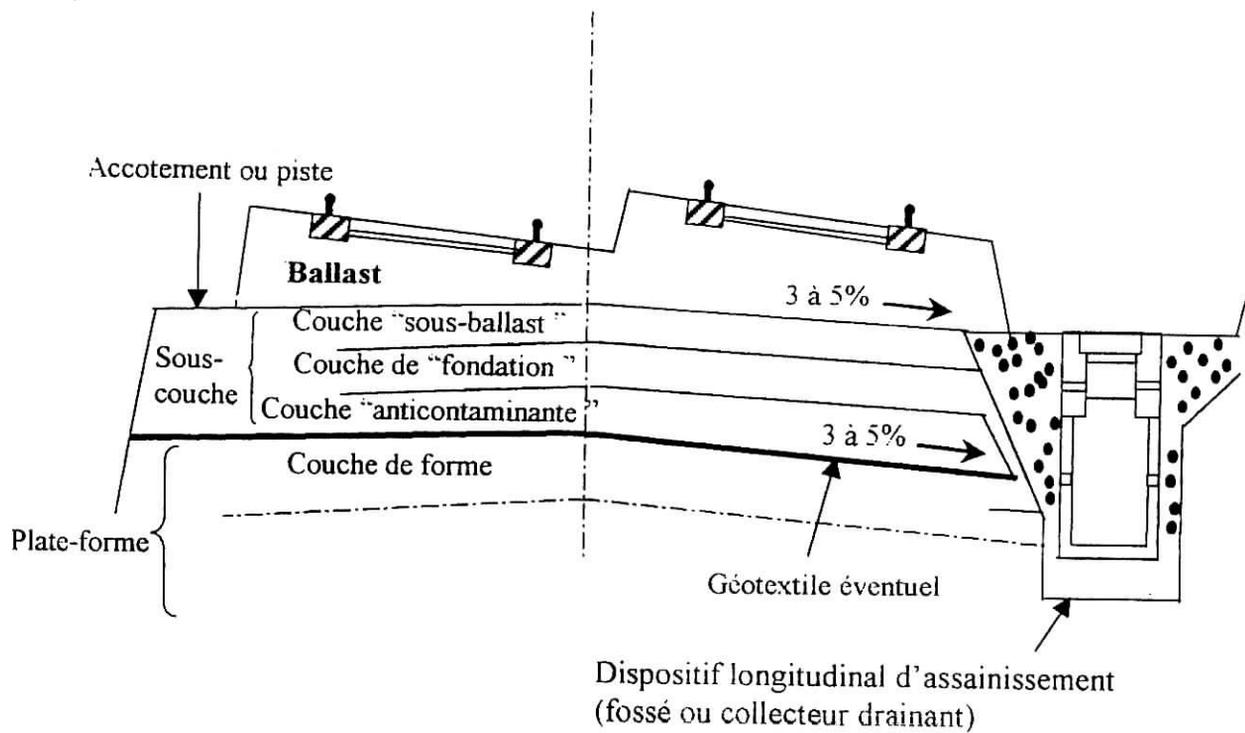


Figure 1 : Schéma d'une couche d'assise d'une voie ferrée

I-5-4. Types de détériorations du ballast

Les expériences et les observations montrent que le ballast ne se détériore pas d'une manière sensible sous les effets d'un seul processus, d'une cause unique, même prépondérante. Généralement, c'est une combinaison de plusieurs facteurs ayant pour origine :

- L'usure mécanique
- La pollution
- L'altération physico-chimique

I-5-4-1. Détérioration du ballast par usure mécanique

Le ballast subit des détériorations sous l'action des contraintes auxquelles il est soumis. Ces détériorations se trouvent amplifiées par :

- L'apparition de défauts en provenance :
 - Des véhicules eux mêmes : effets de balourds.
 - De la voie : variation linéaire de la rigidité verticale et défauts géométriques de nivellement.
- L'introduction de matériel de mise en œuvre et d'entretien inadapté.
- L'augmentation du trafic et des vitesses.

Le ballast subit les détériorations physiques suivantes :

a) Usures dues aux techniques d'entretien

L'introduction de bourreuses lourdes conçues pour un concassé de roches très résistantes provoque l'effritement du ballast de qualité moyenne à médiocre généralement utilisé sur nos voies.

Cet effritement des granulats peut être également provoqué lors du bourrage manuel ; le ballast étant introduit sous la traverse à l'aide d'une batte.

b) Usures dues aux défauts de nivellement et de bourrage

- Les défauts de nivellement dans le profil de la voie.

- L'apparition non uniforme de :

- Points durs trop bourrés ou rigides le long du tracé .
- Points faibles dans les zones insuffisamment bourrées et dans les zones d'altération conduisant à un pilonnage du ballast par les traverses à chaque passage de train, provoquant ainsi une désagrégation du matériau et un poinçonnement de la plate-forme. En effet, les défauts de nivellement et de bourrage, exercent une action nocive sur les bogies de chaque véhicule qui réagissent sur le matériel de la voie (rails, traverses et attaches) en provoquant un comportement non uniforme de l'ensemble qui se met à osciller anormalement (phénomène de danse) transmettant des chocs intenses au ballast.

c) Usures dues aux modifications des conditions d'exploitation

La mise en circulation de matériels lourds mène à l'apparition de sollicitations mécaniques plus élevées, d'où des risques d'écrasement du ballast d'autant plus élevés que le dimensionnement initial n'a pas pris en compte cette évolution du trafic.

La mise en place de trains plus rapides induit une augmentation de l'usure du ballast, il peut en résulter une attrition plus importante de ce dernier.

L'existence de défauts au niveau de la voie et des véhicules provoquent une très forte augmentation des sollicitations anormales, d'où la désagrégation accélérée du ballast.

d) Usures dues aux défauts des matériels de la voie

Les défauts des matériels de la voie provoquent l'augmentation des chocs et des vibrations transmises au ballast.

Si l'on sort du domaine élastique, la détérioration de l'ensemble ballast – plate-forme est rapide.

e) Usures au droit des joints

Au niveau des joints, le ballast est très sollicité mécaniquement, le boudin en sautant d'un rail à l'autre, donne des coups à ce dernier, d'où l'application brutale de la traverse sur son module ; le ballast prend une couleur particulière (claire) et les grains s'arrondissent.

f) Usures dues aux produits transportés ou déversés sur la voie

Des produits abrasifs, tel que le sable quartzéux, transportés ou utilisés par les machines pour éviter le patinage, peuvent, par friction, accélérer la désagrégation du ballast.

g) Usures dues à la structure de la plate-forme

Le ballast au contact d'une plate-forme rocheuse, dure, s'écrase et se transforme en poudre (effet d'enclume).

I-5-4-2. Détérioration des caractéristiques du ballast par pollution

La pollution a pour effet de rigidifier la couche de ballast, de diminuer sa perméabilité, de l'empêcher donc de jouer les rôles qui lui sont assignés. Les causes de pollution du ballast sont multiples ; on distingue principalement les pollutions par :

a) Les fines

Ce type de pollution est très répandu sur notre réseau et a des origines diverses :

- Pollution par les fines produites par l'altération du ballast : sous l'action des différentes sollicitations, le ballast s'altère en produisant des fines qui colmatent et polluent ses éléments. Ce phénomène est très prononcé pour les calcaires tendres et les roches altérables .

- Pollution par les fines de la plate-forme: une plate-forme argileuse finit presque toujours, si le dimensionnement des couches d'assise n'a pas été sérieusement pensé, par contaminer la couche de ballast.
- Pollution par les fines véhiculées par l'eau : l'absence, le mauvais fonctionnement ou le sous dimensionnement du réseau de drainage provoquent l'inondation de la voie et la stagnation des eaux induit des dépôts de remontées de fines dans la couche de ballast .

b) Les sables (dans les zones côtières et désertiques) : du fait de sa consistance et sous l'action du vent et du déplacement des dunes , le sable s'introduit facilement dans les cavités du ballast donnant lieu à deux cas distincts :

- Remplissage partiel du lit du ballast par le sable.
- Lit de ballast complètement remblayé par le sable.

c) Les produits transportés dans les wagons.

d) La végétation : Cette pollution provoque la diminution de la perméabilité et l'absence de désherbage risque de réduire le lit de ballast.

e) Les zones industrielles : les poussières rejetées dans l'atmosphère par les grandes usines sidérurgiques , les cimenteries, carrières et les autres industries se déposent sur le ballast et finissent par le colmater. De plus, ces poussières renferment des résidus chimiques qui peuvent se révéler très agressifs pour le ballast.

I-5-4-3. Détérioration des caractéristiques du ballast par l'altération

Le ballast, sous les actions conjuguées de l'eau, du climat et d'agents polluants, subit une altération physico-chimique. Les effets de cette altération se traduisent par une évolution de la granulométrie (apparition de fines) et une baisse des caractéristiques mécaniques. L'eau agit sur le ballast de la plate-forme de la voie par différentes manières en provoquant :

- La diminution de la portance
- La réduction de l'élasticité du ballast
- La pollution par des fines et des agents agressifs
- L'altération par hydratation et dissolution

a) diminution de la portance dans les sols saturés accidentellement :

Dans les cas d'inondations de la plate-forme, l'apparition des pressions interstitielles, et l'imbibition des matériaux sensibles à l'eau (plastiques) provoquent :

- Une diminution de la portance de voie
- Un poinçonnement de la plate-forme par le ballast ;
- Une remontée des fines ;
- Un lessivage du toit des sous-couches (sous-ballast) insuffisamment compactées.

Remarque : les fluctuations de la nappe peuvent provoquer des tassements de la voie.

b) réduction de l'élasticité du ballast :

l'imbibition des fines et des granulats du ballast lubrifie le matériau, le frottement grain à grain diminue, et ceci provoque des tassements sous charge (par réarrangement du squelette). Ainsi, le rôle d'amortisseur du ballast se trouve réduit du fait de la diminution de son élasticité .

c) pollution par des fines et des agents agressifs :

l'eau peut véhiculer :

- Des fines (sable, argile) : le dépôt des fines remplit les vides en engendrant une forte diminution de la perméabilité globale. Ce phénomène va en s'aggravant jusqu'à la rigidification complète du lit de ballast.
- Des agents agressifs pour le ballast (gaz carbonique, acide sulfurique) : en présence de ces éléments il y a dissolution du ballast calcaire par transformation du carbonate de calcium CaCO_3 et en gypse $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ soluble.

Les effets de ces phénomènes sont d'autant plus importants que la roche à ballast soit poreuse, perméable et que les stagnations d'eau sont plus prolongées.

d) Altération par hydratation

L'altération par hydratation, ainsi que l'effet des argiles riches en montmorillonites sur l'accélération de la décomposition d'une roche, sont bien connus. Il est par conséquent indispensable de dimensionner convenablement les ouvrages de drainage et d'assainissement de la plate forme.

Chapitre II

Exemples de carrières à granulats

Carrière de Hadjeb El- Hachimia (ENG)

II-1. Carrière de Hadjeb El-Hachimia [08] [04]

II-1-1. Généralités

Le gisement de calcaire de Hadjeb El-Hachimia est situé à 19 km du chef lieu de la Wilaya de Bouira, à 3 km au Sud-Est de la route de wilaya n° 127 et à 7 km au Nord-Est du village communal d'El-Hachimia (cf. Figure 2). Cette carrière appartient à l'entreprise nationale des granulats (ENG). Les coordonnées Lambert du centre du gisement sont :

X= 605 850

Y= 327 450

Ce gisement est délimité :

- A l'Ouest, par une faille qui décroche le bloc de calcaire de quelques mètres vers le Nord.
- A l'Est, par un col où la structure géologique devient moins convenable pour l'exploitation.

L'altitude du gisement varie de 740 m à 815 m. Le gisement constitue le flanc d'un chaînon dont le versant nord est doux, tandis que le versant sud est abrupt.

L'état des réserves de ce gisement est résumé dans le tableau suivant (cf. Tableau 3) :

Réserves sûres (catégorie B)	18.6 millions de tonnes
Réserves probables (catégorie C1)	19.5 millions de tonnes
Total des réserves (catégorie B+C1)	38.1 millions de tonnes

Tableau 3 : Etat des réserves de la carrière de Hajeb El-Hachimia

Echelle : 1/300000

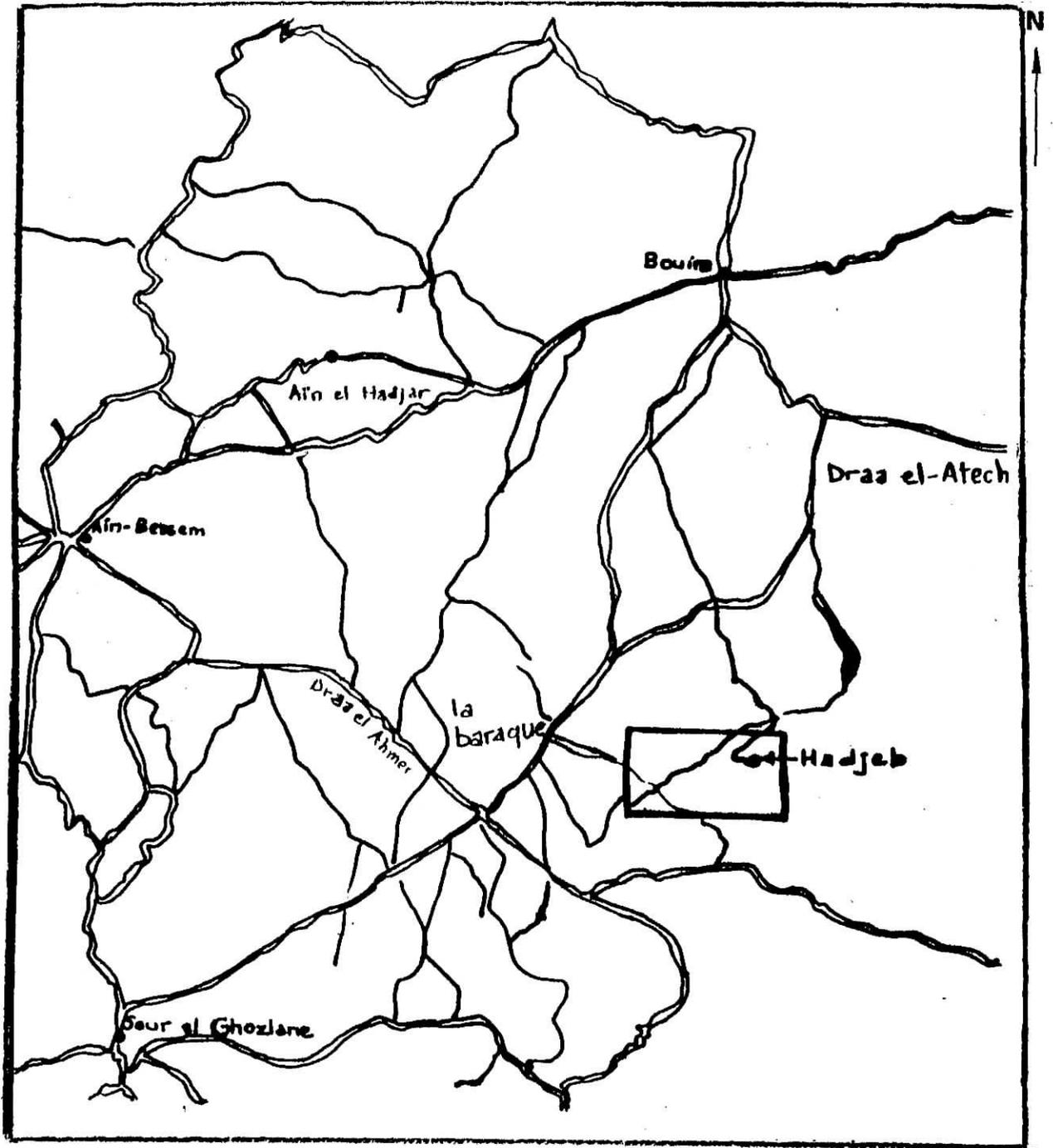


Figure 2 : Carte de situation de la carrière de Hadjeb El-Hachimia

II-1-2. Contexte géologique régional

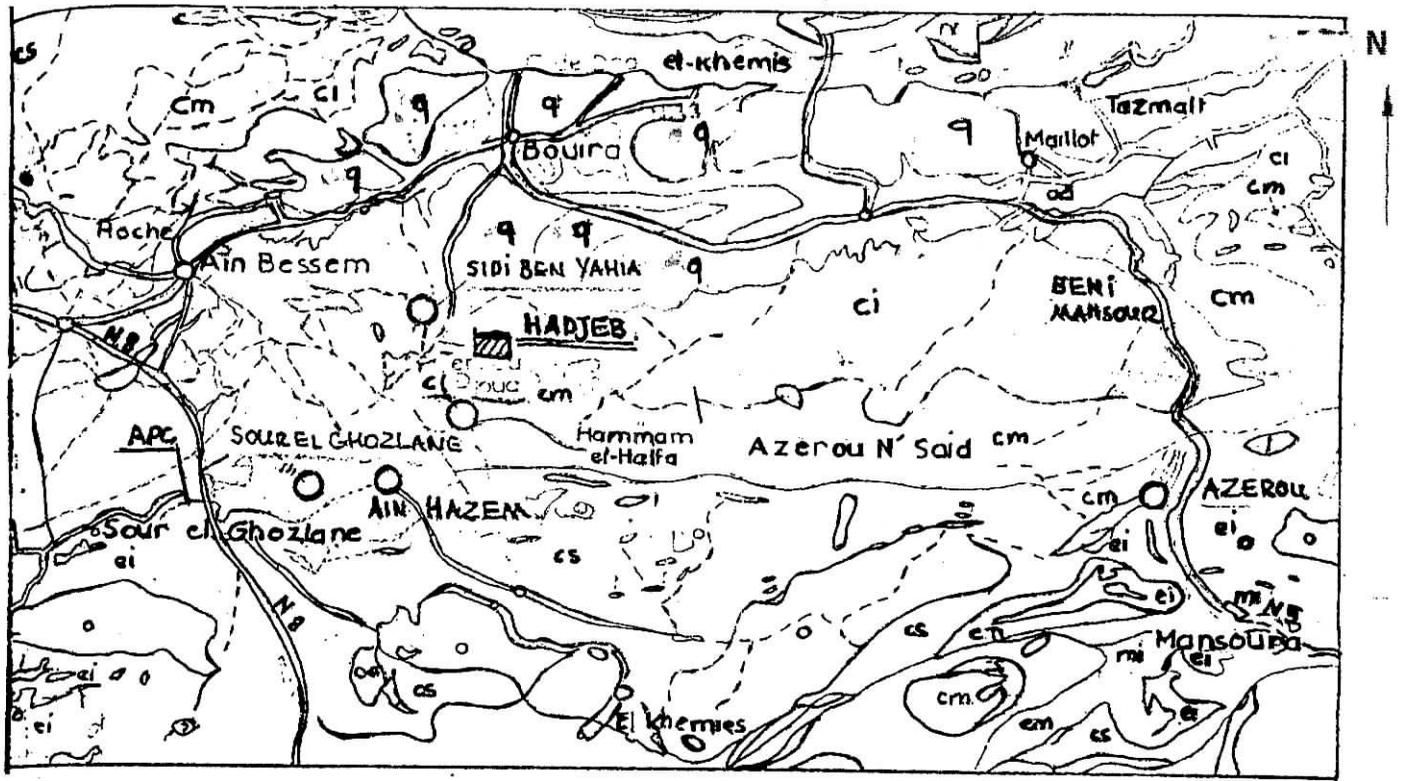
La région qui est située entre les villes de Bouira et de Sour-Ei-Ghouzlane, présente une structure géologique relativement simple, ce qui se reflète dans la morphologie (cf. Figure 3).

II-1-2-1. Stratigraphie régionale

Stratigraphiquement, les roches appartiennent à une succession de couches du Mézo-Crétacé marin :

- **l'Albo-Aptien** : l'élément le plus important est un faciès de flysch de l'Albo-Aptien. Il est constitué par une puissante série de 2.5 km d'argilites feuillées correspondant avec les limites de la plaine.
- **l'Albien supérieur-Vraconien** : sur les faciès des flyschs, repose en alternance régulière mais peu puissante (100 m) de couches de calcaire et de marnes de l'Albien supérieur-Vraconien. C'est dans cette série qu'a été découverte la matière première pour une cimenterie et le calcaire pour les agrégats.
- **le Cenomanien-Crétacé supérieur** : Ils sont représentés par une puissante accumulation de marno-calcaires, d'argiles et d'argilo-marneuses dont l'épaisseur totale dépasse un millier de mètres.
- **le Tertiaire** : les dépôts tertiaires s'étendent surtout au nord et au sud de la région explorée. Ils sont constitués au début par des faciès marno-calcaires Paléocène-Lutécien, puis à partir de l'Oligocène viennent des faciès du Numidien, séries de grès variés allant du grain fin au micro-conglomérat. Ces séries atteignent 800 m d'épaisseur.

Echelle 1/500000



Légende :

q : Quaternaire

e : Lutécien inférieur

cs : Cétacé supérieur

cm : Crétacé moyen

ci : Crétacé inférieur

Figure 3 : Carte géologique de la région de Bouira-Sour-El-Ghouzlane

- **le Quaternaire** : cette formation n'existe qu'aux voisinages des oueds. Ce sont des dépôts de terrasses en cailloutis dont la puissance et la répartition sont très capricieuses.

II-1-2-2. Pétrographie régionale

La région en question est divisée morphologiquement en deux zones :

- Au Sud, s'étend le massif des Bibans, qui est formé par une alternance régulière de crêtes calcaires ou gréseuses et de combes marneuses, orientées Est-Ouest (altitude de 850 à 1800 m). Cette partie est déjà exploitée, nous nous intéressons à la partie Nord seulement.
- Au Nord, le relief est très doux. Il est constitué par des argiles feuilletées de la plaine des Aribes (altitude de 600 à 850 m) et des calcaires du Crétacé.

II-1-2-3. Tectonique régionale

Le style tectonique régional est déterminé par la chaîne des Bibans, qui suit la direction est-ouest et qui fait partie de l'Atlas tellien intérieur.

La chaîne des Bibans, qui se distingue géologiquement par la continuité et l'uniformité du Mézo-Crétacé, forme un large anticlinorium post-inter-tellien. Ce grand anticlinorium se divise en deux anticlinaux partiels, qui sont séparés par des dépressions axiales perpendiculaires à leur direction.

Le noyau de l'anticlinorium est constitué par des sédiments argileux de l'Albo-Aptien. Ils sont enveloppés du Sud jusqu'au Nord par des couches marno-calcaires de l'Albien supérieur et du Cénomaniens.

Les roches argileuses noires résistantes à l'altération ont pour la plupart subi une plus forte érosion que les roches marno-calcaires, ce qui a donné lieu à une inversion de relief, faisant apparaître ainsi les roches argileuses du noyau de l'anticlinal dans un bassin, et les calcaires plus récents de flancs comme des élévations.

Dans le relief, c'est surtout le calcaire vraconien, puissant de 40 à 50 m qui se manifeste comme une falaise, surplombant la plaine des roches argileuses jusqu'à 100 m de dénivellation. Ce niveau de calcaire dit "calcaire principal" ou "couche utile" est un excellent repère géologique.

La structure géologique de la région, est simple mais accidentée par la présence de nombreuses failles. Elles disloquent la structure en compartiments.

II-1-3. Contexte géologique du gisement de Hadjeb El - Hachimia

II-1-3-1. Stratigraphie du gisement de Hadjeb El - Hachimia

On y distingue les éléments suivants :

- Des calcaires vraconiens et du gypse du Trias, donnant lieu à des petites extractions locales.
- Des argilites de l'Albo-Aptien et des argiles du Miocène.
- Des gypses du Trias dans les environs de Sebka et Tablat.

II-1-3-2. Pétrographie du gisement de Hadjeb El - Hachimia

La nature des formations est la suivante :

- **Marnes argileuses** : d'une puissance d'environ 50 m dans le Cénomaniens, de couleur gris foncé, elles sont en intercalation avec des calcaires marneux gris à gris foncé, épais de 3 à 4 m, et qui sont parfois massifs en bancs de 10 à 30 cm. Ce calcaire est caractéristique dans la partie basse de la succession de marnes sus-jacentes, à 5 m au-dessus du toit du calcaire principal.

En ce qui concerne la composition pétrographique, la marne est constituée de calcite cryptocristalline à 75 % de minéraux argileux associés avec la matière organique, de fins grains de quartz ayant un diamètre de 0.04 mm, d'oxydes de fer et de quelques microfossiles.

Les marnes ont une structure micritique et parmi les microfossiles de petite taille, on peut y distinguer surtout des calciphères.

- **Calcaire principal** : d'une puissance de 40 à 50 m dans le Vraconien, il est dur, massif, gris foncé, micritique en bancs de 5 à 8 cm, avec de fines (millimétriques) lamines de marnes plus tendres, surtout dans la zone altérée.

Les calcaires sont découpés par de nombreuses diaclases de calcite, dont l'épaisseur moyenne est de 3 à 10 mm, plus rarement dans les zones tectoniques où elles atteignent 50 à 100 cm.

Le calcaire, est constitué essentiellement de très petits grains cryptocristallins de calcite (80 à 90 %), associé avec une petite quantité de matière argileuse organique, de grains de quartz de diamètre 0.04 mm et d'oxydes de fer. Ces derniers souvent remplissent des fissures stylolithiques. Plus rarement on y rencontre des nodules de pyrite, dont le diamètre peut atteindre 3 à 5 cm.

Cette puissante couche de calcaire est extrêmement résistante à l'altération, et constitue une espèce de chapeau sur les sommets et les flancs nord des collines. Les limites calcaires, tant du toit que du mur de la couche, sont très nets, surtout dans les affleurements.

- **Marnes inférieures** : elles sont épaisses de 20 à 30 m dans l'Albien supérieur, en alternance, dure et microgranulaire. Par la suite de l'altération, ces sédiments à l'origine toujours gris-foncé sont décolorés vers le gris clair ou le beige.

La marne est composée d'environ 40 % de débris microfossiles « calciphères » et de 30 à 50 % de calcite cryptocristalline associés à la matière organique, des minéraux argileux et des oxydes de fer, ainsi qu'à des grains argileux de quartz d'environ 10 %.

II-1-3-3. Tectonique du gisement de Hadjeb El - Hachimia

Le gisement de calcaire de Hadjeb appartient au flanc Nord de l'anticlinorium. Le pendage général varie entre 5 et 20° vers le NNW ou le NNE. Dans de rares cas, on y observe aussi des angles de pendage supérieur à 20°, inclinés vers le sud.

Ces écartements de pendage général sont attribuables avant tout aux plissements secondaires et à une tectonique discontinue. L'axe principal de la structure oscille autour de la direction E-W.

Le plissement dit « secondaire » de calcaire est dû à la présence de deux failles longitudinales, qui divisent d'ailleurs le gisement en deux compartiments :

- **le compartiment nord** : qui est relativement plus élevé, et par conséquent en moitié déjà dénudé.

- **le compartiment sud** : structurellement abaissé, mais se dresse dans le relief un chaînon de calcaire. Les déviations de la direction générale sont liées aux deux systèmes de failles transversales : SW-NE et NW-SE. Il en résulte que le gisement de calcaire est divisé en mosaïque de blocs, qui sont décalés l'un par rapport à l'autre de 3 à 50 m.

Cette tectonique dite « cassante » se manifeste par la présence de nombreuses zones de calcite, allant jusqu'à 1 m d'épaisseur. Elles s'orientent vers les directions de grandes failles ou de systèmes de failles.

II-1-3-4. Hydrogéologie du gisement de Hadjeb – El-Hachimia

Dans la région de Bouira - Sour-El-Ghozlane, les principaux aquifères sont les suivants :

- Les conglomérats d'Oligocène, de 200 à 300 m de puissance, sont localisés dans les environs de Bouira.
- La succession de roches gréseuses du Miocène inférieur, avec une épaisseur de 5 à 30 m, est situé à 1 km à l'Ouest de Sour-El-Ghozlane.
- Les grès et quartzites du Numidien « Oligocène », développés au Sud de Sour-El-Ghozlane.
- Le calcaire vraconien, d'une puissance de 40 à 50 m, qui en raison de sa dureté et de ces diaclases, joue un rôle important dans le drainage naturel des eaux.

II-1-4. Technique d'exploitation du gisement de Hadjeb El-Hachimia

Un des dangers au cours de l'exploitation de ce gisement peut se rapporter à l'existence des zones tectoniques. Ces zones méritent d'être suivies en cours d'exploitation, afin de préciser le planning des travaux miniers. Ces zones apportent le risque d'entrer dans le stérile.

En tenant compte de ce qui précède, l'exploitation se fait comme suit :

L'abattage se fait à l'explosif par gradins de 15 à 20 m de haut, en adoptant deux sens de progression ; du front vers l'Est et vers l'Ouest. La masse abattue est chargée par pelles, puis transportée par camions vers le concasseur. L'évacuation du stérile se fait par bulldozer.

II-1-5. Conclusion

La substance utile est constituée de calcaire dont la puissance réelle varie de 40 à 45 m. Cependant le calcaire est partiellement dénudé sur les élévations, et son épaisseur y tombe à 10-20 m. Sur un col, cette érosion est si fortement prononcée qu'il provoque la disparition complète du calcaire.

On trouve ce calcaire dans la série de l'Albien supérieur-Vraconien. Il est dur, massif, gris foncé, micritique et découpé par de nombreuses diaclases de calcite. Ce calcaire est constitué essentiellement de très petits grains cryptocristallins de calcite. Cette puissante couche de calcaire est extrêmement résistante à l'altération.

Carrière de Keddara(ENOF)

II- 2. Carrière de Keddara [06] [04]

II-2-1. Généralités

Le gisement de Keddara est situé à 45 km à l'Est d'Alger et à 1.2 km du village de Keddara (cf. Figure 4). Allongé E - W , il est limité :

- au Nord et à l'Est par des terrains privés à vocation agricole.
- à l'Ouest par le barrage de Keddara.
- au Sud par l'oued Keddara.

Sa localisation est définie plus exactement par les coordonnées Lambert au centre du gisement par :

$$X = 568 .600$$

$$Y = 369 .000$$

l'état des réserves de ce gisement sont (cf. Tableau 4) :

Réserves géologiques :	5.292.000 t
Réserves exploitables au 01/01/2003 :	1.945.000 t
Réserves préparées :	680.000 t
Durée de vie : $1.945.000 / 680.000 \text{ t} = 2.86 = 3 \text{ ans.}$	

Tableau 4: Etat des réserves de la carrière de Keddara

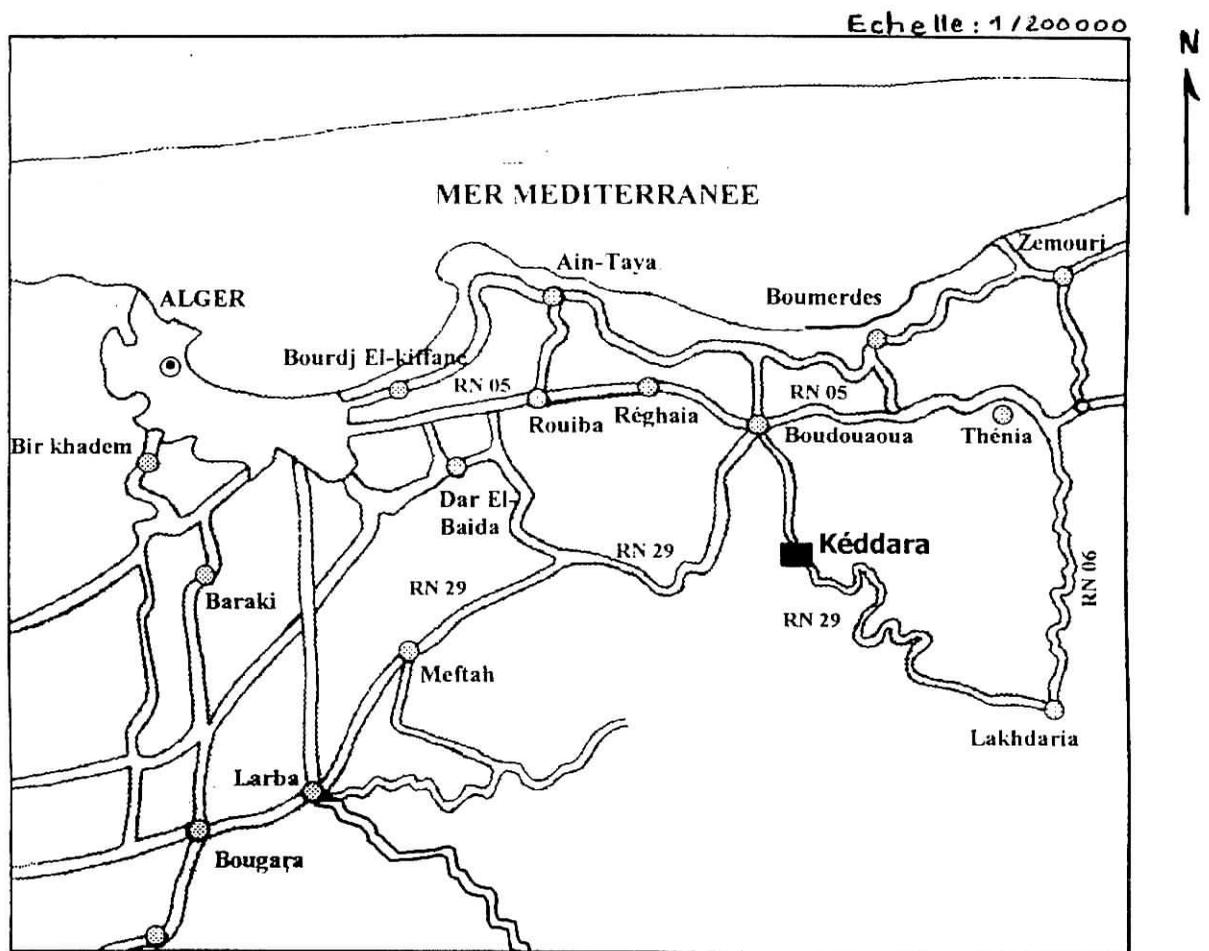


Figure 4 : Carte de situation de la carrière de Keddara

II-2-2. Contexte géologique régional

II-2-2-1. Stratigraphie régionale

Sur le plan géologique, la région de Keddara fait partie de l'Atlas Tellien. Sa structure comprend des roches d'âge allant du Précambrien au Quaternaire (cf. Figure 5).

- **le Précambrien** : représenté essentiellement par une variété de schistes (phyllites) métamorphisés, contenant du quartz, de la séricite et de la chlorite, qui sont parfois intercalés par des bancs étroits de quartzites grises et gris clair, ainsi que par des calcaires gris et gris brun au Sud du village de Keddara. La puissance des dépôts est de 200 m.

- **le Trias** : très répandu dans les limites de la chaîne calcaire où l'on rencontre des grès quartzeux et des arkoses rouges. Ces terrains renferment des inter-couches de gravelettes et de poudingues, parfois on y rencontre des couches d'argiles roses et lilas. Les dépôts sont de 500 m de puissance environ.

- **le Jurassique** : reconnu par le Jurassique inférieur (Lias) et le Jurassique supérieur (Malm) :

▪ **le Jurassique inférieur (Lias)** : il est subdivisé en deux unités :

➤ **l'unité inférieure L3-6** : qui est constituée essentiellement par des calcaires et des dolomies massives gris clair. La puissance de cette unité est de 500 m environ.

➤ **l'unité supérieure L7-6** : repérée sur les versants sud de Djebel Bouzegza et Draa Sahar, en concordance sur les calcaires de l'unité inférieure, elle est constituée essentiellement de calcaires argileux gris et lilas gris, d'une puissance de 150 m environ.

- **le Jurassique supérieur (Malm) :** apparaît sous forme de petites écailles au niveau d'un grand accident sublatitudinal longeant le versant Sud de la chaîne calcaire, entre les terrains du Crétacé supérieur et du Paléogène. Il est constitué par des argiles rougeâtres.

- **le Crétacé :** Il est représenté par le Crétacé supérieur et le Crétacé inférieur :

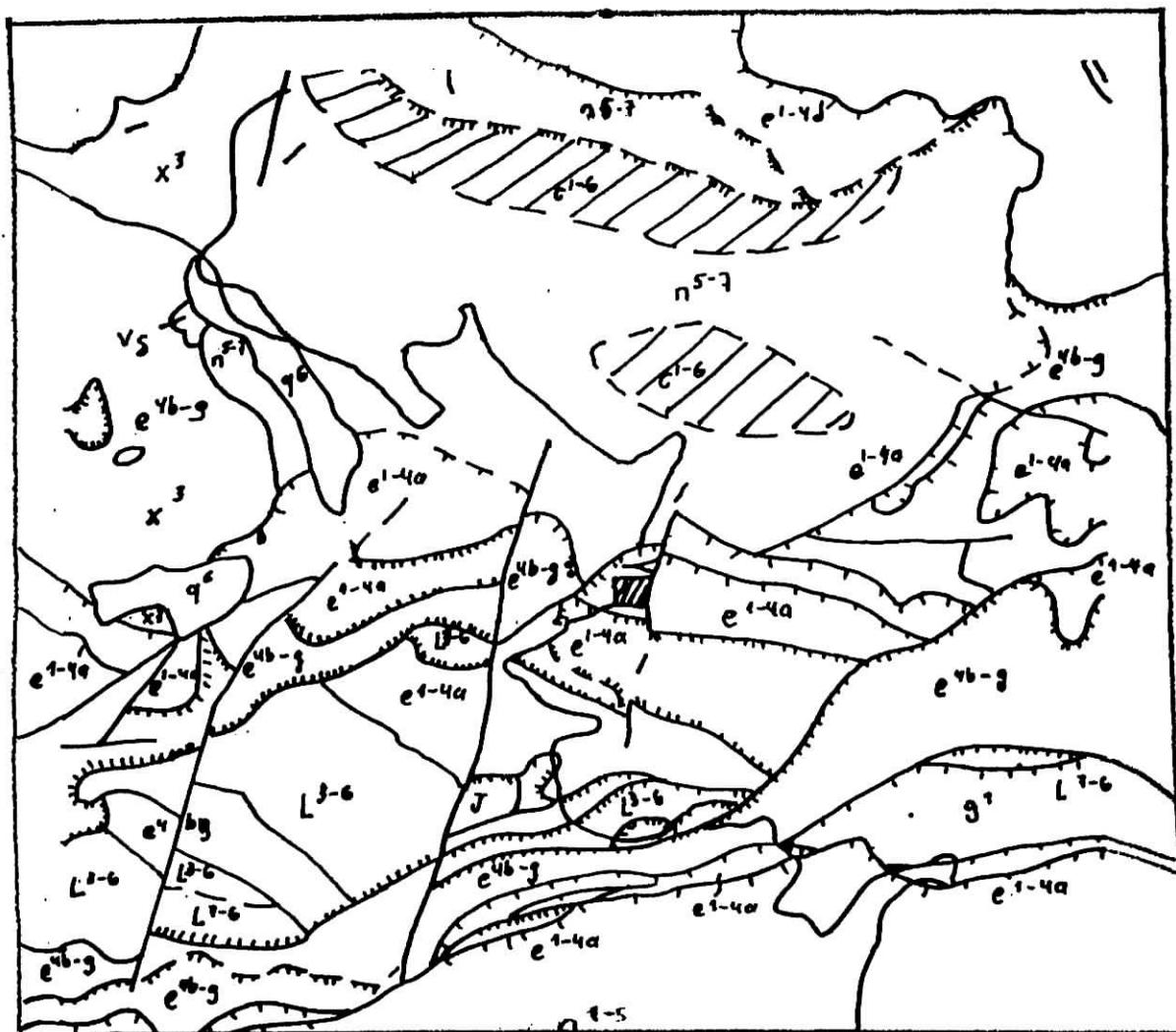
- **le Crétacé inférieur :** composé essentiellement par des formations flyschoides, il est subdivisé en :

- **le Néocomien-Aptien n 1-5 :** qui est en bande sublatitudinal vers l'ouest d'Oued Isser, repose sous forme d'une grande écaille représentée par une alternance régulière de couches de grès quartzeux blancs et gris et d'argilites. La puissance de la formation est de 500 à 700 m environ.

- **l'Aptien-Albien n 5-7:** qui est constitué de flyschs formés par une alternance régulière de grès et surtout d'argilites, d'une épaisseur de 100 m environ.

- **le Crétacé supérieur (Cénomanién) c1-6 :** Il est en contact avec les dépôts du Crétacé inférieur et du Paléogène. Il est séparé de ceux-ci par des accidents disjonctifs représentés par des marnes schisteuses uniformes, grises et grises foncées qui sont, par endroit, assez massives.

Echelle : 1 / 500000



Légende :

- | | |
|---|--------------------------------------|
| q ⁶ : Quaternaire | J : Jurassique moyen |
| g ¹ : Oligocène | L ⁷⁻⁶ : Lias supérieur |
| e ^{1-bg} : Lutécien supérieur | L ³⁻⁶ : Lias inférieur |
| e ^{1-4a} : Paléocène | xi ³ : Trias |
| c : Crétacé supérieur | X ³ : Précambrien |
| n ⁵⁻⁷ : Crétacé.inf
Aptien. Albien | Γγ : Granites |
| n ¹⁻⁵ : Crétacé.inf
Néocomien. Aptien | V ₀ : Métagabbro-diorites |

Figure 5 : Carte géologique de la région de Keddara

- le Paléogène : subdivisé en deux unités : l'Eocène et l'Oligocène.

▪ l'Eocène :

- l'Eocène moyen (Lutétien) e 1-4 a : Il est rencontré sous forme de blocs tectoniques, en nappes et en écailles. Ce sont des calcaires massifs gris et gris clairs, renfermant de nombreux foraminifères. L'assise est d'une puissance de 100 m environ.
- l'Eocène supérieur (Oligocène inférieur) e 4b-g : C'est une formation flyschôide, en lits moyens avec présence d'arkoses, de calcaires grisâtres alternés avec des marnes micacées grises et grises verdâtres. Par endroits, dans la partie Sud de la région étudiée, cette formation flyschôide incorpore des couches de conglomérats polygéniques jusqu'à 5 m de puissance. L'épaisseur du dépôt est de 600 à 800 m environ.
- l'Oligocène g : C'est une formation flyschée correspondant une puissante série, alternée de grès et de marnes. Dans la partie inférieure de la coupe de l'assise, au dessus des marnes, prédominent les grès arkoses, les calcaires polygéniques grossiers et gris, assez consistants et en gros bancs. Dans la partie supérieure de la coupe de l'assise, il y a une alternance de bancs puissants de 5 à 10 m de grès gris, de calcaires, de quartz micacés et de marnes micacés.

- le Quaternaire q 6 : il est marqué par plusieurs types génétiques :

- le type alluvionnaire : se trouvant dans les lits actuels des oueds et sur les terrasses.
- les travertins : formés par les sources qui sortent en surface en traversant des couches de roches carbonatées. La puissance des dépôts du Quaternaire varie de 1.5 à 3 m.

III-2-2-2. Pétrographie régionale

Dans cette région on distingue les roches suivantes :

- **les roches intrusives** : représentées essentiellement par des métagabbrodiorites (Y5) et des granitogneiss (X).

- **les Métagabbrodiorites Y5** : ce sont des roches massives, schisteuses, en grains fins verdâtres et gris-verdâtres, avec des traces nettes de modifications telles que la teneur élevée en chlorite et en carbonisation.
- **les Granitogneiss X** : ce sont des roches grises à gris clair, rarement rosâtres, comportant du :
 - **Feldspath** : jusqu'à 50 à 70 %.
 - **Quartz** : 20 à 30%.
 - **Mica clair**

III-2-2-3. Tectonique régionale

On note deux types de déformations dans la région :

- **les déformations souples** : elles se manifestent par un vaste dôme anticlinal à grand rayon de courbure, dont l'axe est de direction E-W.

- **les déformations cassantes** : qui se traduisent par des accidents s'organisant en plusieurs familles selon leurs direction :

- les accidents transversaux de direction NW-SE.
- les accidents N-S qui interceptent les accidents E-W
- un grand accident de direction E-W, situé au Nord et mettant en contact la série des flyschs avec les formations calcaires.

III-2- 3 Contexte géologique du gisement de Keddara

III-2-3-1 Stratigraphie du gisement de Keddara

Les roches sédimentaires de la région Est-algéroise affleurent sur une surface considérable, offrant un fort potentiel en agrégats, d'où l'existence de plusieurs carrières exploitant le matériau. Elles sont surtout concentrées dans la région de Keddara où se situe le gisement étudié ; qui est constitué de calcaires gris et gris clair, renfermant de nombreux foraminifères massifs, d'âge Lutétien (Eocène moyen).

III-2-3-2 Pétrographie du gisement de Keddara

Le matériau du gisement exploité est une roche de nature sédimentaire représenté essentiellement par des calcaires massifs, compacts, durs à patine gris claire. La couleur gris foncé est due à la matrice dans laquelle baignent les fossiles : bivalves, gastropodes et coquilles de Nummulites, qui constituent par endroits 80% à 90% de la roche, sont cimentés par une calcite à grands cristaux et la dolomite.

Ces calcaires renferment des fentes de tensions parfois en échelons, remplies de calcite avec présence par endroits de stylolites.

Dans ce gisement, on y rencontre d'autres minéraux mais en faible quantité telle que la baryte, la sidérite, la dolomite et la fluorine.

Les fissures fréquentes dans ce calcaire sont de directions diverses, elle sont généralement remplies par des recristallisations secondaires telles que la calcite avec parfois quelques géodes de calcite.

III-2-3-3 Tectonique du gisement de Keddara

On note la présence d'une faille stérile sur le front de taille Nord de la carrière, ayant une direction NNE-SSW avec un pendage plus ou moins fort vers le NNW, qui a fait évoluer progressivement la roche saine en une roche légèrement altérée. On note aussi l'existence de failles intra-formationnelles dans toutes les directions, ainsi que des diaclases très fréquentes.

II-2-3-4 Hydrogéologie du gisement de Keddara

La recherche hydrographique en surface et les observations hydrogéologiques simples faites dans certains trous de sondage, signalent qu'aucun d'entre eux n'a rencontré des eaux souterraines. Par contre, on trouve deux points d'eau à l'Est et au Sud du gisement qui alimentent l'unité en eau potable.

II-2-3-5 Géochimie du gisement de Keddara

Une analyse chimique en éléments majeurs sur des calcaires massifs a donné les résultats suivants (cf. tableau 5) :

Eléments	Valeur du pourcentage en oxydes
CaO	37.88
MgO	0.78
SiO ₂	2.49
Fe ₂ O ₃	2.01
Al ₂ O ₃	0.61
P.A.F	42.22

Tableau 5 : Géochimie du gisement de Keddara

II-2-4. Technique d'exploitation de la carrière de Keddara

L'exploitation de la roche se fait à ciel ouvert par abatage à l'explosif. On procède à des forages sub-verticaux distants les uns des autres de 2 m, avec une ligne de faible résistance égale à 3 m, et dont la profondeur des trous atteint les 12 m. Le nombre de rangées de trous est égal généralement à 4. Dans chaque trou on introduit 75 % d'Amphomil et 25 % d'explosif amorcé. Le bloc abattu épouse les dimensions suivantes : comme longueur de l'ordre d'une centaine de mètres et la largeur égale à 9 m.

La découverte s'effectue par Bulldozer, le chargement du tout-venant se fait à l'aide d'une pelle-chargeuse de type "W.A.600" (capacité du godet de 6 m³). Le transport du tout-venant se fait à l'aide de 3 camions de type « Dumper ».

La distance de la carrière jusqu'à la station de concassage est de l'ordre de quelques centaines de mètres ; ce qui permet une bonne régularité en alimentation de la station de concassage. Actuellement, la station de concassage Type BABITLESS produit 232.000 m³/an de granulats.

II-2-5. Conclusion

Le gisement exploité est constitué par des calcaires massifs d'âge lutécien, compacts, durs à patine gris claire.

La géochimie révèle un taux de carbonate de calcium de 37.88 %, inférieur à ce qui est observé pour les calcaires massifs (plus de 50% de CaO). On note également la présence de silice et une perte au feu (PAF) élevée due probablement à l'altération de ces roches.

On rencontre de nombreuses fissures et diaclases dans ce calcaire qui sont remplies par de la calcite, témoignant ainsi de la présence de points de tension où la roche saine évolue progressivement en une roche légèrement altérée.

Carrière de Si-Mustapha

(ENG)

III-3-1. Généralités [07] [04]

Le gisement de Si-Mustapha a été mis en évidence en 1975 dans le cadre du projet « agrégats centre ». Son étude a été réalisée dans le cadre du projet agrégats « Thénia » dont la tâche technique prévoyait les aptitudes des agrégats pour la confection des bétons et la construction des routes avec des réserves d'au moins de 50 millions de tonnes.

Les granodiorites de Si-Mustapha constituent un des sommets (côte 411.2 m) du massif montagneux Djebel Bou-Arous, qui s'allonge suivant la direction Nord-Ouest. Le gisement est situé à 53 km à l'Est d'Alger et à 3 km au Nord-Est de Thénia. Les routes nationales n° 5 et n°12 passent à 2 km au Sud du gisement (cf. Figure 6). Les coordonnées Lambert au centre du gisement sont les suivantes :

$$X=579.4$$

$$Y=382.1$$

Les réserves cumulées de granodiorites se répartissent de la façon suivante (cf. Tableau 6) :

Catégorie B	08.405.000 t
Catégorie C1	33.186.000 t
Catégorie B+C1	41.591.000 t
Catégorie C2	45.395.000 t

Tableau 6 : Etat des réserves de la carrière de Si-Mustapha

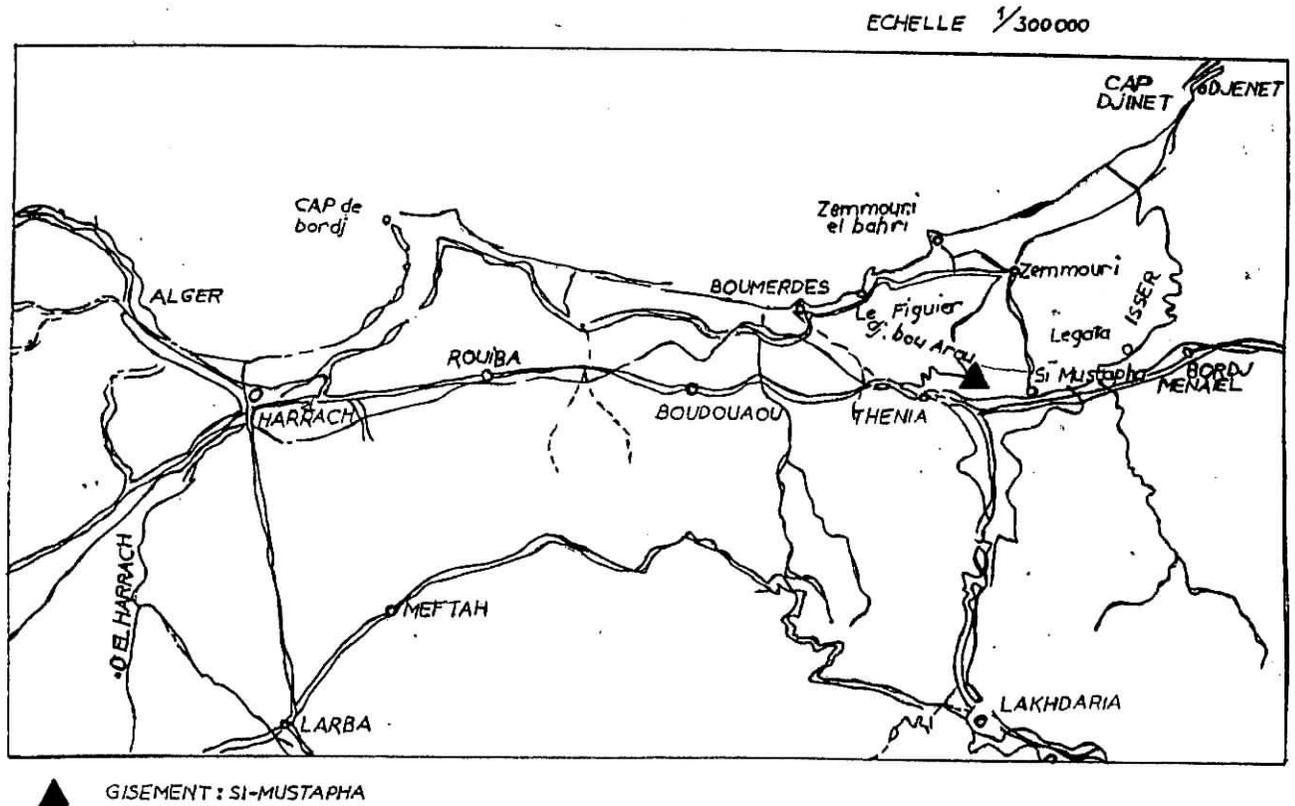


Figure 6 : Carte de situation de la carrière de Si-Mustapha

III-3-2 Contexte géologique régional

III-3-2-1 Stratigraphie régionale

Les formations qui constituent la région du gisement de granodiorite de Si-Mustapha sont représentées par du Précambrien, du Néogène et du Quaternaire, ainsi que par des roches effusives et intrusives (cf. Figure 7).

- **Le Précambrien** : est formé par une série de schistes et de phyllades cristallins affleurant sur les talus et dans le Nord de la crête de Bou-Arous en renfermant des lentilles et des lits de calcaires marmorisés.

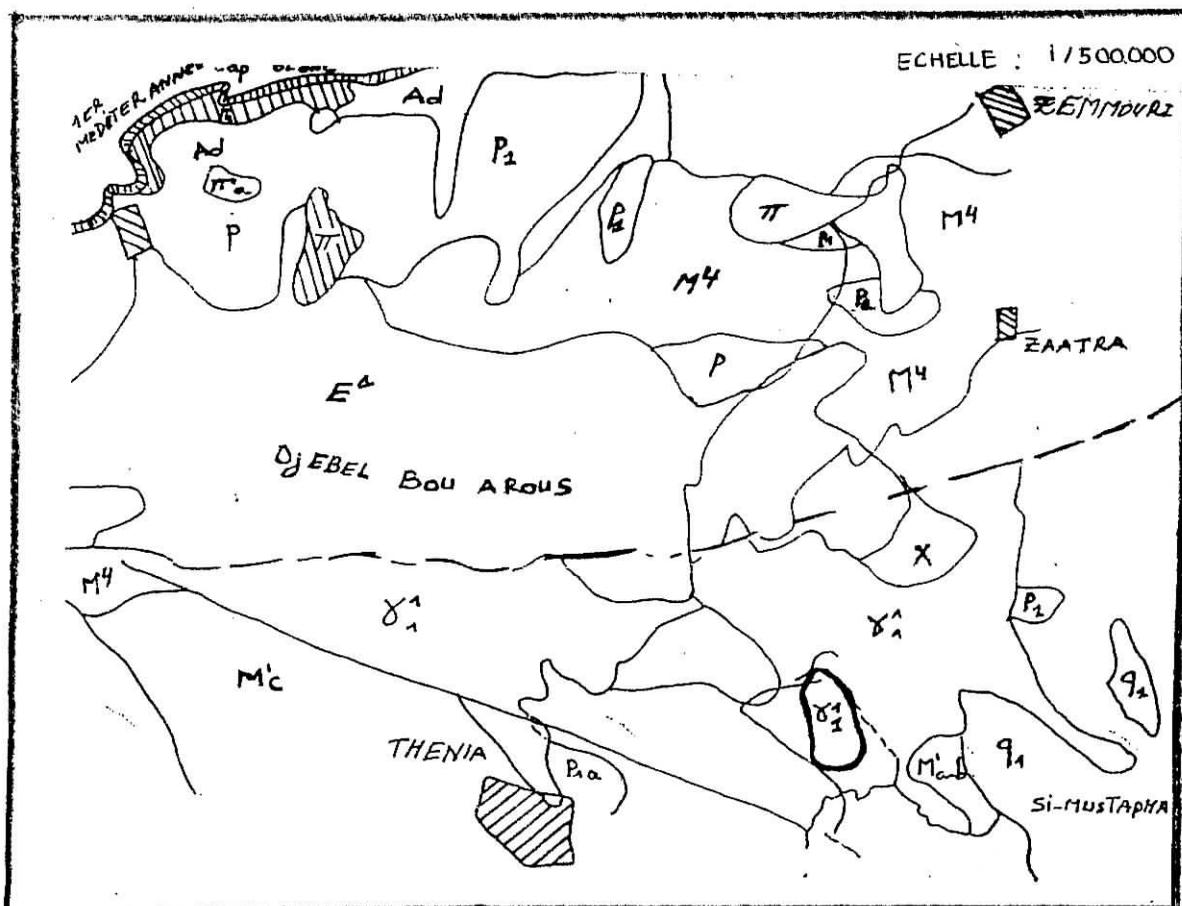
- **Le Néogène** : est représenté par des dépôts miocènes et pliocènes :

- **Les dépôts miocènes** : comprennent des termes burdigaliens et helvétiques :

- **Le Burdigalien** : se développe dans la partie Sud-Ouest de la région où il est représenté par des conglomérats rouges à blocs et à galets avec des passées gréseuses, des marnes bigarrées et des grès calcaires jaunâtres.

- **L'Helvétien** : les formations helvétiques bordent, en bande étroite (jusqu'à 2.5 km), au Sud, au Nord et à l'Est les affleurements précambriens. Elles sont représentées par une série volcano-sédimentaire comprenant des conglomérats, des laves acides et des tufs.

- **Les dépôts pliocènes** : forment, par excellence, des zones de relief et sont représentés par des marnes argileuses et des argiles calcaires avec de rares passées de calcaires d'épaisseur décimétrique (Plaisancien) et de marnes gréseuses intercalées de grès calcaires (Astien).



Légende :

- Ad : Dunes (Aptien)
- q1 : Alluvions anciens (Quaternaire)
- P1 : Sable rouge (Pliocène)
- P1a : Conglomérat et sable (Pliocène)
- M⁴ : Marnes bleues sahéliennes (Miocène)
- M^{4c} : Marnes dures (Miocène)
- M^{4ab} : Carténien inférieur-poudingue (Miocène)
- X : Schistes salins (Eocène)
- E² : Micaschistes et schistes micacés
- Π^{1a} : Conglomérats liparitiques
- Π : liparites quartzifères
- γ : Granodiorites
- : Faille

Figure 7 : Carte géologique de la région de Thénia

- **Le Quaternaire** : Les dépôts quaternaires sont constitués de galets villafranchiens pluridimensionnels friables de couleur brun-rouge. Les galets correspondent à des débris schisteux et phylliteux de grès et de quartz immergés dans du sable argileux à grains non calibrés.

Les terrains quaternaires forment des terrasses qui s'étendent le long de la ligne côtière actuelle (sables friables faiblement cimentés, des graviers avec bancs de galets et des sables de plage).

II-3-2-2. Pétrographie régionale

Le massif de granodiorites de Thénia, connu encore sous le nom de massif de Menerville, occupe une superficie de 8 km² sur les versants Sud de la crête de Bou-Arous, en s'étendant dans une direction sensiblement E-W. Vues d'en haut, les granodiorites affleurent en surface sous forme de coin.

Le massif de granodiorites est inséré par l'intermédiaire de grandes failles Sud-Ouest et Nord-Est entre les schistes cristallins précambriens et les formations Volcano-Sédimentaires helvétiques. Sa partie Sud-Est est recouverte par des conglomérats de base d'âge Helvétique inférieur. Les roches sont intensément fissurées et ont subi une forte altération.

Par endroits, le massif est recouvert d'épaisses couches d'arène quartzo-feldspathique avec de rares îlots de roches mères en affleurements.

Les granodiorites sont gris foncé ou gris verdâtre, moyennement grenues à structure essentiellement lypidiomorfo-grenue. Elles sont constituées de :

- Plagioclases : 45 à 60 %
- Quartz : 15 à 20 %
- Feldspath potassique : 10 à 15 %
- Biotite : 10 à 15 %
 - Hornblende : jusqu'à 5 %
- Minéraux accessoires : apatite, zircon, tourmaline et magnétite.

- Minéraux secondaires : chlorite, épidote, saussurite, calcite, montmorillonite et carbonates.

Des termes relativement riches en hornblende ou en biotite permettent de distinguer de petites plages de granodiorites à amphibole ou à biotite, parfois de diorite quartziques et même de diorites.

Les concentrations de quartz, de plagioclase et d'orthoclase sont très variables et il n'est pas rare de voir, au sein des granodiorites, des zones de granites et de monzonites d'extension limitée.

Les particularités morphologiques des granodiorites de Thénia, à savoir la prédominance des textures à grains moyens sur les textures macrogrenues, le large développement de la série de dykes et les phénomènes d'assimilation conduisant à la formation de roches hybrides, permettent de les considérer comme un faciès de profondeur moyenne.

Les granodiorites et les schistes cristallins qui les encaissent, sont percés par des amas et des dykes de porphyres liparitiques de l'Helvétien inférieur. L'extrémité Nord de l'amas est tronquée par des failles approximativement E-W. Malgré sa configuration compliquée, il accuse une tendance générale à s'allonger vers le Nord-Est.

II-3-2-3. Tectonique régionale

Les séries métamorphiques précambriennes forment un synclinal orienté sensiblement E-W, dont les flancs sont affectés par des failles longitudinales. Le cœur de l'anticlinal est constitué de phyllades et les flancs de schistes cristallins.

L'anticlinal s'étend sur une dizaine de km, avec une amplitude des ailes atteignant 2.5 à 3.5 km. Il est compliqué par de nombreux accidents tectoniques locaux d'extension longitudinale, de zones de schistification intense et de petits plis. Ces derniers sont souvent renversés et affectés par le développement de microplis.

Les roches miocènes (séries burdigaliennes et helvétiques) reposent en discordance angulaire et stratigraphique sur l'assise précambrienne. Elles sont affectées par des plis larges et droits, qui sont à leur tour compliqués parfois par des plis majeurs d'allure ondulée et régulière.

Les couches ont des pendages allant de 20 à 40° sur les flancs des plis et de 60 à 70° au bord des failles. Les roches plio-quadernaires présentent un pendage proche de zéro.

Les accidents tectoniques sont orientés essentiellement N-W et sensiblement E-W. Certaines failles prennent des directions N-E et parfois approximativement N-S. Les plus anciennes de ces failles s'allongent dans le sens E-W, affectant le synclinal précambrien. Elles sont accompagnées par des petites failles secondaires remplies de dykes et de filons quartzeux asynchrones.

Sur le flanc Nord du massif de Bou-Arous, on voit s'étendre entre deux failles, sur 5 km de long et de 0.2 à 0.4 km de large, une zone de schistosité, de broyage et d'altération intense.

Dans les limites de la zone, les schistes précambriens ont un aspect froissé, schistosé, bréchifié et se sont transformés, par endroits, en cornéennes d'albite-épidote et d'albite-chlorite-épidote.

La zone offre de fortes quantités de dykes de porphyres liparitiques, de gabbrodiorites et d'amphibolites ainsi que de filons de quartz, de quartz-hématite, de quartz-tourmaline-chlorite.

Les failles à pendage rapide et d'extension N-E permettent de suivre le développement des dykes helvétiques de porphyres lyparitiques au sein du massif de granodiorites.

II-3- 3. Contexte géologique du gisement de Si-Mustapha

II-3 -3-1. Stratigraphie du gisement de Si-Mustapha

Les formations présentes dans le gisement sont marquées par des zones d'altération, des terrains du Quaternaire et de couverture.

- **Les zones d'altération** : dans le périmètre du massif de granodiorites, la zone d'altération est irrégulière en extension latérale comme en profondeur. La puissance oscille entre 0 à 1 m dans la partie érodée du gisement, 10 à 13.8 m dans son extrémité Sud-Est et va de 4.6 à 6 m sous les dépôts quaternaires, pour atteindre 15 à 21.7 m dans les zones d'accidents tectoniques. Dans la carrière SONATRO, située au-delà des réserves, elle a recoupé les granodiorites à la cote 150 m et la puissance de la zone d'altération dépasse 20 m.

Les phénomènes tectoniques « zone de broyage et de bréchification, intense fissuration » favorisent l'altération dans ce secteur. Dans le front de taille de la carrière, long de 150 m et haut de 5 m (sur les flancs) et à 25 ou 28 m (au centre), on voit la ferruginisation secondaire (hématisation) gagner la zone d'accident tectonique et les granodiorites avoisinantes. Son épaisseur apparente est supérieure à 16 m. La couleur des granodiorites vire ici du jaune au brun foncé teinté de vermeil.

Au cœur de l'accident et en concordance avec celui-ci on observe une zone de minéralisation hématitique épaisse de 0.6 à 0.8 m et longue de plus de 6 m. Les brèches offrent des débris de granodiorites imprégnés d'hydroxydes de fer ; ce qui démontre le caractère secondaire de la ferruginisation. Cette intensification du processus d'hématisation témoigne de la présence d'une cassure profonde.

- **Les terrains quaternaires** : les roches quaternaires sont largement représentées dans la région du gisement par des formations de pentes et des terrains éluvionnaires, épais de 1 à plus de 12 m. Elles sont constituées de sables argileux bruns et d'arènes contenant des cailloux de granodiorites et des passées isolées d'argiles.

- **Les terrains de couverture** : l'épaisseur des roches de couverture varie entre 1.1 m et 21.7 m et constitue en moyenne de 5.6 m dans le contour de calcul des réserves. En général, les roches de couverture atteignent leur maximum d'épaisseur dans les zones d'accidents tectoniques (zones de bréchification et de cataclase).

II-3-3-2. Pétrographie du gisement de Si-Mustapha

Le gisement de Si-Mustapha fait partie du massif de granodiorites de Thénia. Le gisement occupe une superficie de 0.6 km², Il a été prospecté jusqu'à une profondeur de 171 m (côte absolue : 230 m)

Le gisement est constitué de granodiorites fines et moyennes, souvent porphyroïdes et de diorites quartziques grises ou gris foncé teintées de vert, à texture massive. La teinte verdâtre est due à la présence dans les roches, de minéraux foncés de hornblende, de chlorite, de biotite et plus rarement de pyroxène. Les roches porphyroïdes sont représentées par du feldspath et du quartz.

Les granodiorites et les diorites quartziques de Si-Mustapha ont une structure lipidio-morphogrenue ou souvent porphyroïde et sont essentiellement constituées de :

- Feldspaths : 52 à 69 %
- Plagioclases : en général zonés et maclés de type d'andésite oligoclase
- Orthoclase alcaline
- Quartz : 10 à 17 %
- Biotite : jusqu'à 10 %
- Chlorite : 5 à 10 %

- Hornblende : 5 à 10 %
- Amphibole : 5 à 10 %
- Les minéraux métalliques : magnétite et pyrite : 1 %
- Les minéraux accessoires : apatite, sphène, zircon, tourmaline : 1%

Les roches sont en majeure partie fortement altérées en profondeur. On observe une chloritisation quasi généralisée de la biotite et de l'amphibole. Il n'est pas rare de voir la chlorite se substituer complètement à la biotite et des carbonates et de la montmorillonite se développer aux dépens des plagioclases.

Les roches sont fortement fissurées et microfissurées avec des zones de broyage et de bréchification au voisinage des accidents tectoniques.

La calcite constitue 2 à 10 % de la masse totale des roches, et se développe en minces filets et grains isolés, dans les interstices intergranulaires des feldspaths aux dépens de ces derniers. Parallèlement, les feldspaths subissent une stérilisation et une péliteisation, alors que la chloritisation gagne la biotite et les amphiboles.

Les felsites représentent une roche compacte crypto-microcristalline gris clair avec dissémination de feldspaths, fortement effritée en surface.

II-3-3-3. Tectonique du gisement de Si-Mustapha

La région du gisement est caractérisée par un contexte tectonique complexe. Au Sud et au Nord, le massif de granodiorites se trouve en contact tectonique avec les roches encaissantes. Vers le Sud, au delà de la surface explorée, le contact passe par une faille qui, bien que masquée sous les terrains quaternaires, a un axe qui est orienté dans le sens SE –NW et fait jonction dans l'Ouest du massif avec une zone d'accidents sensiblement E-W, servant de contact Nord entre les granodiorites et les roches encaissantes. La zone étudiée est masquée par la prédominance d'accidents tectoniques E-W.

Ainsi, la partie Nord de l'aire explorée est affectée par plusieurs accidents parallèles et distants de 100 à 125 m. Deux autres accidents disjonctifs E-W s'observent au centre du gisement et dans son extrémité Sud.

Plusieurs manifestations d'une tectonique cassante, orientée E-W mais d'envergure moindre, se signalent à l'Est de la carrière SONATRACH ; des failles isolées d'extension N-S, N-E et S-W existent également.

Dans la partie Nord de la surface étudiée, s'esquissent plusieurs failles N-E à pendage faible (15°) vers le Nord et le Nord-Ouest. L'une d'elles, d'une amplitude allant jusqu'à 8 m, s'observe dans la carrière SONATRO.

Les zones tectoniques des accidents disjonctifs sont marquées par un développement généralisé de cataclasites et de brèches de granodiorites.

Le matériel pséphitique des brèches est représenté par des débris de granodiorites micro et moyennement grenus, irréguliers, par endroits faiblement roulés, millimétriques à 0.8 m.

Le ciment des zones à composition granodioritique, de coloration grise sale tirant sur le vert, renferme du matériel quartzo-feldspathique avec de la biotite et de l'amphibole. Les roches des zones tectoniques sont marquées par une forte porosité et un degré de résistance mécanique moindre.

Les zones tectoniques s'étendent dans une direction sensiblement E-W avec un pendage 72 à 75° vers le Nord et Nord-Est. Leur allure est concordante avec celle de la puissante zone de froissement, qui suit le contact entre les granodiorites et les schistes précambriens. Les contacts tectoniques des zones de brèches sont très nets ; aux abords des contacts, les granodiorites sont intensément fissurées et cataclasées.

Les roches constituant les zones de bréchification sont également marquées par une forte fissuration. Les plans des fissures montrent des miroirs de glissement de 15 à 25 cm.

La fissuration a par ailleurs gagné l'ensemble du massif de granodiorites. Par endroits, elle forme un système de fissures faiblement prononcé ; distantes de 10 à 80 cm et qui s'étendent en directions Ouest et Nord –Ouest avec des pendages Nord et Nord-Est de 70 à 75° (carrières SNMC et SONATRACH) et de 15°(carrière SONATRO). Elles semblent originelles et sont affectées par une fissuration secondaire. Les fissures originelles sont en règle générale concordantes avec les zones tectoniques.

Dans le Nord de la surface explorée du gisement, les granodiorites forment un bloc monolithe dont les réserves pour l'essentiel sont évaluées en catégorie B.

II-3-3-4. Hydrogéologie du gisement de Si-Mustapha

Le gisement de granodiorites de Si-Mustapha n'est pas inondé. Il occupe une élévation s'étendant en direction N-W, dont la côte absolue se situe à 411.2 m. Le versant le plus raide se trouve dans la partie Sud-Ouest du gisement (où il descend du côté de la carrière SONATRACH) dont la côte minimale de relief est égale à 300 m. Le plancher de la carrière se situe à la côte 261 m.

La haute perméabilité des granodiorites fissurées favorise l'infiltration des eaux atmosphériques. La topographie fortement disséquée de la région du gisement facilite l'émergence des eaux souterraines, dont la quantité est fonction des précipitations annuelles qui peuvent atteindre ici 800 mm. Les sources à un débit de 1 à 31 l/s servent à alimenter en eau la ville de Thénia. La région est sillonnée par un réseau d'oueds bien développé, dont l'oued Boudouaou et oued Isser avec ces nombreux affluents qui passent respectivement à 4 km au Sud et 13 km à l'Ouest du gisement. Leur débit, est en général faible et tributaire des fluctuations pluviométriques.

II-3-4 Technique d'exploitation du gisement de Si-Mustapha

Dans cette unité, le mort terrain est exploité ou commercialisé car c'est du tuf (le tuf de cette unité est composé de 56 % de sable, le reste c'est de la poussière de granodiorite). Le décapage est fait par un Bulldozer « Caterpillar »

Le front de taille de la carrière est abattu selon un plan de tir qui est fonction de la nature de la roche exploitée dans le gisement et de la dimension maximale des blocs qui peuvent être traités par le concasseur primaire (le débiteur).

Après la préparation du terrain, vient l'étape de foration. Le forage est réalisé par un chariot de foration "CRAWLAIR CM-345", qui assure un rendement de 14 m/h. Il fonctionne à l'air comprimé autopropulsé fourni par un compresseur "INGERSOLLRAND VHP (CATERPILLAR)" avec une pression de sortie de 12 bar.

Dans la carrière de Si-Mustapha, l'abattage des roches s'effectue par une méthode de tir pyrotechnique. Le plan de tir comprend deux rangés, chacune comporte 25 à 30 trous, le diamètre des trous est de 105 mm avec une inclinaison de 12° à 17°. Les explosifs utilisés pour la fragmentation des roches sont :

- La Gélanit : utilisée comme charge de pied ;
- L'Amfomil : utilisée comme charge de colonne.

La masse abattue est chargée par pelles, puis transportée par camions vers l'usine de traitement. L'évacuation du stérile se fait par bulldozer.

II-3-5. Conclusion

Le gisement de Si-Mustapha est essentiellement représenté par des granodiorites à grains moyens, souvent porphyroïdes et des diorites quartziques, constituées de : plagioclases (52 à 69 %), de quartz (10 à 17 %), de biotite (0 à 10 %), de chlorite (5 à 10 %) et d'amphibole (0 à 5 %).

Il est intensément affecté par des accidents tectoniques (fractures et failles de décrochement horizontal et vertical).

Les granodiorites sont intensément fissurées et microfissurées ; au voisinage des failles, on y observe des zones de cataclases et de brèches.

Chapitre III

Etude expérimentale

III-1 Essais Physico-mécaniques [02] [05] [09]

Introduction

En raison de leur rôle, les granulats de ballast doivent satisfaire à certaines conditions relatives à leur résistance mécanique qui doit être envisagée sous le double aspect :

- la résistance à l'attrition
- la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats (fragilité).

Des essais dans le but de mesurer et de quantifier les paramètres physiques et mécaniques de ces granulats ont été mis au point. Ces essais ont été réalisés au laboratoire de géotechnique de l'ORGM / Boumerdès (mai 2003) sur des échantillons provenant des carrières de Hadjeb- El-Hachimia (ENG), Keddara (ENOF) et Si-Mustapha (ENG).

III-1-1 Propriétés physiques

Les propriétés physiques qui caractérisent la qualité d'un granulat sont la Porosité, la masse volumique, le coefficient d'absorption et la teneur en eau d'un échantillon de granulat d'origine naturelle ou artificielle utile aux bâtiments et aux travaux publics, et dont la masse volumique réelle est supérieure à 2 g/cm^3 .

III-1-3-1 Définitions

a) **La masse volumique absolue** : elle est égale au quotient de la masse sèche de l'échantillon au volume de sa matière, tout vide déduit.

b) **La masse volumique réelle** : elle est égale au rapport de la masse de l'échantillon au volume occupée par la matière solide, avec les vides

contenues dans les grains :

$$Pr = \frac{Ms}{Ma - Ma}$$

c) **La masse volumique -en vrac-** : elle correspond au rapport de la masse sèche des granulats remplissant un conteneur au volume de celui-ci.

d) **Le coefficient d'absorption d'eau** : elle est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon due à un mouillage partiel en eau à la masse sèche de l'échantillon. Ce mouillage partiel est obtenu par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C sous pression atmosphérique :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} 100$$

e) **La masse volumique réelle imbibée** : elle est le quotient de la masse de l'échantillon imbibé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C sous pression atmosphérique par le volume qu'il occupe :

$$Pri = \frac{Ma}{Ma - Ms}$$

f) **La porosité** : elle est déterminée par le rapport du volume des vides renfermés dans les grains accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon :

$$n = \frac{Mw - Ms}{Mw - Mw} 100$$

g) **La teneur en eau** : elle est déterminée par le rapport de l'écartement entre la masse de l'échantillon humide en l'état à sa masse sèche :

$$W = \frac{M - Ms}{Ms} 100$$

III-1-1-2 Appareillage

Il est constitué des éléments suivants :

- Appareil conçu pour la préparation d'un échantillon pour l'essai.
- Etuve à 105 ± 5 °C.
- Balance : mise de façon que le panier contenant l'échantillon soit suspendu au fléau et pesé dans l'eau, et sa capacité soit de 5 kg.
- Panier en toile métallique à maille inférieure à 3 mm ou récipient à toile avec perforations de 3mm.
- Récipient étanche dans lequel on peut suspendre librement le panier ou le récipient en toile perforée.
- Tamis de 4 mm d'ouverture.
- Chiffons absorbants de dimensions adéquates.

III-1-1-3 Exécution de l'essai

a) Détermination de la masse de l'échantillon et sa teneur en eau en l'état :

- pesage de l'échantillon au gramme près et « M » sera sa masse.
- Soit M_g : la masse sèche de l'échantillon sans lavage préalable.

b) Détermination dans l'air de la masse sèche de l'échantillon :

- Laver de l'échantillon sur tamis de 4 mm d'ouverture.
- Sécher à l'étuve à $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse de l'échantillon imbibé.
- Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C sous pression atmosphérique.

- Peser l'échantillon au gramme près, après avoir soigneusement épongé avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés séparément, et M_a est sa masse.

c) Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon imbibé après la pesée précédente, mettre l'échantillon imbibé dans le panier en toile métallique, suspendre le panier au fléau de la balance, l'immerger dans l'eau à 20°C à l'aide du récipient prévu à cet effet, agiter le panier afin d'éliminer toute présence de bulle d'air avant la pesée enfin peser au gramme près, soit M'_a sa masse.

d) Détermination dans l'air de la masse de l'échantillon saturé en eau, la saturation dans l'air de la masse de l'échantillon est obtenue en effectuant une désorption sous vide (trompe à eau) pendant deux heures, puis en immergeant dans l'eau pendant 24 heures à 20°C sous pression atmosphérique.

- Si la porosité est inférieure à 3 % il y a lieu de laisser les échantillons immergés dans l'eau une semaine entière à la pression atmosphérique ou 24 heures à une pression de 10 M Pa.
- Peser ensuite les échantillons au gramme près après l'avoir soigneusement épongé avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement soit M_w sa masse.

e) Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon saturé en eau .

Après avoir effectué la pesée citée, il y'a lieu de mettre l'échantillon dans le panier, accrocher celui-ci au fléau de la balance et le plonger dans l'eau à 20°C à l'aide du récipient prévu. Agiter ensuite pour éviter les bulles d'air avant la pesée.

Soit M'_w la masse de l'échantillon.

III-1-1-4. Résultats expérimentaux des propriétés physiques

Les résultats sont reportés dans les tableaux suivants :

Echantillon	Essai	Poids volumique γ (g/cm ³)	γ_{moyen} (g/cm ³)	Coefficient d'absorption (%)	Coefficient d'absorption Moyen (%)
H1	1	2.64	2.58	0.94	1.59
	2	2.46		3.07	
	3	2.65		0.77	
H2	1	2.68	2.69	0.33	0.41
	2	2.68		0.48	
	3	2.69		0.44	

Tableau 7 : Résultats des essais de détermination des propriétés physiques (carrière de Hadjeb-El-Hachimia)

Echantillon	Essai	Poids volumique γ (g/cm ³)	γ_{moyen} (g/cm ³)	Coefficient d'absorption (%)	Coefficient d'absorption Moyen (%)
K1	1	2.72	2.71	0.57	0.49
	2	2.70		0.37	
	3	2.72		0.54	
K2	1	2.66	2.68	0.78	0.58
	2	2.68		0.34	
	3	2.68		0.62	
K3	1	2.77	2.71	0.37	1.42
	2	2.77		0.32	
	3	2.59		0.15	

Tableau 8 : Résultats des essais de détermination des propriétés physiques (carrière de Keddara).

Echantillon	Essai	Poids volumique (γ) (g/cm ³)	γ_{moyen} (g/cm ³)	Coefficient d'absorption (%)	Coefficient d'absorption moyen (%)
S1	1	2.62	2.62	0.83	0.89
	2	2.61		1.09	
	3	2.64		0.79	
S2	1	2.66	2.65	0.49	0.54
	2	2.67		0.42	
	3	2.63		0.72	
S3	1	2.43	2.52	3.04	2.12
	2	2.58		1.30	
	3	2.55		1.67	
S4	1	2.44	2.40	3.21	3.99
	2	2.38		4.24	
	3	2.36		4.52	

Tableau 9 : Résultats des essais de détermination des propriétés Physiques (carrière de Si-Mustapha)

III-1-1-5 Interprétation des résultats

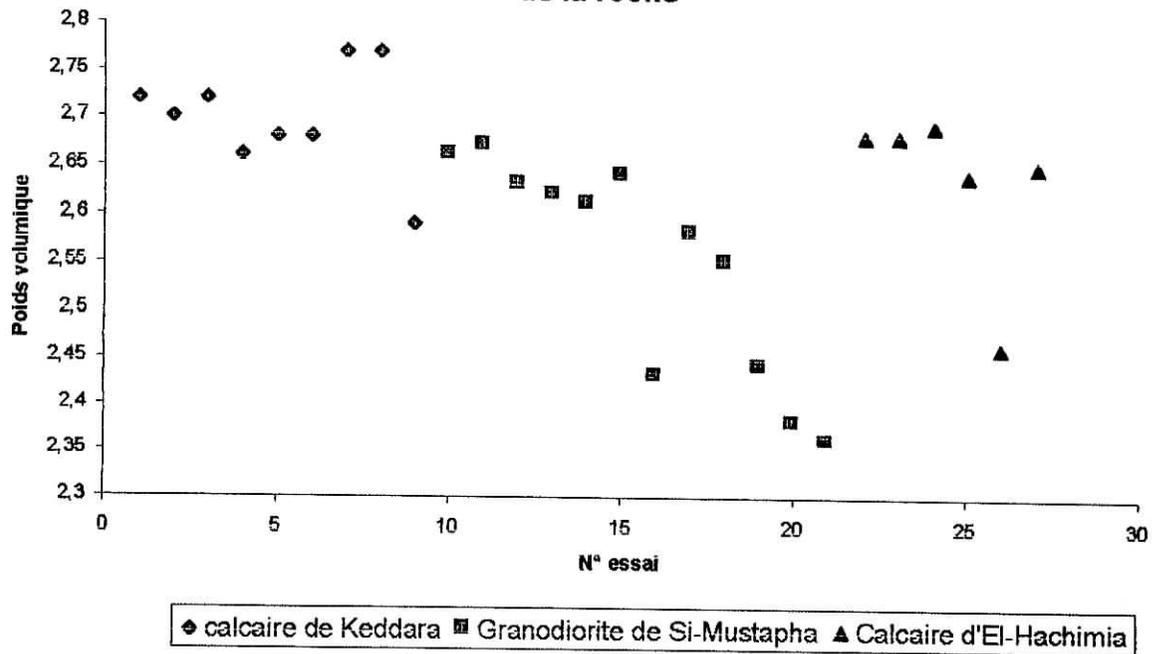
Une première analyse des résultats expérimentaux regroupés dans les tableaux 7, 8 et 9 nous montre que pour la même nature de roche du type calcaire, ceux de Keddara semblent plus denses que ceux de Hadjeb El-Hachimia. Il est surprenant que pour le calcaire d'El-Hachimia les densités de la roche saine (2.58) sont plus faibles que les roches bréchifiées (2.69). Ceci pourrait s'expliquer par les fortes valeurs du coefficient d'absorption observées dans la roche saine. Egalement la présence en quantité de la calcite dans le calcaire bréchifié rend la densité proche de celle de la calcite pure ($d=2.70$).

En ce qui concerne le calcaire de Keddara on observe une densité moyenne approximativement constante. Les plus fortes valeurs du poids volumique sont observées pour les faibles valeurs du coefficient d'absorption.

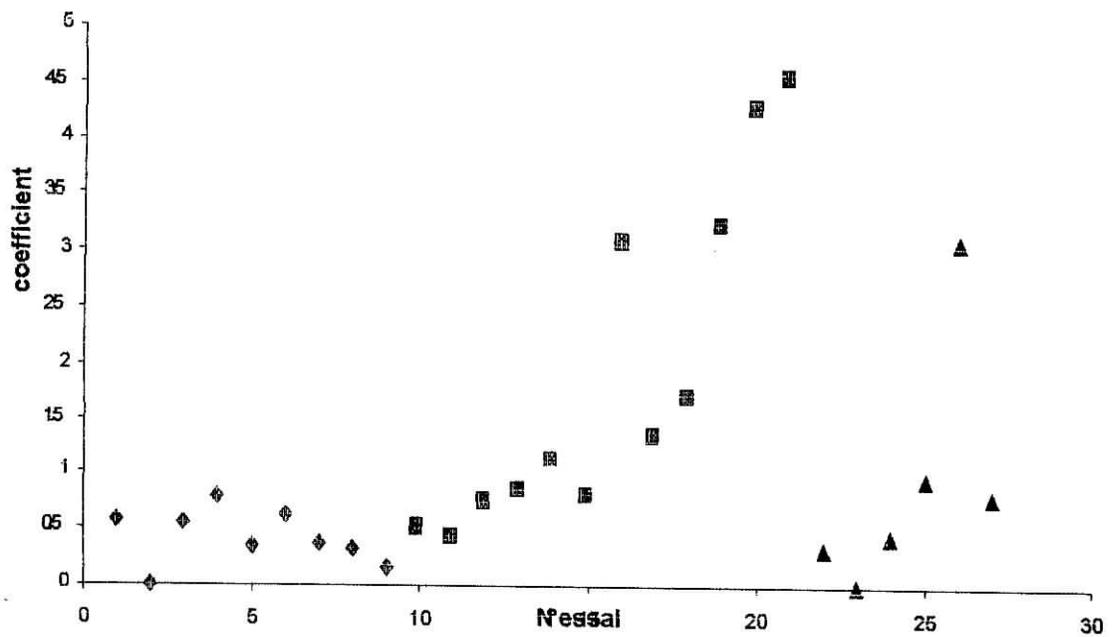
Pour un autre type de roche (granodiorite), on observe que la densité diminue avec l'état de la roche puisqu'on a une valeur moyenne de 2.65 pour les granodiorites grossières et une valeur de 2.52 pour la granodiorite altérée par le phénomène d'hématite et de 2.40 pour la granodiorite altérée au contact de la faille. La même observation est également à noter puisqu'on a une relation inverse entre le poids volumique et le coefficient d'absorption qui lui augmente avec la dégradation de la roche.

Ces observations peuvent s'illustrer sur les deux figures du graphe 1 et 2 où est représenté l'ensemble des valeurs mesurées du poids volumique et du coefficient d'absorption (graphe2). Pour la granodiorite de Si-Mustapha, la diminution du poids volumique est liée à l'augmentation du coefficient d'absorption qui est un indicateur de la dégradation de la roche (perte des qualités de compaction).

Graphe 1 : Variation du poids volumique en fonction de la nature de la roche



graphe 2 : variation du coefficient d'absorption en fonction de la nature de la roche



III-1-2 Essai Los-Angeles

III-1-2-1 Principe de l'essai

L'essai prévoit de déterminer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produite en faisant subir au matériau des chocs de boules normalisées dans la machine Los Angeles.

Les classes parmi lesquelles est choisie la granularité du matériau soumis à l'essai sont au nombre de six : 4/6.3 mm, 6.3/10 mm, 10/14 mm, 10/25 mm, 16/31.5 mm et 25/50 mm.

les conditions que doivent remplir certaines classes sont :

- 10/25 mm contient 60% de 10/16 mm.
- 16/31.5 mm contient 40% de 16/25 mm.
- 25/50 mm contient 60% de 25/40 mm.

La masse de la charge de boulets varie suivant les masses granulaires. Soient « M » la masse de matériau soumis à l'essai et « m » la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai.

La résistance à la fragmentation par chocs est alors donnée par la quantité

$$R_{fr} = 100 \frac{m}{M}$$

Par définition, cette quantité sans dimension est le coefficient Los Angeles du matériau.

III-1-2-2 Appareillage

- **La machine Los Angeles (cf. Figure 8)**

Elle correspond à un cylindre creux en acier de $12 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, avec un diamètre de $711 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ et une longueur intérieure de $508 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Ce cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés aux deux parois latérales, mais ne pénétrant pas à l'intérieur du cylindre ; le montage est tel que le cylindre peut tourner autour de son axe qui est horizontal.

Une fente de 150 mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre, permet d'introduire l'échantillon. Pendant l'essai, cette ouverture est fermée d'une manière étanche aux poussières par un couvercle amovible de façon que la surface inférieure reste bien cylindrique.

Cette surface cylindrique coupée par une tablette en saillie est placée à une distance de 400 mm du rebord du couvercle, distance mesurée le long du cylindre dans le sens de rotation.

Cette tablette en acier de type A-56 est de section rectangulaire : ($L = 508 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, $l = 90 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$, épaisseur = 25 mm). Elle repose suivant un plan diamétral le long d'une génératrice et est soudée ou fixée par des boulons sur les parois latérales et doit avoir des arêtes vives.

- **La Charge des boulets :**

Elle est constituée par des boulets sphériques de $47 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de diamètre et pesant entre 420 et 445 g, en acier Z 30 C 13 .

- **Le moteur**

D'une puissance d'au moins 0.75 KW, assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière de 30 à 33 tours par minute.

- **Le bac**

Destiné pour recueillir les matériaux après l'essai.

- **Le compte tours type rotatif**

arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulu.

III-1-2-3 Déroulement de l'essai

a) Préparation de l'échantillon pour l'essai

L'échantillon soumis à l'essai sera de masse au moins égale à 15000 g. L'échantillon de matériau est tamisé à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie par ordre de croissance. Ce matériau tamisé, lavé puis séché à l'étuve à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à obtention de la masse constante.

La masse de l'échantillon pour essai est de $5000\text{g} \pm 2\text{g}$.

b) Exécution de l'essai

- Procéder à l'introduction de la charge de boulets correspondant à la classe granulaire choisie avec précaution, puis l'échantillon du matériau pour essai. La charge est fixée selon le tableau 10 :

Classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)
4/6.3 mm	07	3080
6.3/10 mm	09	3960
10/14 mm	11	4840
10/25 mm	11	4840
16/31.5 mm	12	5280
25/50 mm	12	5280

Tableau 10 : Correspondance Charge de boulets – Classe granulaire

- Remettre le couvercle puis la machine effectuera 500 rotations , sauf pour la classe 25-50 où elle fera 1000 rotations à une vitesse régulière située entre 30 et 35 tours /mn.
- Recueillir le granulats dans un bac placé sous l'appareil, en prenant soin de ramener l'ouverture juste au dessus du bac, afin d'éviter les pertes de matériau.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm ; le matériau étant pris en plusieurs reprise pour faciliter l'opération.
- Laver le refus au tamis de 1.6 mm, puis égoutter et sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser le refus une fois séché, « m » désignera sa masse.

le coefficient Los Angeles est défini par le rapport :

$$LA = 100 \frac{m}{5000} \quad (\%)$$

où : $m = (5000 - m')$: est la masse sèche en grammes du matériau passant après tamisage au tamis 1.6 mm en g (arrondir les résultats à l'unité), « m' » étant le refus de ce tamis.

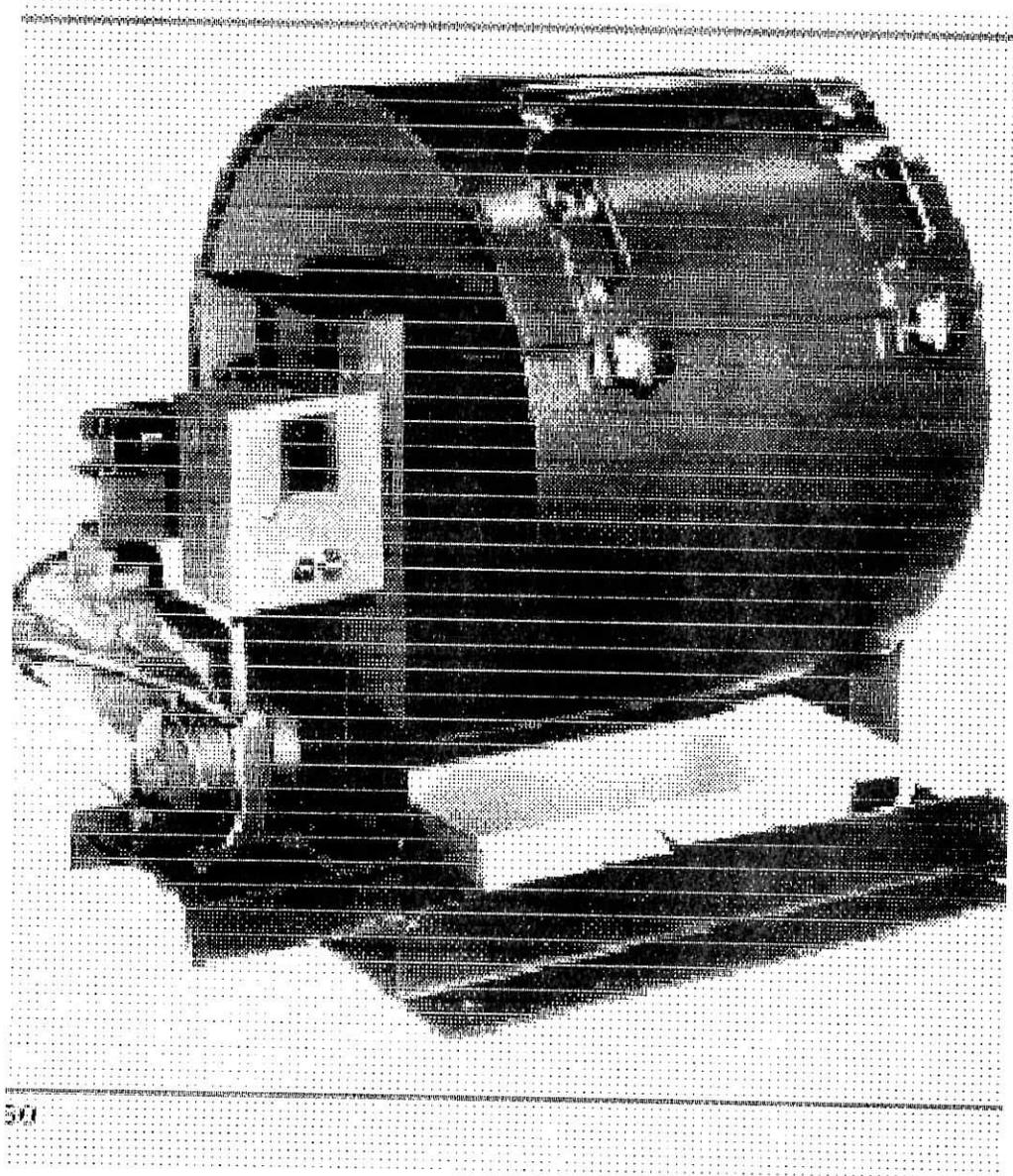


Figure 8 : Appareil de l'essai Los Angeles

III-1-2-4 Résultats expérimentaux de l'essai Los Angeles

L'essai Los Angeles est décrit dans le tableau 11 :

Granularité	Masse de l'échantillon	Charge de frottement	Nombre de rotations	Maille Du tamis
25/50 mm	5000g 25/40 : 3000 g 40/50 : 2000 g	12 boulets	1000	1.6

Tableau 11 : essai Los Angeles

Les résultats de l'essai Los Angeles des trois exemples de carrières sont résumés dans les trois tableaux suivants (cf. tableau 12,13,14) :

N° Echantillon	Caractérisation	Los-Angeles LA en (%)
H1	Calcaire sain	48.6
H2	Calcaire bréchifié au contact de la calcite	58.8

Tableau 12 : Résultats expérimentaux de l'essai Los-Angeles (carrière de Hadjeb El-Hachimia).

N° échantillon	Caractérisation (Niveau, m)	Los-Angeles LA en (%)
K1	Calcaire sain (200-212)	38.7
K2	Calcaire fissuré (200-212)	52.8
K3	Calcaire altéré (240-228)	49.5

Tableau 13 : Résultats expérimentaux de l'essai Los-Angeles
(carrière de Keddara)

N° échantillon	Caractérisation Niveau(m)	Los-Angeles LA en (%)
S1	Granodiorite fine (357-342)	36
S2	Granodiorite grossière (357-342)	39.3
S3	Granodiorite altérée (hématisation) (357-342)	41.1
S4	Granodiorite au contact de la faille	78.6

Tableau 13 : Résultats expérimentaux de l'essai Los-Angeles
(carrière de Si-Mustapha).

III-1-2-5 Interprétation des résultats

L'analyse des valeurs obtenues après l'essai Los Angeles montre des valeurs très importantes, au delà de la norme exigée pour le ballast en Algérie qui est fixée à 34%.

Le regroupement des valeurs du Los Angeles sous forme graphique (graphe 3) nous renseigne sur l'influence de la nature et de l'état de la roche sur le LA. En effet les valeurs de la roche saine sont plus faibles que pour la roche altérée ou fissurée.

Si l'on s'intéresse à un même type de roche, en l'occurrence « calcaire » on s'aperçoit que le LA augmente avec l'altération et la fissuration. Ce qui est tout à fait raisonnable puisque ces deux facteurs augmentent les fines lors du broyage.

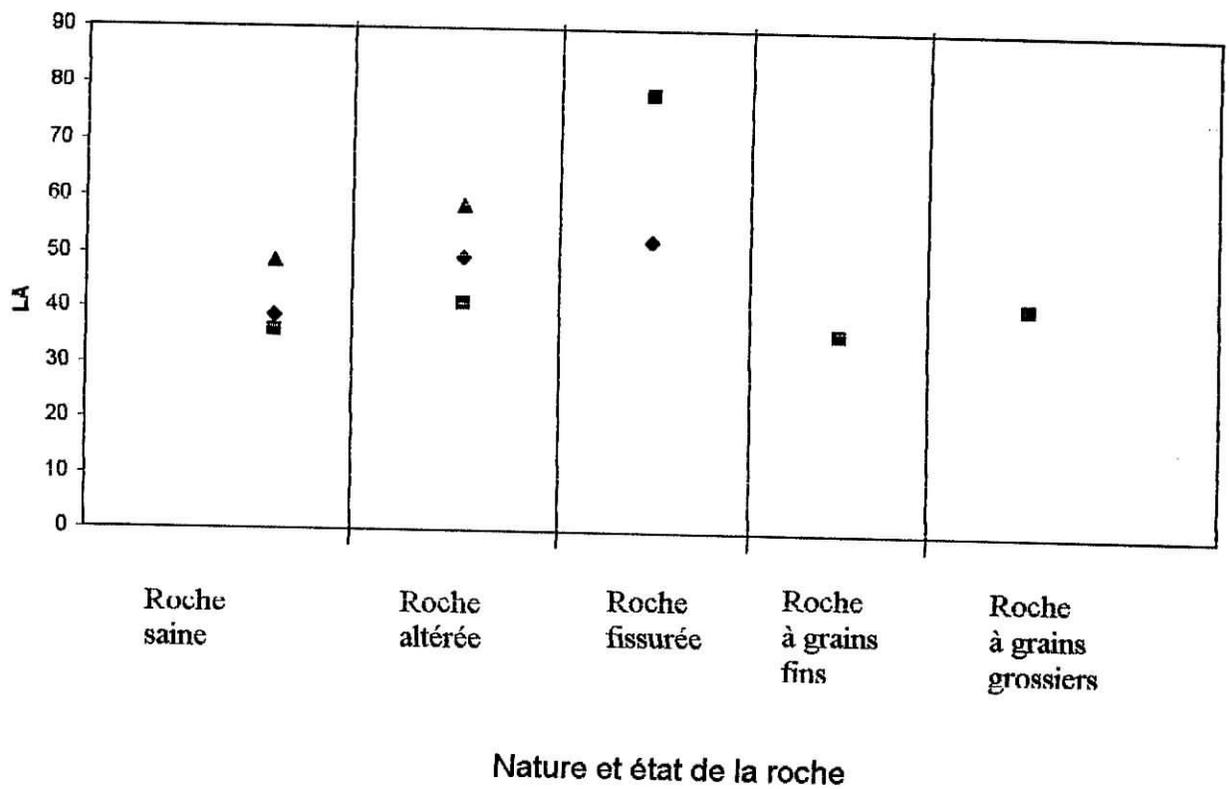
L'observation d'une valeur du LA pour la granodiorite au contact d'une faille (LA = 78.6) témoigne de la grande importance de la contribution de la tectonique (fissuration) dans la diminution des caractéristiques de la résistance à l'altération des granulats destinés au ballast.

On peut conclure que la texture de la roche influe également sur la valeur du Los Angeles. Ce qui signifie que plus les grains sont fins et plus le matériau résiste au choc en faisant abstraction des autres paramètres qui peuvent s'ajouter.

Néanmoins, l'homogénéité de la composition des roches joue un rôle tout aussi important que la texture, d'où l'importance d'une étude pétrographique.

D'une manière globale on peut observer, pour le calcaire de Keddara que la fissuration est un paramètre influent sur la valeur du Los Angeles.

Graphe 3 : Variation du Los Angeles en fonction de la nature de la roche



III-1-3 Essai Micro Deval

III-1-3-1. Principe de l'essai

Cet essai a pour but de déterminer la résistance à l'usure pour certaines roches à sec ou à l'état humide.

L'essai prévoit la détermination de l'usure produite dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies et ce par frottements entre granulats et une charge abrasive.

Il convient de choisir la granularité du matériau à partir des trois classes granulaires suivantes : 4-3.6 mm, 6.3-10mm, 10-14 mm

A chaque classe granulaire correspond une charge abrasive.
La résistance à l'usure s'exprime par la quantité :

$$MD = 100 m / M (\%)$$

M : masse du matériau soumis à l'essai

m : masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai.

Suivant la méthode utilisée le coefficient Micro-Deval est défini par cette quantité sans dimension :

- Coefficient Micro-Deval à sec (MDS).
- Coefficient Micro-Deval en présence d'eau (MDE).

III-1-3-2 Appareillage :

a) Appareillage spécifique :

L 'appareil Micro-Deval doit comporter les éléments suivants (cf. figure 9) :

- Un à quatre cylindres d'essai dont :
 - Le diamètre inférieur est égal à $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$.
 - La longueur utile est de $154\text{ mm} \pm 1\text{mm}$.

Les cylindres sont en acier (Z 2CN 18-10) et d'épaisseur ($3 \pm 0.2\text{ mm}$). Ils sont supportés par deux arbres horizontaux recouverts contre l'usure. Ces cylindres sont mis en rotation soit directement soit à l'aide de deux arbres horizontaux. Chaque cylindre permet d'effectuer un essai. Ils ne doivent pas comporter des saillies à l'intérieur et sont fermés par un couvercle plat de 8 mm d'épaisseur muni d'un joint d'étanchéité.

- La charge abrasive qui est constituée par des billes sphériques en acier inox (Z 30 C 13) de $10\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ de diamètre.
- Un moteur d'environ 1kw assurant aux cylindres une vitesse de rotation régulière de $100 \pm 5\text{ tr/mn}$. Cette vitesse est contrôlée une fois par an (usure des rouleaux d'entraînement).
- Un dispositif permettant d'arrêter automatiquement le moteur après 12000 rotations.

b) Appareillage d'usage courant

Il comporte :

- Un jeu de tamis de 1.6-4-6.3-10 et 14 mm dont le diamètre des moutures ne doit pas être inférieur à 200 mm.
- Un Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage et l'analyse granulométrique par tamisage du matériau.

III-1-3-3 déroulement de l'essai

a) Prise d'échantillon

Pour l'essai au laboratoire, il convient d'avoir un échantillon de 2000 g de masse.

b) Préparation de l'échantillon

Les granulats prévus pour l'essai doivent avoir une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires types.

Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence d'eau, on procède comme suit :

- Lavage de l'échantillon .
- Séchage à l'étuve $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ jusqu'à obtention de masse constante.
- Tamisage à sec sur tamis de la classe granulaire choisie.

La masse de l'échantillon pour essai sera de $500\text{g} \pm 2\text{g}$.

c) Exécution de l'essai

- Le cylindre est disposé avec l'ouverture vers le haut.
- Il convient d'introduire la charge abrasive, puis les 500 g de matériau préparé. La charge est fixée conformément aux indications du tableau suivant :

Classe granulaire	Charge abrasive (g)
4-6.3	2000±5
6.3-10	4000±5
10-14	5000±5

Tableau 15 : Correspondance Charge abrasive – Classe granulaire

- Pour effectuer un essai en présence d'eau, on en ajoutera 2.5 litres.
- Remettre le couvercle.
- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100±5) tr/min pendant 2 heures, soient 12000 tours.
- Recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en évitant les pertes.
- Laver soigneusement à la pissette, l'intérieur du cylindre en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- Tamiser le matériau sur un tamis de 1.6 mm ; la charge abrasive est retenue sur un tamis de 8 mm.

- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple).
- Procéder en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus à 1.6 mm à l'étuve 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser le refus au gramme près ; soit m' sa masse.

Le coefficient Micro-Deval est donné par le rapport :

$$\mathbf{MDE = 100 m / 500 (\%)}$$

Où : $m = 500 - m'$ est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm et m' est le refus.

on a donc :

Le coefficient Micro-Deval :

$$MDE = 100 \frac{500 - m'}{500} (\%)$$

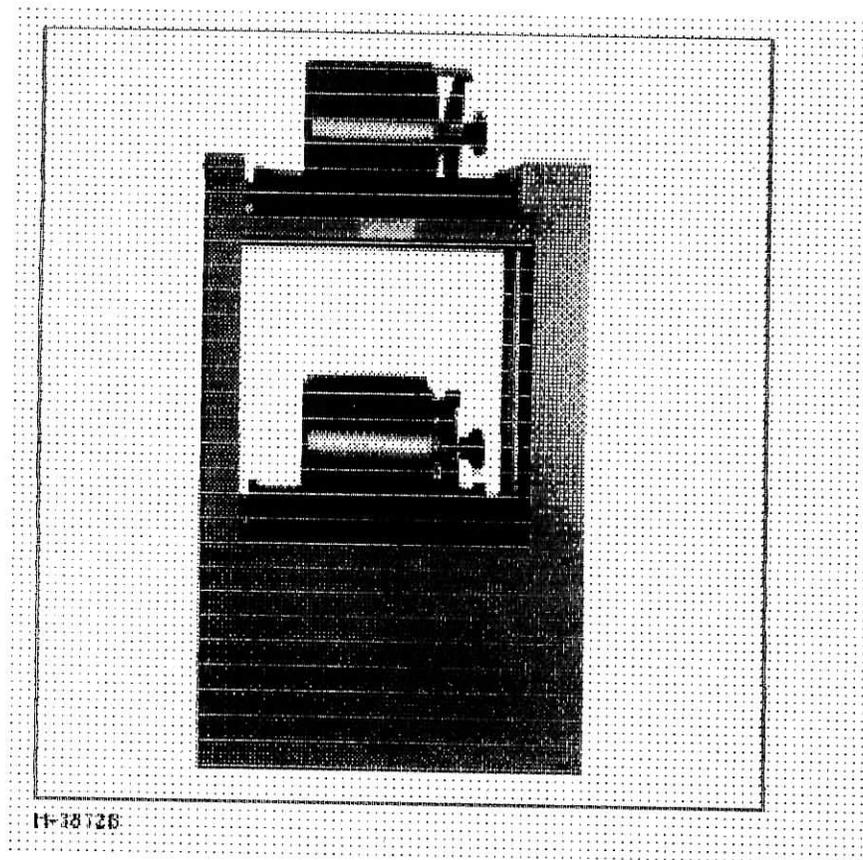


Figure 9 : Appareil de l'essai Micro-Deval

III-1-3-4. Résultats expérimentaux de l'essai Micro-Deval

Les résultats de l'essai Micro-Deval (cf. Tableau 17) ont été réalisés suivants les paramètres du tableau 16 :

Granularité	Masse de l'échantillon	Charge	rotations	Maille Du tamis
10/14 mm	500 g	5 kg de billes	1000	1.6

Tableau 16 :

Carrière	N° échantillon	caractérisation	MDS(%)	MDE(%)
Keddara	K1	Calcaire sain	9.2	14.2
	K2	Calcaire fissuré	13.9	24
	K3	Calcaire altéré	12.6	24.2
SI-Mustapha	S1	Granodiorite fine	17.2	23.4
	S2	Granodiorite grossière	14	27.2
	S3	Granodiorite altérée	17.4	29.7
	S4	Granodiorite bréchifiée	36.3	68.7
Hadjeb El-Hachimia	H1	Calcaire sain	9.3	18.9
	H2	Calcaire altéré	24.1	40

Tableau 17 : Résultats expérimentaux de l'essai Micro-Deval

III-1-3-5. Interprétation des résultats

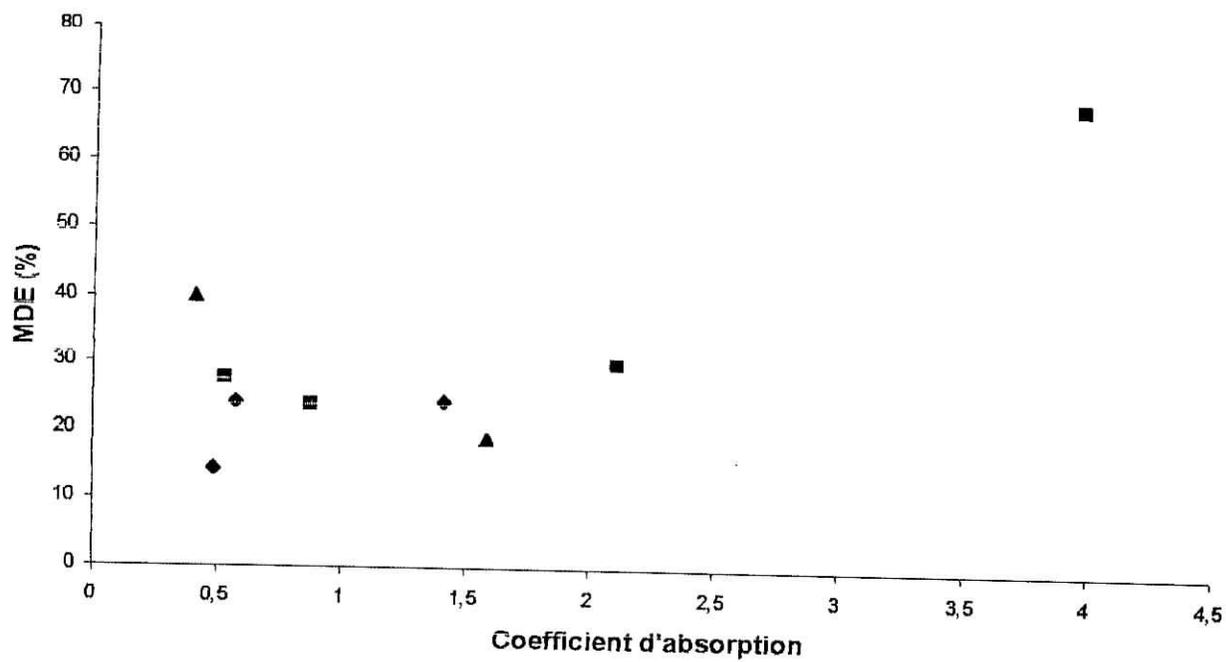
L'observation des valeurs du MDE du tableau 17 nous montre que les MDE du calcaire sain de Keddara et d'El-Hachimia sont plus faibles que ceux de la granodiorite de Si-Mustapha.

Les calcaires fissurés ou altérés ont des valeurs de MDE plus élevés que ceux de la roche saine et cela s'explique par l'attitude des roches fissurées et altérées à donner plus de fines et à offrir moins de résistance à l'écrasement et aux chocs.

Le graphe 4 représente la relation entre Le MDE et le coefficient d'absorption de l'eau. Nous constatons qu'il y a une relation de cause à effet entre ces deux paramètres. En effet plus le coefficient est important et plus la roche offre un MDE important ce qui est prévisible car le coefficient d'absorption est lié à la porosité et donc à l'état de la roche (son altération, fissuration) et à sa texture.

L'eau présente dans le granulat favorise l'usure. Ce phénomène se traduit par l'essai du MDE qui permet de déterminer le taux de produits d'érosion par l'eau. La comparaison des valeurs de MDE et celles du coefficient d'absorption permet d'observer une altération des caractéristiques mécaniques pour des valeurs de plus en plus importantes de ces paramètres.

Graphe 4 : Variation du MDE en fonction du coefficient d'absorption



III-1-4. Dureté relative globale

Pour la dureté relative globale (DRG), c'est la plus faible des valeurs obtenues successivement à partir des couples de coefficient : Deval sec – Los Angeles.

En utilisant l'abaque de la figure 10, nous remarquons que les valeurs du DR sont hors abaque, ce qui nous permet d'affirmer que le matériau issu des différentes carrières étudiées est en deçà des normes établies pour le ballast.

Ces valeurs sortent de l'abaque en raison soit des valeurs du Los Angeles ou du MDS ou bien des deux. Ainsi on a pour nos échantillons les valeurs suivantes :

- Carrière d'El-Hachimia :

- Echantillon H1 : LA=48.6, DS=8.6 : c'est le LA qui est hors abaque.
- Echantillon H2 : LA=58.8, DS=3.4 : le LA et le DS sont hors abaque.

- Carrière de Si-Mustapha :

- Echantillon S1 : LA=36, DS=4.6 : le LA et le DS sont hors abaque.
- Echantillon S2 : LA=39.3, DS=5.7 : le LA est hors abaque.
- Echantillon S3 : LA=41.1, DS=4.6 : le LA et le DS sont hors abaque.
- Echantillon S4 : LA=78.6, DS=2.2 : le LA et le DS sont hors abaque.

- Carrière de Keddara :

- Echantillon K1 : LA=38.7, DS=8.7 : le LA est hors abaque.
- Echantillon K2 : LA=52.8, DS=5.7 : le LA est hors abaque.
- Echantillon K3 : LA=49.5, DS=6.3 : le LA est hors abaque.

Remarque : Il existe une corrélation entre le Deval (D) et le Micro-Deval (MD) et on passer de l'un à l'autre par la formule : $D = 80 / MD$

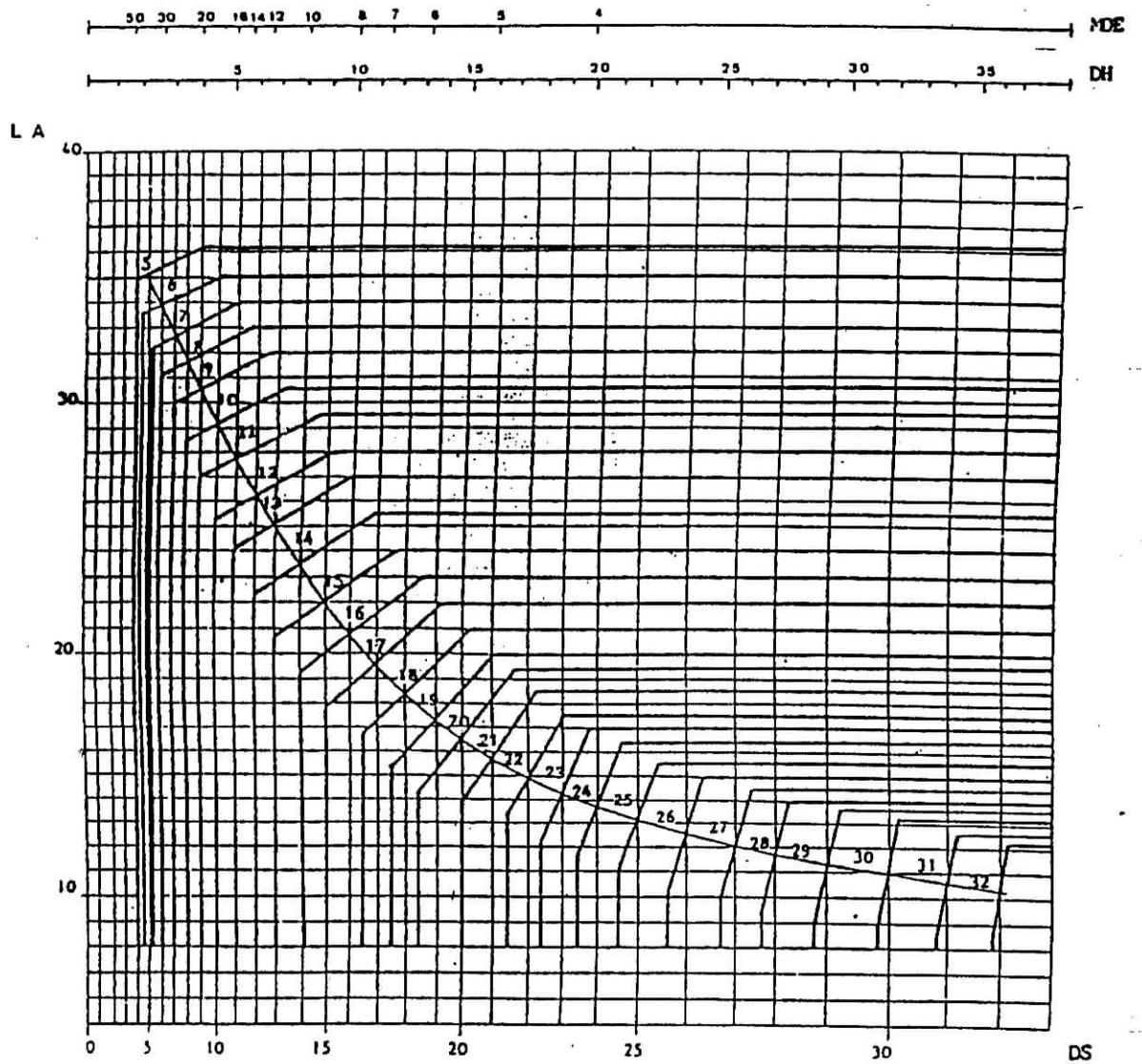


Figure 10 : Abaque de dureté relative Globale (d'après J. Alias)

III-2- Etude pétrographique

Des lames minces concernant les échantillons que nous avons étudiés ont été réalisées au laboratoire de pétrographie de l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) / Boumerdès).

Sont présentées ci-après les photographies de ces échantillons en lumière polarisée avec un agrandissement X 33. L'étude de ces lames minces a permis de constater pour chaque échantillon ce qui suit :

- Carrière d'El-Hachimia :

- **Echantillon H2** (Cf. figure 11) : c'est essentiellement une pâte avec des oxydes de fer (oolithes).

- Carrière de Keddara :

- **Echantillon K1** : On observe du quartz xénomorphe en petits grains et disséminé dans la matrice, ainsi que de gros cristaux de calcite maclée et quelques fossiles.
- **Echantillon K2** : cet échantillon est très fossilisé et on voit également un fillonnet de quartz et des oxydes de fer.
- **Echantillon K3** (cf.figure12) : on a essentiellement une pâte avec de longs cristaux de quartz et des petits cristaux de calcite ainsi que de l'oxyde de fer.

- Carrière de Si-Mustapha :

- **Echantillon S1** : Présence de feldspaths maclés et zonés et de biotite bien cristallisée.
- **Echantillon S2** : On remarque la même composition que dans la mince S1 avec présence de pyroxènes. ^{lame}
- **Echantillon S4** (cf. figure 13) : On y observe une altération de la biotite, ainsi que des globules d'oxydes de fer (oolithiques) disséminés en forme graphique.

Cette étude pétrographique nous a permis de confirmer la phénomènes suivants :

- **Hématisation** : ce phénomène est présent dans les trois carrières, on l'observe tout particulièrement pour les échantillons H2, K2 et K3, S4 (au contact d'une faille).
- **La présence de calcite** : qui est due à, l'altération des ferromagnésiens (biotite, pyroxènes), c'est le cas des échantillons K1, K3 et S4.
- **La texture** : On observe pour les échantillons de Si-Mustapha une texture fine pour l'échantillon S1 et une texture ^{grossière} pour l'échantillon S2.

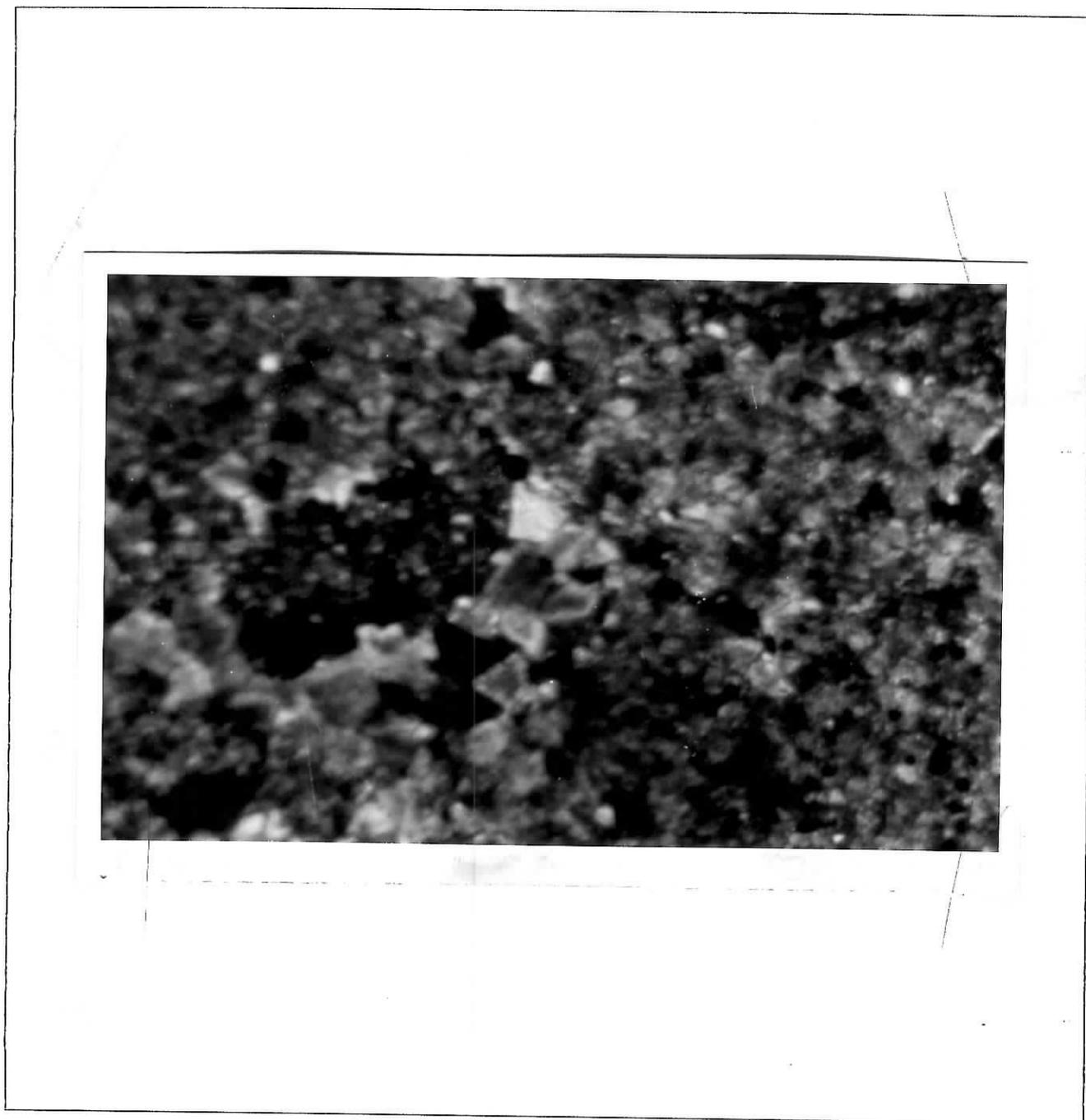


Figure 11 : Lame mince de l'échantillon H2 de la carrière de Hadjeb El-Hachimia

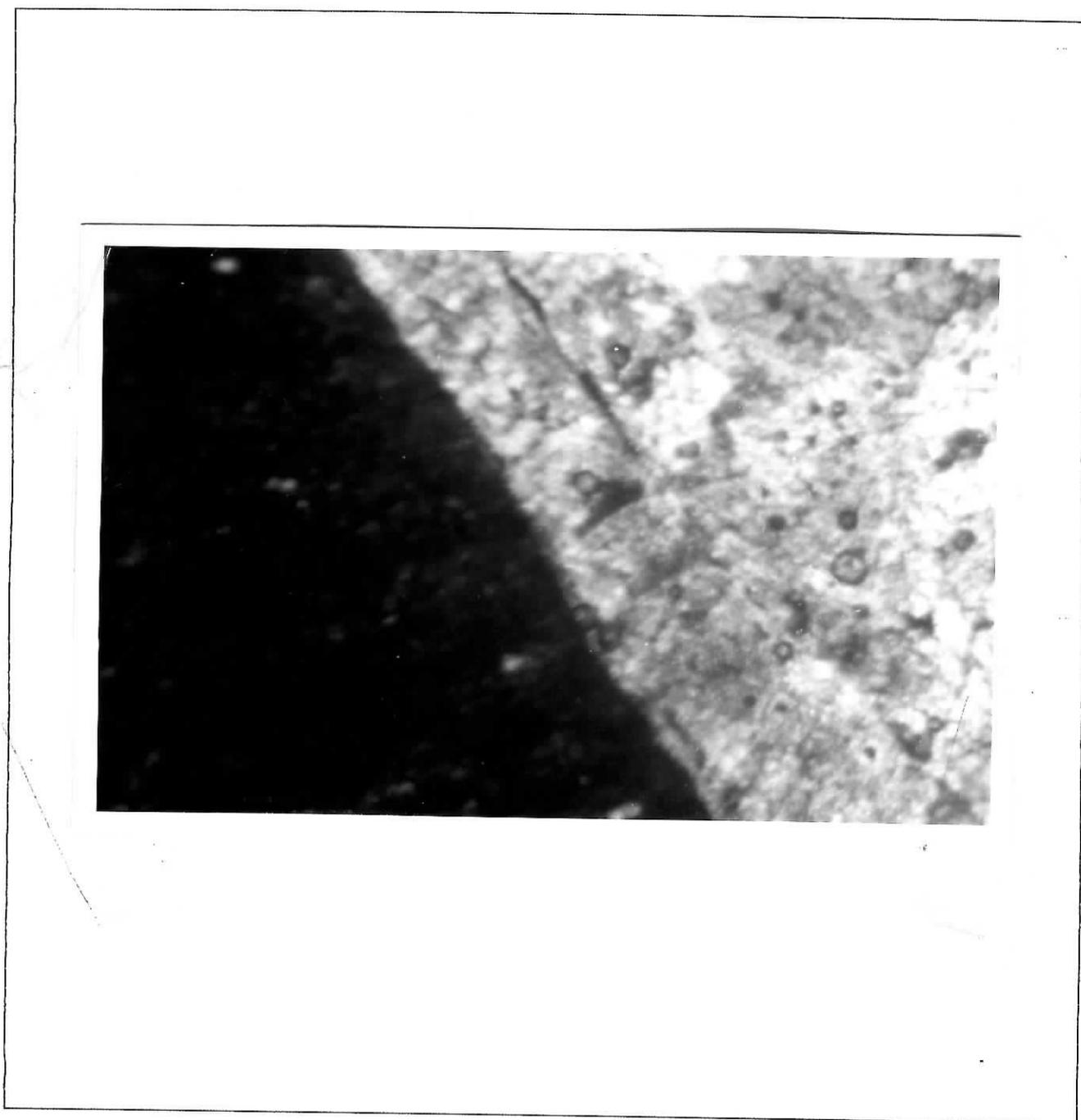


Figure 12 : Lame mince de l'échantillon K3 de la carrière de Keddara.



Figure 13 : Lame mince de l'échantillon S4 de la carrière de Si-Mustapha

Conclusion générale

Les performances du ballast dépendent principalement de la dureté de la roche qui est caractérisée par les propriétés physico-mécaniques et pétrographiques du matériau exploité.

Ces deux caractéristiques jointes aux conditions d'infrastructure pour l'exploitation et l'acheminement du ballast a révélé que la qualité des roches utilisées par le réseau ferroviaire national est le plus souvent moyenne à médiocre compte tenu des normes établies en Algérie.

En effet, la complexité de la géologie de l'Algérie du Nord rend très difficile l'obtention de roches saines et homogènes.

Les fronts de taille des carrières en question présentent des hétérogénéités dues à la tectonique, à l'altération et à la texture des roches. Par conséquent le choix des points d'échantillonnage doit prendre en compte ces hétérogénéités puisque ces caractères entraînent des perturbations quant à la qualité des produits élaborés. C'est dans cette optique que s'est porté notre interprétation des résultats des différents essais :

a) Impact de la tectonique

- **Au contact d'une faille**

La qualité d'un ballast est directement liée aux conditions de gisement en particulier la présence de failles et de diaclases qui peut entraîner des perturbations au niveau de l'extraction et de l'élaboration et donc au niveau de la qualité du matériau.

A ces propos, les résultats des essais Los Angeles sont très démonstratifs puisque l'on constate des valeurs très élevées par rapport aux normes en vigueur ; qui pour rappel sont de l'ordre de 34 % en Algérie et largement supérieures aux normes d'autres pays.

Citons alors la valeur du Los Angeles de l'échantillon S4 du gisement de granodiorite de Si-Mustapha récolté au contact d'une faille (LA = 78.6 %). Par contre les deux échantillons S1 de granodiorite grossière (LA=39.3 %) et S2 de granodiorite fine à (LA=36) provenant du même gisement que l'échantillon S4 ont donné des résultats largement plus probants mais encore d'un ordre moyen.

Le résultat médiocre du Los Angeles de l'échantillon S4 récolté au contact de la faille est dû principalement à la désagrégation mécanique et les transformations minéralogiques. Ces effets font évoluer progressivement la roche saine en roche altérée et plus polluée et donc plus fragile et moins résistante aux chocs ; ce qui nuit à la qualité du produit élaboré.

- **La fissuration**

- Dans la carrière de Keddara, des fissures de directions diverses influent considérablement sur la qualité du matériau exploité qui en plus de la fissuration due à la tectonique, subit la fissuration due aux chocs des tirs à explosifs répétés. Du fait de la dimension considérable de ces phénomènes la valeur du Los Angeles s'en trouve affectée où dans certains cas elle est égale à 52.8 %, valeur très en dessous de la moyenne normative.
- Le calcaire de Hadjeb El -Hachimia est découpé par des diaclases remplies de calcite, qui sont liées par leurs genèses aux failles, phénomène nocif pour le comportement mécanique de la roche.

b) La contribution de l'altération des roches

▪ L'hématisation

Les échantillons K3 de calcaire de Keddara et S3 de granodiorite de Si-Mustapha, ont été choisis en raison de l'importance du phénomène d'hématisation.

Dans la carrière de Si-Mustapha, l'hématisation est localisée dans les zones bréchifiées. Ces brèches sont alors à l'origine de l'altération du matériau exploité du fait qu'elles représentent des zones de faiblesses géomécaniques. Ceci est confirmé par une valeur de Los Angeles (LA = 41,1 %).

Bibliographie

- [01] J. Alias : La voie ferrée. Editions EYROLLES. Paris,1984. Pages 13-32, 270-275 et 501-505
- [02] Y. Berton et P. Le Berre : Collection manuels et méthodes n° 5. Guide de prospection des matériaux de carrière. Editions du BRGM. Orléans, France, 1990, Pages 103-112
- [03] J. A. Talobre : La mécanique des roches et ses applications. Editions DUNOD. Paris, 1967. Pages 9-47
- [04] N. Théobald : Géologie générale et pétrologie. Eléments de géodynamique. Editions DOIN.Paris,1969.
- [05] C. Tourenq : Granulats. Techniques de l'ingénieur. C 902. Pages 1-12.
- [06] ENOF : Rapport géologique des recherches détaillées du gisement de Keddara.
- [07] ENG : Rapport géologique du gisement de Si-Mustapha.
- [08] Wilczec : Rapport géologique des recherches détaillées du gisement de Hadjeb Unité de recherches et études géologiques (UREG). Boumerdès, 1978.
- [09] INAPI : Recueil de normes algériennes, 1992.
- [10] Centre de Recherche Ferroviaire : Séminaire sur le ballast, 26/02/1990