

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

*Département Génie Minier*



**Mémoire de fin d'études**

*Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier*

*Thème*

***Etude des caractéristiques géologiques et  
géotechniques des roches basiques pour la  
production des granulats***

Proposé et dirigé par :

**Mr. CHANANE Larouci**

Présenté par :

**ALLOU Smail**

**OTSMANE Belkacem**

***Année 2009-201***

## *Remerciement*

*A l'issue de cette étude, nous remercions le Bon Dieu le Tout Puissant qui nous a donné tant de courage, de volonté, de patience et d'abnégation pour mener à terme ce mémoire.*

*Nous exprimons aussi nos remerciements et notre gratitude pour tous ceux qui nous ont soutenu et contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude. Qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance, en l'occurrence les membres du Jury :*

*Mme S. CHABOU, pour avoir daigné présider notre jury de soutenance, et*

*M. M. C. CHABOU, pour avoir bien voulu examiner ce travail.*

*Nous exprimons aussi notre gratitude et nos remerciements en particulier notre promoteur  
Mr CHANANE Larouci*

*Ainsi que tous les enseignants du département Génie Minier.*

*Nous tenons également à remercier le personnel de CETIM en particulier Mr DADUDI*

## ملخص

- إن الحصى التقليدي المستعمل حاليا في الجزائر مستخرج أساسا من صخور رسوبية كلسية تبقى ذات نوعية رديئة بالمقارنة مع تلك المستعملة في الدول المتقدمة.
  - من جهة أخرى، فإن جميع الدراسات أدت من خلال الأبحاث والتحليل أن الحصى المستخرج من الصخور الكلسية يتصف بحساسية فيزيائية وميكانيكية جد عالية بفعل الحت عن طريق الإنهاك والصدمات وأخرى كيميائية عن طريق التلوث، لذا فإن الضرورة تستدعي القيام بأبحاث هادفة لإيجاد أنواع أخرى من الحصى من أصل صخور نارية قاعدية والتي تمثل نوعية أحسن تستجيب للمقاييس الدولية.
  - إن هذا البحث الخاص بدراسة الصخور القاعدية لكل من بني صاف و منطقة تيفريت قد مكثنا من إيجاد العلاقات التي من شأنها الربط بين الخصائص الصخرية، الجيوكيميائية والجوتقنية لهاته الصخور.
- كلمات مفتاحية:** الحصى، الصخور القاعدية، خصائص صخرية، جيوكيمياء، جيوتقني.

## Résumé

- Actuellement, le type de granulat utilisé en Algérie provient principalement de roches sédimentaires calcaires dont la qualité reste médiocre comparée à celui utilisé par les pays développés.
- D'autre part, l'ensemble des travaux de recherche et d'analyse réalisés ont confirmé que les granulats provenant des matériaux traditionnels calcaires sont très sensibles au vieillissement physico-mécanique (abrasion par usure et choc) et chimique (pollution), d'où la nécessité de rechercher d'autres types de granulats provenant essentiellement de roches magmatiques basiques qui semblent présenter de meilleures qualités, répondant aux normes internationales.
- Ce travail, consacré à l'étude des roches basiques de Béni Saf et de la région de Tiffrit a permis de trouver des relations pouvant exister entre les caractéristiques pétrogéochimiques et géotechniques de ces roches

**Mots clés :** granulats, roches basiques, pétrographie, géochimie, géotechnique.

## Abstract

- Actually, the type of granulate used in Algeria originates mainly from calcareous sedimentary rocks which quality remains mediocre compared to that used in the developed countries.
- In other hand, the overall works of research and analysis fulfilled up to now confirmed that the granulats deriving from the traditional calcareous materials are very sensitive to physical-mechanics (attrition and choc abrasion) and chemical (pollution) ageing, that's why the necessity of seeking others types of granulats originating essentially from the basic magmatic rocks which it's seems to be of best qualities, matching the international standards and improving the functions degree and quality to provide better safety conditions.
- This topic, dealing with the study of the basic rock located in Beni Saf the region of Tiffrit enabled us to find out the relationships that can occurs between the petro-geochemical and geotechnics characteristics.

**Key words:** granulats, basic rocks, petrography, geochemistry, geotechnics.

## Table des matières

INTRODUCTION .....	1
I. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL DE LA REGION DE BÉNI SAF .....	3
I.1 Situation géographique .....	3
I.2 Relief et Climat .....	3
I.3 Hydrogéologie de la région.....	3
I.4 Géologie de Béni Saf .....	3
I.4.1 Lithostratigraphie .....	4
I.4.2 Tectonique.....	4
II. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE SAÏDA .....	8
II. 1 Situation géographique .....	8
II.2 Relief et climat.....	8
II.3 Lithostratigraphie .....	8
II.3.1 Quaternaire (q) .....	8
II.3.2 Tertiaire (Cénozoïque) .....	9
II.3.3 Secondaire (Mésozoïque) .....	9
II.3.4 Primaire (paléozoïque) .....	15
II.4 Le magmatisme .....	15
II.5 Tectonique.....	19
A. GENERALITES SUR LES GRANULATS : .....	24
I. GENERALITES SUR LES GRANULATS .....	24
I.1 Définition.....	24
I.2 Les différents types de granulats.....	24
I.2.1 les granulats naturels.....	25
I.2.2 Granulats artificiels .....	25
I.2.3 Granulats recyclés .....	26
I.2.4 Granulats et composants légers .....	26
II. CARACTERISTIQUES DES GRANULATS.....	26
II.1 Caractéristiques géométriques.....	27
II.1.1 Classe granulaire.....	27
II.1.2 Granularité.....	27
II.1.3 Forme des gravillons.....	27
II.2 Caractéristiques physico-chimiques .....	28
II.2.1 Propreté des granulats .....	28

II.3 Caractéristiques physiques et mécaniques.....	28
II.3.1 Qualités physico-mécaniques .....	28
II.3.2 Résistance à l'usure des gravillons.....	30
II.3.3 Porosité .....	31
II.3.4 Résistance à la fragmentation des gravillons .....	31
II.3.5 Résistance au polissage des gravillons.....	31
II.3.5 Coefficient d'absorption d'eau Ab .....	31
II.3.6 Masse volumique absolue (MVA) .....	31
II.3.7 Masse volumique réelle (MVR).....	31
II.3.8 Résistance des gravillons au gel-dégel.....	32
II.4 Caractéristiques chimiques.....	32
II.4.1 Teneur en ions chlorures .....	32
II.4.2 Réactivités aux alcalis .....	32
II.4.3 Teneur en soufre et en sulfates .....	32
II.5 Caractéristiques esthétiques .....	32
B. GENERALE SUR LES ROCHES BASIQUES .....	33
I. LES DIFFERENTS GROUPES DES ROCHES BASIQUES.....	33
I.1 Roche de profondeur.....	33
I.2 Roches de demi-profondeur .....	33
I.3 Roches de surface.....	34
II. LES BASALTES .....	34
II.1 Classification et nomenclature des basaltes.....	34
II.2 les principaux types de basaltes .....	35
1) Les Basalte tholéiitiques .....	35
2) Les Basaltes alcalins.....	35
3) Un type intermédiaire de basalte .....	36
II.3 Caractéristique mécanique des basaltes .....	36
PARTIE EXPERIMENTALE.....	37
INTRODUCTION :.....	37
I. GEOLOGIE DES SITES D'ECHANTILLONNAGE .....	37
I.1 Echantillons de Tiffrit.....	38
I.2 Echantillons de Béni-Saf .....	40
II. ESSAIS GEOTECHNIQUES .....	42
Introduction.....	42

II.1 Essai micro-Deval.....	42
II.1.1 Principe.....	42
II.1.2 Appareillage.....	42
II.1.3 Préparations de l'échantillon pour essai.....	43
II.1.4 Mode opératoire .....	44
II.1.5 Calcul et expression des résultats.....	44
II.2 Essai Los-Angeles.....	44
II.2.1 Principe de l'essai .....	44
II.2.2 Appareillage.....	45
II.2.3 Matériaux soumis à l'essai.....	46
II.2.4 Exécution de l'essai.....	46
II.2.5 Expression des résultats .....	47
II.3 Dureté relative globale (DRG).....	47
II.4 Résultats des essais géotechniques .....	48
III. COMPARAISON DES RESULTATS DES ESSAIS AVEC LES NORMES EUROPEENNES ET AMERICAINE.....	51
IV. CARACTERISTIQUES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES.....	52
IV.1 Etude microscopique.....	52
IV.1.1 Lames minces d'échantillons prélevés du site de Tiffrit .....	52
IV.1.2 Lames d'échantillons prélevés de Béni-Saf.....	52
IV.2 Etude géochimique :.....	54
IV.1.3 Conclusion .....	55
V. RELATIONS PETROGEOCHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES.....	56
V.2 Relation géochimie – géotechnique .....	57
CONCLUSION .....	65
BIBLIOGRAPHIE :.....	66
Annexe :.....	68

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte géologique de la région de Béni-Saf au 1/50 000.....	5
Figure 2 : Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 01. ....	6
Figure 3: Légende représentant les roches ignées tirée de la légende précédente.....	7
Figure 4: carte géologique de la région d'Ain balloul au 1/50 000 .....	21
Figure 5 : coupe géologique construite à partir de la carte d'Ain balloul .....	21
Figure 6 : légende de la carte de Ain balloul.....	22
Figure 7: Série stratigraphique et lithologique relative aux figures 05/06.....	23
Figure 8 : dimension du granulat.....	27
Figure 9 : Carte géologique de la région de Tiffrit (Tirée de la carte de la région de Ain Balloul : 1/50 000, feuille n°275 (2009).....	38
Figure 10: légende de la carte d'Ain balloul .....	39
Figure 11: Carte géologique de la région de Béni Saf au 1/50 000 .....	40
Figure 12: légende stratigraphique et lithologique relative aux figures : 10 .....	41
Figure 13: Abaque de dureté relative globale (DRG) (d'après J.Alias, 1984) .....	50
Figure 14: photos des lames minces des échantillons TF1 ,TF2 et TF3. ....	53
Figure 15: diagramme TAS des échantillons de Béni Saf et de Tiffrit.....	55
Figure 16: <i>Corrélation P.A.F/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> . ....	59
Figure 17: <i>Corrélation P.A.F/CaO</i> . ....	59
Figure 18: <i>Corrélation de L.A/ SiO<sub>2</sub></i> . ....	60
Figure 19: <i>Corrélation de L.A/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> . ....	60
Figure 20: <i>Corrélation de L.A/ K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O</i> . ....	61
Figure 21: <i>Corrélation de L.A/CaO</i> . ....	61
Figure 22: <i>Corrélation de MDE/MgO</i> . ....	62
Figure 23: <i>Corrélation de MDE/ Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O</i> . ....	62
Figure 24: <i>Corrélation de MDE/CaO</i> . ....	63
Figure 25: <i>Corrélation de DRG/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> . ....	64
Figure 26: <i>Corrélation de DRG/K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O</i> . ....	64

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: la charge abrasive en fonction de la classe granulaire .....	44
Tableau 2: nombre de boulets (masse total de la charge) en fonction de la classe granulaire ..	46
Tableau 3: Résultats des essais géotechniques des échantillons de Tiffrit et Béni Saf .....	48
Tableau 4: Normes des essais géotechniques des granulats du ballast (ENG, 1993).....	48
Tableau 5: Comparaison des valeurs de LA, MDE et DRG par rapport aux normes : .....	51
Tableau 6: Analyses géochimiques des éléments majeurs par fluorescence X des échantillons de Béni Saf et Tiffrit. ....	54
Tableau 7 : Evaluation des propriétés des minéraux pour le ballast (WATTERS et al, 1985). ....	56
Tableau 8: Tableau des éléments majeurs (oxydes) combinés aux paramètres géotechniques.	57

## INTRODUCTION :

Les granulats ont fait l'objet de plusieurs études et de recherches largement élaborées par le développement des nouvelles techniques du génie civil exigeant leur niveau de qualité dans divers domaines d'utilisation dont les plus importants sont les routes, le béton et le ballast des voies ferrées.

Selon l'étude établie par le ministère de l'Énergie et des Mines, les besoins en granulats sont de l'ordre de **686037531** tonnes pour la période 2006-2009 pour divers programmes : habitat, équipement, hydraulique, travaux publics, autoroute est – ouest, travaux maritimes et transport.

Actuellement, le type de granulat utilisé en Algérie provient principalement des roches sédimentaires calcaires, dont la qualité reste médiocre par rapport à celle utilisée dans les pays développés, d'où la nécessité de rechercher d'autres types de granulats, provenant essentiellement de matériaux rocheux magmatiques aussi bien acides, intermédiaires que basiques, qui peuvent présenter de meilleures qualités répondant aux exigences et aux normes internationales.

D'où le thème de notre projet de fin d'étude : étude des caractéristiques géologiques et géotechniques des roches basiques pour la production des granulats à partir des gisements rocheux pouvant faire l'objet d'ouverture des carrières tel que le site de Béni Saf.

Le fond de notre étude est basé sur un traitement mathématique par l'outil informatique des corrélations pouvant exister entre les caractéristiques géochimiques et géotechniques, donc l'objectif est de vérifier le niveau de qualité de ces matériaux rocheux utilisés comme granulats.

Pour ce la on a adopté le plan d'étude suivant :

- 1) **Définir les concepts d'études** utilisés, pour connaître :
  - ✓ les *propriétés physico-mécaniques* des granulats,
  - ✓ les *propriétés géologiques* des roches basiques.
- 2) Une **synthèse bibliographique** : pour déterminer la géologie des deux sites d'échantillonnage.
- 3) **Échantillonnage des roches** à partir du site vierge de Tiffrit (Saïda) et du massif basaltique de Béni Saf (Aïn Temouchent).

4) Elaborer un **travail expérimental de laboratoire** qui consiste à :

- La réalisation de **deux tests géotechniques** traduits par les **Essais Los-Angeles (LA) et Micro-Deval (MDE)** sur les échantillons de roches prélevés, afin de vérifier et mesurer le degré de résistance combinée à l'usure par frottements réciproques et à la fragmentation par chocs ;
- Une **étude microscopique** (Microscope Polarisant) des lames minces de ces échantillons ;
- Des **analyses géochimiques par fluorescence de Rayons X**, afin de déterminer les compositions chimiques de ces échantillons.

## **I. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL DE LA REGION DE BÉNI SAF** : [A. BEY, 1996 ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, 1996]

### **I.1 Situation géographique** : [A. BEY, 1996 ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, 1996]

La région de Béni Saf constitue l'un des 02 sites de notre étude, situé juste au bord de la route nationale n°22, près de 30 km au NW du chef lieu de la wilaya de Ain-Témouchent.

### **I.2 Relief et Climat :**

Le relief de la wilaya de Ain Témouchent se subdivise en trois parties distinctes :

- une première partie représentée par des zones semi-montagneuses au sud de la wilaya, marquant la limite avec la wilaya de Sidi Bel-Abbès.
- Une deuxième partie centrale représentée par des plaines et couvrant la moitié de la superficie de la wilaya.
- Une partie côtière représentée par des zones rocailleuses avec quelques portions de plaines.

Du point de vue climatique, la wilaya se caractérise par deux types climatiques, se rapportant chacun à une zone. En général, la majeure partie de la wilaya est marquée par un climat semi-continental; avec des étés très chauds et des hivers froids. Les températures varient d'un minimum de 5°C en hiver à un maximum de 42°C en été, avec des moyennes de 10°C en hiver et de 31°C en été.

### **I.3 Hydrogéologie de la région :**

La région d'Ain Témouchent et ses environs sont assez favorisés par la disponibilité des aquifères d'eau. Bien que la pluviométrie y soit médiocre (les précipitations ne dépassent en moyenne que 400 mm/an), celles-ci sont aisément absorbées par les terrains perméables d'oligocènes et pliocènes.

Dans le Pliocène récent, les puits rencontrent de l'eau habituellement potable, dans les lentilles de poudingues qui s'intercalent au milieu des limons.

### **I.4 Géologie de Béni Saf** : [Documentation de S.N.M.C]

Deux unités géologiques peuvent être distinguées schématiquement dans la région de Béni Saf.

A l'Est, un secteur où prédominent les formations marines tertiaires, le plus souvent carbonatées, qui laissent apparaître localement des formations plus anciennes.

A l'Ouest, un secteur rehaussé au cours du tertiaire et comportant des formations sédimentaires paléozoïques et mésozoïques, marquées surtout à l'Ouest, par d'importants phénomènes volcaniques tertiaires et quaternaires (**basaltes**).

# Chapitre I

---

L'ensemble de ces formations peut être recouvert localement par des lambeaux de formations détritiques ou carbonatées tertiaires.

## **I.4.1 Lithostratigraphie :**

La série stratigraphique représentée dans le secteur Ouest comporte les étages suivants :

- Schistes paléozoïques (Silurien), affleurant dans le secteur du Djebel Skouna et le long de la partie Ouest de la grande faille séparant les deux unités.
- Le Trias, localisé en petits affleurements, notamment à l'Est du Djebel Skouna, est constitué par des argiles et marnes gypsifères.
- Le Jurassique (Lias), présente une série essentiellement calcaire, plus ou moins dolomitisée, apparaissant dans le secteur du Djebel Skouna, et localement aux environs de Béni Saf. C'est dans cette série qu'est localisée la minéralisation ferrugineuse (Baroud, Dar Dir, Camerata...).

Dans le secteur Est, en dehors des schistes primaires de la côte, la série est essentiellement représentée par :

- Le Crétacé, constitué de grès, calcaires, marnes et argiles, affleurant au SE de Béni Saf.
- Le Miocène, qui couvre la majeure partie de ce secteur, est représenté surtout par des calcaires à lithothamnium. Ces calcaires, comprenant des passées détritiques à leur base, reposent en discordance soit sur les grès ou les marnes crétacé, soit directement sur le Lias
- Le Lias et le Paléozoïque, qui apparaissent dans les horsts de la région de Sidi Safi, sont des compartiments de substratum, rehaussés au cours du Miocène supérieur. Notons que la présence de ces pointements, dont l'érosion est contemporaine de la sédimentation miocène, expliquerait la présence et la répartition des faciès détritiques à la base des calcaires à lithothamnium.

## **I.4.2 Tectonique :**

Les deux unités sont séparées par une faille majeure d'orientation NNE - SSW.

Dans l'unité Ouest, cette faille est accompagnée d'un cortège de cassures annexes NW - SE et NS, délimitant des compartiments rehaussés et basculés les uns par rapport aux autres. Vers l'Est, les effets de cette tectonique cassante sont masqués par les formations tertiaires et n'apparaissent que localement à la faveur d'affleurements du socle dans les zones de horsts (horsts de Sidi Safi).



# Chapitre I

Figure 2 : Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 01.



Figure 3: Légende représentant les roches ignées tirée de la légende précédente.

ROCHES IGNÉES	
$\gamma$	<i>Granites, granodiorites</i>
$\mu\gamma$	<i>Microgranites, microgranodiorites</i>
$\delta$	<i>Diorites, gabbros, dolérites</i>
$\rho$	<i>Rhyolites, dellénites, dacites et tufs associés</i>
$\alpha$	<i>Andésites et tufs associés</i>
$\beta$	<i>Basaltes et tufs associés</i>
$\nu$	<i>Phonolites</i>
$\sigma$	<i>Serpentines</i>
$\tau\omega$	<i>Roches associées au Trias (diorites, ophites, gabbros, etc...)</i>

## **II. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE SAÏDA :** [NOTICE EXPLICATIVE de la carte-minute géologique de la feuille N°275 de Ain Balloul au 1/50.000]

### **II. 1 Situation géographique :**

Le môle de Tiffrit constituant aussi l'un des 02 sites de notre étude, se situe juste au bord de la route nationale n°94 près de 30 km au NE du chef lieu de la wilaya de Saïda,

### **II.2 Relief et climat :**

Le climat de la région est subtropical, avec un été sec et très chaud. Les pluies tombent durant la période de novembre à mars, les sommets de montagnes à cette époque sont couverts de neige occasionnellement.

La température moyenne annuelle est de 15,2°C, et la température moyenne mensuelle du mois le plus froid (janvier) est de 8°C, avec des gelées nocturnes, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 28°C, les maximums journaliers atteignent par fois 46°C, durant les mois d'été, les vents de sables chaud (sirocco) sont fréquents.

Le Môle Tiffrit offre un relief accidenté, et s'étend dans la direction SW-NE à travers toute la partie septentrionale de l'ouest des hauts plateaux (Meseta Oranaise). Les niveaux hypsométriques varient de 700 à 1100m d'altitude, avec des dénivellations topographiques allant de 100 à 150m.

### **II.3 Lithostratigraphie :**

La région de Saïda comporte les étages géologiques du Paléozoïque, Mésozoïque, et Cénozoïque. Les roches du Paléozoïque constituent le socle de la plate forme épi-hercynienne, la couverture étant formée par les roches méso-cénozoïques.

#### **II.3.1 Quaternaire (q) :**

Les roches du Quaternaire sont délimitées dans les oueds formant des vallées développées dans le horst de Tiffrit, où on distingue :

- Les dépôts de la dalle carbonatée (tuf, calcaires).
- Les dépôts de pente (éboulis de pente).
- Les dépôts d'alluvions actuels (poudingues, limons sableux).
- Les dépôts de dépression (poudingues, conglomérats).

Les dépôts du quaternaire ont 5 à 10 m d'épaisseur, les dépôts actuels ont jusqu'à 5 m d'épaisseur et ne sont pas portés sur la carte pour des raisons d'échelle.

## II.3.2 Tertiaire (Cénozoïque) :

### ➤ Pliocène - Quaternaire (p-q) :

Les dépôts du Pliocène reposent en discordance stratigraphique sur les roches sédimentaires du Jurassique. Dans la partie Nord de la feuille, dans l'oued de Mechta, ils sont observés dans de petites zones isolées. Ils sont représentés par des conglomérats et plus rarement par des gravélites. Les conglomérats renferment des galets bien émoussés du Jurassique d'une taille de 1-2 à 15-20 cm. Dans la coupe géologique, construite sur la carte de la région de Saïda, on constate souvent l'alternance de couches (1-1.5m) à ciment argileux et carbonaté. L'épaisseur des bancs est de 5 à 10 m, avec un maximum est de 30 m.

En amont de l'oued Tiffrit, les dépôts du Pliocène sont représentés par des travertins mis en place grâce aux eaux courantes et aux sources. Ils représentent 40- 60 m d'épaisseur.

Vu l'absence de fossiles, les dépôts sont attribués au Pliocène par analogie aux roches similaires rapportées aux conglomérats des hauts plateaux.

## II.3.3 Secondaire (Mésozoïque) :

### a) Jurassique supérieur (Malm) :

#### • Oxfordien moyen et supérieur ( $j^{4b-4c}$ ) :

Il est représenté par la formation des grès de Franchetti. Ces roches constituent les sommets les plus élevés des montagnes et les lignes de séparation des eaux. On distingue le complexe de faciès grésodolomitique et le complexe de faciès carbonaté.

Dans la région, seul le complexe de faciès (grésodolomitique) est représenté. Il est développé dans la partie Nord de la carte et formé de dépôts terrigènes rythmiques riches en grès constituant 70 à 80 % de la coupe. Les dolomies gréseuses, les argiles calcaires gris bleuâtres et les marnes tendres sont peu abondantes. L'épaisseur varie de 90 à 280 m.

Les dépôts de l'Oxfordien moyen et supérieur reposent en discordance d'érosion sur les formations du Callovien Oxfordien inférieur.

#### • Callovien-Oxfordien inférieur Indifférenciés ( $j^{3-4a}$ ) :

Les dépôts de ce niveau sont largement développés dans la partie Nord de la carte. Ils sont partout représentés par des argiles à bancs de grès, d'aleurolites, de marnes, de calcaires et de dolomies.

# Chapitre I

---

Les faciès restent réguliers sur de vastes surfaces et l'on observe qu'une faible variation de leur épaisseur.

L'épaisseur de la coupe synthétique est de 290m. L'épaisseur totale des dépôts du Callovien-Oxfordien inférieur liés aux dépressions profondes, atteint selon les données géophysiques 400 m.

La limite inférieure des dépôts du Callovien-Oxfordien inférieur est nette. Partout, ils reposent en discordance d'érosion sur les différents niveaux du Dogger

## **b) Jurassique moyen (Dogger) :**

- **Bajocien-Bathonien (j<sup>1'''-2</sup>) :**

Les calcaires et les dolomies sont recouverts de calcaires oncolithiques, surmontés par des calcaires organogènes. Le sommet des bio-formes est localement transformé en roches fortement silicifiées jusqu'à des quartzites secondaires.

Dans la plupart des coupes, les roches du Bajocien-Bathonien reposent en concordance sur les formations sous-jacentes bajociennes.

- **Bajocien (J<sup>1''</sup>) :**

Le Bajocien est peu représenté sur la feuille, cependant il est un bon repère à l'intérieur de l'assise carbonatée du Dogger séparant les dolomies inférieures de l'Aalénien-Bajocien des calcaires du Bajocien-Bathonien.

Il est représenté par des roches bariolées parmi lesquelles on distingue les complexes de faciès carbonatés, argileux et gréseux. L'épaisseur de bajocien varie de 4 à 30 m.

- **Le complexe de faciès carbonaté :**

Il se rencontre dans la partie occidentale du horst de Tiffrit, dans le secteur de Forhal. Il est représenté par une alternance rythmique de marnes brunes et vertes, de marno-calcaires, de dolomies calcaires, de dolomies et plus rarement de grès.

- **Le complexe de faciès gréseux :**

Ce sont des grès à passées peu puissantes de calcaires. Ils se sont conservés sur de petites surfaces dans la partie Sud-est du horst de Tiffrit. Les grès sont à grains fins. Ils présentent une stratification horizontale, rarement oblique, avec un ciment mixte, l'un est du quartz régénéré et l'autre de contact composé de matériel chlorito-argilo-carbonaté.

Les roches du Bajocien reposent en discordance d'érosion sur celles de l'Aalénien-bajocien. Par leur composition, ils correspondent à des faciès lagunaires.

# Chapitre I

---

- **Aalénien – Bajocien ( <sup>J1-2</sup> ):**

Dans la région, on trouve les complexes de faciès suivants :

- **Le complexe de faciès à dominante dolomitique :**

Il est largement développé dans le horst de Tiffrit, où il repose en discordance d'érosion sur les marno-calcaires du Toarcien.

Ce complexe est constitué de trois unités :

- L'unité inférieure est riche en dolomies micritiques microcristallines calcareuses et argileuses;

- L'unité médiane qui contient des dolomies, est poreuses et cavernueuses, à grains fins et moyens;

- L'unité supérieure correspond à des variétés à grains moyens et grossiers localement poreux et cavernueux.

L'épaisseur totale du complexe du faciès dolomitique est de 23 m, plus haut reposent les argiles et les grès quartzeux du Jurassique supérieur.

- **Le complexe de faciès des dolomies silicifiées :**

Il est développé sur de petits territoires dans la région du djebel Modzbab et constitué par des dolomies micritiques à grains moyens. Les parties supérieures des coupes comportent des nodules siliceux arrondis de 1 à 6 cm de taille, passant localement et progressivement à une roche siliceuse massive à radiolaires.

L'épaisseur des dolomies silicifiées et quartzifiées atteint 10 à 20 m, et l'épaisseur du complexe de faciès entier reste la même que celle du premier complexe de faciès à dominante dolomitique.

- **Le complexe de faciès des dolomies à bancs intercalés de calcaires :**

Ce complexe de faciès n'est développé que dans la partie Nord-Est de la région et plus précisément dans la partie orientale du horst de Tiffrit. Ce complexe est riche en dolomies, les calcaires étant en quantité inférieure, sont souvent en bancs intercalés et constituent le plus souvent la partie supérieure de la coupe. Ce sont des calcaires à grains fins, plus rarement sublithographiques et oncolithiques de 2 à 3 m d'épaisseur. L'épaisseur totale de ce complexe est de 50 à 60 m.

- **Le complexe de faciès des dolomies et des calcaires silicifiés :**

Il n'est développé que dans la partie orientale du horst de Tiffrit à proximité d'Ain Balloul. Dans ce complexe de faciès prédominant des dolomies et des calcaires. Les calcaires représentent dans la majorité des cas la partie supérieure de la coupe et

# Chapitre I

---

contiennent souvent des nodules et des lentilles de silex. Ils reposent en discordance d'érosion sur les calcaires du Toarcien. L'épaisseur est de 40.0 m.

## c) Le Jurassique inférieur :

### • Toarcien (l<sup>7</sup>) :

Les dépôts du Toarcien sont très largement développés dans la région et affleurent dans l'oued Rigou. Sur les photographies aériennes, les dépôts toarciens sont facilement déchiffrables sous forme de bandes étroites claires et sont de bons niveaux repères qui séparent deux assises d'âges différents du Jurassique inférieur et moyen.

Le Toarcien se caractérise par une extension régulière des faciès et des épaisseurs sur des vastes surfaces. Il est représenté par deux complexes de faciès : le faciès calcaréo-marneux et le faciès marno-dolomitique.

#### – Le complexe calcaro-marneux :

Il repose en discordance d'érosion sur le Sinémurien-Pliensbachien et se compose de bas en haut :

-Marno-calcaires, gris verdâtre riches en faunes de Bélemnites, de Pachyodontes et de restes de bois silicifiée (6 m),

- Marno- calcaires de couleur jaune vert à bancs intercalés de marnes (6m),

- Marnes meubles de couleur jaune clair (3 m),

- Marno-calcaires à nids et filonnets de calcite (2 m),

- Marnes meubles à bancs intercalés de marno-calcaires (4m),

-Alternance de calcaires pélitomorphes gris jaunâtres et de marnes gris jaunâtres. La base des calcaires contient des restes fossilisés d'algues de type lis de mur et de gros Pachyodontes (6.5m),

- Marnes vert jaunâtres à passées de marno-calcaires (2 m)

- Marnes meubles, jaune vert à passées de calcaires à Rhynchonelles et Pachyodontes (19 m)

- Calcaires gris pélitomorphes massifs (5m)

L'épaisseur de la coupe est de 54 m environ.

#### – Le complexe dolomitico-marneux :

Il est visible dans la partie occidentale du Horst de Tiffrit. Les coupes complètes et représentatives de ce complexe de faciès s'observent dans les oueds Babkha, Tiffrit

# Chapitre I

---

et Rigou. Il repose en discordance d'érosion sur le Sinémurien-Pliensbachien et représenté de bas en haut par des :

- Dolomies argileuses gris rosâtres à stratification horizontale (3.4m),
- Marno-calcaires jaunes à grains fins massifs (4.6m),
- Dolomies gris clair à nodules argileux de couleur gris rosâtre sur 4m d'épaisseur,
- Marno-calcaires, gris jaunâtres, massifs, renfermant des Rhynchonelles (3.8m),
- Marnes dolomitiques gris rosâtres (4.2m). L'épaisseur totale est de 20m.

Dans la plupart des coupes, les dépôts du Toarcien reposent avec des traces de lacune de sédimentation sur le Sinémurien-Pliensbachien et dans l'oued Babkha sur les formations du Paléozoïque.

- **Sinémurien – Pliensbachien indifférencié (I<sup>3-6</sup>) :**

Les dépôts de cet étage sont très largement développés dans les parties centrales du horst Tiffrit. La coupe des dépôts est variable. On distingue plusieurs complexes de faciès pouvant être considérés comme des types différents et se présentent comme suit :

- **Complexe de faciès de dolomies à bancs intercalés de calcaires :**

Ce complexe de faciès est représenté en général par des dolomies à bancs intercalés de brèches sédimentaires et de calcaires.

Dans le horst, les faciès sont réguliers sur de grandes surfaces (l'irrégularité ne concerne que leurs épaisseurs).

Toute l'assise est représentée par des dolomies (70 à 90 %) avec à la base des dolomies argileuses, au milieu des passées de brèches sédimentaires et au sommet apparaissent les dolomies calcaires et les calcaires. L'épaisseur totale n'excède pas 20 m.

- **Complexe de faciès de dolomies silicifiées à passés de calcaires :**

Ce complexe de faciès est exclusif à la feuille n°275. Il apparaît dans la partie centrale du horst sur une superficie de 7 km<sup>2</sup> environ, au niveau du flanc occidental du Djebel Aou-Zaater, Il repose en discordance d'érosion sur le Trias. Il est constitué de bas en haut :

- Argiles gris bleuâtres fortement calcaires et gréseuses avec des grains réguliers de quartz et d'argiles rouge brun à la base (1.5m) ;
- Dolomies micritiques gris rosâtres faiblement calcaires et argileuses à stratification horizontale. Le toit renferme une intercalation de calcaires dolomitiques gris : (2.2m) ;
- Dolomies micritiques grises à stratification horizontale (5.5m) ;

# Chapitre I

---

- Brèches sédimentaires à fragments anguleux de dolomies micritiques, de couleur gris clair de 0.5 x 3.0 cm de taille, cimentés par des dolomies micritiques gris rosâtres (8.3m) ;

- Dolomies fortement silicifiées et ferrugineuses de couleur gris brunâtre fortement fissurées, comblées de quartz filonien blanc et gris (4.0m).

L'épaisseur du complexe est de 22 m. On suppose que ces roches se sont mises en place dans des conditions de formation de la croûte d'altération, car on observe partout des passages graduels des roches silico-ferrugineuses aux variétés saines de dolomies ou aux brèches sédimentaires.

Les rapports des roches du Sinémurien-Pliensbachien avec les roches sous jacentes sont nets. Dans la plupart des cas, elles reposent en discordance d'érosion sur les roches du Trias ou du Paléozoïque.

## d) Trias (t) :

Sur l'ensemble de la région de Saida, le Trias n'affleure que sur la feuille 275 de Ain Balloul dans le Horst de Tiffrit, cependant il est reconnu ailleurs à la faveur de sondages, notamment à proximité de Saida (feuille 304), dans le secteur de Khenifer (feuille 305) et dans la région de Takhemaret (feuille 245).

Toutes les coupes du Trias sont représentées par des dépôts mis en place en milieu lagunaire. La gamme des dépôts permet de dégager les lagunes du bassin ouvert qui sont caractéristiques pour le horst de Tiffrit.

La coupe la plus caractéristique des dépôts triasiques localisés dans les lagunes de type ouvert est décrite dans l'affleurement à proximité du village d'Ain Soltane sur les granites-porphyles paléozoïques, où on distingue de bas en haut :

- Dolomies marneuses, gris brunâtres contenant de rares fragments sub-arrondis de granites-porphyles de 2 à 3 cm de taille (1.0 m).

- Dolomies argilo-calcaires, brunâtres, détritiques à stratification horizontale contenant de rares grains de quartz blanc (1 à 3 mm) (0.4m).

- Dolomies micritiques, gris clair en grosses plaquettes (3.2 m).

- Dolomies micritiques grises, massives silicifiées. Le toit de 0.3 m d'épaisseur, contient des dolomies calcaires. La surface supérieure des dolomies est irrégulière et présente des cavernes et des traces d'organismes, des fissures de dessiccation comblées de quartz calcédonieux (2.8m).

- **Basaltes doléritique vert foncés à grains fins (28.0m).**

- **Basaltes amygdalaires verts à grains fins.** Les amygdales de taille 1 à 5 mm sont composées de chlorite et d'agate à structure concentrique. La roche est fissurée et comblée de quartz blanc passant à des druses en brosse et des cristaux automorphes d'améthyste violet clair (5.7m).

# Chapitre I

---

- Argiles rouges et brunes fortement gréseuses. La base contient des débris reliques de basaltes amygdalaires (3.5m).

L'épaisseur totale de la coupe est de 45 m.

A l'Ouest de Ain Soltane, sur la rive gauche de l'oued Rigou, la puissance du Trias est réduite à 20 ou 15 m. La coupe ne contient pas de dolomies. Les basaltes amygdalaires, gris verdâtres, sont transformés en roches décolorées contenant 10 à 22 % de sanidine, qui remplit les amygdales et visible également dans les filonnets.

La majorité des affleurements du Trias, le long des oueds de Mimoun, Chaaba et Tiffrit ne présentent pas de dolomies et renferment tous des basaltes, des conglomérats dont l'épaisseur varie de 1-2 à 20 m. Ces conglomérats rappellent des alluvions grossières mal consolidées. Les galets peu émoussés de taille 1-2 cm sont composés de grés, schistes phanites, granites porphyres quartzeux, microgranites, granodiorites et le ciment est grés-argileux.

Dans les cours supérieurs des oueds Rigou et Balkha, les dépôts triasiques se réduisent rapidement ou bien ne figurent pas dans la coupe. Ils ne sont représentés que par des croûtes d'altération grés-argileuses de couleur rouge brun, atteignant jusqu'à 2 m d'épaisseur et reposent sur les roches du Paléozoïque.

Les dépôts du Trias reposent en discordance angulaire et stratigraphique bien prononcée sur les roches du Paléozoïque.

## II.3.4 Primaire (paléozoïque) :

Les roches du Paléozoïque affleurent sur une grande surface et représentent le horst de Tiffrit qui affleure en boutonnière.

Dans le Paléozoïque, on distingue les dépôts du Silurien, Dévonien et Carbonifère, qui selon leur position et composition lithologique, la faune et les restes de la flore sont facilement corrélables.

La coupe géologique globale du Paléozoïque de la région, depuis le Silurien jusqu'au Carbonifère, est représentée principalement par un complexe de faciès schisto-gréseux, et ce n'est qu'au sommet du Carbonifère qu'apparaissent les formations magmatiques. L'épaisseur totale des dépôts dépasse 1400 m.

## II.4 Le magmatisme :

Dans la région de Tiffrit, l'activité magmatique s'est manifestée à plusieurs reprises et se présente comme suit :

- ✓ **Epanchement de laves basiques et neutres durant la période anté-silurienne**
- ✓ Au Silurien, mise en place de granites et de syénites.

# Chapitre I

---

- ✓ Au Carbonifère, l'activité volcanique engendre des tufs et des laves clastiques neutres et acides.
- ✓ Au Permien, mise en place de grandes intrusions granitiques et de roches filoniennes associées.
- ✓ **Au Mésozoïque, épanchements de laves basiques et mise en place des basaltes au Trias à plusieurs reprises.**

La région d'Ain Balloul est caractérisée par la superposition dans le temps et dans l'espace de plusieurs épisodes magmatiques successifs (volcanique ou plutonique), qui se sont succédé comme suit :

-Epanchement de laves de composition basique ou neutre au cours de la période anté-silurienne, à l'étape initiale du développement du géosynclinal et au stade de la subsidence intense. Les résultats de l'interprétation du champ magnétique (Aeroservice Corporation, 1974) mettent en évidence à des profondeurs de 700-5000m, des corps magnétiques qui sembleraient correspondre à des roches basiques et neutres reposant à la base du primaire. Cette hypothèse se confirme par la présence de fragments de laves basiques et neutres souvent rencontrés dans la partie clastique des grès du Silurien.

-Le cycle suivant de l'activité magmatique s'est probablement manifesté au Silurien par la mise en place de granites et de syénites lors des mouvements orogéniques pendant le Silurien.

Dans le horst de Tiffrit, où affleurent les roches du Paléozoïque, ces intrusions n'ont pas été observées, par contre la partie clastique des gravelites et des grès du Dévonien et du Carbonifère renferment localement des fragments de granites et de syénites, qui n'ont pas d'équivalents dans les formations intrusives plus tardives.

-L'activité volcanique post-viséenne est caractérisée par la présence des tufs et des laves clastiques de composition neutre et acide au carbonifère (viséen), particulièrement bien représentées sur le chemin de Sidi Mimoun au Bled Beida et aussi à l'Ouest du confluent de l'oued Chaaba et de l'oued Tiffrit.

Elle est caractérisée par la présence de tuf acide et intermédiaire à la base, et des laves clastiques au sommet sur près de 40 m d'épaisseur.

Dans la région de Djorf El Agab, dans la bordure Nord du horst, Les tufs acides sont constitués d'agrégats agglomérés consolidés de verre volcanique, de débris de laves dacitiques, de grains de quartz superficiellement fondus, de micas décolorés et de séricite. Les tufs intermédiaires qui sont rares, sont constitués d'agrégats de verre volcanique recristallisés et chloritisés, de porphyrites andésitiques et de laves bulleuses basiques.

# Chapitre I

---

Les laves clastiques dacitiques sont constituées de débris fondus de quartz et de feldspaths, de laves dacitiques cimentées par des dacites. La structure de la roche est fluidale.

## **-Intrusions granitiques et roches filoniennes associées au Permien:**

Le granite forme un vaste massif, visible dans la vallée de Ain Kerma et de l'oued Chaaba (6x4 km environ). Ces affleurements se rejoignent plus ou moins dans la vallée de Tiffrit. La roche est profondément arénisée. De nombreux blocs sont épars à la surface ou encore engagés dans l'arène. Le massif granitique semble prolongé dans l'oued Tiffrit, entre l'oued Chaaba et le Djebel Barhal par des apophyses de dimensions restreintes en contact avec le Silurien ou le Dévonien, et dont la partie orientale semble donner naissance à un complexe filonien.

Du côté opposé, dans la boutonnière d'Ain Soltane, entre le Djebel Mechata et le Djebel Modzbab, il est bien évident que la masse de microgranite qui affleure, appartient au même massif que le granite de Tiffrit.

La fin de l'orogénèse hercynienne (Permien) est marquée par de grandes intrusions granitiques recoupant les roches sédimentaires et effusives du Primaire. Ces intrusions de composition biphasée, présentent une première phase marquée par la mise en place de granites à biotite et une deuxième phase (la principale), se caractérisée par des granites porphyres.

### **– Granite à biotite :**

Ces roches représentent les premières intrusions magmatiques, dont la plus grande intrusion de 10 à 12 km<sup>2</sup>, affleure dans les oueds Bou Guenet, Ramlat et Chaaba. D'autres plus petites (moins de 0.2 km<sup>2</sup>), se rencontrent sur la rive droite de l'oued Tiffrit. Dans notre secteur, ils se montrent dans la partie Sud-Est de la feuille. Ces granites recoupent les roches sédimentaires du Silurien, Dévonien et Carbonifère.

Au contact de ces granites, les roches sédimentaires sont transformées en cornéennes sur des zones allant de 1 à 2 m de largeur. Ces intrusions sont représentées par :

- Des granites à biotite, qui constituent la majeure partie des corps intrusifs, de couleur grise, à grains moyens et des rares phénocristaux de feldspaths. La composition minéralogique présente 30% de quartz, 35 % de plagioclase (oligoclase-andésine), 15 % d'orthoclase à micro-perthite d'albite, 15 % de biotite et 5 % de hornblende. Les minéraux accessoires sont représentés par du zircon, de l'apatite et de la magnétite.

- Des monzonites quartzifères et des roches proches de faciès rhyolitiques, apparaissent au contact des roches sédimentaires. Le passage entre les granites à biotite et ces monzonites quartzifères est graduel et s'étale sur 1 à 6 m.

# Chapitre I

---

Un complexe filonien peu développé qui se localise souvent dans les zones d'endo et d'exo-contact, est représenté par de rares filons pegmatitiques à Oued Bou Guenet et des filons de granite aplitique à Oued Chaaba.

## – **Granites porphyres :**

Ces granites occupent de grandes surfaces très remarquables. Leur mise en place se rapporte à la seconde phase intrusive principale. La grande intrusion de granites-porphyles de Tiffrit, s'étend sur plus de 800 km<sup>2</sup>. Dans notre secteur, ils affleurent dans la partie Sud – Est de la feuille.

Des contacts intrusifs francs, s'observent entre les granites-porphyles et des roches sédimentaires du Paléozoïque. Vers le Nord de Ain Soltane, ce contact se fait par l'intermédiaire des schistes du Silurien. Dans l'Oued Touazil, il est marqué dans les grès et les schistes viséens à faune Carbonifère.

Les relations avec les roches de la première phase, les granites à biotite s'observent le long de la rive droite de l'oued Tiffrit. Un dyke de granite-porphyre de 12 m de puissance et près de 150 m de long, recoupe une intrusion de granite à biotite.

Des cornéennes à andalousites et à cordiérite atteignant 1.0 à 15 m d'épaisseur, s'observent souvent dans les grès et les schistes paléozoïques.

Ces granites porphyres sont caractérisés par une couleur grise à gris rosâtre, finement grenus et à cristaux de feldspath et de quartz (35 à 45%), d'albite et d'oligoclase souvent à structure zonée, de biotite, d'apatite et de zircon.

Le complexe filonien satellitaire post intrusion est caractérisé par des dykes de 1-2 m à 20-25 m d'épaisseur et jusqu'à 600 m de long.

Ces derniers sont représentés par :

## – **Dykes de roches basiques :**

Ils sont caractérisés par des diabases qui affleurent en amont des oueds Rigou et d'Ain Soltane. Ce sont des roches sombres parfois finement grenues jusqu'à crypto cristallines, à rares microcristaux de pyroxène et d'hornblende.

## – **Dykes de roches acides :**

Ils sont représentés par des porphyres quartzeux, qui passent parfois à des plagiogranites, souvent visibles dans les bassins des oueds Tiffrit, Ain Soltane, Rigou et Touazil. Les roches sont à texture porphyrique à aplitique et rarement micro granitique. Les phénocristaux sont représentés par des cristaux de plagioclases (albite-oligoclase) et du quartz xénomorphe. Le fond uniforme est constitué de quartz, de feldspath et de muscovite. Les minéraux accessoires sont représentés par l'apatite et le zircon.

# Chapitre I

---

## – Dykes dioritiques et porphyre dioritiques :

Ils se limitent à de rares dykes à structures dioritiques, constitués de feldspaths plagioclases de type intermédiaire à basique, de pyroxène (diopside) et de hornblende. La structure est de type dioritique à intersertale.

## – Epanchements successifs de laves de composition basique :

Ils sont caractérisés essentiellement par des basaltes mis en place pendant la période triasique. Ce sont des coulées de type islandais, épanchées sur un pays remarquablement plat sous forme de sills ou filons couchés. **Il s'agit d'un basalte doléritique à structure plus ou moins intersertale riche en verre**, contenant des plagioclases, des pyroxènes (augite) en cristaux ophitiques ou en grains, des péridots et des plages irrégulières de chlorite.

## II.5 Tectonique :

La région de Saïda est localisée dans la zone des hauts plateaux (Meseta Oranaise) de l'Algérie occidentale. Ces derniers forment une grande unité morpho-tectonique, séparant l'Atlas Tellien central et occidental de l'Atlas Saharien. Il s'agit d'une jeune plate-forme avec un socle Hercynien relevé, et des épaisseurs réduites de la couverture méso-cénozoïque. Elle se caractérise par un grand nombre d'accidents cassants à fort pendage et une structure en Horst et grabens.

La feuille 275, montre la présence du socle hercynien affleurant en boutonnière, faisant partie de la grande structure du horst anticlinal de Saïda, c'est un bloc tectonique de 20 Km de large, étiré vers le Nord Est, limité au Nord et au Nord Ouest par la grande faille de Tiffrit, en forme d'arc, dont le rejet vertical atteint 300 m. la plus grande partie de ce horst affleurant, se situe sur cette feuille, ses parties Sud et Ouest se trouvent sur les feuilles 274, 304 et 305. Il est limité à l'Ouest par la faille de Saïda, de direction subméridionale au Sud et au Sud - Est et par les failles de Khénifère et Khénifer-Sud. Ces failles ont des rejets verticaux de près de 100 m.

Le style tectonique est en général du type cassant, mais il est caractérisé également par quelques déformations souples. Les failles sont sub-verticales dans leur ensemble. La fragmentation de la région en horsts et grabens, est le résultat des rejeux sub-verticaux et dispersifs des accidents profonds qui affectent le socle hercynien.

Le horst est divisé par des failles de direction NE, rarement NW, en une série de petits blocs tectoniques.

Dans le noyau de cette structure, affleure le socle paléozoïque. Le flanc SE s'ennoie progressivement sous les dépôts du Néogène-Quaternaire de la dépression du

# Chapitre I

---

Chott Chergui, tandis que le flanc NW à pendage plus raide est constitué de dépôts du Jurassique supérieur.



# Chapitre I

Figure 6 : légende de la carte d'Ain balloul



# Chapitre I

Figure 7: Série stratigraphique et lithologique relative aux figures 05/06.

Système	Sous-système	Etages	Index	LITHOLOGIE	Epaisseur m	DESCRIPTION DES ROCHES	
							Quaternaire
JURASSIQUE	MALM	Oxfordien	J 4b-4c		280	Grès, dolomies, dolomies gréseuses, argiles et marnes Faune : Pseudocyclammina jaccord	
			Callovien	J 3-4a		250	Argiles aleurolitiques, marnes, grès, grès calcaireux, argiles Faune : Reineckeia (kellawaysites) transiens Till R. (Kallawaysites) allemanica Zeiss Choffatia Waageni (Zeiss) et autres
		DOGGER	Bathonien	J 1'''-2		0-80	Calcaires et dolomies, calcaires coralliens et détritiques avec barytine et galène, conglomérats. Faune : Pholadomya buchi (Roemer), ph. argustata (Sowerby), Corbis lajoyei (Archiac) et autres
				Bajocien	J 1''		0-25
			Aalenien	i <sup>8</sup> J 1'		60-140	Dolomies, calcaires, calcaires coralliens, brèches sédimentaires, marnes, dolomies argileuses Faune : Hyperlioceras discitifforme, Ludwigella rudis, Dépacoceras fallax, reynesella piodes et autres
				Toarcien	i 7		8-30
	LIAS	Sinémurien-Pliensbachien	i 3-6		0-110	Dolomies, marnes, calcaires, brèches sédimentaires à barytine Faune : Pecten dieulafait, Rhynchonella gr. de Rh. Bouchardi spiriferina aff. rupestris et autres	
			TRIAS	t		0-80	Basaltes, calcaires, dolomies, conglomérats, argiles Faune : Anoplophora lettica Q. Cypricardia porrecta
	CARBONIFERE	INFERIEUR	VISEEN	1b h		300	Conglomérats, grès, schistes argileux, tufs volcaniques et laves clastiques dacitiques faune : Productus hemisphericus Sow, p. striatus fischer, p.Pseudoplatilis Muir-Wood et autres
	DEVONIEN			d		300	Schistes, grès, conglomérats Flore : psilophytales (?) archeopteris (?)
	SILURIEN			s		600	Schistes, grès, phtanites faune : Monograptus vulgaris, m. Tackeli, M. Flemingi du Wenlock, M. planus, petalograptus folium

### A. GENERALITES SUR LES GRANULATS :

#### I. GENERALITES SUR LES GRANULATS :

##### I.1 Définition : [F. Gabrysiak: Les granulats]

On appelle granulat un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- des mortiers, des bétons,
- des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées,
- et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Ils sont appelés fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions :

La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminant par analyse granulométrique à l'aide de tamis. Le granulat est désigné par le couple  $d/D$  avec :

- d: dimension inférieure du granulat,
- D: dimension supérieure du granulat.

Les intervalles  $d/D$  et  $0/D$  sont appelés classes granulaires.

La norme XP P 18-540 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions :

- Les Fillers  $0/D$  : où  $D < 2$  mm, avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Les Sablons  $0/D$  : où  $D < 1$  mm ;
- Les Sables  $0/D$  : où  $1 < D < 6,3$  mm ;
- Les Gravillons  $d/D$  : où  $d > 1$  mm et  $D < 125$  mm ;
- Les Graves  $0/D$  : où  $D > 6,3$  mm ;
- Les Ballaste  $d/D$  : où  $d \geq 25$  mm et  $D \leq 50$  mm.

##### I.2 Les différents types de granulats : [RICHARD Maillot, *Mémento technique des granulats*. Les Presses de l'École des Mines (2001)]

- **Les granulats naturels** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- **Les granulats artificiels** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.
- **Les granulats recyclés** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que les bétons de démolition de bâtiments.

### **I.2.1 les granulats naturels :**

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives. Les roches meubles (matériaux alluvionnaires) sont exploitées le long des fleuves et des rivières. Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes; les roches massives éruptives constituent les massifs anciens.

#### **I.2.1.1 les granulats naturels d'origine minéralogique :**

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent des roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzs et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

#### **I.2.1.2 Granulats roulés et granulats de carrières**

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

##### **a) Les granulats de roche meuble :**

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou en présence d'eau.

##### **b) Les granulats de roche massive :**

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

### **I.2.2 Granulats artificiels :**

Des granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

#### **I.2.2.1 Sous-produits industriels, concassés ou non :**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

#### **I.2.2.2 Granulats à hautes caractéristiques :**

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

### I.2.3 Granulats recyclés :

Ce sont essentiellement des granulats obtenus par recyclage du béton de démolition.

### I.2.4 Granulats et composants légers :

#### a) Les granulats légers :

Usuels sont l'argile expansée, le schiste expansé ou le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids sont intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

#### b) Les composants légers :

Sont d'origine aussi bien organique (végétale,...) que minérale. Le polystyrène expansé et le liège, d'origine non minérale, le bois, ainsi que la vermiculite sont également utilisés pour réaliser des bétons très légers en isolation ou pour des chapes. Très légers – de 20 à 100 kg/m<sup>3</sup> – ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m<sup>3</sup>. Ils sont donc particulièrement adaptés pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles ou rechargements sur planchers peu résistants.

## II. CARACTERISTIQUES DES GRANULATS : [RICHARD Maillot, *Mémento technique des granulats*. Les Presses de l'Ecole des Mines (2001)]

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition.

Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques.

Les granulats sont considérés comme courants lorsque leur masse volumique est supérieure à 2 t/m<sup>3</sup> et légers si leur masse est inférieure à 2 t/m<sup>3</sup>. Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent de leur origine et de leur procédé d'élaboration.

Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques.

- Des caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, par exemple :
  - la masse volumique réelle ;
  - l'absorption d'eau et la porosité ;
  - la sensibilité au gel ;
  - la résistance à la fragmentation et au polissage ;
  - la gélivité.

- Des caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier :
  - la granularité ;
  - la forme (aplatissement) ;
  - la propreté des sables.

Les caractéristiques des granulats sont fonction de leurs familles (gravillons, sables, fillers) et font l'objet de méthode de détermination adaptée.

### II.1 Caractéristiques géométriques :

#### II.1.1 Classe granulaire :

Les granulats sont désignés selon leur classe granulaire  $d/D$  (avec  $d$ : dimension inférieure et  $D$  : dimension supérieure). L'intervalle  $d/D$  est appelé classe granulaire. Les classes granulaires sont spécifiées en utilisant des séries de dimensions de tamis (en mm).

#### II.1.2 Granularité :

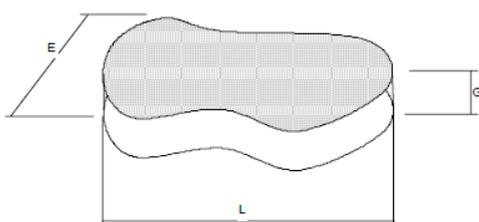
La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains contenus dans un granulat. Elle est déterminée par tamisage (avec une série de tamis, de dimensions d'ouvertures décroissantes) et exprime le pourcentage massique de granulats passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis. La proportion de particules retenues par un tamis s'appelle le refus, son complément le passant. Elle est représentée par une courbe granulométrique représentant les dimensions de tamis en abscisses et en ordonnées les pourcentages de passants cumulés à travers les tamis successifs (en poids de grains).

#### II.1.3 Forme des gravillons : [F. Gabrysiak, Les granulats]

##### ❖ Coefficient d'aplatissement :

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions principales :

- Longueur ( $L$ ) : le plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles,
- Epaisseur ( $E$ ) : le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles,
- Grosseur ( $G$ ) : dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.



**Figure 8** : dimension du granulat

Le coefficient d'aplatissement des granulats permet de caractériser la forme des granulats dont la dimension est comprise entre 4 et 80 mm et de suivre la régularité des fournitures de gravillons.

## Chapitre II

---

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

Le coefficient d'aplatissement représente le pourcentage d'éléments d'un granulat tel que :  $E/G > 1,58$ .

### ❖ Module de finesse :

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis de module } \{ 23, 26, 29, 32, 35, 38 \}$$

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5 \}$$

Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.

## II.2 Caractéristiques physico-chimiques :

### II.2.1 Propreté des granulats :

La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée.

Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau). Dans le cas des sables, la propreté (SE : Sand equivalent) est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau.

L'essai consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent, après floculation des sables, à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage (plus la valeur de SE est grande, plus le sable est propre). Elle peut également être évaluée par l'essai au bleu de méthylène – plus la valeur de bleu de méthylène (VB) est petite, plus les sables sont propres. Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

**II.3 Caractéristiques physiques et mécaniques :** [M. CHANANE Larouci(2008) : Mémoire de magister, RICHARD Maillot, Mémento technique des granulats. Les Presses de l'École des Mines (2001)]

### II.3.1 Qualités physico-mécaniques :

Les propriétés physiques correspondent à la résistance externe et interne aux contraintes qui s'exercent sur le matériau solide (BELLAIR et POMEROL, 1984), tandis

## Chapitre II

---

que les propriétés mécaniques correspondent à la dynamique interne et externe d'un matériau solide (WATTERS et al, 1985). Ces propriétés physico-mécaniques sont exprimées par :

### 1 La densité :

Qui doit être élevée pour mieux résister aux différents efforts auxquels le matériau est soumis. Un bon matériau devra avoir une densité apparente au moins égale à 2,5 par rapport à un optimum de masse volumique compris entre 2 et 2,8 (WATTERS et al, 1985).

### 2 La dureté :

Elle correspond à la résistance mécanique aux efforts reçus par chocs, ainsi qu'à l'usure par abrasion du fait de vibrations engendrées dans la masse par les charges roulantes dans le cas de la circulation des trains. Elle représente la caractéristique dominante des granulats et désigne la capacité de résistance (forte ou faible) d'un matériau solide à la destruction de sa structure (usure).

Un matériau A rayé à sa surface par un matériau B, est moins dur (BELLAIR et POMEROL, 1984).

La dureté en tant que paramètre physique est calculée en terme de dureté effective, qui dépend essentiellement des paramètres mécaniques tels que la résistance à la compression (**Rc**) et la traction (**RT**) qui sont déterminées par les formules suivantes :

#### a) Résistance à la compression (**Rc**):

Elle correspond au rapport de la contrainte normale appliquée sur une surface donnée, d'où  $Rc = Fmax / S$ , qui s'exprime en [**Kgf/cm<sup>2</sup>**],

Où :

**Fmax** : est la force de compression maximale e  
**S** : est la surface (cm<sup>2</sup>) sur laquelle l'effort est appliqué.

Aussi, on peut déterminer la résistance à la compression en fonction de la dureté effective par la formule suivante :

$$f = Rc / 100 \rightarrow Rc = 100 * f \text{ en } [Kgf/cm^2] \text{ (KOVALENKO, 1986).}$$

#### b) Résistance à la traction (**RT**):

Elle est mesurée suivant l'essai Brésilien qui consiste à appliquer un effort de compression diamétralement opposé aux parois d'un cylindre, qui doit avoir un élancement de hauteur (**H**) et de diamètre (**D**) égal à 0.5 de manière à générer une traction uniforme et homogène. On augmente l'effort de compression jusqu'à la rupture du cylindre. Pour une charge de compression à la rupture (**Fmax**), la contrainte de traction (**RT**) générée est :

$$RT = 2 * F / (\pi * H * D).$$

## Chapitre II

---

Notons que la résistance à la traction **RT** (rupture triaxiale) d'un matériau solide est très faible par rapport à sa résistance à la compression **Rc** (rupture uni axiale) à cause des surfaces d'affaiblissements structurales qu'il renferme.

Toutefois, on peut déterminer la résistance à la traction (**RT**) moyenne en fonction de la résistance à la compression (**Rc**), par la relation suivante (KOVALENKO, 1986) :

$$RT = (0.08 + 0.12/2) \times Rc, \text{ en [Kgf/cm}^2\text{]}.$$

La valeur de la dureté effective est étroitement liée à la solidité, la structure, la texture et la composition minéralogique (KOVALENKO, 1986).

### 3 La non gélivité :

C'est la résistance des granulats contre l'effet du gel, c'est à dire, plus un granulat est imperméable, plus il est mieux protégé et insensible aux effets du gel, qui se traduit par la résistance à l'écaillage et aux cycles d'imbibition-dessiccation en présence des eaux et des solutions minérales tels que les sels fondants (GABRYSIK, 2002).

### 4 La perméabilité :

Elle sera plus grande et meilleure, en fonction des vides (porosité) existant entre les granulats. C'est donc un problème lié à la granulométrie des granulats ainsi qu'à la dureté, car l'abrasion produit des poussières qui comblent progressivement les vides et freinent l'écoulement de l'eau (THOMAS, LABAILLY, 2005).

### 5 La dilatation :

Sous l'effet de réchauffement (expansion thermique) ou d'humidité, le matériau solide accuse une expansion, un gonflement ou une augmentation de son volume.

### 6 La rétraction/contraction :

Elles correspondent à la réponse mécanique de raccourcissement, qui se traduit par un durcissement suite à une diminution de volume ou de longueur, ou bien c'est le retour du matériau solide à son état initial après dilatation.

### 7 L'élasticité :

Désigne la capacité d'un matériau solide déformé à retrouver sa forme initiale après suppression de la contrainte, il s'agit d'une déformation momentanée, très faible (<1%) et réversible.

### 8 La plasticité :

Désigne la capacité d'un matériau à se déformer sous l'effet d'une contrainte et à conserver sa déformation une fois la contrainte supprimée, il s'agit d'une déformation permanente plus forte et irréversible.

### II.3.2 Résistance à l'usure des gravillons :

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau. Cet essai consiste à reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure par frottements. Cette résistance est caractérisée par le coefficient Micro-Deval MDE qui représente la proportion d'éléments fins produits

## Chapitre II

---

pendant l'essai. Plus le coefficient (MDE) est faible, plus la résistance à l'usure des gravillons est élevée.

### II.3.3 Porosité :

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

$$\rho = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

### II.3.4 Résistance à la fragmentation des gravillons :

La résistance à la fragmentation est déterminée par le coefficient Los Angeles. Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. L'essai consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques. Le coefficient Los Angeles représente la proportion d'éléments finis produits au cours de l'essai. Plus le coefficient LA est faible, plus la résistance des gravillons est élevée.

### II.3.5 Résistance au polissage des gravillons :

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement. Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.

### II.3.5 Coefficient d'absorption d'eau $A_b$ :

Le coefficient d'absorption d'eau  $A_b$  représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat.

$$A_b = 100 \frac{M_a - M_s}{M_s}$$

$M_a$  : la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24h.

$M_s$  : la masse d'échantillon sec

Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

### II.3.6 Masse volumique absolue (MVA) :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon au volume de la matière solide de celui-ci (hors pores).

$$MVA = \frac{M_s}{V_t - V_v} \quad (\text{tonnes/m}^3)$$

### II.3.7 Masse volumique réelle (MVR) :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon au volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores.

$$MVR = \frac{M_s}{V_t} \quad (\text{Tonnes /m}^3)$$

### II.3.8 Résistance des gravillons au gel-dégel :

La vulnérabilité du granulats dans le béton à l'action du gel-dégel est fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton (utilisation par exemple d'air entraîné).

**II.4 Caractéristiques chimiques :** [RICHARD Maillot, *Mémento technique des granulats*. Les Presses de l'Ecole des Mines (2001)]

#### II.4.1 Teneur en ions chlorures :

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée.

#### II.4.2 Réactivités aux alcalis :

Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali-réaction peuvent provoquer un gonflement du béton. Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP).

#### II.4.3 Teneur en soufre et en sulfates :

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total (S) n'excède pas 0,4 % en masse.

La teneur en sulfates (SO<sub>3</sub>) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. Les sulfates peuvent perturber la prise et les actions des adjuvants d'où la nécessité de limiter leur teneur dans le béton.

**II.5 Caractéristiques esthétiques** [RICHARD Maillot, *Mémento technique des granulats*. Les Presses de l'Ecole des Mines (2001)]

Les granulats contribuent à la teinte des parements des bétons. Ils sont mis en valeur en fonction du traitement de surface appliqué. On utilise indifféremment en fonction des disponibilités et de l'aspect recherché des granulats roulés, concassés ou semi-concassés. Les sables et les gravillons sont disponibles dans une large variété de teintes naturelles.

### B. GENERALITE SUR LES ROCHES BASIQUES :

Les roches basiques sont caractérisées par : [WATTERS et Al, 1985 ; GIAFFERI, 2003]

- ❖ Un taux de *silice*, compris entre (55% et 45%),
- ❖ Une dominance de minéraux de *Plagioclases*,
- ❖ La présence de minéraux ferromagnésiens tels que : l'*Olivine*, les *Pyroxènes*, et les *amphiboles*,
- ❖ L'existence des oxydes de fer comme la *Magnétite* et l'*Ilménite*.

### I. LES DIFFERENTS GROUPES DES ROCHES BASIQUES : [BORDET, 1979 ; BELLAIR et POMEROL, 1984]

#### I.1 Roche de profondeur :

A texture grenue, comme le Gabbro, l'Euphotide et la Troctolite.

**Le Gabbro** : est une roche formée de plagioclases associés aux pyroxènes. Les gabbros peuvent aussi contenir de l'olivine, d'oxydes de fer et de l'amphibole. Il se présente soit en massifs indépendant, soit associé à d'autres roches basiques, sous forme de filons et dykes.

*Les gabbros se présentent aussi sous forme d'Euphotides*: qui correspondent à une variété à gros cristaux de plagioclase vert, saussuritisé et de diallage à reflet bronzé.

Et en **Troctolites**: qui sont des gabbros à plagioclase et olivine où ce dernier remplace souvent le pyroxène. Les taches noirâtres de magnétite entourant l'olivine serpentinisée lui ont valu le nom de « *roche truitée* ».

#### I.2 Roches de demi-profondeur:

À texture ophitique comme la Dolérite, l'Ophite, le Diabase. La texture ophitique est un type de cristallisation où les minéraux sombres (pyroxènes) sont les premiers qui se cristallisent sous forme de baguettes, alternés par les minéraux clairs (plagioclases).

La texture ophitique présente 04 types de roches:

**Les dolérites**: formées de lattes automorphes de plagioclases (andésine, labrador), moulées et intriquées dans des cristaux de pyroxènes interstitiels, formant une structure ophitique, ces roches contiennent aussi parfois un peu d'amphibole, d'olivine et d'oxyde de fer (magnétite). Ce sont des roches sous saturées en silice (52 à 45%), denses (2.8 à 3). Elles sont en général massives et compactes, grises à noires, plus souvent en vert sombre.

**Les ophites**: sont des roches voisines des dolérites à grands cristaux de pyroxène (augite diallagique) englobant des petites lattes de plagioclases (andésine, labrador). Les pyroxènes, fréquemment altérés, confèrent à la roche un aspect d'une peau de

## Chapitre II

---

serpent (d'où leur nom) qui, prend une belle teinte verte par la transformation des pyroxènes en serpentine, en ouralite et en chlorite. Les lattes de plagioclases s'altèrent souvent en épidote. Ces roches sont très fréquentes en Algérie.

**Les diabases:** sont des dolérites dans lesquelles les pyroxènes ont été ouralitisés (mélange d'amphiboles vert pâle, de type actinote et hornblende, formés par altération de certains pyroxènes. Les pyroxènes partiellement transformés en chlorite donnent à la roche une couleur verte.

**La variolite:** est une variété de diabase développée autour des massifs d'euphotides. Elle doit son nom à la présence de petites sphères de plagioclases blancs, légèrement en reliefs sur le fond vert foncé des pyroxènes.

**I.3 Roches de surface:** à texture microlitique, comme le Basalte et le Labradorite.

**Les labradorites:** sont les correspondants microlitiques des gabbros sans olivine.

**Les basaltes:** sont des roches qui correspondent aux gabbros à olivine. Se sont aussi des roches d'épanchement issues de laves très fluides émises des volcans, et de pyroclastes projetés hors des volcans, à 1100 - 1200°C, et solidifiées à 1000 °C, en donnant des coulées prismées, cordées, ou à surface scoriacée, pouvant couvrir des milliers de km<sup>2</sup>, projetant aussi des cendres, des scories, des tufs et des bombes fusiformes.

Les basaltes sont des roches noires, en général non huileuse, à verre peu abondant et denses ( $d=3,2$  environ), comportant des plagioclases (surtout les labradors : An >50%) et des clinopyroxènes (augite dominante, souvent maclée et zonée), accompagnés selon les cas d'olivine : d'hypersthène, de magnétite et d'ilménite, il peut s'y ajouter, en faible pourcentage, soit du quartz, soit des feldspathoïdes (néphéline, analcime).

La magnétite ( $Fe_3O_4$ ) est abondante dans certains basaltes de 10 à 25%, parfois jusqu'à 55% dans certains gisements, ce qui confère la coloration de la roche.

## II. LES BASALTES :

### II.1 Classification et nomenclature des basaltes :

**Les Sakalavites :** basaltes quartziques à 10% de quartz (souvent virtuel dans le verre assez abondant), et sans olivine.

**Basalte à phénocristaux d'olivine :** souvent altérés en indiginité, à labrador-bytownite, et à augite violette titanifère.

**Basalte demi-deuil :** à phénocristaux de plagioclases (labrador en baguettes blanches)

et d'augites apparaissent sur un fond à base de pâte légèrement vacuolaire noire ou rouge sombre.

Certains basaltes sont mélanocrates porphyriques contenant de rares phénocristaux de plagioclases basiques et fréquemment ceux d'augite et d'olivine, comme **les ankaramites** à dominance d'augite, et **les océanites** à dominance d'olivine.

## Chapitre II

---

**Les mélaphyres** : sont des basaltes anciens à faciès paléo-volcanique, les phénocristaux des pyroxènes sont fortement altérés en ouralite, et les olivines en serpentine, chlorite, épidote, en calcite, et parfois en zéolites.

Certains basaltes très riches en soude, appelés **spilites**. Sont de couleur vert bleu à vert sombre (mésocrate) avec amygdales et filonnets blanchâtres de calcite, où l'albite se présente en phénocristaux (albitophyre), ou plus souvent, en microlites minces. L'albite est accompagnée de chlorite, sphène, oxydes de fer, calcite et dans certains cas, d'épidote (spilite vert jaune), de clinopyroxène (augite), rarement de pseudomorphoses d'olivine. Les spilites se trouvent dans des zones orogéniques, en liaison avec des kératophyres et/ou des basaltes, et constituent de petits massifs, des filons et filons-couches, et surtout des coulées massives ou en coussins.

**Les spilites primaires** : ayant acquis leur composition avant la fin de cristallisation du magma.

**Les spilites secondaires** : dérivant de roches basaltiques déjà cristallisées qui, en présence de vapeur d'eau, ont subi des phénomènes de transformation *deutérique* (auto métamorphisme) avec enrichissement en  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , et appauvrissement en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ .

### II.2 les principaux types de basaltes :

A l'échelle du globe, on distingue 03 principaux types de basaltes :

- 1) **Les Basalte tholéitiques**: saturés, mésocrates, à labrador-bytownite, augite peu calcique et hypersthène, avec présence exceptionnelle d'olivine, relativement riches en silice dans le verre, bien que le quartz et la tridymite sont rarement exprimés, ce sont des basaltes, qui constituent parfois de vastes épanchements sur les continents, et sont associés le plus souvent à des points chauds des fonds océaniques actuels (rides médio-océaniques) en pillow-lavas (laves en coussins) et dans certains arcs insulaires (associés à des andésites), et ils forment la partie supérieure des complexes ophiolitiques qui, par différenciation des magmas tholéitiques conduisent à des andésites puis aboutissent à des rhyolites.
- 2) **Les Basaltes alcalins** : sous saturés, mélanocrates, à olivine abondante, labrador, augite peu calcique et titanifère, et sont plus riches que les tholéites en alcalins, en général,  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$  ; si  $\text{Na}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O}$ , se sont des basaltes **shoshonitiques**.

Avec souvent un peu de feldspathoïde et de mélilite, très pauvres en silice, ce sont ceux des volcans continentaux et parfois dans des arcs insulaires qui, par différenciation du magma basaltique alcalin conduisent à des labradorites (andésites à labrador), à des andésites de type mugéarite, à des trachyandésites et aboutissent à des phonolites comme ceux des massifs Volcaniques du Hoggar.

3) **Un type intermédiaire de basalte:** riche en alumine.

### II.3 Caractéristique mécanique des basaltes

Les basaltes constituent des roches d'empierrement et de construction vu leur résistance à l'écrasement ( $R_é$ ) pouvant atteindre  $5000 \text{ kg / cm}^2$  ou  $500 \text{ MPa}$ .

A partir de la résistance à l'écrasement ou compression des basaltes, la dureté effective de ces roches, selon la relation suivante :

$$f = R_é / 100 \Rightarrow R_é = f * 100 \text{ en } [\text{Kgf/cm}^2] \text{ est } f = 50.$$

Et la résistance à la traction moyenne, selon la formule suivante :

$$R_T = (0.08 + 0.12/2) \times R_é, \text{ en } [\text{Kgf/cm}^2] \text{ est } R_T \approx 500 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ ou } 50 \text{ MPa}.$$

Ces roches sont les plus préférées, en l'occurrence celles qui sont récentes (moins de 10 000 ans) en raison de leur très faible altération, néanmoins l'altération des anciens basaltes augmente de la surface vers les profondeurs et aussi avec les âges géologiques.

Cependant, elles sont caractérisées aussi par une forte cohésion inter granulaire qui s'exprime par une grande cohérence d'une masse à base de grains très fins formant une masse microcristalline ou cryptocristalline sur un fond de pâte amorphe indurée.

Les roches basaltiques consistent en une masse microcristalline contenant du verre volcanique, fortement indurée d'où le caractère cassant au moyen de fractures conchoïdales, avec des minéraux de plagioclases dont la dureté relative H : 6-6.5, les pyroxènes H:5-6, les olivines H : 6-7, magnétite et ilménite H : 5.5-6.5, les amphiboles H : 5-6 et les épidotes H:6-7. Il s'agit des minéraux, qui sont classés comme durs à très dure.

### PARTIE EXPERIMENTALE

#### INTRODUCTION :

Ce chapitre sera consacré à :

- L'élaboration des essais géotechniques Los Angeles et Micro Deval afin de vérifier et mesurer le degré de résistance combinée à l'usure par frottements et à la fragmentation par chocs de ces matériaux (granulats) face aux chocs,
- Analyses microscopique des lames minces confectionnées à partir des échantillons prélevés,
- et des analyses géochimiques vérifiant les compositions chimiques dominantes sous forme d'oxydes ou éléments majeurs afin de déterminer la nature pétrographique des échantillons.

#### I. GEOLOGIE DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE :

Nous avons procédé à l'échantillonnage des roches basiques à partir des sites vierges.

Cependant, le choix des lieux d'échantillonnages est porté sur deux (02) régions de différentes nature pétrographiques, différents âges stratigraphiques et de différentes conditions géodynamiques de mise en place.

- ✓ La première à l'Ouest du domaine littoral (Béni- Saf), située dans les zones d'écrasement proche de la ligne de faille et d'affrontement entre les 02 plaques lithosphériques/tectoniques. L'Eurasie au Nord et l'Afrique au Sud,
- ✓ Et la deuxième, située dans la plate forme Ouest (Tiffrit) du domaine des hauts plateaux.

Les conditions géodynamiques alpines de ces zones d'écrasement et de fissuration (en l'occurrence le site de Béni Saf) sont responsables des remontées magmatiques basiques, intrusives à pétrologie doléritique et effusives à pétrologie volcanique (basaltique), traversant les failles profondes traduites par des lignes de fracturation constituant le siège des volcans fissuraux [V.MILNITHOUK, M.ARABADJI 1983 ; P.Bellair, Ch.Pomeroi 1984] donnant naissance à la mise en place :

- Des filons sous forme de **lentille** de petit taille de type : **filon annulaire** très fréquents en région des plissements ou de type **Dyke** remplissant les vides des fissures et de diaclases recoupant et surimposant verticalement ou formant un angle avec les différentes stratigraphies sédimentaires.
- Et des coulées de nappes basaltiques (échantillons prélevés de Béni-Saf) de taille moyenne de type coulées mise à nu par l'érosion ou sous forme d'épanchement en surface formant un petit Stock [V.MILNITHOUK, M.ARABADJI 1983 ; P.Bellair, Ch.Pomeroi 1984].

## Chapitre III

### I.1 Echantillons de Tiffrit :

Deux échantillons ont été récoltés sur un site vierge, prélevés d'un essaim de filons Doléritiques (*de type Dyke ou phacolihte*) situé, selon la carte géologique de Ain Balloul au 1/50 000 (feuille n°257), à des niveaux hypsométriques allant de 800 à 850 m, mis en place aux contact aux terrains sédimentaires du primaire (silurien), formé de schistes, grés et phtanites, et par les formations de calcaires, calcaires argileux, argiles et marnes du lias dans l'étage du Toarcien(l<sup>7</sup>).

**Figure 9 :** Carte géologique de la région de Tiffrit (Tirée de la carte de la région de Ain Balloul : 1/50 000, feuille n°275 (2009))

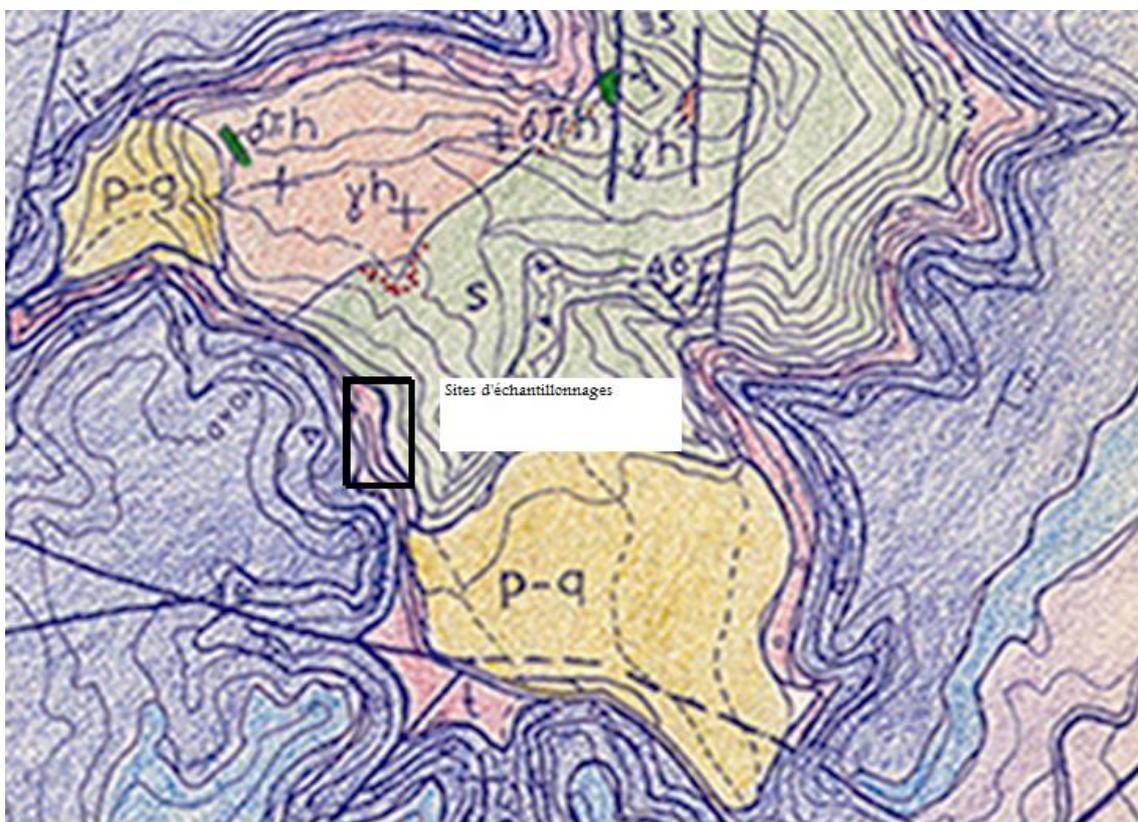
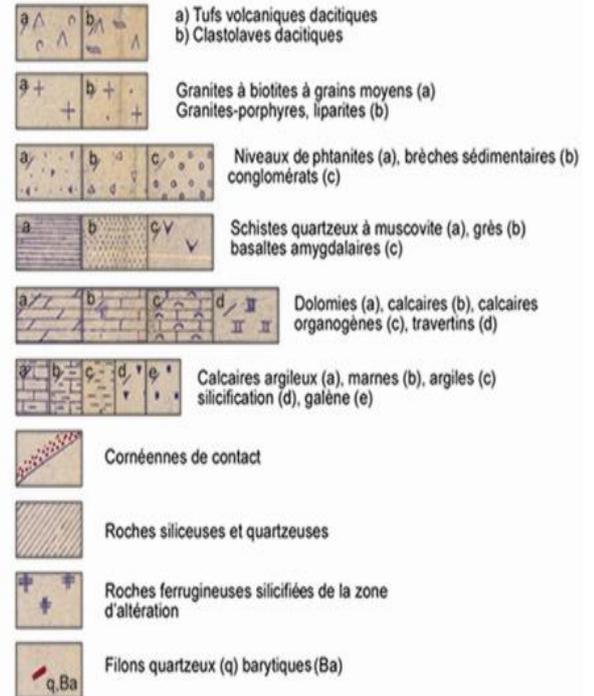
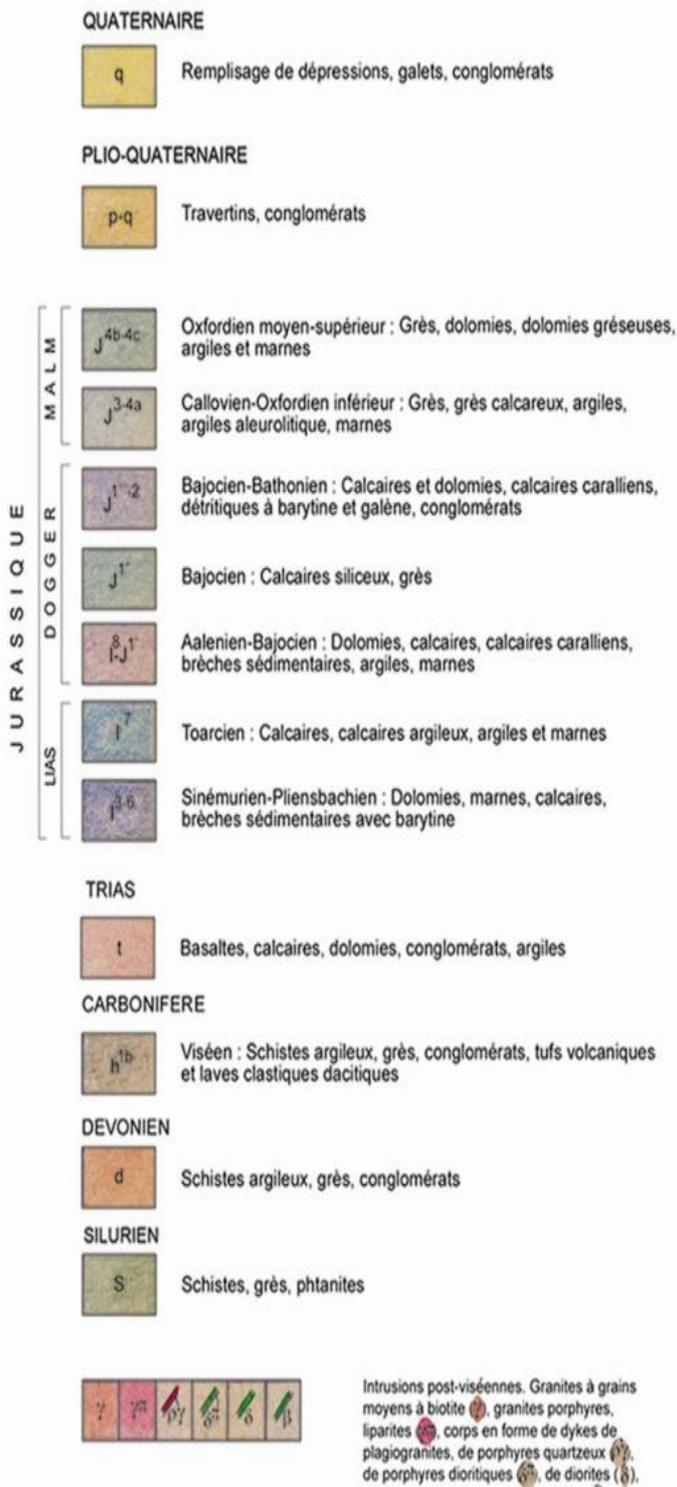
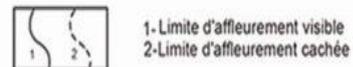


Figure 10: légende de la carte d'Ain balloul

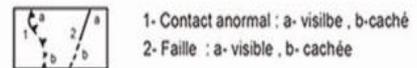


## Signes conventionnels

### Contacts normaux



### Contacts anormaux



### Pendages

	Normaux	Renversés
Horizontaux	+	⊗
Faibles	↘	↙
Moyens	↘	↙
Forts	↘	↙
Verticaux	---	

### I.2 Echantillons de Béni-Saf :

Quatre échantillons ont été prélevés du massif volcanique formant un gisement basaltique, qui selon la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000, donnée en figure :11, est situé, près de la côte sur les versants Nord, exposés directement à la mer, d'où l'influence des vents humides et leur effet sur la météorisation chimique des roches, à des niveaux hypsométriques allant de 0 à 100 m, entre les plages anciennes du Quaternaire ( $q^{m.la}$ ) et les formations gréseuses Post-nappes du Miocène dans l'étage du Burdigalien ( $m_6^{ll.1}$ ).

**Figure 11:** Carte géologique de la région de Béni Saf au 1/500 000

2<sup>ème</sup> édition (1951-1952)



# Chapitre III

Figure 12: légende stratigraphique et lithologique relative aux figures : 10



### II. ESSAIS GEOTECHNIQUES :

#### Introduction :

La résistance à l'usure et aux chocs est vérifiée par des essais fondamentaux pour l'utilisation des granulats.

Ces essais permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans les projets de constructions.

#### II.1 Essai micro-Deval : [Documentation de C.E.T.I.M]

##### II.1.1 Principe :

L'essai détermine le coefficient Micro-Deval qui est le pourcentage de l'échantillon d'origine réduit à une dimension inférieure à 1,6 mm par rotation dans un cylindre.

L'essai consiste à mesurer l'usure produite dans des conditions définies par frottements réciproques des granulats dans un cylindre en rotation avec une charge abrasive.

Lorsque la rotation est achevée, on calcule le coefficient Micro-Deval à partir du pourcentage de granulats retenu sur un tamis de 1.6 mm.

La méthode décrite dans la présente norme européenne est la méthode de référence et est réalisée avec des granulats secs en présence d'eau, ce qui donne une valeur MDE.

**NOTE** : Une valeur plus petite du coefficient micro-Deval indique une meilleure résistance à l'usure.

##### II.1.2 Appareillage :

###### a) Appareillage d'usage courant :

Il consiste en :

- Une balance capable de peser l'éprouvette et la charge abrasive avec une précision égale à 0,1 % de la masse de la prise d'essai.
- Jeu de tamis : de 1,6 mm, 8 mm, 10 mm, 11,2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm.
- Étuve ventilée, capable de maintenir une température de  $110 \pm 5$  C°.
- Moyens nécessaires au lavage de l'échantillon tamisé.
- Équipement nécessaire à la réduction de l'échantillon de laboratoire en prise d'essai.
- Éprouvette(s) graduée(s) en verre, conforme(s) à l'ISO 4788:1980. Ou tout autre moyen de mesure de volume d'eau égal à  $2.5 \pm 0,05$  l.

### b) Appareillage spécifique:

L'appareil micro-Deval doit être, conforme aux caractéristiques essentielles suivantes :

Il doit comporter un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre Intérieur de  $200 \pm 1$  mm et une longueur utile mesurée depuis le fond jusqu'à l'intérieur du couvercle de  $154 \pm 1$  mm. Les cylindres d'essai doivent être en acier inoxydable d'épaisseur supérieure ou égale à 3 mm. Ils sont posés sur deux supports cylindriques d'axe horizontal.

L'intérieur des cylindres ne doit présenter aucune saillie due à la soudure ou au mode de fixation. Ils doivent être fermés par un couvercle plat d'environ 8 mm d'épaisseur, dont l'étanchéité à l'eau et à la poussière est assurée par un joint. La charge abrasive doit être constituée par des billes sphériques de  $10 \pm 0.5$  mm de diamètre en acier *inox*, conformes à l'ISO 3290:1975.

**NOTE** : Le contrôle du diamètre des billes peut se faire rapidement en les faisant passer sur deux barreaux parallèles, d'écartement 9,5 mm.

Un moteur (en général de 1 kW environ) capable d'assurer aux cylindres une vitesse de rotation régulière de  $(100 \pm 5)$  tr / min. La vitesse de rotation doit être contrôlée régulièrement.

Un compteur ou tout autre dispositif doit permettre l'arrêt automatique du moteur une fois le nombre de tours spécifié atteint.

### II.1.3 Préparations de l'échantillon pour essai :

La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire doit être égale au moins à 2 Kg, pour les granulats appartenant à la classe granulaire, comprise entre 10 mm et 14 mm.

L'essai doit être effectué sur des granulats ayant une granulométrie comprise entre 10 et 14 mm. La courbe granulométrique de l'échantillon correspondant à cette classe granulaire doit répondre à l'une des exigences suivantes :

- a) 60 % à 70 % des granulats passant au travers d'un tamis de 12,5 mm,
- b) Ou : 30 % à 40 % des granulats passant au travers d'un tamis de 11,5 mm.

Tamiser l'échantillon au laboratoire par les tamis de 10 mm, 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 14 mm afin de constituer des fractions distinctes comprises entre 10 mm et 11,2 mm (ou 12,5 mm) et entre 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 14 mm.

Laver les fractions séparément, les sécher à l'étuve à  $105 \pm 5$  °C jusqu'à obtention de la masse constante.

## Chapitre III

### II.1.4 Mode opératoire :

Introduire dans chaque cylindre d'essai une éprouvette. Ajouter un nombre suffisant des billes pour obtenir une charge de  $5000 \pm 5$  g. La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après :

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4,3 – 10	$2000 \pm 5$
10 – 14	$4000 \pm 5$
14 – 25	$5000 \pm 5$

**Tableau 1:** la charge abrasive en fonction de la classe granulaire

Ajouter  $2.5 \pm 0,05$  l d'eau dans chaque cylindre.

Fixer soigneusement un couvercle sur chacun des cylindres, puis les placer sur les deux arbres.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de  $100 \pm 5$  min/sec pendant  $12000 \pm 10$  tours.

Verser le matériau ainsi que l'eau de lavage sur un tamis de 1.6 mm protégé par un tamis de 1.8mm.

Mettre le refus à 8 mm sur un plateau, ajouter le refus à 1.6 mm sur le même plateau.

Sécher le contenu du plateau à l'étuve réglée à  $105 \pm 5$  °C et achever la détermination de la masse de refus à 1.6 mm.

### II.1.5 Calcul et expression des résultats :

Les résultats du coefficient de Micro-Deval s'expriment par le rapport : **100 (m/M)**, avec  $m = M - m'$ , d'où **M** est la masse du matériau soumis à l'essai, **m** est la masse des éléments (retenus) inférieurs à 1.6 mm obtenus au cours de l'essai et **m'** est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm.

On a donc, pour le **MDE =  $100(500 - m'/500)$** .

### II.2 Essai Los-Angeles : [Documentation de C.E.T.I.M]

#### II.2.1 Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles telle quelle est décrite dans la norme suivante.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires 4/6,3mm, 6,3/10mm, 10/25mm, 16/31,5mm et 25/50mm de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre.

## Chapitre III

---

La classe 10/25 mm doit contenir 60% de 10/16mm, la classe 16/31,5mm 40% de 16/25mm et la classe 25/50mm 40 % de 25/40mm.

La classe de la charge de boulet varie suivant les classes granulaires.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6mm produite au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par choc s'exprime par la quantité :

$$LA=100\frac{m}{M} ;$$

Cette quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient Los Angeles du matériau.

### II.2.2 Appareillage :

#### a) Appareillage spécifique :

1° la machine Los Angeles comporte :

✓ Un cylindre creux en acier de 12mm +/-0.5mm d'épaisseur. Fermé à ces deux extrémités, ayant un diamètre intérieur de 711 mm +/- 1mm et une longueur intérieure de 508mm +/-1mm. Le cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés à ces deux parois latérales, mais ne pénètre pas à l'intérieur de cylindre ; le montage est tel que le cylindre peut ainsi tourner autour de son axe, qui doit être horizontal. L'acier est de type AFNOR A. 50.

✓ Une ouverture de 150mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre, permet d'introduire l'échantillon. Pendant l'essai, cette ouverture est obturée de façon hermétique aux poussières par un couvercle amovible de telle façon que la surface intérieure reste bien cylindrique.

Cette surface cylindrique intérieure est coupée par une tablette en saillie placée à une distance de 400 mm du rebord du couvercle, distance mesurée le long du cylindre dans le sens de la rotation. Cette tablette, en acier dur de type A.56, est de section rectangulaire (longueur égale à celle du cylindre, largeur de 90mm +/-0.5mm, épaisseur de 25mm). Elle repose suivant un plat diamétral, le long d'une génératrice et est soudée ou fixée par des boulons sur des parois latérales. Elle doit avoir des arêtes vives.

2° charge de boulets : La charge est constituée par des boulets sphériques de 74mm +/- 1 mm de diamètre et pesant entre 420 et 445 g, ces boulets ne doivent pas s'user de façon trop irrégulière.

3° un moteur d'au moins 0,75 kW, assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours par minute.

4° un bac destiné à recueillir les matériaux après essai.

5° un compte-tours de type rotatif, arrêtant le moteur automatiquement au nombre de tours voulu

## Chapitre III

### b) Appareillage d'usage courant :

- Un jeu de tamis de dimension convenable, leur diamètre ne devra pas être inférieur à 250 mm.
- Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage.

### II.2.3 Matériaux soumis à l'essai :

#### a) Prise de l'échantillon :

La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire sera au moins égale à 15000g.

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme NF P18-553.

#### b) Préparation de l'échantillon pour l'essai :

-Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.

-Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention de la masse constante.

La masse de l'échantillon pour essai sera de 5000g +/- 2g

### II.2.4 Exécution de l'essai :

Introduire avec précaution la charge de boulets de la classe granulaire choisie, puis l'échantillon pour essai. La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après :

Classe granulaires (en mm)	Nombre de boulets	Masse total de la charge (en g)
4 – 6.3	7	3 080
6.3 – 10	9	3 960
10 – 14	11	4 840
010 – 25	11	4 840
16 – 13.5	12	5 280
25 – 50	12	5 280

**Tableau 2:** nombre de boulets (masse total de la charge) en fonction de la classe granulaire

-Replacer le couvercle

-Faire effectuer à la machine 500 rotations sauf pour la classe 25-50 où l'on effectue 1000 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35 tr/mn.

-Recueillir les granulats dans un bac placé sous l'appareil, en ayant le soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.

## Chapitre III

---

-Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm, le matériau étant pris en plusieurs reprises afin de faciliter l'opération.

-Laver le refus au tamis de 1.6 mm, égoutter et sécher à l'étuve à 105 °c jusqu'à masse constante.

-Peser ce refus une fois séché. Soit  $m'$  le résultat de la pesée.

### II.2.5 Expression des résultats :

$m = M - m'$  : est la masse séchée de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm, en grammes.

Le coefficient Los Angeles est, par définition, le rapport :

$$100 = \frac{m}{5000}$$

### II.3 Dureté relative globale (DRG) : [Alias J, 1984]

La Dureté relative globale (DRG) d'un matériau s'exprime par le couplage entre les valeurs de Los Angeles et l'essai Deval et Micro-Deval.

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

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

Où : MDS : Micro-Deval sec ;

MDE : Micro-Deval en présence d'eau ;

LA : Los Angeles.

Le coefficient de dureté relative globale **DRG** est égal à la plus faible des deux valeurs de LA et MDE, données ci-après :

$$\begin{cases} \overline{DR} - 0.5\sigma_{DR} \\ DR_{min} + 2 \end{cases}$$

Où :  $\overline{DR}$  : moyenne arithmétique des duretés relatives =  $\frac{\sum DR}{n}$

$$\sigma_{DR} : \text{écarte type} = \frac{\sqrt{\sum (DR_i - \overline{DR})^2}}{\sqrt{(n-1)}}$$

Avec :

$n$  : nombre d'échantillons soumis à l'essai ;

$DR_{min}$  : La plus faible valeur des duretés relatives.

[PFE : Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballast]

## Chapitre III

### II.4 Résultats des essais géotechniques :

Les résultats obtenus des deux essais Los Angeles et Micro-Deval pour chaque site d'échantillonnage sont donnés dans le tableau suivant :

Type d'essai Géotechnique	Site du Tiffrit (Saida)		Site du Béni Saf			
	TF1	TF2	BS1	BS2	BS3	BS4
Essai Micro-Deval MD <sub>E</sub>	18.20%	19.60%	17.40%	16.20%	17.30%	16.65%
Essai Los – Angeles	9.40%	12.84%	14.28%	14.36%	14.40%	14.50%
Dureté relative global DRG	11	11	11	12	11	12

**Tableau 3:** Résultats des essais géotechniques des échantillons de Tiffrit et Béni Saf

Les résultats des essais géotechniques présentés dans le tableau ont donné des valeurs très intéressantes, qualifiées de bonnes à moyennes pour chaque échantillon et pour chaque essai, indiquant que les coefficients de Micro-Deval (**MDE**) des échantillons de Tiffrit sont plus élevés par rapport aux celles de Béni Saf, contrairement aux coefficients de Los-Angeles où les échantillons de Tiffrit ont des valeurs inférieures aux celles de Béni Saf.

En effet, cela est vérifié par les analyses géochimiques montrant clairement que les échantillons de Tiffrit sont plus altérés par rapport aux échantillons de Béni Saf.

D'autre part, toutes les valeurs de nos essais, sont nettement inférieures aux limites supérieures acceptables de fragilité fixées par les normes géotechniques aussi bien algériennes qu'étrangères, comme le montre le tableau 4 ci-après :

Pays	Essai LA(%)	Essai MDE(%)	DRG
Algérie	< 40	< 35	>12*
France	< 25	< 20	> 14
USA	< 35	< 30	> 18

**Tableau 4:** Normes des essais géotechniques des granulats du ballast (ENG, 1993).

## Chapitre III

---

Il est à noter que, plus le coefficient de Los-Angeles est faible, plus le matériau est considéré comme excellent, et plus le coefficient de Micro-Deval en présence d'eau est élevé, non résistant est le matériau, contrairement au Deval-Humide (DH) ou Sec (DS) où le matériau est considéré de meilleure qualité avec des valeurs élevées [GABRYSIK, 2000].

Pour l'appréciation de la qualité d'un granulat et son utilisation comme ballast ou matériau de construction en Génie Civil (béton), l'estimation des coefficients de **LA** et **MDE** nécessite un classement déterminé par la Dureté Relative Globale (*DRG*), qui exprime la dureté relative d'un granulat selon une échelle allant de 6 à 32 sur un abaque (figure). Dans le cas des graves et des ballasts, les valeurs obtenues sont déterminées par la projection du couplage des coefficients de LA et de MDE pour chaque échantillon [M. CHANANE Larouci (2008) : Mémoire de magister].

D'autre part, le critère de DRG reste relatif d'un pays à un autre pour le classement des matériaux de granulats, ainsi pour :

➤ **La norme européenne**

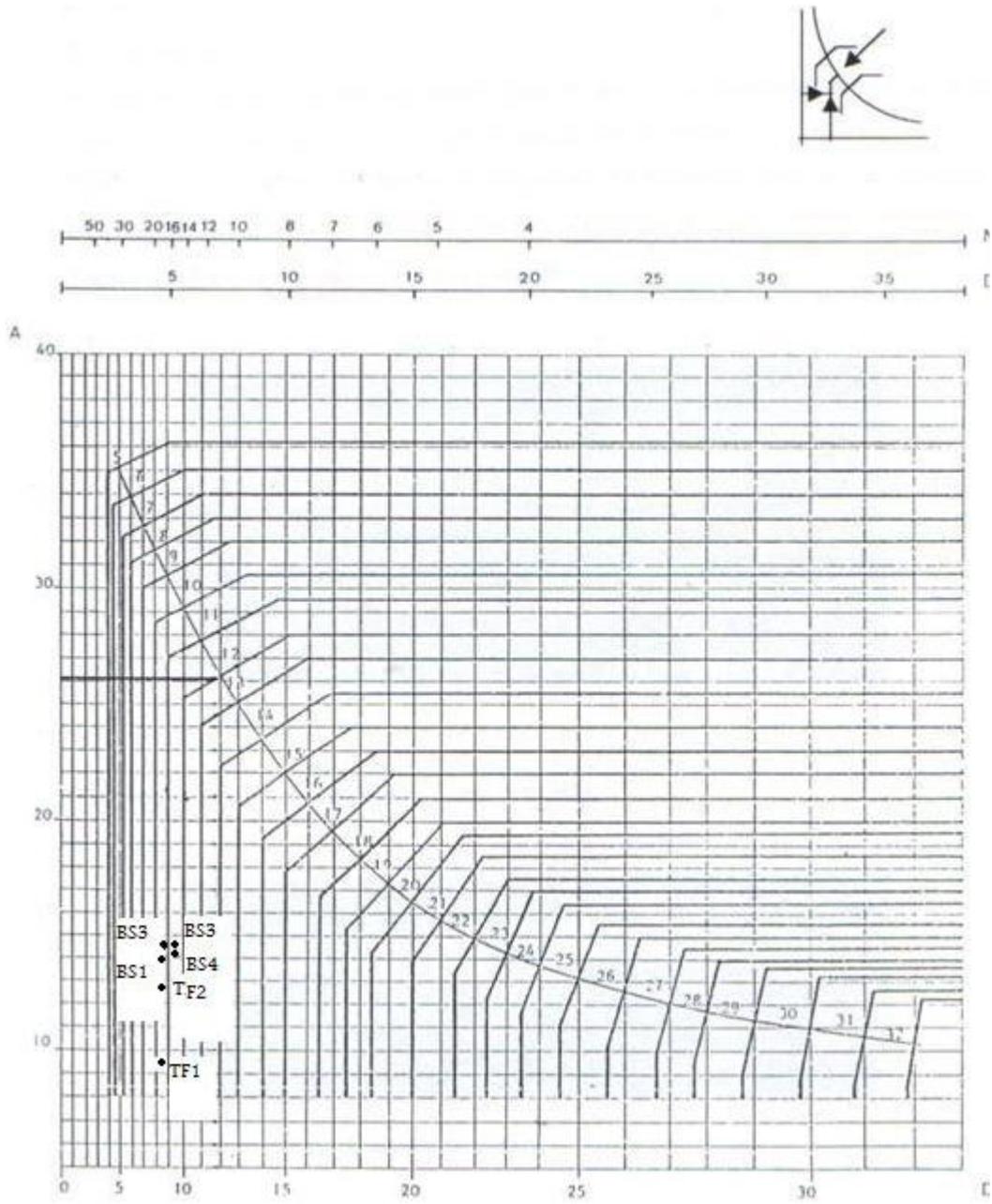
- ❖ une DRG hors abaque (< 6 et >32) : le matériau est non conforme et inutilisable ;
- ❖ et une DRG normative (de >6 à <32) : le matériau est considéré comme médiocre, bon ou excellent.
- ❖ Selon la norme européenne, un matériau avec une DRG >14, est considéré comme excellent.

➤ **La norme américaine**

- ❖ une DRG hors abaque (< 5 et >30) : le matériau est non conforme et inutilisable ;
- ❖ et une DRG normative (de >5 à <30) : le matériau est considéré comme médiocre, bon ou excellent.
- ❖ Selon la norme américaine, un matériau d'une DRG >18, est considéré comme excellent.

➤ **La norme algérienne :**

- ❖ Selon la norme algérienne, un matériau avec une DRG >12, est considéré comme excellent.



**Figure 13:** Abaque de dureté relative globale (DRG) (d'après J. Alias, 1984)

## Chapitre III

### III. COMPARAISON DES RESULTATS DES ESSAIS AVEC LES NORMES EUROPEENNES ET AMERICAINE :

Sites	Echantillons	Essai Los Angeles LA				Essai micro-Deval MDE				Dureté relative globale DRG			
		Valeur (%)	N.A < 40	N.F < 25	N.Am < 35	Valeur (%)	N.A < 35	N.F <20	N.Am < 30	valeur	N.E >14	N.Am >18	N.AI >12
Tiffrit	TF1	9.40	Ac	Ac	Ac	18.20	Ac	Ac	Ac	11.00	Médiocre	Bonne	
	TF2	12.84	Ac	Ac	Ac	19.60	Ac	Ac	Ac	11.00	Médiocre	Bonne	
Béni	BS1	14.28	Ac	Ac	Ac	17.40	Ac	Ac	Ac	11.00	Médiocre	Bonne	
	BS2	14.36	Ac	Ac	Ac	16.20	Ac	Ac	Ac	12.00	Médiocre	excellente	
Saf	BS3	14.40	Ac	Ac	Ac	17.30	Ac	Ac	Ac	11.00	Médiocre	Bonne	
	BS4	14.15	Ac	Ac	Ac	16.65	Ac	Ac	Ac	12.00	Médiocre	excellente	

**Tableau 5:** Comparaison des valeurs de LA, MDE et DRG par rapport aux normes :

Algérienne (N.AI.), française (N.F.), européenne (N.E) et américaine (N.Am).

AC : Acceptable.

Selon le tableau, les résultats des essais géotechniques des échantillons de roches testés dans le cadre de notre étude, montrent que les valeurs de :

- ❖ Los Angeles, sont acceptables par rapport aux normes algériennes, françaises et américaines ;
- ❖ Micro-Deval, sont acceptables par rapport aux normes algériennes, françaises et américaines.
- ❖ les DRG, ont qualifié nos échantillons comme étant des granulats de qualité médiocre comparés aux normes françaises, qui exigent par mesure de sécurité une DRG >14 et américaines une DRG >18.
- ❖ Nos échantillons ont enregistré des valeurs de DRG de 11 et 12, donc ils sont qualifiés selon les normes françaises et américaines comme utilisables et bons et excellents selon les normes algériennes.

### IV. CARACTERISTIQUES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES:

Il s'agit de caractériser la pétrographie des 06 échantillons de roches, prélevés et récoltés des deux sites, dont 02 échantillons d'un site vierge de Tiffrit et 04 échantillons de Béni-Saf, par une analyse microscopique des lames mince, construites et montées par le laboratoire de minéralogie et de pétrographie de CETIM, à Boumerdes.

Toutefois, les lames minces qui ont fait l'objet d'analyse microscopique, sont en nombre de 06, dont 02 lames du site de Tiffrit et 04 lames de Béni-Saf.

#### IV.1 Etude microscopique :

##### IV.1.1 Lames minces d'échantillons prélevés du site de Tiffrit :

La pétrographie des échantillons prélevés du site vierge du Tiffrit, présente les caractères suivants :

**Echantillons TF1/TF2** :Présentent les mêmes caractéristiques pétrographiques en structure massive, détériorée, présentant de larges fissurations, montrant une texture doléritique à structure ophitique, dominée par l'abondance des cristaux sub-automorphes (sub-polyédriques) de pyroxènes (augites dialagiques dont les contours des cristaux sont très dilués dans les ferromagnésiens ), présentant l'aspect de fantômes, parfois incolores, moulés par les ferromagnésiens interstitiels, fortement oxydés le long des joints de fissuration.

Seuls qui sont visibles dans la masse, ce sont les très rares cristaux de calcite et d'importants cristaux d'épidote, granulaires en vert clair à jaunâtre, répartis de façon aléatoire et accusant des extinctions obliques.

Les cristaux d'épidote sont le produit de transformation des amphiboles, parfois en cristaux vert pâle (association d'actinote et hornblende), issus de l'ouralisation des clinopyroxènes.

A la différence de l'échantillon T.F.1, l'échantillon T.F.2 se caractérise par l'absence de fissurations.

##### IV.1.2 Lames d'échantillons prélevés de Béni-Saf :

La pétrographie des échantillons prélevés du site de Béni Saf, présente les caractères suivants :

**Echantillons BS1, BS1, BS3 et BS4** : Présentent les mêmes caractéristiques pétrographiques en structure fluidale, bien assez conservée, à texture microlitique, caractérisant un tond vitreux amorphe et une masse microcristalline, dominée par les

## Chapitre III

---

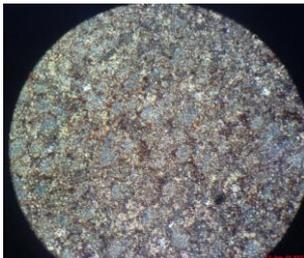
microlites de plagioclases, sous forme lenticulaire, assez orientés (faiblement alignés), faiblement altérés d'où leur faible corrosion, montrant une structure insertale ménageant quelques lattes sub-automorphes de plagioclases, assez altérées présentant des fissurations et quelques fragmentations, par fois en cristaux fantômes.

✓ Présence importante des ferromagnésiens dominés partiellement par les cristaux automorphes à sub-automorphes de clinopyroxènes (**augites**) en prismes courts, incolores à marron claire, peu d'entre eux sont conservés, d'autres sont fortement altérés, fissurés et fragmentés, ouralitisés majoritairement en cristaux :

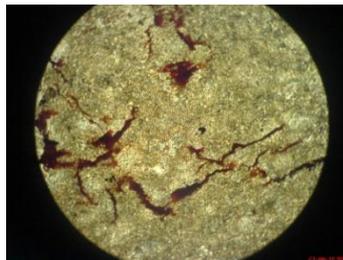
- **d'amphiboles** marrons de type hornblende, en prismes longs, et d'épidote, granulaire en vert claire à jaunâtre.
- Et de rares cristaux de calcite.

Le tout est dispersé et uniformément réparti dans la masse microlitique, contenant une quantité importante de minéraux opaques, probablement des oxydes de fer de type Ilménite  $\text{FeTiO}_3$  ou magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , et dans laquelle sont noyés quelques cristaux d'olivine, allongés avec des inclusions en surface et des cassures curviligne, présentant parfois des fissurations.

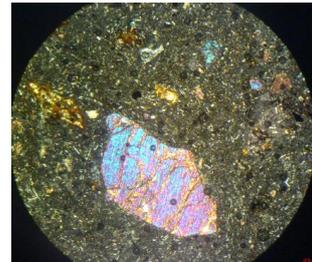
**Figure 14:** photos des lames minces des échantillons TF1 ,TF2 et TF3.



Lame mince TF2 :



Lame mince TF1



Lame mince BS3 :

## Chapitre III

---

### IV.2 Etude géochimique :

Les analyses géochimiques exprimées en pourcentage-poids des éléments majeurs effectuées sur les quatre échantillons du Béni Saf et les deux échantillons de Tiffrit sont consignées dans le tableau 6 suivant :

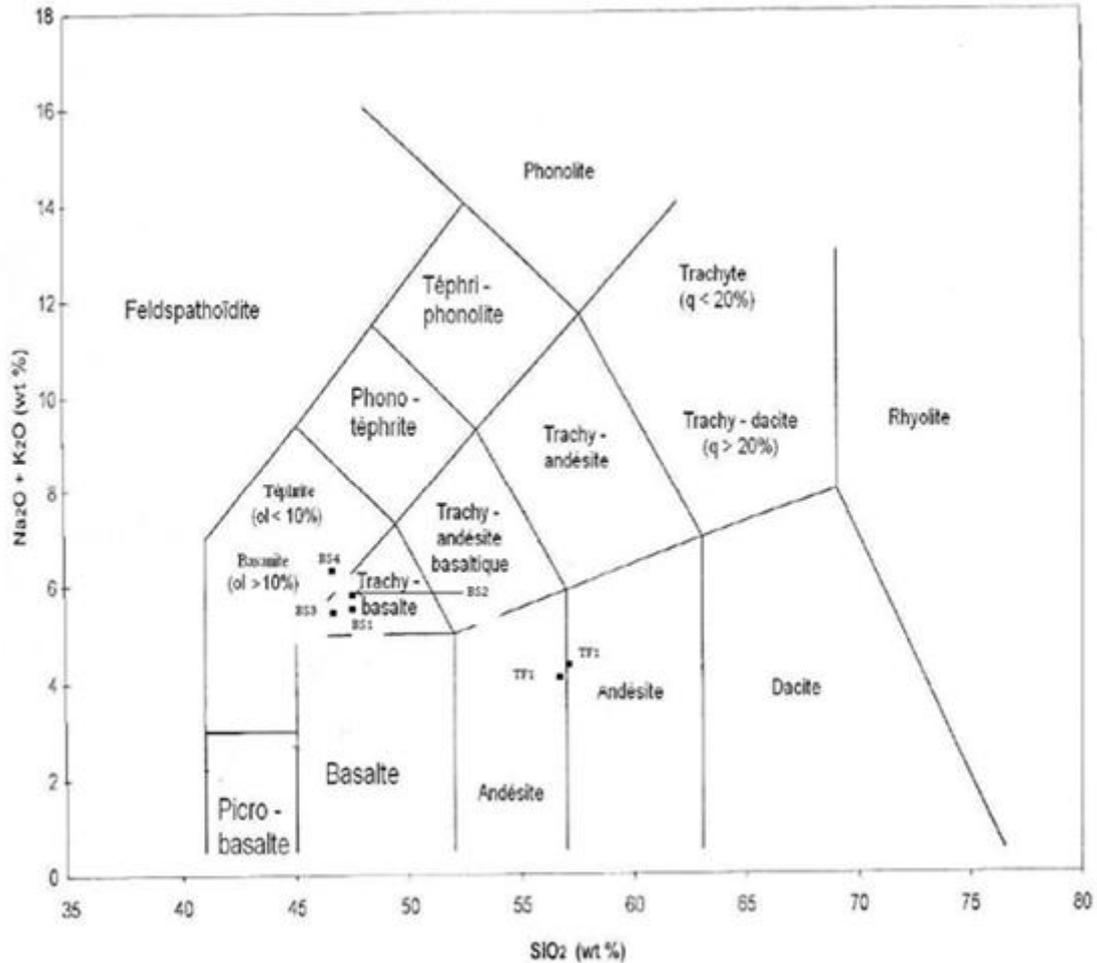
Ech	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	P.A.F
TF1	57.31	21.69	8.66	0.34	1.91	0.02	3.89	0.49	0.11	1.31	4.29
TF2	56.58	21.97	8.18	0.66	1.67	0.15	3.41	0.77	0.11	1.38	5.10
BS1	47.12	17.09	8.88	8.38	6.11	0.00	1.17	4.45	0.58	2.16	4.05
BS2	47.15	17.14	9.23	8.76	5.49	0.01	1.49	4.34	0.61	2.24	3.55
BS3	46.68	17.16	8.83	8.63	6.08	0.01	1.22	4.46	0.57	2.14	4.22
BS4	46.87	17.04	9.21	9.06	5.43	0.02	1.52	4.58	0.60	2.22	3.44

**Tableau 6:** Analyses géochimiques des éléments majeurs par fluorescence X des échantillons de Béni Saf et Tiffrit.

Selon le tableau 6, les échantillons de Tiffrit ont un taux de SiO<sub>2</sub> de 56.58% et 57.33%, et pour ceux de Béni Saf, ce taux est compris entre 46.68 et 47.15%, exprimant un caractère basique et basique à tendance intermédiaire pour les échantillons de Tiffrit, cela est vérifié amplement par le diagramme TAS en figure 15.

## Chapitre III

Figure 15: diagramme TAS des échantillons de Béni Saf et de Tiffrit.



### IV.1.3 Conclusion :

En général, les études pétrographiques et les analyses géochimiques effectuées dans le cadre de ce travail, en permis de préciser la nature pétrologique de chaque échantillon, qui sont en général des roches magmatiques basiques, probablement selon le diagramme TAS, figure 10, il s'agit des basaltes trachytique pour les échantillons de Béni Saf, et des basaltes andésitiques pour le cas de Tiffrit.

### V. RELATIONS PETROGEOCHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES :

#### V.1 Impact pétro-géotechnique : [M. CHANANE Larouci(2008) : Mémoire de magister]

L'impact des caractéristiques pétrographiques (texture, structure et minéralogie) sur les conditions géotechniques est étroitement lié au paramètre de dureté relative, exprimant de façon intrinsèque la solidité et la résistance aux ruptures par compression et traction.

Le tableau , montre que tous les minéraux primaires de roches basiques ont une dureté  $\geq 5$ , et qu'il s'agit de matériaux durs à très durs, qui se caractérisent par un fort potentiel de résistance aux fractures, clivages et aux altérations chimiques, sauf les plagioclases qui présentent un caractère délétère en raison de leurs plans de clivages, donc favorables aux fracturations et les olivines aux altérations dues à la présence du fer et du magnésium dans leur composition chimique.

Quant aux minéraux secondaires, très faiblement présents dans la masse des échantillons, se caractérisent par un fort potentiel de fracturation et d'altération, sauf pour les minéraux d'épidotes, qui ont un fort potentiel de résistance mécanique.

Minéraux des roches basiques		Dureté relative de Mohs	Potentiel De clivage	Potentiel d'altération chimique (granulats de ballast)	Aptitude de résistance mécanique (granulats de ballaste)
Minéraux primaires	Plagioclases	6-6.5	<b>Elevé</b>	faible	Modéré
	pyroxènes	5-6	Modéré	Modéré	Modéré
	Olivines	6-7	Nul	<b>Très élevé</b>	<b>Faible</b>
	Amphiboles	5-6	Modéré	Faible	Modéré
	Magnétite	5.5-6.5	Très faible	Très faible	Elevé
	Ilménite	5.5-6.5	Très faible	Très faible	Elevé
Minéraux secondaires	Chlorite	1.5-2.5	<b>Elevé</b>	Sensible	<b>Très faible</b>
	Epidote	6-7	Faible	Sensible	Elevé
	Calcite	3	<b>Très élevé</b>	Sensible	<b>Faible</b>

**Tableau 7** : Evaluation des propriétés des minéraux pour le ballast (WATTERS et al, 1985).

### V.2 Relation géochimie – géotechnique :

ECH	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	P.A.F	LA	MDE	DRG
TF1	57.33	21.69	8.66	1.91	0.34	4.38	4.29	9.40	18.20	11.00
TF2	56.58	21.97	8.18	1.67	0.66	3.91	5.10	12.84	19.60	11.00
BS1	47.12	17.09	8.88	6.11	8.38	5.64	4.05	14.28	17.40	11.00
BS2	47.15	17.14	9.23	5.49	8.76	5.83	3.55	14.36	16.20	12.00
BS3	46.68	17.16	8.83	6.08	8.63	5.86	4.22	14.40	17.30	11.00
BS4	46.87	17.04	9.21	5.43	9.06	6.1	3.44	14.15	16.65	12.00

**Tableau 8:** Tableau des éléments majeurs (oxydes) combinés aux paramètres géotechniques.

Les données du tableau 10 relatives aux éléments majeurs combinés aux paramètres géotechniques, ont fait l'objet d'un traitement mathématique à l'aide d'un outil statistique (**Logiciel SPSS 10.00**), qui nous a servi de base pour analyser et expliquer les relations pouvant exister entre eux. Pour cela, on a procédé par la construction d'un tableau matriciel en fonction de trois types de corrélations à savoir : corrélations de **Kendall (r<sub>k</sub>)**, **Spearman (r<sub>s</sub>)** et **Pearson (r<sub>p</sub>)**, afin d'obtenir des diagrammes de corrélations en régression linéaire par le couplage de chaque paramètre géotechnique (**LA, MDE et DRG**) avec chacun des six éléments majeurs et les pertes au feu (**P.A.F**) de tous les échantillons.

Pour vérifier et expliquer les relations géochimie-géotechniques, on s'est basé sur les résultats obtenus par les deux types de corrélations, qui ont sélectionné les corrélations positives et/ou négatives dites très significatives au niveau de **0.01\*\*** et significatives au niveau de **0.05\*** (voir tableaux de corrélations en Annexe).

Les relations géochimie-géotechniques dégagées de ces considérations sont les suivantes:

**a) Les diagrammes de P.A.F :**

- ❖ **P.A.F/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:**  $r_k = 0.867^*$  et  $r_s = 0.943^{**}$ , avec des coefficients de corrélations positifs très significatifs,
- ❖ **P.A.F/CaO:**  $r_k = - 0.733^*$  et  $r_k = - 0.886^*$ , avec des coefficients de corrélations négatifs significatifs,

**b) Les diagrammes de L.A:**

- ❖ **L.A/SiO<sub>2</sub>:**  $r_p = - 0.863^*$ ,  $r_k = - 0.733^*$  et  $r_s = - 0.886^*$ , avec des coefficients de corrélations négatifs significatifs,

## Chapitre III

---

- ❖ **L.A/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**:  $r_p = -0.820^*$ , avec un coefficient de corrélation négatif significatif,
- ❖ **L.A/CaO**:  $r_p = 0.853^*$ ,  $r_k = 0.867^*$  et  $r_s = 0.943^{**}$ , avec des coefficients de corrélations positifs significatifs à très significatifs,
- ❖ **L.A/ K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O**:  $r_k = 0.733^*$  et  $r_s = 0.886^*$ , avec des coefficients de corrélations positifs significatifs,

### c) Les diagrammes de MDE:

- ❖ **MDE/ SiO<sub>2</sub>**:  $r_p = 0.835^*$ , avec un coefficient de corrélation positif significatif,
- ❖ **MDE/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**:  $r_p = 0.871^*$ , avec un coefficient de corrélation positif significatif,
- ❖ **MDE/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**:  $r_p = -0.989^{**}$ ,  $r_k = -0.867^*$  et  $r_s = -0.886^*$ , avec des coefficients de corrélations négatifs significatifs à très significatifs,
- ❖ **MDE/ CaO**:  $r_p = -0.860^*$ ,  $r_k = -0.733^*$  et  $r_s = -0.886^{**}$ , avec des coefficients de corrélations négatifs significatifs,
- ❖ **MDE/MgO**:  $r_p = -0.815^*$ , avec un coefficient de corrélation négatif significatif,
- ❖ **MDE/ K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O**:  $r_p = -0.912^*$ ,  $r_k = -0.867^*$ ,  $r_s = -0.943^{**}$ , avec des coefficients de corrélations négatifs significatifs à très significatifs,

### d) Les diagrammes de DRG :

- ❖ **DRG/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**:  $r_s = 0.828^*$ , avec un coefficient de corrélation positif significatif,
- ❖ **DRG/CaO**:  $r_s = 0.828^*$ , avec un coefficient de corrélation positif significatif,
- ❖ **DRG/ K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O**:  $r_s = 0.828^*$ , avec un coefficient de corrélation positif significatif.

Les relations pouvant existées entre les teneurs en oxydes et les résultats géotechniques sont représentées par les diagrammes de corrélations des figures suivantes:

## a) Les diagrammes de P.A.F :

- ❖ Le diagramme de P.A.F/ $Al_2O_3$  : montre une régression linéaire positive, ou la PAF augmente en général avec les hautes teneurs de  $Al_2O_3$ , excepté l'échantillon de BS2.

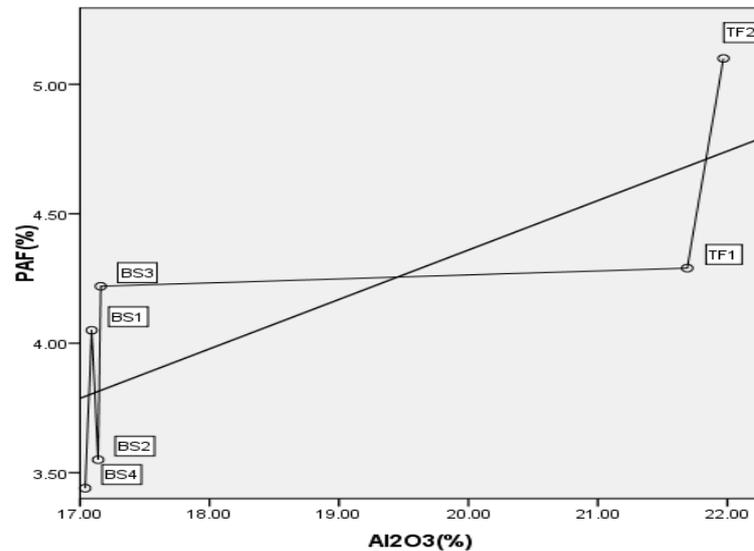


Figure 16: Corrélation P.A.F/ $Al_2O_3$ .

- ❖ Le diagramme de P.A.F/ $CaO$  : indique une bonne corrélation pour les échantillons de Tiffrit, où la PAF augmente avec les hautes teneurs de  $CaO$ , contrairement aux échantillons de Béni Saf.

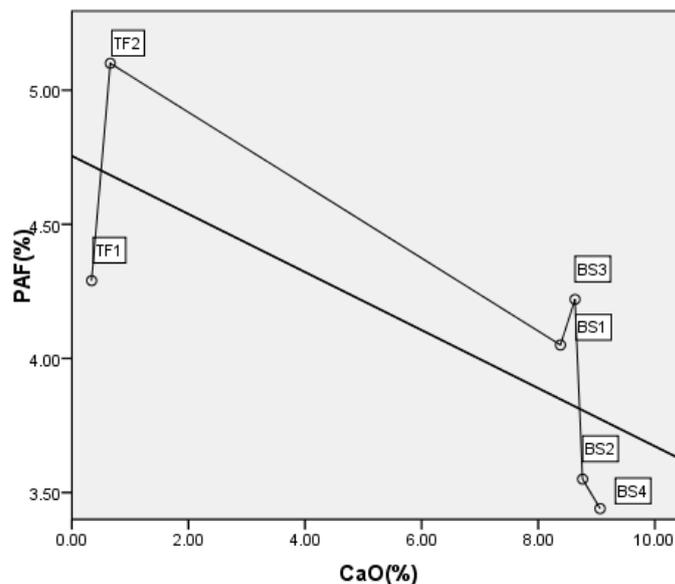


Figure 17: Corrélation P.A.F/ $CaO$ .

## b) Les diagrammes de L.A:

- ❖ **Le diagramme de L.A/ SiO<sub>2</sub>**: est marqué par une régression linéaire négative, montrant que la résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par chocs (L.A), qui augmente en fonction des hautes teneurs de silice.

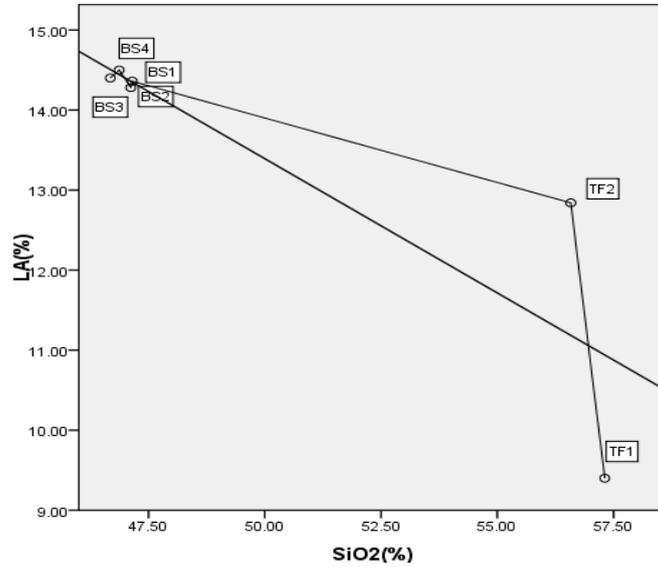


Figure 18: Corrélation de L.A/ SiO<sub>2</sub>.

- ❖ **Le diagramme de L.A/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**: indique en général que la résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par chocs (L.A.), qui augmente sensiblement avec les hautes teneurs de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mais pour les échantillons de Tiffrit , cette résistance diminue en fonction des hautes teneurs de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

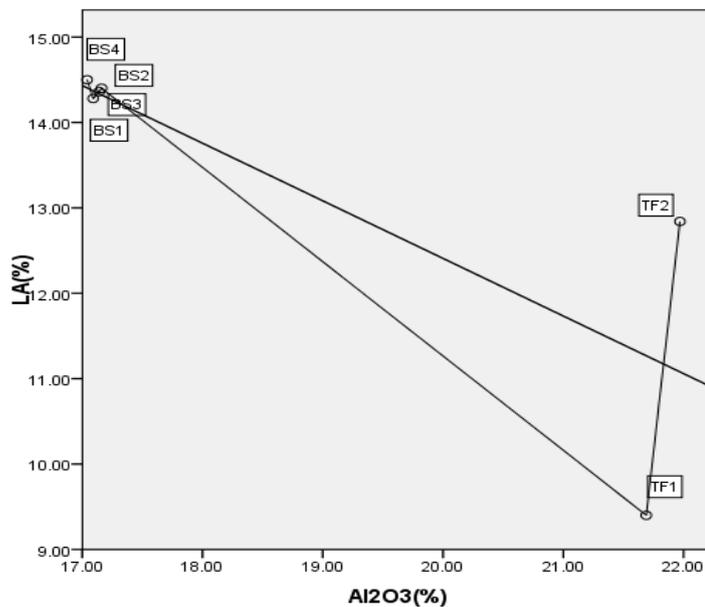


Figure 19: Corrélation de L.A/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## Chapitre III

- ❖ **Le diagramme de L.A/  $K_2O + Na_2O$** : montre en générale que la résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par chocs (**L.A.**) diminue avec les hautes teneurs des alcalins, contrairement aux échantillons de Tiffrit où cette résistance augmente sensiblement avec les hautes teneurs des alcalins.

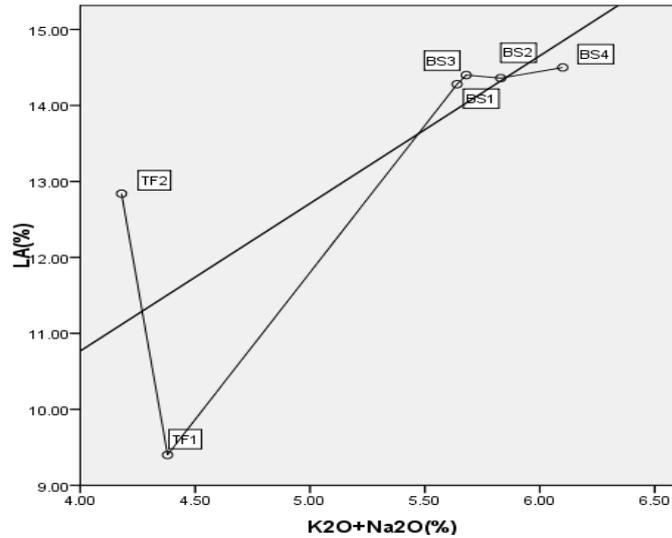


Figure 20: Corrélation de L.A./  $K_2O + Na_2O$ .

- ❖ **Le diagramme de L.A./CaO** : indique une diminution de la résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par chocs (L.A) avec les hautes teneurs de CaO.

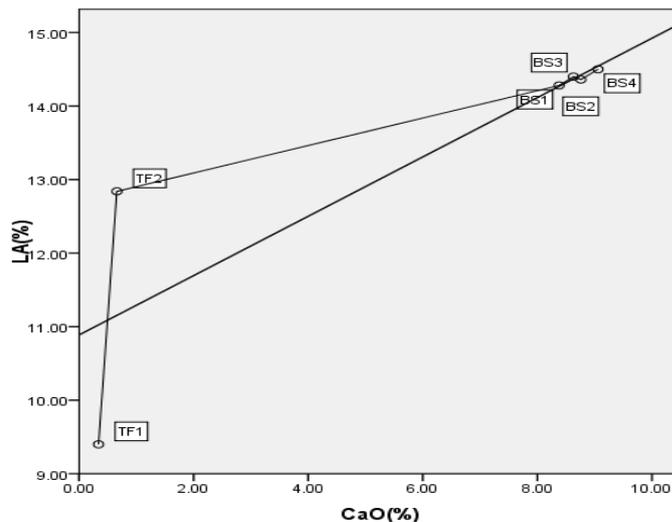


Figure 21: Corrélation de L.A./CaO.

### c) Les diagrammes de MDE :

- ❖ **Le diagramme de MDE/MgO** : montre en général une bonne résistance physico mécanique des échantillons à l'abrasion par usure (MDE), qui augmente sensiblement avec les hautes teneurs de MgO, ce ci est valable pour les échantillons de Tiffrit, mai ceux de Béni Saf indiquent le contraire, où la résistance diminue relativement en raison des influences de l'humidité marine.

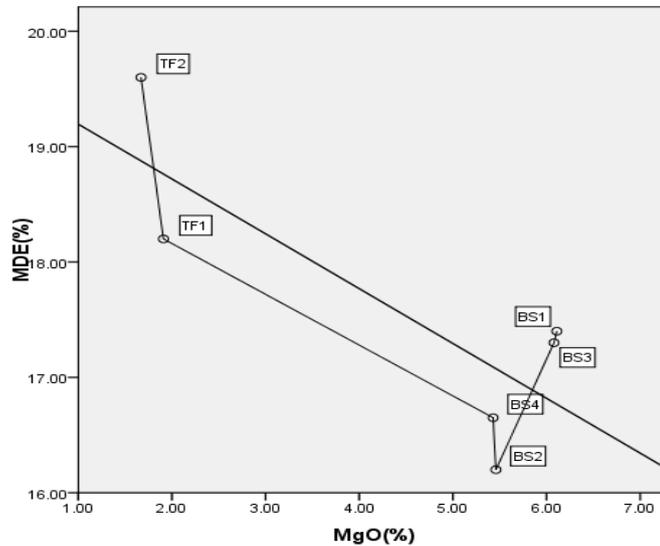


Figure 22: Corrélation de MDE/MgO.

- ❖ **Le diagramme de MDE/K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O** : est caractérisée par une régression linéaire négative, montrant une hausse de résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par usure (MDE) en fonction des hautes teneurs des alcalins (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O).

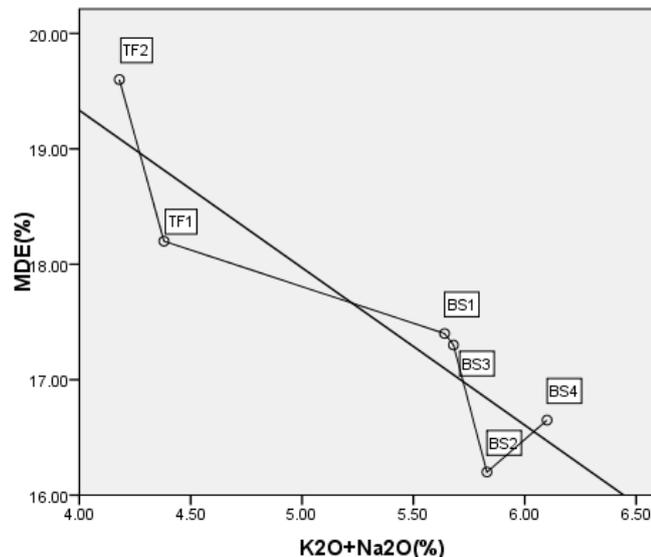
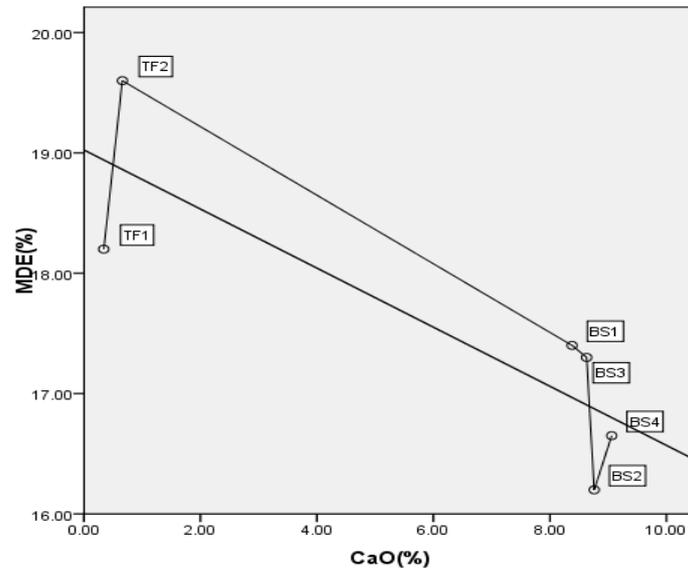


Figure 23: Corrélation de MDE/ Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O.

- ❖ **Le diagramme de MDE/CaO** indique en général une bonne résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par usure (**MDE**) en fonction des hautes teneurs de CaO, ceci est valable pour les échantillons de Béni Saf, alors que ceux de Tiffrit indiquent au contraire une faible résistance mécanique.



**Figure 24:** *Corrélation de MDE/CaO.*

## Chapitre III

### d) Les diagrammes de DRG :

- ❖ **Le diagramme de DRG/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : présente une régression linéaire positive, indiquant une hausse de la dureté relative globale avec les hautes teneurs de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

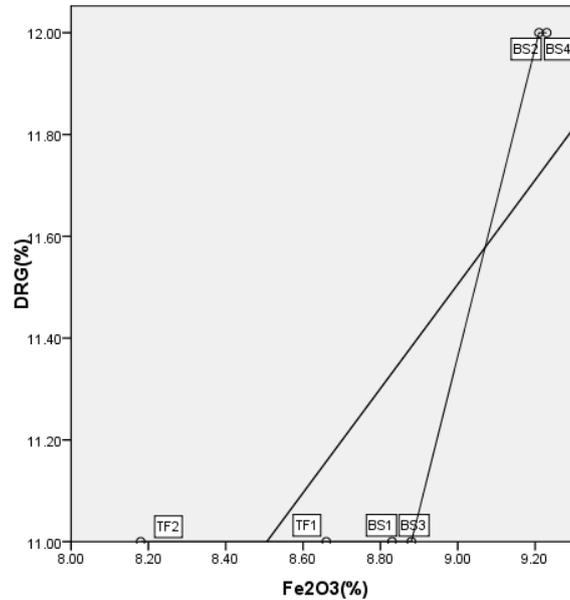


Figure 25: Corrélation de DRG/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- ❖ **Le diagramme de DRG/K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O** : affiche une régression linéaire positive, où on a une hausse de la Dureté Relative Globale (DRG) en fonction des hautes teneurs des alcalins (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O).

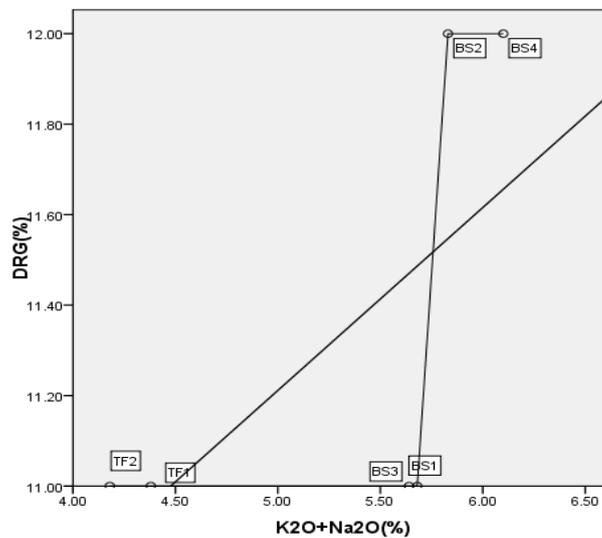


Figure 26: Corrélation de DRG/K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O.

## Conclusion

---

### CONCLUSION :

Au l'issue de cette étude portant sur les corrélations entre les propriétés pétro-géochimiques et les caractéristiques géotechniques effectuées sur les échantillons prélevés des roches basiques des deux sites géologiques (Tiffrit et Béni Saf), on a relevé un certain nombre de résultats suivants :

- ❖ Les analyses géochimiques à la fluorescence **X**, ont permis de préciser la nature pétrographique de ces roches, qui en général correspondent à des roches basiques à tendance intermédiaire pour le cas des échantillons de Tiffrit.
- Les valeurs de **PAF**, augmentent sensiblement avec les hautes teneurs de **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** et diminuent avec les hautes teneurs de **CaO**, contrairement aux échantillons de Tiffrit, ce qui implique que ces derniers sont plus altérés que ceux de Béni Saf.
- ❖ Les essais géotechniques, en termes de Los Angeles (**LA**) et Micro-Deval Humide (**MDE**), ont donné les propriétés suivantes :
  - Les valeurs de **LA**, indiquent une bonne résistance mécanique avec les valeurs élevées de **SiO<sub>2</sub>** et **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**, alors qu'elle est faible en fonction des **K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O** et la **CaO**.
  - Les valeurs de **MDE**, expriment en général une bonne résistance mécanique avec les hautes teneurs de **MgO**, **K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O** et la **CaO**, seulement les échantillons de Tiffrit sont relativement fragilisés par CaO et ceux de Béni Saf, le sont par le **MgO**.
- ❖ D'autre part, tous les échantillons présentent une bonne **DRG** à excellente, selon les normes algériennes, qui est fonction des hautes teneurs des **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** et **K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O**.

En conclusion, les résultats obtenus à partir analyses pétrogéochimiques et des essais géotechniques, ont vérifié amplement que les échantillons de Tiffrit sont plus altérés (en raison du climat contrasté accentué par le degré de continentalité) que ceux de Béni Saf (en raison de la douceur des influences marines), ce qui nous permet de juger que le site de Béni Saf, constituant un massif de roches basiques exprimant une grande réserve exploitable, pourrait faire l'objet d'ouverture de carrières pour la production des granulats destinés à différentes utilisations dans les projets de constructions.

## BIBLIOGRAPHIE :

1. A.BEY et all : « **station géante EL-MALAH, rapport d'étude géologique du gisement de d'HAR EL-MENDJEL:ENG** », novembre 1996.
2. ARAB Karima, BOUZIANE Hadjer : « **Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballas**», Projet d'ingénieur d'état, université FERHAT ABBAS, Sétif, 2008.
3. BELLAIR P., POMEROL C, « **Elément de géologie** », 8ième édition, Collection U - Armand Colin, 495p, 1984.
4. BORDET M, « **Géologie- Schémas et croquis des cours et conférences** », Ecole Centrale des Arts et Manufactures, 253p, 1979.
5. DJEZAIRI Omar « **L'INFLUENCE DU MODE DE CONCASSAGE SUR LES CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRANULATS**», projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, 2009.
6. Documentation de S.N.M.C : « **ETUDE GEOLOGIQUE DES GISEMENTS : Cimenterie de Béni Saf** », 1973.
7. Documentation de C.E.T.I.M (centre d'étude et de services géologiques de l'industrie de matériaux de construction), Département laboratoire liant et béton.
8. GABRYSIK F, « **Matériaux, les granulats** », chapitre 2, pp. 1-35, 2002.
9. GIAFFERI J.L, « **Characterisation of rock masses useful for the design and the construction of underground structures** », AFTES, pp. 4-31, Avril 2003.
10. M. CHANANE Larouci, « **COMPORTEMENT ET INFLUENCE DES QUALITES DU BALLAST SUR LA CIRCULATION DES TRAINS** », Mémoire de magister, Institut Supérieur de Formation Ferroviaire ISFF, 2008.
11. MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES MINES, Agence Nationale de la **Géologie** et du **Contrôle Minier**, notice explicative de la carte-minute géologique de la feuille d'Ain Balloul, n°275, 1/50.000, 2009.
12. MILNITCHOUK V., ARABADJI M, « **Géologie Générale** », Ed. Moscou, 440p, 1983.

## Bibliographie

---

13. K. KHADRAOUI et N. CHERIFI : « **Contribution à une étude d'impact préalable à l'ouverture d'une carrière de granulats calcaires située dans le massif de D'HAR-EL-MENDJEL, wilaya d'Ain Témouchent** ». Mémoire de fin d'études, USTHB, 1996.
14. KOVALENKO V, « **Exploitation des carrières** », OPU, 1986.
15. RICHARD Maillot, « **Mémento technique des granulats** », Les Presses de l'Ecole des Mines, 2001.
16. THOMAS D., LABAILLY G, « **Le Génie Civil** », **Revue générale des chemins de fer**», ISSN-0035-3183-Ed. Delville, n°141/ Juillet/Août, pp. 39-63, 2005.
17. WATTERS B.R. et al, « **Evaluation of Ballast Materials Using Petrographic Criteria** », pp. 47-57, 1985.

## Annexe :

## Matrices de Corrélation de Kendall

		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O+Na2O	PAF	LA	MDE	DRG
SiO2	Coefficient de corrélation	1.000	.467	-.200-	-.600-	-.467-	-.467-	.333	-.733 <sup>+</sup>	.333	-.183-
	Sig. (bilatéral)	.	.188	.573	.091	.188	.188	.348	.039	.348	.643
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al2O3	Coefficient de corrélation	.467	1.000	-.733 <sup>+</sup>	-.600-	-.467-	-.733 <sup>+</sup>	.867 <sup>+</sup>	-.467-	.600	-.548-
	Sig. (bilatéral)	.188	.	.039	.091	.188	.039	.015	.188	.091	.165
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fe2O3	Coefficient de corrélation	-.200-	-.733 <sup>+</sup>	1.000	.600	.467	.733 <sup>+</sup>	-.867 <sup>+</sup>	.467	-.867 <sup>+</sup>	.730
	Sig. (bilatéral)	.573	.039	.	.091	.188	.039	.015	.188	.015	.064
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CaO	Coefficient de corrélation	-.600-	-.600-	.600	1.000	.067	.867 <sup>+</sup>	-.733 <sup>+</sup>	.867 <sup>+</sup>	-.733 <sup>+</sup>	.730
	Sig. (bilatéral)	.091	.091	.091	.	.851	.015	.039	.015	.039	.064
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MgO	Coefficient de corrélation	-.467-	-.467-	.467	.067	1.000	.200	-.333-	.200	-.333-	.000
	Sig. (bilatéral)	.188	.188	.188	.851	.	.573	.348	.573	.348	1.000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
K2O + Na2O	Coefficient de corrélation	-.467-	-.733 <sup>+</sup>	.733 <sup>+</sup>	.867 <sup>+</sup>	.200	1.000	-.867 <sup>+</sup>	.733 <sup>+</sup>	-.867 <sup>+</sup>	.730
	Sig. (bilatéral)	.188	.039	.039	.015	.573	.	.015	.039	.015	.064
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PAF	Coefficient de corrélation	.333	.867 <sup>+</sup>	-.867 <sup>+</sup>	-.733 <sup>+</sup>	-.333-	-.867 <sup>+</sup>	1.000	-.600-	.733 <sup>+</sup>	-.730-
	Sig. (bilatéral)	.348	.015	.015	.039	.348	.015	.	.091	.039	.064
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
LA	Coefficient de corrélation	.733 <sup>+</sup>	-.467-	.467	.867 <sup>+</sup>	.200	.733 <sup>+</sup>	-.600-	1.000	-.600-	.548
	Sig. (bilatéral)	.039	.188	.188	.015	.573	.039	.091	.	.091	.165
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MDE	Coefficient de corrélation	.333	.600	-.867 <sup>+</sup>	-.733 <sup>+</sup>	-.333-	-.867 <sup>+</sup>	.733 <sup>+</sup>	-.600-	1.000	-.730-
	Sig. (bilatéral)	.348	.091	.015	.039	.348	.015	.039	.091	.	.064
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DRG	Coefficient de corrélation	-.183-	-.548-	.730	.730	.000	.730	-.730-	.548	-.730-	1.000
	Sig. (bilatéral)	.643	.165	.064	.064	1.000	.064	.064	.165	.064	.
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

## Matrices de Corrélation de Spearman

		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O + Na2O	PAF	LA	MDE	DRG
SiO2	Coeffi de Corrélation	1	.996**	-.795-	-.998**	-.987**	-.972**	.733	-.863*	.835*	-.491-
	Sig. (bilatéral)		.000	.059	.000	.000	.001	.097	.027	.038	.323
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al2O3	Coeffi de Corrélation	.996**	1	-.835*	-.997**	-.989**	-.981**	.779	-.820*	.871*	-.505-
	Sig. (bilatéral)	.000		.039	.000	.000	.001	.068	.046	.024	.307
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fe2O3	Coeffi de Corrélation	-.795-	-.835*	1	.825*	.766	.899*	-.992**	.484	-.989**	.772
	Sig. (bilatéral)	.059	.039		.043	.076	.015	.000	.331	.000	.072
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CaO	Coeffi de Corrélation	-.998**	-.997**	.825*	1	.981**	.983**	-.768-	.853*	-.860*	.536
	Sig. (bilatéral)	.000	.000	.043		.001	.000	.075	.031	.028	.273
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MgO	Coeffi de Corrélation	-.987**	-.989**	.766	.981**	1	.945**	-.700-	.808	-.815*	.374
	Sig. (bilatéral)	.000	.000	.076	.001		.004	.121	.052	.048	.466
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
K2O + Na2O	Coeffi de Corrélation	-.972**	-.981**	.899*	.983**	.945**	1	-.860*	.784	-.912*	.634
	Sig. (bilatéral)	.001	.001	.015	.000	.004		.028	.065	.011	.176
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PAF	Coeffi de Corrélation	.733	.779	-.992**	-.768-	-.700-	-.860*	1	-.415-	.962**	-.794-
	Sig. (bilatéral)	.097	.068	.000	.075	.121	.028		.413	.002	.059
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
LA	Coeffi de Corrélation	-.863*	-.820*	.484	.853*	.808	.784	-.415-	1	-.527-	.437
	Sig. (bilatéral)	.027	.046	.331	.031	.052	.065	.413		.283	.386
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MDE	Coeffi de Corrélation	.835*	.871*	-.989**	-.860*	-.815*	-.912*	.962**	-.527-	1	-.724-
	Sig. (bilatéral)	.038	.024	.000	.028	.048	.011	.002	.283		.103
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DRG	Coeffi de Corrélation	-.491-	-.505-	.772	.536	.374	.634	-.794-	.437	-.724-	1
	Sig. (bilatéral)	.323	.307	.072	.273	.466	.176	.059	.386	.103	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

### Matrices de Corrélation de Pearson

		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O + Na2O	PAF	LA	MDE	DRG
SiO2	Coeff de corrélation	1.000	.600	-.429-	-.714-	-.657-	-.657-	.543	-.886-	.543	-.207-
	Sig. (bilatéral)	.	.208	.397	.111	.156	.156	.266	.019	.266	.694
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al2O3	Coeff de corrélation	.600	1.000	-.829-	-.771-	-.600-	-.829-	.943	-.714-	.714	-.621-
	Sig. (bilatéral)	.208	.	.042	.072	.208	.042	.005	.111	.111	.188
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fe2O3	Coeff de corrélation	-.429-	-.829-	1.000	.829	.543	.886	-.943-	.657	-.943-	.828
	Sig. (bilatéral)	.397	.042	.	.042	.266	.019	.005	.156	.005	.042
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CaO	Coeff de corrélation	-.714-	-.771-	.829	1.000	.371	.943	-.886-	.943	-.886-	.828
	Sig. (bilatéral)	.111	.072	.042	.	.468	.005	.019	.005	.019	.042
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MgO	Coeff de corrélation	-.657-	-.600-	.543	.371	1.000	.429	-.486-	.429	-.486-	.000
	Sig. (bilatéral)	.156	.208	.266	.468	.	.397	.329	.397	.329	1.000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
K2O + Na2O	Coeff de corrélation	-.657-	-.829-	.886	.943	.429	1.000	-.943-	.886	-.943-	.828
	Sig. (bilatéral)	.156	.042	.019	.005	.397	.	.005	.019	.005	.042
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PAF	Coeff de corrélation	.543	.943	-.943-	-.886-	-.486-	-.943-	1.000	-.771-	.886	-.828-
	Sig. (bilatéral)	.266	.005	.005	.019	.329	.005	.	.072	.019	.042
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
LA	Coeff de corrélation	-.886-	-.714-	.657	.943	.429	.886	-.771-	1.000	-.771-	.621
	Sig. (bilatéral)	.019	.111	.156	.005	.397	.019	.072	.	.072	.188
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MDE	Coeff de corrélation	.543	.714	-.943-	-.886-	-.486-	-.943-	.886	-.771-	1.000	-.828-
	Sig. (bilatéral)	.266	.111	.005	.019	.329	.005	.019	.072	.	.042
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DRG	Coeff de corrélation	-.207-	-.621-	<b>.828*</b>	.828*	.000	<b>.828*</b>	-.828-*	.621	-.828-	1.000
	Sig. (bilatéral)	.694	.188	.042	.042	1.000	.042	.042	.188	.042	.
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6