

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Minier



Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en
Génie Minier

Thème

*Etude de caractérisation géologique et
géomécanique de l'affleurement magmatique de Cap
Djinet pour la production des granulats*

Proposé et dirigé par :

Mr. CHAANE Larouci

Réalisé par :

DADDI MOUSSA YDER Noureddine

SEMMACHE Mohamed Fouad

Septembre 2013

❁❁❁ Remerciements ❁❁❁

✎ *A l'issue de ce mémoire de fin d'études, nous remercions ALLAH le tout puissant qui, grâce à lui, nous avons pu avoir le courage, la volonté et l'espoir dans toute notre vie, et précisément au cours de notre mémoire de fin d'études.*

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à notre promoteur Mr. CHANANE Larouci pour avoir proposé et dirigé ce travail, nous le remercions également, pour son aide effective et les précieux conseils qui nous ont été de grande aide.

✎ *Notre gratitude va également droit aux membres du jury :*

- *Mr. M. OULED HAMOU président de jury : MCA*
- *Mr. R. GACEM, examinateur : Maître assistant A, qui ont bien voulu nous honorer par leur présence et d'accepter d'examiner et de juger notre modeste travail de recherche.*

✎ *Aussi, nous tenons à remercier vivement l'ensemble des enseignants de notre Département Génie Minier surtout Mr. A. SAADA à qui, on souhaite un prompt rétablissement, et toutes les personnes ayant contribué au bon fonctionnement de l'Ecole Nationale polytechnique.*

Nous tenons également à remercier :

- *le personnel du CETIM et précisément*
 - *Mr. Le directeur A. DAOUDI,*
 - *Mme IGHIL AMEUR,*
 - *Mr. LAZHAR,*
- *le bureau d'étude de GéoMéca.*
- *Le centre de documentation de l'ANGCM, en particulier Mme A. DJELOULI.*
- *Les techniciens du laboratoire de notre département génie minier : Mrs. Mustapha MEZIANI et Djaâfar AHMED.*

✎ *Un grand remerciement pour tous les enseignants des différents paliers, depuis le cycle primaire jusqu'à l'université qui, se sont tant sacrifiés pour nous avoir prodigué le bon savoir et un meilleur apprentissage.*

DEDICACES

✂ Je tiens à dédier ce modeste travail à tous ceux qui m'ont aidé et encouragé, même avec un mot.

À ma mère, pour son soutien moral et encouragement durant tout mon cursus scolaire et éducatif, et aussi à la mémoire de mon père.

À mes chers frères : Mohamed, Omar et à la mémoire de Yahia

À mes chères sœurs : Aicha et Hafida

À mes nièces

À mes oncles et tantes

À tous mes proches à Alger, Blida et Hadjout

À tous mes amis, en l'occurrence ceux de l'ENP.

..... Nouredine.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents

A mes frères Amine, Karim, Abdelhak et souhaib

*A ma sœur Nawal et son mari Rachid,
ma sœur Samia et son mari Mohamed*

A mes grand parents, Mes oncles et Mes tantes

A mes cousines et mes cousins,

A toute ma famille

A tous mes amis, Karou, Saïd, Oussama,

Sid Ali , Youcef et Mouataz

*A tous mes camarades de la promotion et plus particulièrement
le groupe des sept.*

... Mohamed Fouad

Table des matières

Introduction	1
--------------------	---

Partie Théorique

Chapitre I: Cadre naturel de Cap Djinet

1. Cadre géographique.....	3
1.1 Limites géographique et administrative	3
1.2 Climat.....	3
2. Contexte de géologie régionale	4
2.1 Historique des travaux.....	4
2.2 Géologie régionale	4
2.3 Tectonique	7

Chapitre II: Généralités sur les granulats

1. Définitions	3
2. Les Classes granulométriques	3
3. Provenance des granulats.....	4
3.1 Les roches massives.....	4
3.2 Les roches meubles	4
4. Usage des granulats	4
5. Les caractéristiques des granulats	5
5.1 Les caractéristiques liées aux propriétés des roches.....	5
5.1.1 Pétrographie	5
5.1.2 Caractéristiques physiques	5
5.1.3 Caractéristiques mécaniques	7
5.2 Les caractéristiques liées aux conditions de fabrication	8
5.2.1 La granularité	8
5.2.2 Module de finesse	8
5.2.3 Aplatissement.....	9
5.2.4 L'angularité	11
5.2.5 Propreté des granulats	11
5.3 Caractéristiques chimiques	12
5.3.1 La teneur en chlorures	13

5.3.2 Teneur en soufre	13
5.3.3 Teneur en sulfates	13
5.3.4 Teneur en matières organiques.....	13

Chapitre III: Généralités sur les roches magmatiques basiques

1. Introduction	14
2. Les roches magmatiques basiques	15
2.1 Les roches de surface	15
2.2 Roches de demi-profondeur	16
2.3 Les roches de profondeur	16
3. Les basaltes	17
3.1 Définition et caractère	17
3.2 Principaux types de basaltes.....	17
3.3 Caractéristiques mécaniques des basaltes	17

Partie Expérimentale

1. Introduction	24
2. Géologie de site d'échantillonnage.....	24

Chapitre I: Etude pétrographique et analyse géochimique

1. Introduction	28
2. Etude pétrographique.....	28
2.1 Echantillon 6	28
2.2 Echantillon 8	30
2.3 Synthèse générale de l'analyse microscopique	31
3. analyse chimique.....	33
3.1 Interprétation des résultats	33
4. Conclusion	35

Chapitre II: Les essais géotechniques

1. Essai Los Angeles.....	36
1.1 Description de la machine Los Angeles.....	36
1.2 Mode opératoire	37
1.2.1 Préparation de l'échantillon	37
1.2.2 Exécution de l'essai.....	38
1.3 Formulation	38

1.4 Résultats expérimentaux des essais Los Angeles	39
2. Essai Micro-Deval	39
2.1 Description de la machine	39
2.2 Mode opératoire	40
2.2.1 Préparation de l'échantillon	40
2.2.2 Matériels utilisés pour l'exécution de l'essai Micro-Deval	40
2.2.3 Exécution de l'essai.....	41
2.3 Formulation	42
2.4 Résultats expérimentaux des essais Micro-Deval	42
3. La Dureté Relative Globale DRG.....	42
4. Interprétation des essais géotechniques	44
4.1 Observation et interprétations des résultats	44
5. Conclusion	45
Chapitre III: Relations pétrogéochimique et géotechnique	
1. Introduction	46
2. Diagrammes De Corrélation	46
Conclusion Générale.....	52
Références bibliographiques	54
Annexe 1.....	56
Annexe 2.....	59
Annexe 3.....	61

Liste des Figures

Figure 1 : Carte administrative de la wilaya de Boumerdes.	3
Figure 2 : Coupe géologique des formations volcaniques de Cap Djinet	6
Figure 3 : Coupe des formations géologiques de Djennad (A) et El Homadna (B)	7
Figure 4 : Prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la MVA et de la MVR	6
Figure 5 : Forme d'un granulat	9
Figure 6 : Schéma montrant le Principe de mesure du coefficient d'aplatissement.....	10
Figure 7 : Essai d'équivalent de sable (mesure visuelle)	12
Figure 8 : Extrait de la carte géologique de DELLYS – TIZI. OUZOU au 1/50 000 (feuille n° 8/1984).....	25
Figure 9 : Légende stratigraphique et lithologique de la carte géologique de DELLYS – TIZI. OUZOU (1/50 000).....	26
Figure 10 : points de prélèvement des échantillons à partir des gradins de la carrière.....	27
Figure 11: Echantillon 6 (obj 5X 0,13 POL) en LPA	32
Figure 12: Echantillon 8 (obj 5X 0,13 POL) en LPA	32
Figure 13: Type des roches magmatiques basiques dans le diagramme de TAS	34
Figure 14 : Classification des roches magmatiques dans le diagramme TAS.....	34
Figure 15 : Le dispositif de la machine Los Angeles	36
Figure 16 : Quelques matériels utilisés pour l'essai Los Angeles.....	37
Figure 17: Dispositif de la machine Micro Deval	40
Figure 18: Quelques matériels utilisés pour l'essai Micro Deval.....	41
Figure 19 : Représentation de la dureté relative globale des échantillons	43
Figure 20: Diagramme de corrélation PAF/ Al_2O_3	47
Figure 21: Diagramme de corrélation PAF/ $K_2O + Na_2O$	47
Figure 22: Diagramme de corrélation PAF/ Fe_2O_3	48
Figure 23: Diagramme de corrélation PAF/MgO	48
Figure 24: Diagramme de corrélation LA/ SiO_2	49

Figure 25: Diagramme de corrélation LA/ $K_2O + Na_2O$	49
Figure 26: Diagramme de corrélation LA/ CaO	50
Figure 27: Diagramme de corrélation MDE/ Al_2O_3	50
Figure 28: Diagramme de corrélation MDE/ Fe_2O_3	51
Figure 29: Diagramme de corrélation DRG/ Al_2O_3	51

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Quelques substances qui pollue les granulats.	11
Tableau 2. Teneurs et dimensions des différents minéraux contenus dans l'échantillon 6.....	28
Tableau 3. Teneurs et dimensions des différents minéraux contenus dans l'échantillon 8.....	30
Tableau 4 : Résultats en pourcentage poids des analyses géochimiques en éléments majeurs.....	33
Tableau 5 : Représentation de la relation entre les classes granulaires	38
Tableau 6 : Résultats des essais Los Angeles	39
Tableau 7 : Représentation de la relation entre la classe granulaire et la charge abrasive.....	41
Tableau 8 : Résultats des essais Micro Deval	42
Tableau 9 : Les valeurs de DRG de chaque échantillon.....	43
Tableau 10 : Résultats de tous essais géotechniques.	44
Tableau 11 : limites exigées des valeurs de LA , MDE et DRG.....	45
Tableau 12 : Comparaison des résultats aux différentes normes.	45
Tableau 13: Synthèse des résultats chimiques et géotechniques.....	46

ملخص

ان الطلب على شتى أنواع الحصى يشهد تزايدا مستمرا من سنة لأخرى في مشاريع الهندسة المدنية و الأشغال العمومية، أيضا وجود تحسينات حديثة على النوعية، حيث أصبح التركيز على النوعية شيء ضروري و أكيد.

تعتبر الأحجار الرسوبية الكلسية في الجزائر المصدر الأساسي للحصى ، غير أن هذه الأخيرة تتميز بنوعية حسنة، حيث تستلزم ضرورة البحث عن أنواع أخرى من الصخور ذات النوعية الجيدة، لا سيما النارية منها، التي تتميز بخصائص فيزوميكانكية و كيميائية عالية تتوافق مع المعايير الدولية.

ان الهدف من هذه الدراسة، هو ايجاد الخصائص و التحقق من نوعية الأحجار النارية، القاعدية منها، المستخرجة من منطقة رأس جنات(بومرداس)، وذلك عن طريق القيام بعدة تجارب فيزيائية و ميكانيكية (MDE,LA) و تحاليل بتروكيميائية (F.X) ، التحليل المجهرى للعينات). بعد ذلك نقوم بمعالجة النتائج المحصل عليها عن طريق الكمبيوتر لمقارنة الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية بالكيميائية، مع ايجاد تأثير كل مركب كيميائي على المقاومة الفيزوميكانكية .

ختاما، فان النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة، قد بينت و حققت و أكدت أن عينات الأحجار المستخرجة التي خضعت للتحاليل المخبرية، تتميز بخصائص عالية من الجودة بالمقارنة مع الأحجار الرسوبية الكلسية المستعملة على نطاق واسع في أشغال البناء.

الكلمات المفتاحية: الحصى، الصخور القاعدية، بتروغرافيا، جيوكيمياء، جيوتقنية.

Abstract

The supply in graded granulates needed in civil engineering projects for building and public works construction increases more and more, and introduce a qualitative improvements year after year, in such a way , that the best quality becomes highly required.

In Algeria, the main source of traditionally used granulates, is deriving from the calcareous sedimentary rocks, which gives more or less good quality, that the reason why the necessity of seeking others types of rocks originating essentially from the basic magmatic rocks, which it's seems to be of best qualities and provides better physical-mechanics and chemical resistance, matching the international standards.

The purpose of our study, it aims to characterize and verify the magmatic basic rocks, sampled from Cap-Djinet area, located in Eastern part of Boumerdes, by the mean of mechanical tests (Los Angeles, Micro-Deval) and petrochemical analysis (microscope analysis of thin sections and X. Fluorescence).

After that, the given results collected from the laboratories are processed by the Excel.10 computer program in order to construct diagrams correlation between the results of the geotechnics parameters versus the values of chemical analysis expressed in percentage weight, to determine consequently, the impact of each chemical compound on physical-mechanics resistance of these rocks.

Finally, the obtained results have verified and confirmed that the of magmatic basic rocks sampled from Cap Djinet area, gives about better granulates providing best qualities comparing to that of calcareous sedimentary rocks.

Key words: granulates, basic rocks, petrography, geochemistry, geotechnics.

Résumé

La demande d'apport en matériaux des granulats dans les projets du génie civil pour la construction du Bâtiment et Travaux Publics (BTP) ne cessent d'augmenter et de connaître des améliorations qualitatives d'année en année, d'où l'exigence d'une meilleure qualité devient une nécessité absolue.

En Algérie, la source principale des granulats traditionnellement utilisés, provient des roches calcaires. Cependant, ces dernières présentent des qualités plus ou moins bonnes, d'où la nécessité de rechercher d'autres types de roches, en l'occurrence les roches magmatiques basiques qui, offrent de meilleures résistances physico-mécaniques et chimiques et présentent de meilleures qualités répondant aux normes standard internationales.

L'objectif de notre étude, vise la caractérisation et la vérification de la qualité des roches, prélevées à partir de l'affleurement magmatique basique de Cap Djinet (Boumerdès), par des essais mécaniques (Los Angeles, Micro-Deval) et des analyses pétrogéochimiques (par Fluorescence X et analyse microscopique des lames minces).

Ensuite, les résultats obtenus feront l'objet d'un traitement informatique pour le développement et la construction des diagrammes de corrélation opposant les résultats des paramètres géotechniques aux valeurs des pourcentages poids des analyses chimiques, et de facto, vérifier l'impact des composés chimiques sur la résistance physico-mécanique du gisement rocheux.

En conclusion, Les résultats obtenus dans le cadre de notre travail de recherche ont montré, vérifié et confirmé que les échantillons de roches prélevés font l'objet de bons matériaux de granulats offrant de meilleures qualités que celles des roches calcaires.

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

Introduction Générale

Introduction

Les granulats constituent la matière première essentielle par excellence pour la réalisation des différents projets de génie civil (constructions des routes, ponts, tunnels, aéroports, ports et bâtiments, ...).

Ces projets sont en hausse d'année en année et l'approvisionnement en granulats se fait grandement sentir non seulement en quantités importantes, mais aussi en terme de qualité qui devient de plus en plus exigée, où tous les travaux de construction des ouvrages d'arts doivent utiliser des matériaux de granulats devant impérativement satisfaire à certaines normes de qualités.

En Algérie, la principale source des granulats traditionnellement utilisés a pour origine les roches sédimentaires calcaires qui, présentent des qualités plus ou moins bonnes, mais qui ne peuvent pas répondre à toutes les conditions physico-mécaniques et chimiques requises et exigées par les normes standard internationales.

Par contre, les roches magmatiques, en l'occurrence les roches basiques qui présentent de meilleures qualités peuvent répondre à ces défis en raison de leurs bonnes propriétés physico-mécaniques et chimiques.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, notre travail de recherche consiste à vérifier et prouver la validation de cette hypothèse, en procédant par des analyses chimiques et essais mécaniques sur les échantillons prélevés de l'affleurement magmatique basaltique de Cap-Djinet, situé dans une région côtière à 95 Km à l'Est d'Alger, qui fait objet d'une carrière de production de granulats en exploitation par Sonatro.

Pour cela, l'approche d'étude adoptée est basée sur le plan de travail suivant :

1) **Une synthèse bibliographique** : pour présenter le cadre naturel et le contexte géologique dans lesquels s'inscrit la région de Cap-Djinet et indiquer la lithostratigraphie du site d'échantillonnage.

2) **Définir les concepts d'études utilisés**, pour connaître :

- ☞ Les propriétés physico-mécaniques des granulats,
- ☞ Les propriétés géologiques des roches basiques.

3) **Elaborer une mission d'échantillonnage des roches** à partir des différents niveaux du site de la carrière.

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

- ☞ La réalisation de deux tests géotechniques, utilisant les Essais Los Angeles (LA) et Micro-Deval (MDE) sur les échantillons de roches prélevés, afin de mesurer et vérifier le degré de résistance combinée entre l'usure par frottements réciproques et la fragmentation par chocs ;

- ☞ Une étude pétrographique par une analyse microscopique (Microscope Polarisant) des lames minces des échantillons prélevés ;
- ☞ Des analyses géochimiques par fluorescence des Rayons X, afin de déterminer la composition chimique de ces échantillons.
- ☞ Et un traitement mathématique par l'outil informatique afin de déterminer les corrélations, en régression linéaire, pouvant exister entre les caractéristiques géochimiques et les paramètres géotechniques, de nature à déterminer les comportements physico mécanique et chimique de ces échantillons face aux contraintes générées par le milieu national (température, pression et humidité) et des activités humaines.

Partie Théorique

Chapitre I : Cadre naturel de la région de Cap Djinet

1. Cadre géographique

1.1 Limites géographique et administrative

La région de Cap Djinet est située à 95 Km environ à l'Est d'Alger, faisant partie de la zone orientale de la wilaya de Boumerdes, instituée en commune, elle est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par la commune de Bordj Menaiel, à l'Ouest par Oued Sebaou et la commune de Leghata, à l'Est par la commune de Sidi Daoud et par la commune de Ouled Aissa au SE (Figure1).

Selon la carte géologique de DELLYS – TIZI. OUZOU au 1/50 000 (feuille n° 8/1984), la région de Cap Djinet est comprise entre les coordonnées géographiques de **3°50'** et **03°55' Est** et autour de **36°55'Nord**.

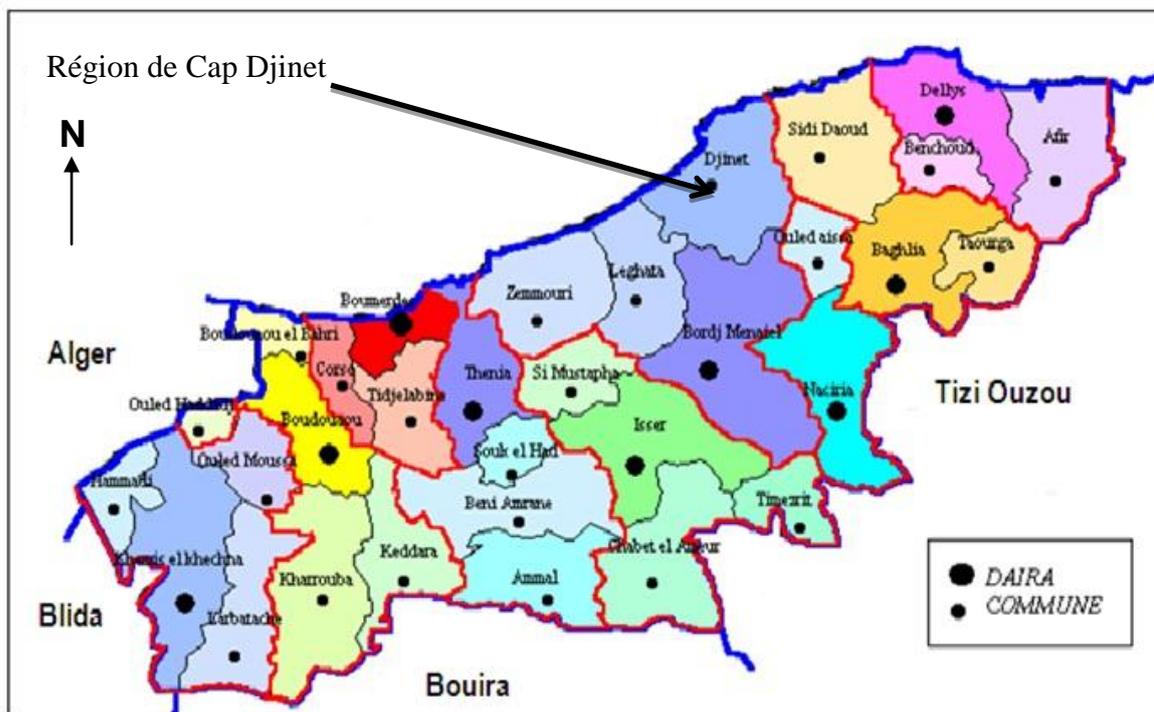


Figure 1 : Carte administrative de la wilaya de Boumerdes.
[site web : www.apw-boumerdes.com, 25/05/2013]

1.2 Climat

La région de Cap Djinet est caractérisée par un climat méditerranéen (hiver froid et humide et été chaud et sec). La pluviométrie est irrégulière et varie entre 500 et 1 300 mm/an. Vu sa proximité de la mer, les amplitudes thermiques annuelles sont en général faibles. La température moyenne annuelle est de 18°C près de la côte et de 25° à l'intérieur du territoire de la commune.

2. Contexte de géologie régionale

2.1 Historique des travaux

Les premiers travaux effectués sur la région de Cap Djinet remontent à 1868, parmi ces travaux on cite :

- « la notice minéralogique de la région de Dellys et ses environs » réalisée par **L.VILLE** » 1868
- Travaux de J. CURIE, G. FLAMAND, 1889.
- Travaux de J.FICHEUR 1891.
- Travaux de L. GLANGEAUD entre 1932 et 1954. [R.YAKHLEF, 1992]

2.2 Géologie régionale

Les formations volcaniques de Cap Djinet remontent à l'âge du miocène (Figure 2), dans la période allant du **Burdigalien supérieur** à l'**Helvétien inférieur**.

Ces formations se distribuent en deux séries distinctes (Figure 3):

- Une série supérieure andésitique

Les andésites semblent s'aligner suivant un axe NS depuis Bounoua jusqu'au Koudiet El lebène. Ces formations sont réparties en lambeaux de coulées sur les basaltes. Ce sont essentiellement des laves porphyriques souvent bréchiques et par endroits reliées à des brèches monogéniques.

❖ *Les coulées*

De dimensions relativement faibles, les coulées ont parfois des formes de galettes ovoïdes. La lave est massive à prismation grossière verticale ou présentant un aspect feuilleté.

❖ *Les brèches andésitiques*

Elles constituent la base des coulées. Ce sont des brèches monogéniques, hétérométriques et non classées. La matrice qui cimente ces brèches est hyaline ou tuffacée.

Ces brèches sont la conséquence des phases explosives avec projections aériennes de cendres et de blocs.

- Une série inférieure basaltique :

Avec une puissance de 400m au Djbel Djennad et qui diminue du NE au SW. Elle est associée à des produits pyroclastiques, des coulées et des intrusions de basaltes.

Cette série est caractérisée par des faciès d'épanchements et des produits de projections et des intrusions magmatiques.

➤ *Des faciès d'épanchements*

Les faciès d'épanchement des basaltes fins et des basaltes porphyriques sont répartis comme suit :

- ❖ Basalte fin « supérieur »
- ❖ Basalte porphyrique
- ❖ Basalte fin « inférieur »

➤ Les termes « inférieur » et « supérieur » sont par rapport à la couche porphyrique

Les faciès forment des coulées aériennes prismées et des pillows lavas. Les pillows lavas sont connus à l'embouchure de l'Oued el Arba. Les coussins présentent des diamètres variables allant de 10cm à plus de 1m et sont parfois cimentés par des rubans de marnes jaunes.

A Cap Djinet, ces pillows lavas sont surmontés par des coulées aériennes grossièrement prismées qui, présentent à leurs bases des coulées oblitérées par une altération en boules « pelures d'oignons »

➤ *Les produits de projections*

Les produits de projections sont souvent associés à des fines intercalations de sédiments et constituent la base des coulées de laves. Ils se rencontrent dans tout le massif et constituent en général des strates plus ou moins régulières de quelques centimètres à un mètre.

➤ *Les pointements intrusifs*

Sont structurés en trois édifices intrusifs de faibles dimensions jalonnant toute la cote de Cap Djinet :

- ❖ *Neck* : longeant la bordure de la RN24, au niveau d'un grand virage qui épouse la forme de la petite baie de Cap Djinet, il représente une partie de la cheminée volcanique.
- ❖ *Dôme* : il forme un édifice de forme elliptique. Dans sa partie méridionale, l'édifice est fracturé et se rattache à des coulées basaltiques par une zone brèchique.
- ❖ *Sill* : se situe sur la bordure de la RN24 à 1km à l'Ouest du neck, et correspond à une coulée microdoléritique.

Ces pointements intrusifs recoupent les marnes du miocènes en Y et développent un léger métamorphisme de contact [R.DEGIOVANNI ,1978].

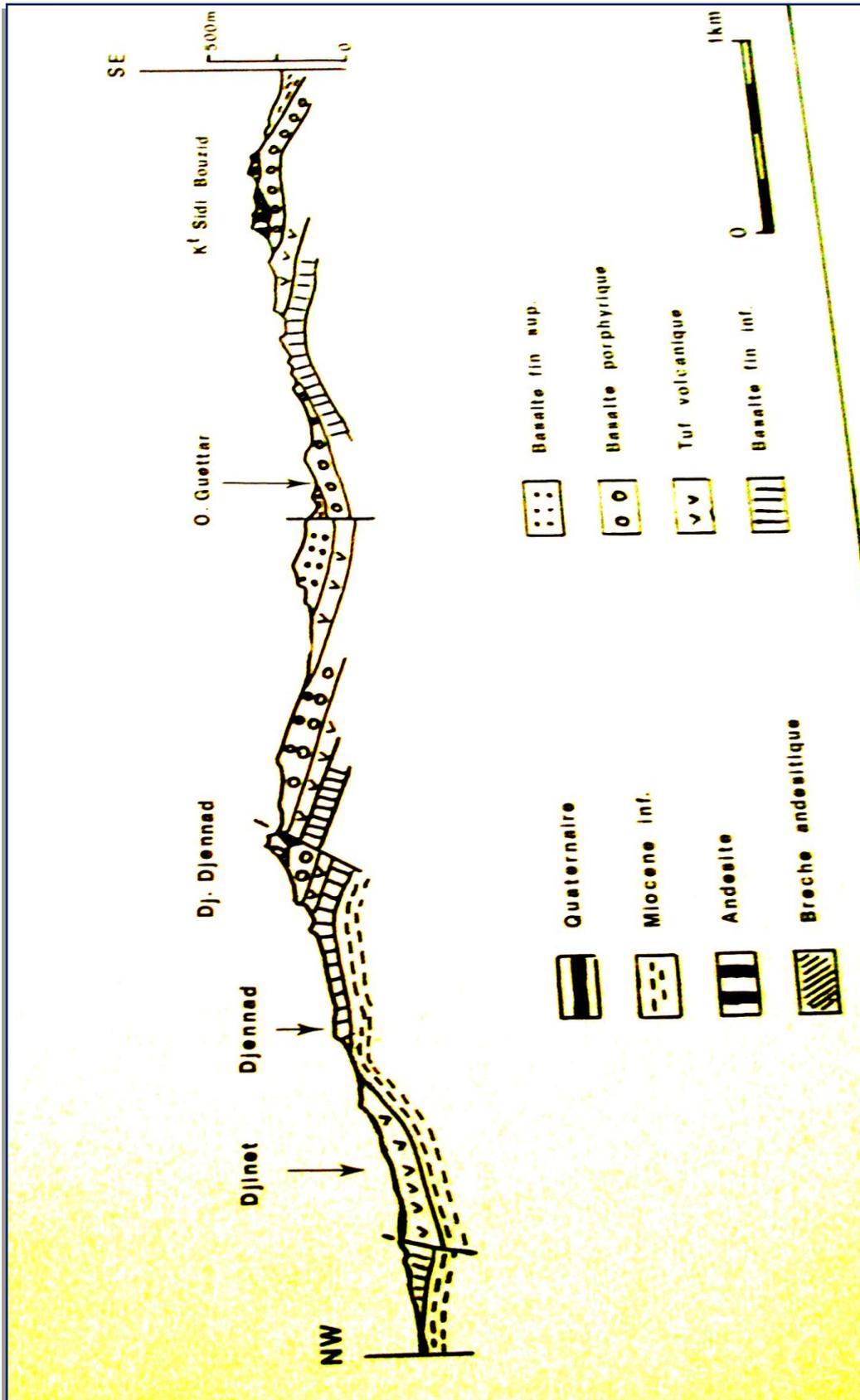


Figure 2 : Coupe géologique des formations volcaniques de Cap Djinet [R.DEGIOVANNI ,1978]

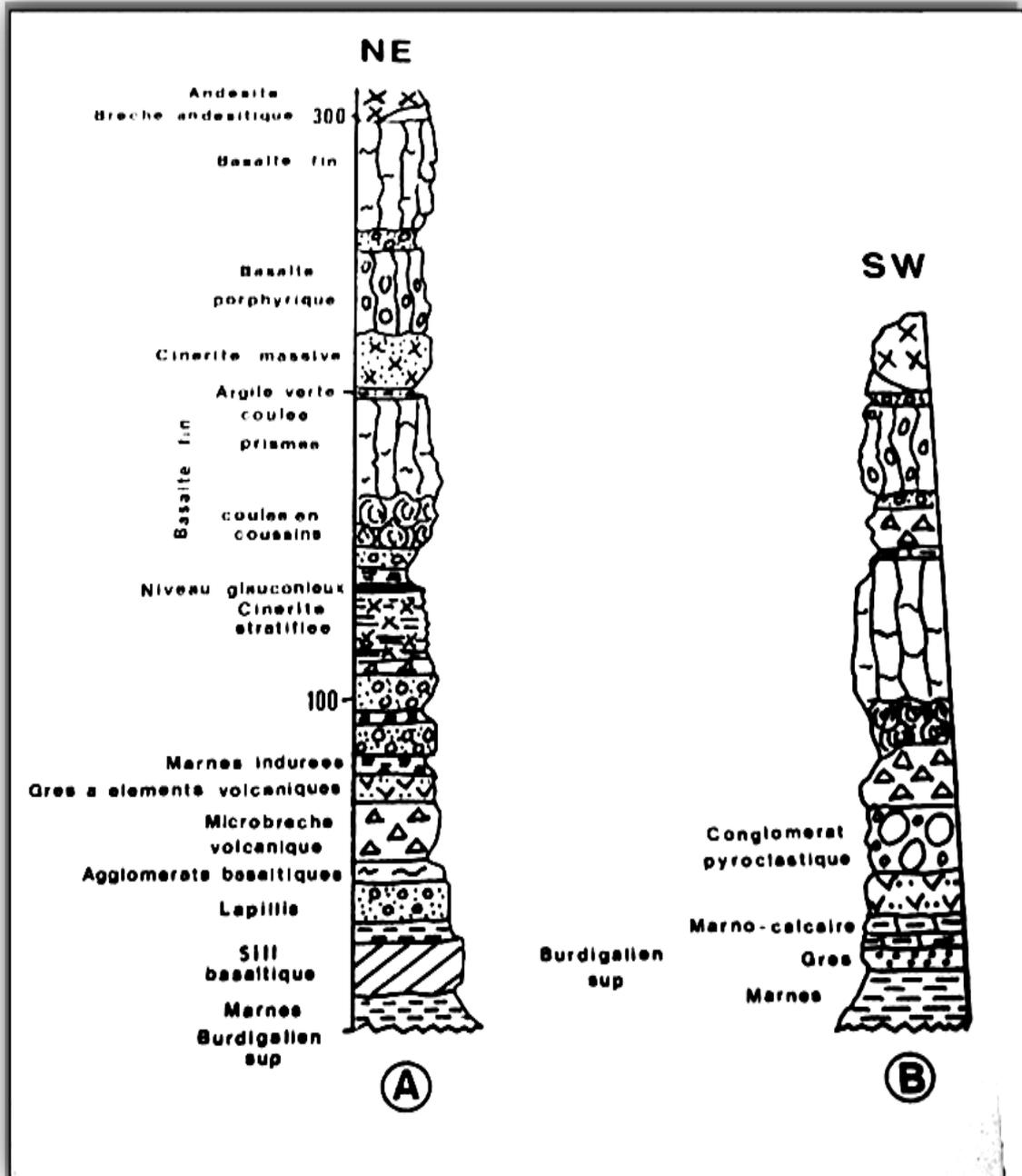


Figure 3 : Coupe des formations géologiques de Djennad (A) et El Homadna (B)

[R.DEGIOVANNI ,1978]

2.3 Tectonique

L'ensemble des terrains volcano-sédimentaires de la région de Cap Djinet a été soumis à des activités tectoniques amorcées après le miocène et accentuées par la phase post-plaisancienne. Ces activités tectoniques ont donné naissance à des plis (synclinal de l'oued Guettar et anticlinal de Djennad) qui sont de direction NE-SW. A ces plis s'associent des failles de mêmes orientations. La phase ponto-quaternaire a contribué ultérieurement à renforcer ces structures, plissant même les terrasses marines [R.DEGIOVANNI ,1978].

Chapitre II : Généralités sur les granulats

1. Définitions

Les granulats sont définis comme étant un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125mm, destinés à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation, de base et de roulement des chaussées, et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Ces particules sont agglomérées avec un liant pour produire des bétons de ciment ou des bétons bitumineux [M.TOUHARI, 2007].

On distingue les granulats :

- **Naturel**, lorsque le granulat d'origine minérale n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique. Dans cette catégorie se rangent des granulats de roche, comme le calcaire,...
- **granulat artificiel**, lorsque le granulat d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autres. Dans cette catégorie se rangent des granulats transformés, comme le schiste expansé, l'argile expansée, mica expansé.
- **granulat recyclé**, lorsque le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction.
- **courant** lorsque leur masse volumique réelle est \geq à 2 t/m^3 , ou légers dans le cas contraire [R.Maillot, 2001].

2. Les Classes granulométriques

Le granulat est caractérisé par sa granularité qui, est la distribution dimensionnelle des grains, exprimée en pourcentage de masse passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis. La mesure de la granularité se nomme granulométrie.

On déduit la classe granulaire en termes de dimension inférieure (d) et supérieure (D) de tamis, exprimée par la dénomination **d/D**, des dimensions exprimées en millimètre.

Suivant la dimension des grains on distingue (la Norme XP P 18-540 février 2004) :

- **Les fillers** (0/D) : sont des matériaux très fins avec $D < 2 \text{ mm}$ et au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
- **Les sablons** (0/D) : sont des sables fins avec $D < 1 \text{ mm}$, et moins de 70 % de passant à 0,063 mm.
- **Les sables** (0/D) : avec $1 < D < 6,3 \text{ mm}$.
- **Les graves** (0/D): avec $6.3 \text{ mm} < D < 125 \text{ mm}$.
- **Les gravillons** (d/D) : avec $d > 1 \text{ mm}$ et $D < 125 \text{ mm}$.

- **Les ballasts (d/D)** : sont des granulats concassés utilisés dans la construction des voies ferrées avec $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

[R.Maillot ,2001]

3. Provenance des granulats

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives, caractérisées par leur composition minérale, leur texture, leur état d'altération, leur porosité. De ces caractéristiques dépendront les propriétés des granulats (résistance mécanique, absorption d'eau, porosité, homogénéité, altérabilité et réactivité aux alcalins).

3.1 Les roches massives

Les roches massives susceptibles de fournir des granulats viennent surtout des gisements épais de roches dures. Il s'agit surtout de calcaires de formations géologiques plus anciennes ou de roches d'origine magmatique, que l'on nomme roches éruptives. Si ces dernières sont plutôt propres, les calcaires peuvent contenir des limons ou argiles indésirables. Ce qui influe sur le procédé de production des granulats.

3.2 Les roches meubles

Ce sont des dépôts anciens ou récents résultant d'un processus d'érosion, d'altération et de sédimentation des roches massives.

Ces dépôts se présentent sous forme :

- d'alluvions de rivières ou de fleuves ou fluvioglaciales ;
- de plages et dunes ;
- de formations autres, telles que les éboulis ; brèches et conglomérats.

[M.TOUHARI, 2007]

4. Usage des granulats

Les granulats sont destinés à entrer dans la composition, la construction et la fabrication :

- ✓ Des voies ferroviaires, où l'on utilise des ballasts, issus des roches dures.
- ✓ Des voies routières, où l'on utilise :
 - En remblai : des graves de 0/32 à 0/80 mm.
 - En couche d'assise de chaussée : des graves traitées ou non de 0/12 à 0/32 mm.
 - En couche de roulement : des sables, gravillons et fillers mélangés avec des bitumes dans la composition des enrobés bitumineux.
- ✓ Pour l'étanchéité des ouvrages d'arts (ponts, toits-terrasses, parkings...), dans la composition de l'asphalte artificielle où l'on utilise des sables, gravillons et fillers en mélange avec du bitume.
- ✓ Des produits en béton hydraulique (parpaings, voussoirs, canalisations...) ou de béton prêt à l'emploi, où l'on utilise des sables, gravillons et fillers mélangés avec du ciment.

- ✓ Des mortiers et enduits de façade ; où l'on utilise des sables et fillers mélangés avec du ciment ou avec de la Chaux éteinte [site web : www.fr.wikipedia.org/wiki/Granulat, 30/04/2013].

5. Les caractéristiques des granulats

Certaines propriétés des granulats sont directement liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originelles ; c'est le cas de la masse volumique réelle, de l'absorption d'eau et de la résistance mécanique qui peut s'exprimer par la résistance à la fragmentation, à l'usure ou au polissage.

D'autres caractéristiques dérivent du mode d'élaboration des granulats, que ce soit après extraction alluvionnaire ou par concassage de roches massives en carrières. Il s'agit principalement des paramètres liés à la distribution dimensionnelle des grains ou granularité. Ces caractéristiques sont complétées par celles qui sont liées à la propreté des matériaux obtenus, en évaluant le pourcentage des fines ainsi que leur degré de pollution par les minéraux argileux qui sont néfastes à la fabrication de béton de qualité. A ces paramètres, s'ajoutent les caractéristiques liées à l'angularité et à la forme des grains ainsi qu'à leur sensibilité au gel, leur porosité et leur réactivité chimique.

Les caractéristiques géométriques et de propreté peuvent être considérablement améliorées en mettant en œuvre des méthodes d'extraction, de fragmentation et de classement appropriées, et que les caractéristiques mécaniques ne peuvent être que peu influencées par l'élaboration [R.DUPAIN, 2009].

5.1 Les caractéristiques liées aux propriétés des roches

Ces caractéristiques sont liées aux propriétés intrinsèques des roches et sont indépendantes aux modes de fabrication des granulats. Les granulats sont donc spécifiés par plusieurs caractéristiques appropriées.

5.1.1 Pétrographie

La description pétrographique consiste à déterminer la nature des différents minéraux, leur abondance relative, leur degré d'altération, leur taille et leur agencement ainsi que l'existence éventuelle de pores.

5.1.2 Caractéristiques physiques

5.1.2.1 Porosité

La porosité représente le rapport entre le volume des vides contenus dans un échantillon donné ramené au volume total de l'échantillon. On peut aussi définir la porosité comme étant le volume du vide par unité de volume apparent

[R.Maillot ,2001].

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

5.1.2.2 Masse volumique absolue (MVA)

La masse volumique absolue est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau au volume occupé par ce même matériau. On peut aussi définir la MVA comme le rapport entre la masse sèche de l'échantillon et le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores) (Figure 4)

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

Tel que : **Ms** : masse sèche de l'échantillon.

Vt : volume total de l'échantillon.

Vv : volume des vides de l'échantillon.

5.1.2.3 Masse volumique réelle (MVR)

C'est le rapport entre la masse sèche d'un échantillon par le volume total de celui-ci, y compris les pores (Figure 4).

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

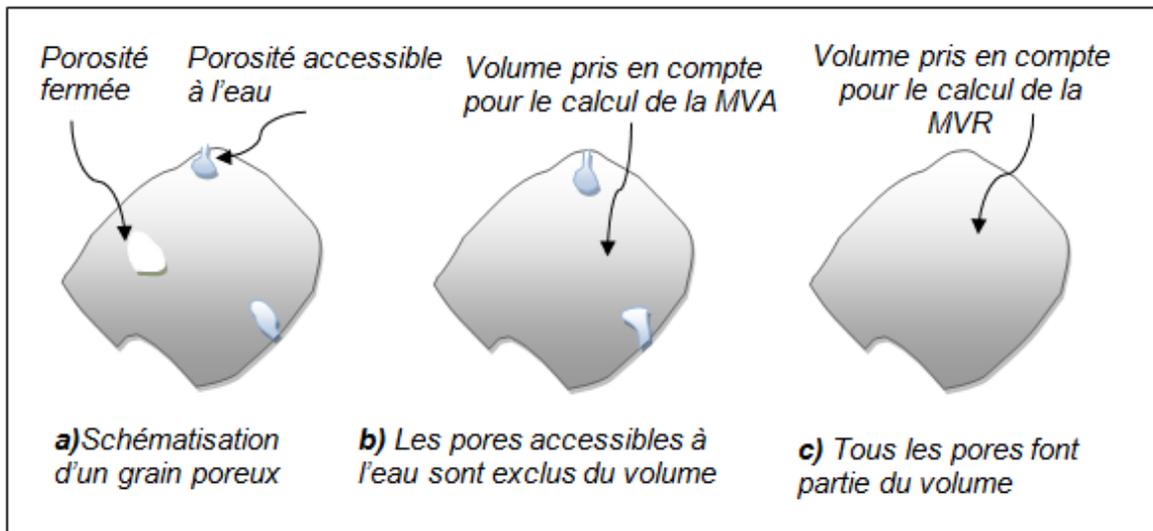


Figure 4 : Prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la MVA et de la MVR

[R. DUPAIN, 2009].

5.1.2.4 Coefficient d'absorption d'eau (Ab)

C'est le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon.

$$Ab = 100 \cdot \frac{M_a - M_S}{M_S} \quad ;$$

Ma : masse de l'échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures.

Ms : masse sèche de l'échantillon.

5.1.2.5 Teneur en eau

C'est le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon à l'état humide et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon [R. DUPAIN, 2009].

$$W = 100 \cdot \frac{M - M'_s}{M'_s}$$

Tel que : **M** : masse des granulats à l'état humide.

M's : masse des granulats à l'état sec

5.1.3 Caractéristiques mécaniques

5.1.3.1 Résistance à la fragmentation

La mesure de la résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). L'essai consiste à mesurer la masse **m** d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produit par la fragmentation du matériau testé et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés dans le cylindre de la machine Los Angeles.

Si **M** est la masse du matériau soumis à l'essai et **m** la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles.

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

5.1.3.2 Résistance à l'attrition ou à l'usure

La mesure de la résistance à l'attrition s'obtient par l'essai micro-Deval. L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottements mutuels, en présence d'eau (essai Deval humide) ou en absence d'eau (essai Deval sec) et d'une charge abrasive, dans un cylindre en rotation.

Si **M** est la masse du matériau soumis à l'essai et **m** la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits en présence d'eau. La résistance à l'usure s'exprime par le coefficient micro Deval (**MDE**) :

$$MDE = 100 \cdot \frac{m}{M}$$

5.1.3.3 Résistance au polissage

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement. Le coefficient de polissage accéléré (CPA) mesure l'aptitude d'un granulat à résister au polissage. On mesure la perte de rugosité d'un granulat après qu'il a été, dans des conditions expérimentales données, en contact dynamique avec des matériaux abrasifs. Plus le coefficient est élevé, mieux le matériau résiste aux actions de polissage.

5.1.3.4 Résistance au gel

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

L'essai est effectué sur des échantillons de granulats appartenant à une seule classe granulaire. Ces échantillons sont soumis à 10 cycles de gel-dégel, chaque cycle comportant un refroidissement (gel) à -17.5 °C puis un dégel dans l'eau à une température de 20 °C . A la fin des dix cycles, on examine les granulats pour rechercher d'éventuels changements (formations de fissures, perte de masse et modification de résistance, etc.).

Un granulats est considéré comme non gélif s'il absorbe peu d'eau ($Ab < 1\%$) ou si sa résistance à la fragmentation est bonne ($LA < 25$). Dans le cas contraire, la gélivité est mesurée par la dégradation granulométrique du matériau préalablement soumis à des cycles gel-dégel

5.1.3.5 Alkali-réaction

Dans certaines conditions, les bétons peuvent être atteints d'une pathologie provoquée par la dissolution de la silice des granulats par les alcalins des ciments, et la formation d'un gel expansif entraînant l'éclatement du béton.

Il existe plusieurs méthodes de mesure du risque alcali-réaction qui conduisent à classer les granulats en :

- Non réactifs (NR), utilisables sans précautions particulières;
- Potentiellement réactifs (PR), utilisables dans des bétons courants sous la condition d'une limitation des alcalins totaux dans les bétons;
- Potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP), considérés comme des non_ réactifs s'ils ne sont pas employés avec des granulats de nature pétrographique différente.

[R. DUPAIN, 2009].

5.2 Les caractéristiques liées aux conditions de fabrication

5.2.1 La granularité

La granularité est caractérisée par la distribution dimensionnelle des éléments. Elle est déterminée par l'analyse granulométrique (tamisage) avec laquelle on détermine les quantités de matériaux isolées entre chacun des tamis. Elle consiste :

- à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouvertures décroissantes,
- et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de $0,08$ à 80 mm [A. Georges et al, 1990].

5.2.2 Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulats.

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera

nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton, tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra sa mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

Le module de finesse est défini comme le $1/100^{\text{ème}}$ de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm [R.Maillot, 2001].

$$MF = 1/100 \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5\}$$

5.2.3 Aplatissement

Selon l'origine, la nature et le mode de fabrication, les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état des surfaces des grains influent sur :

- La facilité de mise en œuvre et le compactage du béton.
- La compacité du mélange au moyen du remplissage du volume des vides par la pâte de ciment.

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur **L**, distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat,
- L'épaisseur **E**, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat
- La grosseur **G**, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

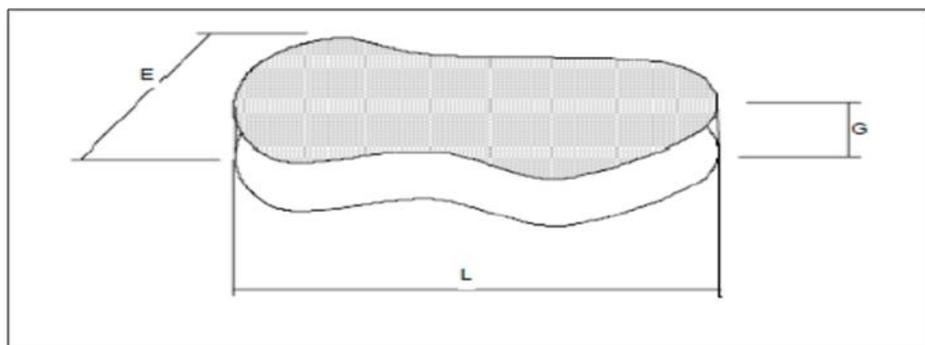


Figure 5 : Forme d'un granulat

Le coefficient d'aplatissement s'obtient en effectuant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- Une série de tamis normalisés à mailles carrées dont les dimensions sont : 80; 63; 50; 40; 31.5; 25; 20;16; 12.5; 10; 8; 6.3; 5 et 4mm.

- Une série de tamis à fentes d'écartements normalisés.
- Le coefficient d'aplatissement d'un ensemble de granulats est le pourcentage (%) pondéral des éléments qui vérifient la relation :

$$(G / E) > 1.58$$

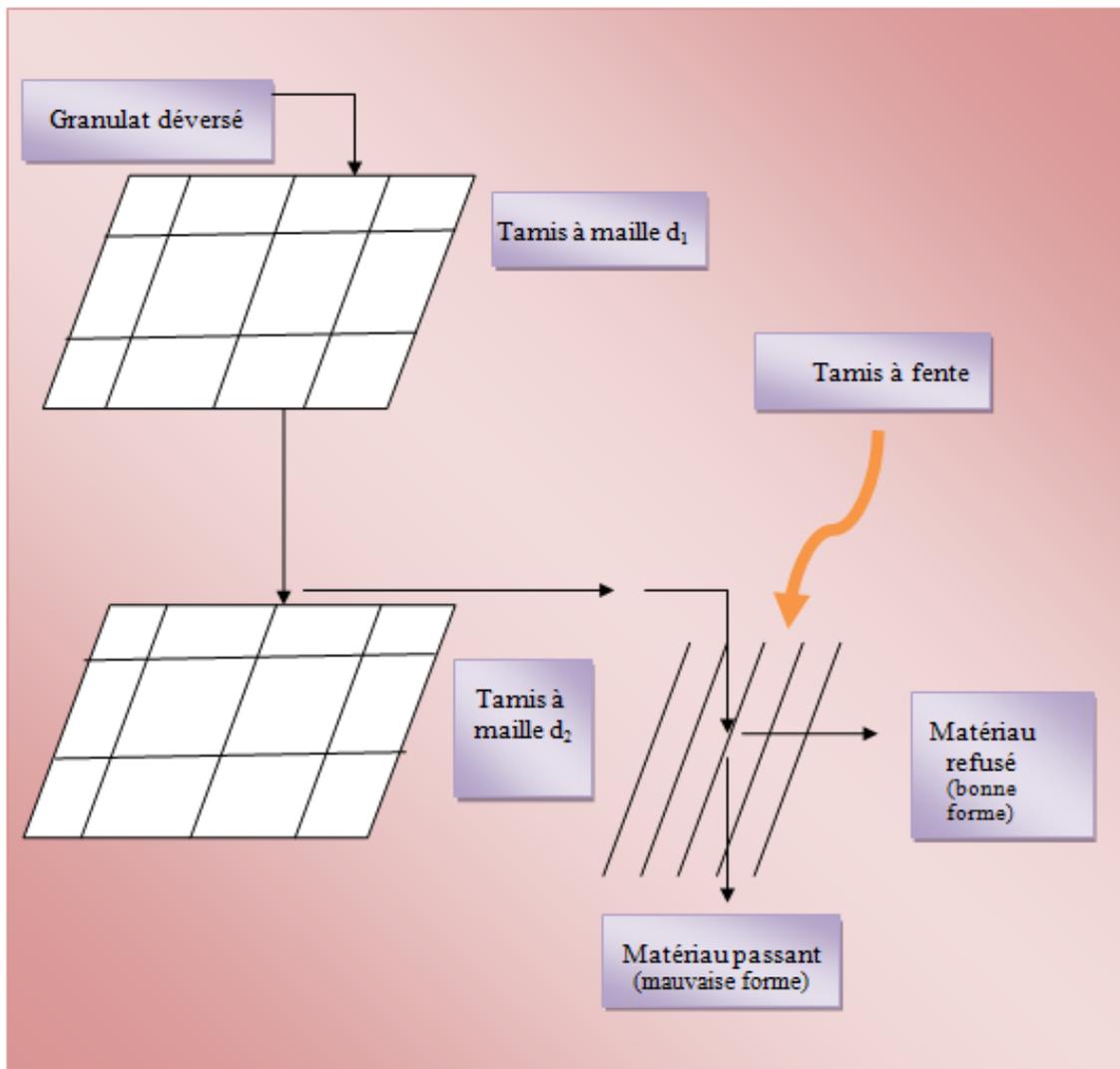


Figure 6 : Schéma montrant le Principe de mesure du coefficient d'aplatissement

[A.Georges et al, 1990] [site web : [www.la.refer.org/materiaux/chapitre-trois-exp.html/Coures Matériaux de construction](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre-trois-exp.html/Coures%20Mat%C3%A9riaux%20de%20construction), 30/04/2013].

5.2.4 L'angularité

Les matériaux alluvionnaires qui n'ont pas subi de concassage ont des formes arrondies, alors que les granulats concassés présentent des arêtes vives et ont une forte angularité. Une bonne angularité est nécessaire à l'obtention d'une bonne adhérence sur les couches de roulement car une bonne angularité confère au mélange granulaire une meilleure stabilité mécanique.

L'angularité des granulats est conventionnellement estimée par les valeurs des indices et rapport de concassage [R. Maillot, 2001].

5.2.5 Propreté des granulats

La présence d'argile à la surface des granulats, aussi bien dans les bétons que dans les matériaux traités aux liants hydrocarbonés, peut entraîner des défauts d'adhérence granulats liants. Les autres substances sont plus accidentelles ou typiques des gisements particuliers.

Tableau 1 : Quelques substances qui pollue les granulats.

Nature	Caractéristiques	Présence	Action
Argiles	Grandes surfaces spécifiques hydrophiles	Sur toutes les roches naturelles	Ecran vis-à-vis de tous les liants, réhydratation, Déformations : bétons hydrauliques
Micas	Sources d'argiles	Toutes les roches sauf les calcaires	Ecran vis-à-vis des liants
Hydroxydes de fer	Hydrophiles	Latérites	Expansion des liants
Acides organique	Réactifs	Alluvions	Retard ou absence de prise
Chlorures	Réactifs	Sables et graviers marins	Corrosion des aciers
Gypse / anhydrite	Solubles réactifs	Alluvions en climats secs	Expansion Rétraction

En utilisant l'essai d'équivalent de sable qui permet, selon un processus normalisé, de quantifier la notion de propreté d'un sable, en procédant par l'essai au bleu de méthylène qui permet d'évaluer le degré d'activité des particules fines argileuses, responsables dans une large mesure, du désordre et de non-qualité dans un béton [A.Georges et al, 1990].

❖ Essai d'équivalent de sable (ES)

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé « équivalent de sable » qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm.

La valeur du degré de propreté du sable (PS) doit être, selon les cas, supérieure à 60 ou 65. L'essai permettant de mesurer le degré de propreté du sable est illustré par la Figure 7 [R. DUPAIN, 2009] :

$$ES = 100 \cdot \frac{h_1}{h_2}$$

Tel que:

H_1 : sable propre seulement.

H_2 : sable propre + éléments fins.

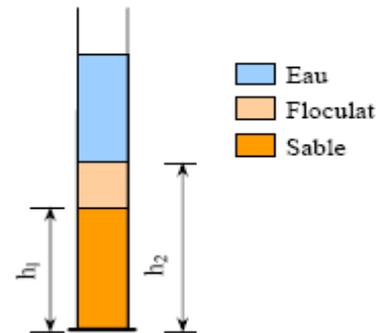


Figure 7 : Essai d'équivalent de sable (mesure visuelle)

❖ Essai au bleu de méthylène

Cet essai permet contrairement à l'essai d'équivalent de sable (ES) de faire la distinction entre les différents types d'argiles contenus dans un sable. Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles de type Montmorillonite (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles comme la Kaolinite sont peu sensibles au bleu de méthylène. Cet essai est un test performant pour quantifier de manière simple et sûre la propreté des granulats.

L'essai au bleu de méthylène sur les sols est effectué, de manière générale, sur la fraction 0/5 mm du matériau de départ (sol en général).

Pour ce qui concerne les granulats, l'essai est réalisé uniquement sur les fines présentes dans la fraction granulométrique 0/2 mm.

Le bleu de méthylène se fixe préférentiellement sur les fines argileuses au détriment des fines non argileuses. La valeur du bleu d'un sable est mesurée :

- Pour les sables de chaussée, par la quantité de bleu adsorbé par les fines contenues dans 1 Kg de la fraction 0/2 mm de sable;
- Pour les sables à béton, par cette même quantité multipliée par la proportion en poids du 0/2 dans le 0/D.

5.3 Caractéristiques chimiques

Parmi les caractéristiques chimiques on a :

- La teneur en chlorures.
- teneur en composés contenant du soufre.
- teneur en sulfates.
- teneur en matières organiques.

5.3.1 La teneur en chlorures

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du liant et favorisent la corrosion des armatures ou des câbles de précontrainte. Les normes fixent les limites de la teneur en chlorures des bétons en différenciant les bétons non armés, armés ou précontraints. Cependant, on admet que le risque est nul pour le béton armé si les granulats renferment moins de 0.06 % d'ions Cl^- .

5.3.2 Teneur en soufre ($\text{S} \leq 0.4\%$)

Les sulfures (pyrites) présents dans certains granulats peuvent s'oxyder et se transformer en sulfates pouvant donner lieu à des réactions expansives (formation d'ettringite) avec le ciment. Cette oxydation s'accompagne souvent de la production de taches de rouilles sur les parements, et des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre, à une proportion ($\text{S} \leq 0.4\%$), 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).

5.3.3 Teneur en sulfates ($\text{SO}_3 \leq 0.2\%$)

Les sulfates solubles (gypse, plâtre) en faibles proportions peuvent perturber la prise et modifier les effets des adjuvants (réducteurs d'eau, etc.). Cette action, dépend en fait, de la quantité de SO_3 présente dans le béton. La présence de ces sulfates peut également réduire significativement la résistance à l'eau de mer et aux eaux séléniteuses des bétons.

5.3.4 Teneur en matières organiques

La présence des matières organiques perturbe largement la prise, fait chuter les résistances et donne lieu à des taches sur les parements [F.GABRYSIK,2002].

Chapitre III : généralités sur les roches magmatiques

1. Introduction

Les roches magmatiques sont issues du refroidissement plus ou moins rapide du magma.

Si le refroidissement a lieu en profondeur, le magma donne naissance à des massifs de roches plutoniques (en textures grenue type, pegmatitique et microgrenue), par contre si le refroidissement s'opère près de la surface, ou en surface, les massifs formés correspondent à des roches volcaniques (en textures microlitique et vitreuse) [M.RICHARD, 2001].

L'architecture des roches magmatiques, est basée sur deux aspects essentiels : la texture et la structure.

La texture

Il existe plusieurs types de textures caractérisant les roches magmatiques et qui sont données ci-après :

Texture grenue : correspond à des roches plutoniques, entièrement cristallines, et les grains minéraux de ces roches sont de même taille.

Texture microgrenue : correspond aussi à des roches entièrement cristallines, péri-plutoniques, et les grains minéraux de ces roches sont aussi de même taille, et sont invisibles et indiscernables à l'œil nu. Pour les roches à caractère intermédiaire et basique, ce type de texture se présente sous différentes formes,

- **Texture doléritique** : se caractérise par de grands cristaux de plagioclases, en lattes auto/subautomorphes, moulés et noyés dans une pâte de microcristaux de pyroxènes interstitiels formant une sorte de charpente, avec parfois un peu de verre volcanique.
- **Texture ophitique** : contrairement à la texture doléritique, elle correspond à de grands cristaux de pyroxènes (augites diallagiques) insérés entre les petites lattes de plagioclase (andésine, labrador), invisibles à l'œil nu.

Texture microlitique : correspond à des roches volcaniques, $\frac{1}{2}$ cristallines, et se caractérise par la présence d'un certain nombre de phénocristaux de ferromagnésiens, d'une mésostase contenant une pâte vitreuse amorphe, peu abondante, et des microcristaux, invisibles à l'œil nu, ayant subi un refroidissement assez brusque, ils sont cristallisés en lattes et en prismes fins et allongés ou baguettes appelées par les microlites (plagioclases le plus souvent). Cette texture exprime parfois la Solidification du magma en trois temps : lente en profondeur (gros cristaux ou phénocristaux), rapide à la remontée (microcristaux), brusque en surface (pâte vitreuse).

Texture vitreuse : correspond aussi à des roches volcaniques, entièrement amorphes, et se caractérise par des minéraux qui ont subi un refroidissement très rapide de telle manière à ce que aucun cristal n'a eu le temps de se développer selon un arrangement périodique des atomes, parfois cette texture favorise la formation des pseudo-cristaux fibrés et radiés (texture sphérolitique) ou des globules séparées par des fentes de retrait (texture perilitique).

Texture porphyrique : elle peut caractériser toutes les textures précédentes par le développement des phénocristaux, qui sont de grande taille, noyés dans une masse de cristaux de taille homogène, différente (inférieure) de celle des phénocristaux [C.POMEROL et al., 2008] ; [Alain FOUCAULT, Jean-François RAOULT, Dictionnaire de Géologie, Ed. MASSON, 2008].

☼ **La structure**

Les différentes structures des roches magmatiques sont représentées par les types suivant :

Structure poreuse : caractérise les ponces.

Structure meuble : caractérise les produits de projection volcanique.

Structure fluidale : caractérise les roches microlitiques et les coulées de laves consolidées.

Structure en oreillers (pillow-lavas) : correspond aux laves émises par les volcans sous-marins.

Structure cataclastique : caractérise les roches de textures grenues ayant subi des actions mécaniques puissantes.

Structure bréchoïde : caractérise les roches de texture grenue ayant subi des actions mécaniques puissantes qui ont brisé ces roches en fragments anguleux [C.POMEROL et al., 1984].

2. Les roches magmatiques basiques

Les roches magmatiques basiques sont caractérisées par :

- Un taux de silice compris entre 45% et 55%
- Dominance des minéraux de plagioclases.
- Présence des minéraux ferromagnésiens (olivine, pyroxène, amphibole).
- Faible présence de minéraux opaques tels que les oxydes de fer.
- Présence d'une pâte amorphe (verre volcanique).

Les différents groupes de roches basiques selon la profondeur :

2.1 Les roches de surface

☼ **Basalte**

Roche magmatique volcanique, noire, à texture microlitique, à verre volcanique peu abondant et en général non bulleuse, comportant des plagioclases (An > 50, labrador surtout), et des clinopyroxènes (augite dominante, souvent maclée et zonée), accompagnés selon les cas d'olivine, d'hypersthène, de magnétite, d'ilménite; il peut s'y ajouter, en faible pourcentage, soit du quartz, soit des feldspathoïdes (néphéline et analcime).

☞ Labradorite

Roche effusive de type andésitique en raison de son faible pourcentage en minéraux ferromagnésiens (de teinte gris foncé), et de type basaltique par ses minéraux de plagioclases de type labrador. Elle forme des coulées, à débit en grosses dalles, le plus souvent associées à des basaltes.

2.2 Roches de demi-profondeur

☞ Les dolérites

Roche magmatique intermédiaire entre les gabbros, à texture grenue, et les basaltes, microlitiques, à grain visible à la loupe, avec des lattes subautomorphes de plagioclase moulées par des pyroxènes interstitiels; la roche est en général massive et compacte, grise à noire, plus souvent vert sombre où on peut distinguer deux groupes :

A. dolérites à labrador, augite violette titanifère, olivine (peu abondante), magnétite, ilménite, apatite.

B. dolérites sans olivine, à labrador, augite et pigeonite, parfois à hypersthène, et à excès de SiO_2 (quartz souvent virtuel). Ces roches sont souvent altérées et verdies (ouralitisations des pyroxènes).

☞ Les ophites

Dolérite à structure poecilitique particulière (nommée structure ophitique) à grands cristaux de pyroxène (augite diallagique) englobant des petites lattes de plagioclase (andésine, labrador). Ces roches sont souvent altérées et prennent une belle teinte verte (serpentine, ouralite, chlorite, épidote).

☞ Les diabases

Ce sont des dolérites altérées et sont de teinte verte en raison de la transformation des pyroxènes en chlorite.

☞ La variolite

C'est une variété de lave spilitique en coussins, en vert clair, à texture fine et compacte, le cortex de chaque coussin montre des varioles albitiques formant de petits boutons blanchâtres en relief.

2.3 Les roches de profondeur

☞ Le gabbro

Roche magmatique plutonique, grenue, de teinte générale vert noirâtre, plus ou moins mouchetée de blanc, composée essentiellement de plagioclase subautomorphe ($An > 50$: labrador, bytownite, parfois anorthite) et de pyroxène interstitiel (clinopyroxène : augite, diopside et variété diallage; orthopyroxène : hypersthène), et secondairement de hornblende brune, d'olivine et de biotite. Les gabbros sont facilement altérés avec saussuritisation des plagioclases (en épidote, albite,...), et ouralitisations des pyroxènes (en amphiboles vert-pâle) avec formation de sphène. Le gabbro possède plusieurs variétés telles que :

1. ***l'euphotide***, à grands cristaux de plagioclases verts saussuritisés, et à diallage à reflets bronzés.
2. ***l'hypérite*** avec autant de clinopyroxène que d'orthopyroxène, et de rare olivine.
3. ***la norite*** avec hypersthène dominant (souvent à inclusions de diopside et/ou d'augite), parfois à cordiérite, à grenat pyrope et à spinelle.
4. ***la troctolite*** à pyroxène rare et olivine abondante, plus ou moins serpentinisée. [M.BORDET, 1979].

3. Les basaltes

3.1 Définition et caractère

Généralement le basalte est caractérisé par une teinte sombre, une densité élevée (de l'ordre de 3). Au microscope polarisant, on voit la présence des phénocristaux de pyroxène et d'olivine, avec une mésostase contenant du verre volcanique, peu abondant, et des lattes et des microlites de plagioclases (surtout le labrador, bytownite), de pyroxène parfois d'olivine, et de minéraux opaques tels que la magnétite et l'ilménite.

Les basaltes sont caractérisés par une composition chimique constante :

La teneur en silice varie entre 55% et 45% ; les teneurs en Ca, Fe, Mg sont très élevées, et de faible teneur de K et d'eau (0.4%).

3.2 Principaux types de basaltes

☞ Les basaltes tholéitiques

Ce type est caractérisé par l'abondance de la silice, manque ou faible quantité d'alcalins (Na_2O , K_2O) et en titane, le pyroxène est peu calcique, le plagioclase est toujours de type labrador proche d'une bytownite.

☞ Les basaltes alcalins (basaltes à olivine)

Ce type est caractérisé par une faible teneur de silice, une abondance d'olivine et des feldspathoïdes, une teneur importante en alcalins et en titane, le pyroxène est calcique, le plagioclase est de type labrador proche d'une andésine.

☞ Les basaltes riches en alumine

Ce type est caractérisé par une teneur intermédiaire en silice et en alcalin, une abondance d'alumine (Al_2O_3) [J.Dercourt et all, 1978].

3.3 Caractéristiques mécaniques des basaltes

Les basaltes constituent des roches d'empierrement et de construction vu leur résistance à l'écrasement (R_e) pouvant atteindre jusqu'à 5000 kg/cm^2 ou 500 MPa et une résistance à la traction aux environs de 50 MPa [L.CHANANE. 2008].

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 mésostase contenant de verre volcanique peu abondant et une masse microcristalline importante, fortement indurée d'où le caractère cassant au moyen de fractures conchoïdales, avec des minéraux de plagioclases dont la dureté relative de 6 - 6.5, les pyroxènes de : 5 - 6, les olivines de : 6 - 7, magnétite et ilménite : 5.5 - 6.5, les amphiboles : 5 - 6 et les épidotes : 6 - 7. Il s'agit des minéraux qui, sont classés comme durs à très durs [CHRISTIE Tony et all, 2001].

Partie Expérimentale

PARTIE EXPERIMENTALE

1. Introduction

Cette partie, sera consacrée à la présentation des résultats obtenus aux laboratoires, suivis par des commentaires, des comparaisons et des interprétations.

L'objet de notre travail s'articule autour de deux aspects fondamentaux (physico-mécanique et pétro- géochimique) des échantillons de roches prélevés.

Concernant l'aspect physico-mécanique, on a procédé par :

- Des essais MICRO DEVAL pour déterminer le degré de résistance à l'usure par frottements réciproques des échantillons de roches.
- Des essais LOS ANGELES pour déterminer le degré de résistance à la fragmentation par chocs des échantillons de roches.

Et pour l'aspect pétro-géochimique, on a procédé aussi par :

- Une analyse microscopique de lames minces pour déterminer la composition minéralogique de la roche.
- Et une analyse chimique par Fluorescence X pour la détermination des éléments majeurs sous forme d'oxydes pétrogènes.

2. Géologie de site d'échantillonnage

Cap-Djinet est situé à 95 Km environs à l'Est d'Alger dont le site d'échantillonnage correspond à un affleurement magmatique (Figure 8) abritant une carrière en exploitation par SONATRO, cette carrière est constituée par un front de taille de plus de 60 m de hauteur, aménagé en 04 gradins (niveaux) d'abattage et d'extraction de roches, exposé vers le Nord, selon une direction Est-Ouest dont la longueur est de plus de 500m. D'autant plus, que cette carrière est situé près de la côte, sur les versants Nord, exposés directement à la mer, d'où l'influence des vents humides sur la météorisation chimique des roches.

Cet affleurement magmatique est situé dans une zone d'écrasement sur la ligne de faille et d'affrontement entre les 02 grandes plaques lithosphériques/tectoniques, l'Eurasie au Nord et l'Afrique au Sud de la ligne de faille.

Les conditions géodynamiques alpines de cette zone d'écrasement et de fissuration sont responsables des remontées magmatiques basiques, à pétrologie volcanique (à dominance basaltique), à travers les failles profondes traduites par des lignes de fracturation constituant le siège des volcans fissuraux.

[V.MILNITCHOUK et all, 1983], [P. Bellair et all, 1984].

D'autre part, l'opération d'échantillonnage a fait l'objet de prélèvement de neuf échantillons à partir des trois niveaux accessibles de la carrière, d'où trois

échantillons de chaque niveau, un prélevé au milieu et les deux autres aux extrémités (Figure 10).

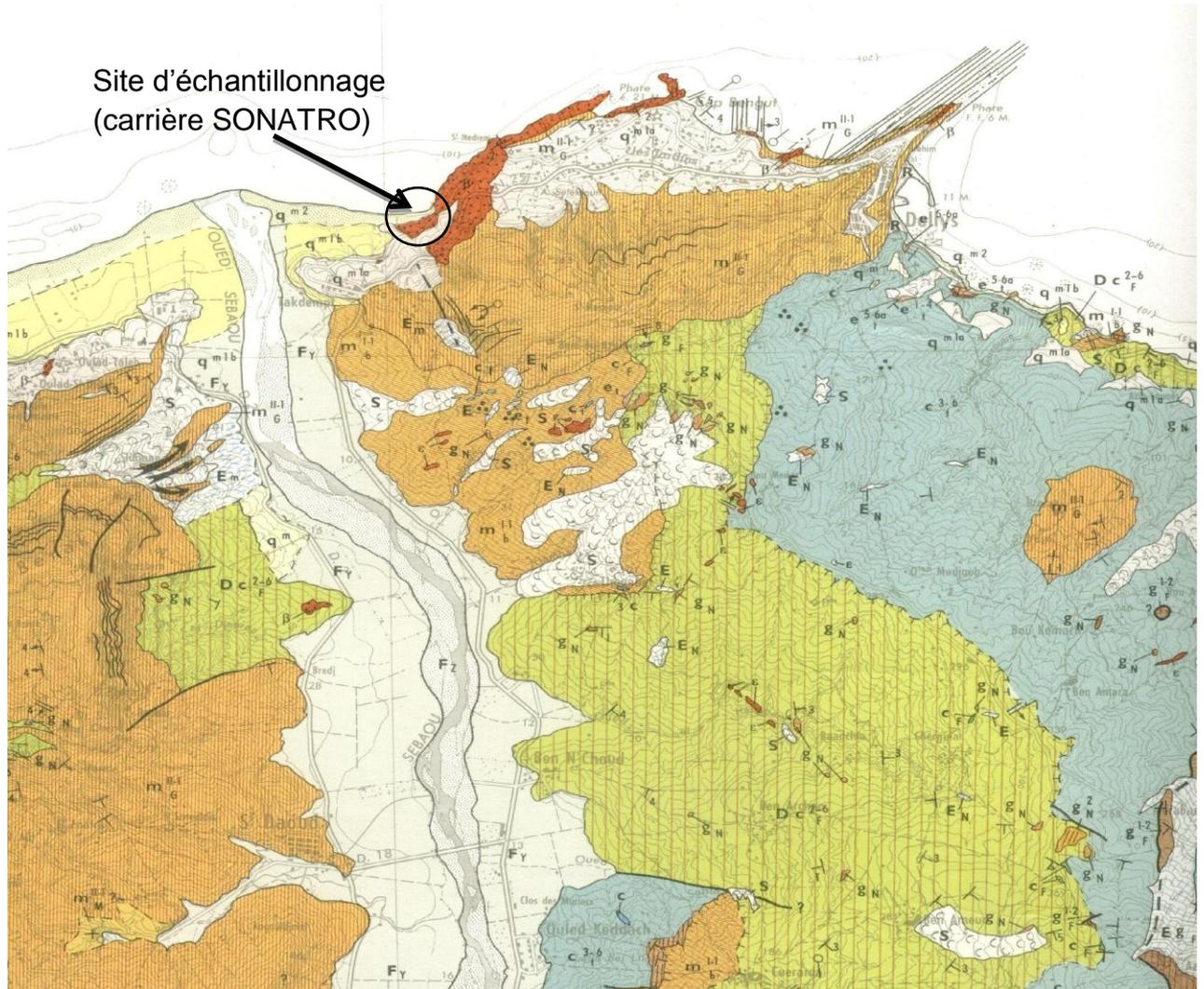
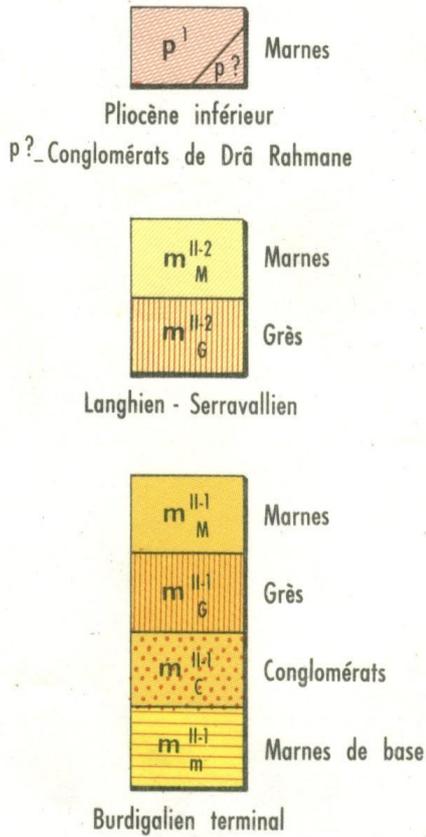
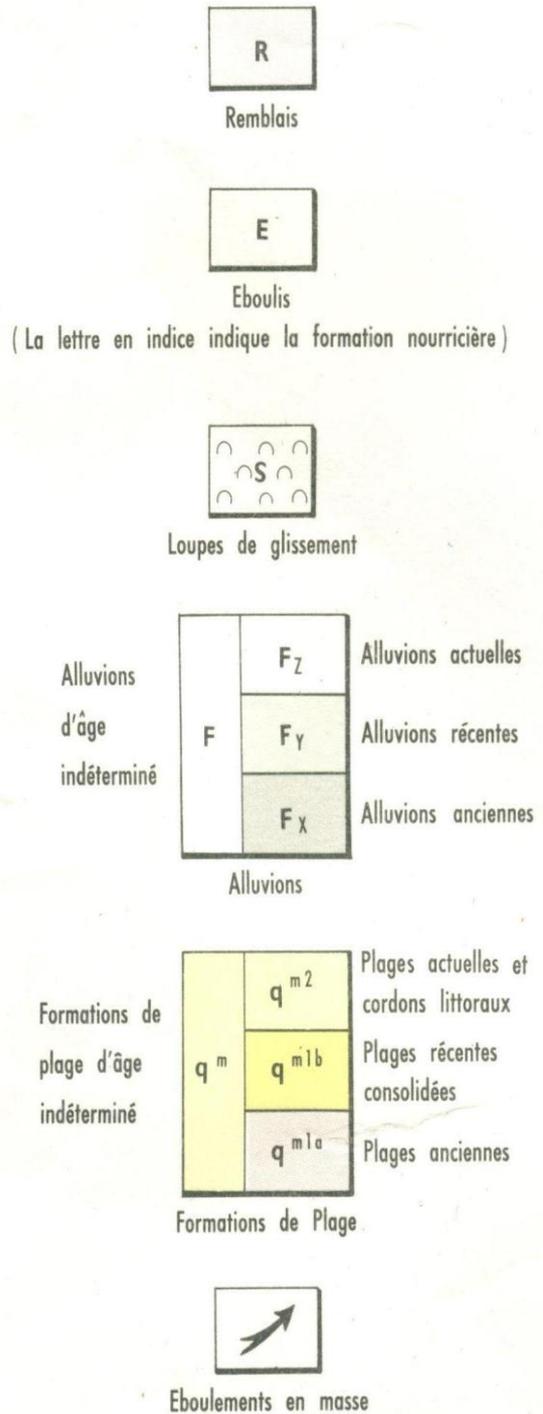


Figure 8 : Extrait de la carte géologique de DELLYS – TIZI. OUZOU au 1/50 000 (feuille n° 8/1984)

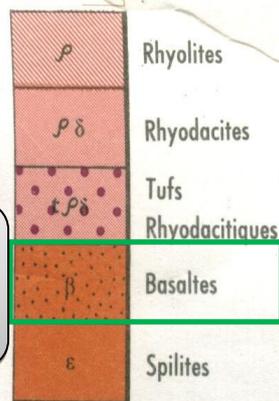
FORMATIONS " POST - NAPPES "
MIOCENES ET PLIOCENES



FORMATIONS QUATERNAIRES



ROCHES VOLCANIQUES D'AGE MIOCENE



Roche caractérisant notre site d'échantillonnage

Figure 9 : Légende stratigraphique et lithologique de la carte géologique de DELLYS – TIZI. OUZOU (1/50 000)



Figure 10 : points de prélèvement des échantillons à partir des gradins de la carrière.

Chapitre I : Etude pétrographique et analyse géochimique

1. Introduction

Cette partie sera consacrée à l'étude pétrographique et aux analyses géochimiques qui, ont été effectuées par les laboratoires de CETIM et GéoMéca de Boumerdès.

2. Etude pétrographique

L'étude pétrographique de tous nos échantillons de roches, a été effectuée par le laboratoire du CETIM (Boumerdès), à l'aide d'un microscope polarisant sur des lames minces construites à partir de nos échantillons prélevés. Cependant, il est à préciser que, en raison des mêmes caractéristiques pétrographiques que renferment nos neuf échantillons, notre analyse microscopique a porté sur deux lames minces, qui sont les plus représentatives, issues du gradin inférieur et celui du milieu du mur de la carrière.

2.1 Echantillon 6 :

Nom de la roche : basalte à pyroxènes altérés

Texture : Porphyrique, microlitique

Structure : Massive

Tableau 2. Teneurs et dimensions des différents minéraux contenus dans l'échantillon 6.

Composition Minéralogique		Teneur %	Dimensions Des Grains (mm)
Feldspaths	Plagioclases	15	0,4 - 1,4
Ferromagnésiens	Pyroxènes amphiboles et olivines	30	0,4 - 4,6
Minéraux secondaires	Chlorite	15	
	Analcime	05	
	chabazite	<01	
	Calcite		
Minéraux opaques	Magnétite	07	
Mésostase		28	

◆ Description

Sous le microscope, la roche apparaît beaucoup plus altérée au niveau du matériel ferromagnésien (pyroxènes et olivines).

La lame présente une **roche volcanique** à composition **basaltique**, avec une mésostase montrant une texture microlitique et une structure fluidale, plus ou moins conservées, et de nombreux stades d'altérations et de transformations des différentes phases minérales primaires (amphiboles vertes). Ces transformations se traduisent par un métamorphisme rétomorphique, observé sur certains cristaux de pyroxènes, qui sont aussi ouralitisés en amphiboles, accompagné d'une transformation secondaire totale en chlorite fibreuse, à l'instar des pyroxènes, quelques cristaux d'olivines présentent des craquelures à l'intérieur des surfaces et une altération en iddingsite sur leurs contours.

Malgré l'altération, la roche conserve toujours sa texture porphyrique formée par des phénocristaux de plagioclases, de pyroxènes et d'olivines.

◆ Description détaillée de l'échantillon**➤ Phénocristaux****• Feldspaths (Plagioclases)**

Au niveau du matériel feldspathique, l'altération se traduit par une saussuritisation. Les plagioclases subautomorphes, encore reconnaissables par leur forme rectangulaire, sont parfois totalement remplacées par les zéolithes (analcime, chabasite). Certains présentent par contre des macles polysynthétiques rappelant le plagioclase basique type bytownite.

Certains cristaux en lattes zonées sont caractérisés par de légères oscillations et enveloppés d'un fin liseré périphérique limpide.

• Ferromagnésiens

Sont dominés essentiellement par les pyroxènes et secondairement par les olivines, ils présentent deux générations distinctes, soit en grands phénocristaux subautomorphes prismatiques à xénomorphes parfois, à contours rongés par l'altération en iddingsite, soit, les pyroxènes en fins granules, ouralitisés parfois en amphiboles vertes. La plupart des phénocristaux montrent un habitus squelettique souligné par des contours profondément corrodés et un remplacement massif en chlorite et en calcite. Certains cristaux par contre montrent la macle en sablier caractéristique.

➤ Mésostase

Elle est constituée de fins microlites de plagioclases orientés et intercalés à leur tour de fines granules de pyroxènes, d'olivines et d'amphiboles vertes et marron et

de magnétite. Ils flottent à leur tour dans un fond vitreux altéré, oxydé. Le fond de la roche, tacheté de magnétite, est imprégné de chlorite et rarement de calcite.

2.2 Echantillon 8 :

Nom de la roche : basalte à pyroxènes altérés

Texture : Porphyrique, microlitique

Structure : Massive

Tableau 3. Teneurs et dimensions des différents minéraux contenus dans l'échantillon 8.

Composition minéralogique		Teneur %	Dimensions des grains (mm)
Feldspaths	Plagioclases	10	0,4 – 2,2
Ferromagnésiens	Pyroxènes, amphiboles et olivines	28	0,4 -1,2
Minéraux secondaires	Chlorite Analcime chabazite Calcite	18 05 <01	
Minéraux opaques	Magnétite	08	
Mésostase		30	

◆ Description

L'examen microscopique de la lame mince définit la roche comme un basalte. Il se caractérise par une texture porphyrique et une structure fluidale, assez conservées, avec une mésostase finement microlitique et montre également de nombreux stades d'altérations des phases minérales primaires. Ces transformations ont donné naissance à une paragenèse minérale représentée par des minéraux secondaires, constitués essentiellement de chlorite qui constitue la phase dominante d'argile, de carbonates et des minéraux opaques (oxydes de fer).

➤ Phénocristaux

• Feldspaths (Plagioclases)

Dans le fond microlitique, se détachent de grands cristaux de composition basique type bytownite aux formes automorphes à subautomorphes rectangulaires, avec parfois des contours creux fourchus leur donnant un aspect squelettique. Certains cristaux en lattes laissent un léger zonage avec les différentes bandes mises en évidence par un alignement de fines inclusions nuageuses de verre volcanique oxydé et de fines pigmentations opaques. L'intérieur des cristaux est totalement

transformé en un minéral argileux, piqueté de tâches verdâtres de chlorite et rosâtres de carbonate.

- **Ferromagnésiens**

Dominés par les pyroxènes qui sont représentés par de grandes et petites sections d'augites, et apparaissent avec un facies prismatique et une couleur parfois verdâtre. L'altération des pyroxènes est très brutale, ceci s'explique par la présence de quelques formes reliques de cristaux totalement transformés, parfois en amphiboles, et parfois remplacés par des minéraux secondaires. Ils montrent souvent une intense altération chloriteuse, en agrégats microécailleux, de couleur verdâtre, se développant à partir des craquelures. D'autre part, quelques cristaux subautomorphes d'olivines sont présents, le plus souvent associés aux pyroxènes, et sont altérés à leurs contours en iddingsite.

- **Mésostase**

Elle est représentée par un fond finement microlitique, de couleur gris verdâtre, où dominant les plagioclases, de taille n'excédant pas 0,6mm. Ce fond est parsemé de tâches noirâtres, d'oxydes de fer, disposées par endroits suivant une direction préférentielle. Par ailleurs, les microlites, plus ou moins orientés, sont intercalés de fines lamelles enchevêtrées de chlorites, de couleur verdâtre, et de fins granules de pyroxènes, d'amphiboles et d'olivines. Ce fond est obscurci de fines particules de magnétite.

Quant aux minéraux opaques, ils accompagnent les minéraux ferromagnésiens dans leur altération. Ils sont représentés par de la magnétite, avec des particules de forme quelconque distribuées dans la roche en tâches noirâtres.

2.3 Synthèse générale de l'analyse microscopique

A la lumière de l'analyse microscopique, tous les échantillons présentent les mêmes caractères pétrographiques, avec une structure fluidale et une texture microlitique porphyrique, plus ou moins conservées, dominés par les phénocristaux et un fond de mésostase.

Cependant, les phénocristaux sont représentés principalement par les clinopyroxènes de type augite, quelques peu ouralitisés en amphiboles. Les pyroxènes au même titre que les cristaux d'olivine, sont subautomorphes à xénomorphes parfois, présentant des craquelures à l'intérieur des surfaces et altérés en iddingsite à leurs contours. Toutefois, on remarque une bonne présence de plagioclases en lattes, parfois zonées, présentant parfois le même aspect d'altération que les ferromagnésiens.

Quant à la mésostase, elle est composée de microlites de plagioclases à orientation bien visible, et de microcristaux en granules de pyroxènes, d'olivine, quelques amphiboles et des minéraux opaques (magnétite), associés souvent aux minéraux d'altération secondaire de chlorite et de rare calcite.

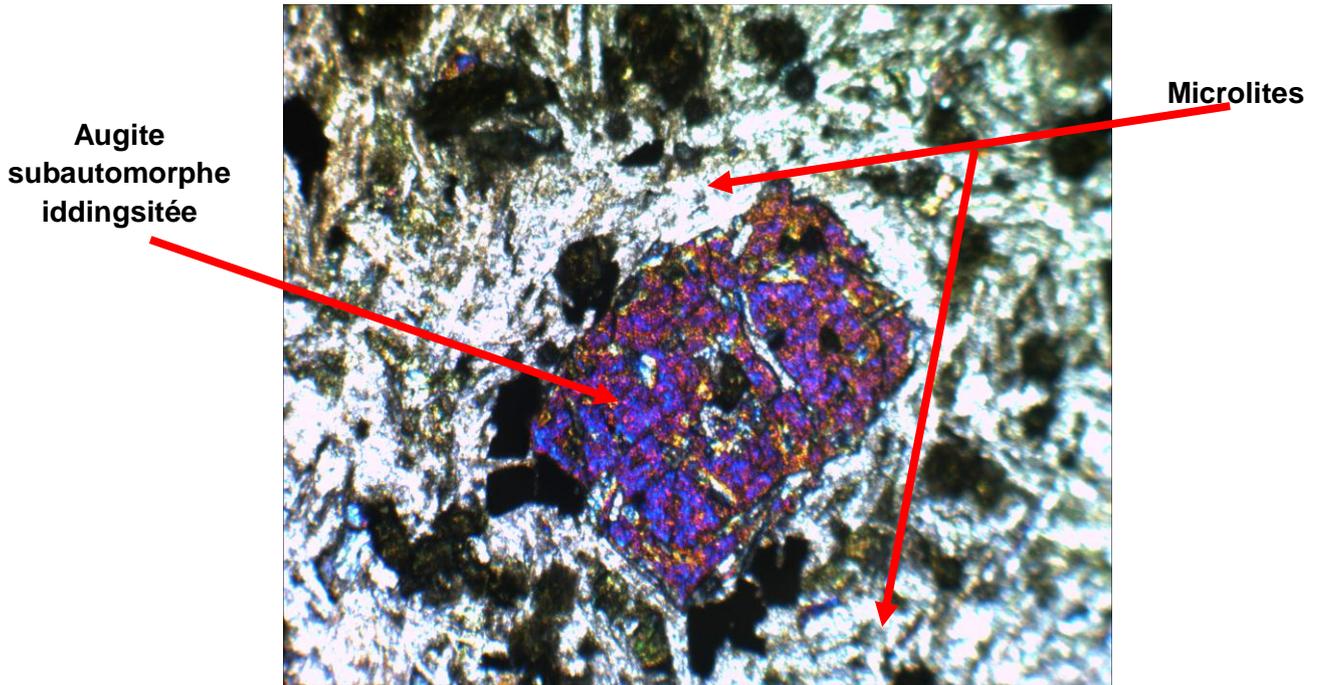


Figure 11: Echantillon 6 (obj 5X 0,13 POL) en LPA

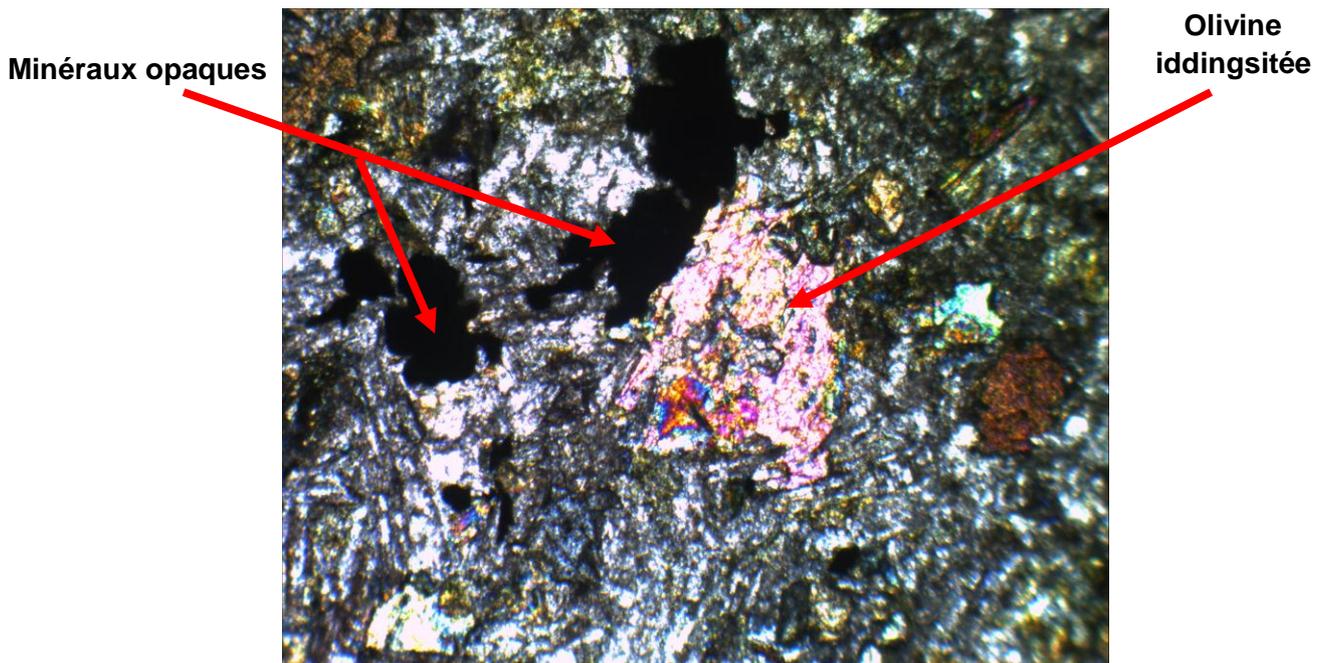


Figure 12: Echantillon 8 (obj 5X 0,13 POL) en LPA

3. analyse géochimique

Les analyses géochimiques par fluorescence X de nos échantillons ont été effectuées par le laboratoire de CETIM dont trois (03) par celui de GéoMéca à Boumerdès.

Toutefois, les résultats de ces analyses sont exprimés en pourcentage poids et sont présentés dans le Tableau 4 ci-après.

Tableau 4 : Résultats en pourcentage poids des analyses géochimiques en éléments majeurs

éch	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	PAF
1	0,95	0,41	11,14	16,47	47,73	0,02	9,42	0,99	8,02	4,73
2	0,51	2,78	6,24	19,28	48,38	0,01	9,89	0,98	9,94	1,82
3	0,72	0,41	9,03	16,72	48,64	0,02	10,47	1,04	8,27	4,58
4	0,90	3,39	6,14	18,61	47,81	0,01	8,67	0,99	9,91	3,39
5	1,02	3,56	6,06	18,71	47,62	0,01	9,53	1,03	9,47	2,84
6	0,91	3,70	6,19	18,92	48,11	0,00	8,85	0,99	9,54	2,61
7	0,85	3,57	5,89	18,34	47,23	0,01	9,11	0,98	9,52	4,32
8	1,12	3,67	5,45	18,54	48,07	0,01	8,61	1,05	9,52	3,75
9	1,44	0,47	10,08	16,58	48,65	0,17	8,74	1,00	8,15	4,53

3.1 Interprétation des résultats

Les résultats d'analyse chimique présentés dans le Tableau 4, montrent clairement que tous nos échantillons se caractérisent par :

- Des taux de SiO₂ compris entre **47.23 < SiO₂ < 48.65** ; ce qui exprime le caractère basique de nos échantillons de roches.
- Des valeurs de pertes au feu relativement élevées entre **1,82 < PAF < 4.73 %**, ce qui correspond à une altération marquée par la présence des minéraux secondaires de chlorite et calcite, repérés dans l'analyse microscopique.
- Selon le diagramme TAS (Figure 11), le pourcentage des alcalins affiche des teneurs (**1,13 < Na₂O+K₂O < 4.79 %**) qui sont propres aux pétrologies basaltiques se rapportant à la série alcaline à faiblement subalcaline, confirmée par la faible présence d'olivine (repérée dans l'analyse microscopique).

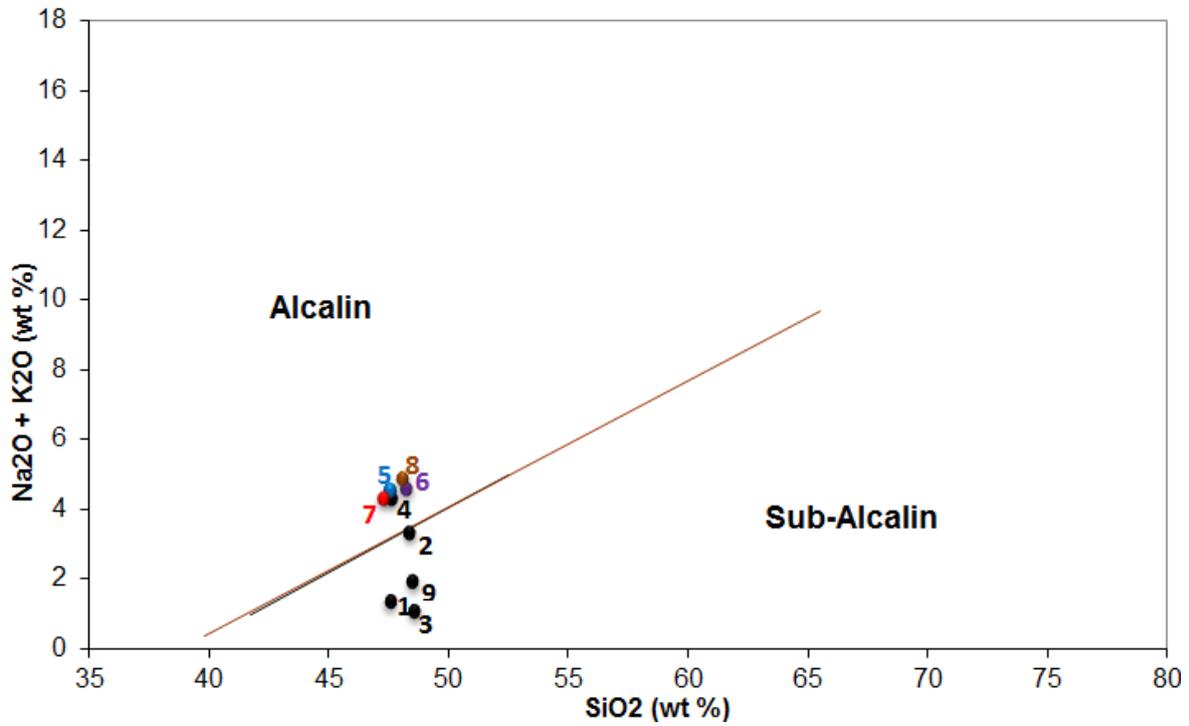


Figure 13: Type des roches magmatiques basiques dans le diagramme de TAS

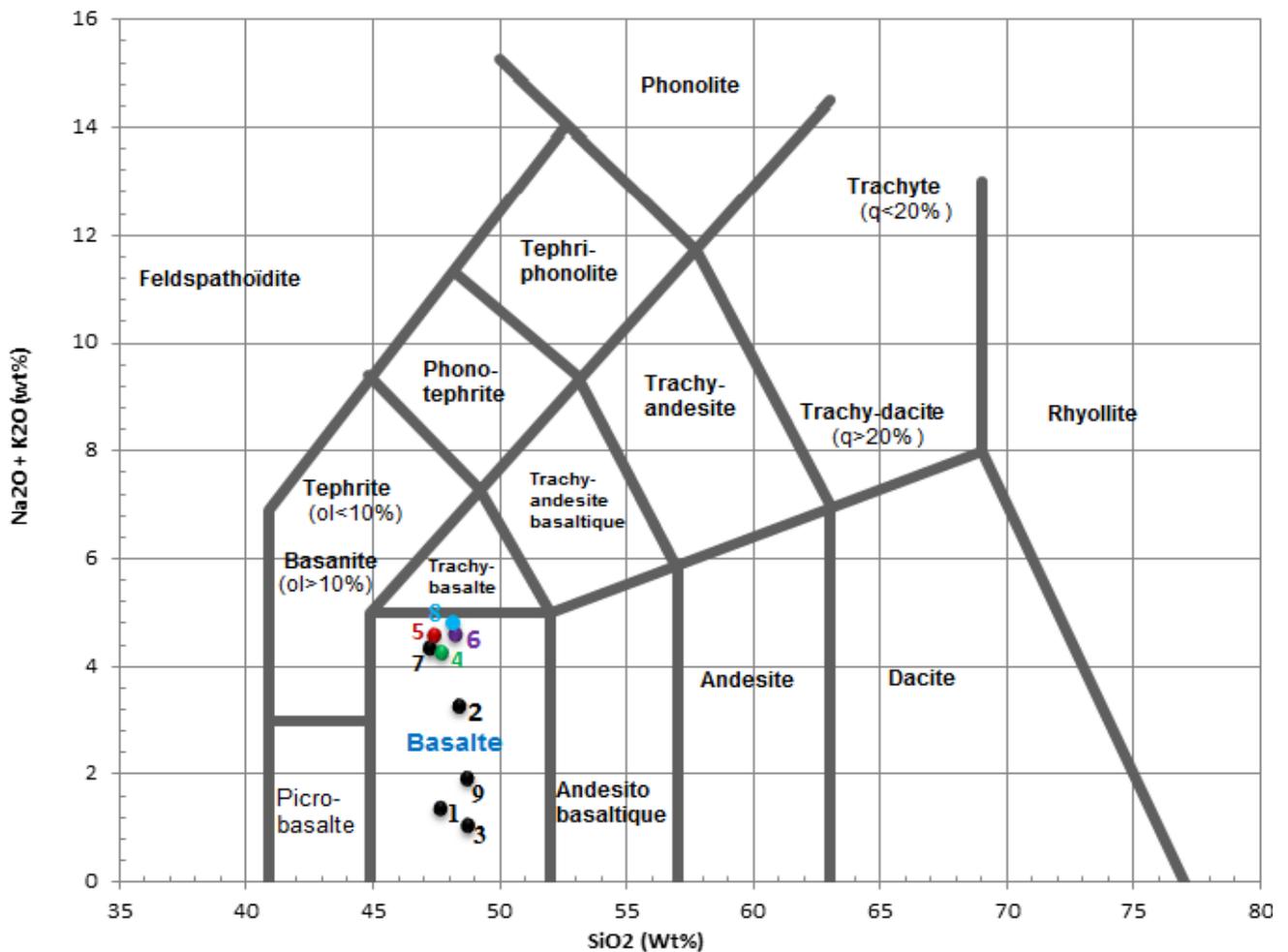


Figure 14 : Classification des roches magmatiques dans le diagramme TAS

4. Conclusion

En général, les études pétrographiques et les analyses géochimiques, effectuées dans le cadre de ce travail, ont confirmé que tous les échantillons de roches prélevés de l'affleurement magmatique de Cap Djinet, à partir de la carrière de Sonatro, sont, selon le diagramme (Figure 12) (Cox. Bell & Pank, 1970) T.A.S. (taux des alcalins: $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ -vs- silice: SiO_2), de nature magmatique basique, se rapportant aux pétrologies basaltiques.

Chapitre II : Les essais géotechniques

Ces essais ont pour but de déterminer la résistance à l'usure et aux chocs des granulats de différentes fractions granulaires.

1. Essai Los Angeles

Cet essai, a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs d'une fraction granulaire d'origine naturelle ou artificielle, à l'aide de boulets normalisés mis dans le cylindre de la machine Los Angeles qui, consiste à mesurer la masse m' .

1.1 Description de la machine Los Angeles

La machine de Los Angeles comprend un cylindre de forte épaisseur d'acier maintenu sur un cadre rigide et monté sur roulements à billes. Une porte boulonnée permet l'introduction des échantillons et des charges abrasives normalisées. Le cylindre est entraîné par une chaîne à réducteur couplé à un moteur tournant à une vitesse de 30 à 33 tours par minute.

Le cylindre peut être tourné manuellement afin de permettre le chargement et le déchargement.

Un plateau est placé sur le cadre, sous le cylindre pour la récupération des échantillons. Un compteur automatique permet d'effectuer le nombre de tours programmé avec arrêt automatique [manuel d'utilisation de la machine Los Angeles (I 04 500), ENSP].

- Diamètre interne : 711 ± 2 mm
- Largeur : 508 ± 2 mm
- Epaisseur d'acier 12 ± 0.5 mm
- Ouverture : 150 ± 3 mm
- Dimension totale :
1200× 850 × 950mm
- Poids : 350 Kg
- Moteur électrique : 740W ; 220V



Figure 15 : Le dispositif de la machine Los Angeles

1.2 Mode opératoire

1.2.1 Préparation de l'échantillon

- L'opération consiste en la réduction de la dimension de nos échantillons à l'aide d'un concasseur primaire (à mâchoire) et un concasseur secondaire (giratoire).
- On tamise les échantillons à sec dans des tamis qui sont respectivement 10, 12.5, 14, pour le cas de notre étude, on a opté pour la classe granulaire standard et usuelle de **10/14**.
- Pour lancer l'essai Los Angeles, on prend une masse de 5 Kg tel que :
 - o 60 à 70 % de la masse passant sur un tamis de 12.5.
 - o 30 à 40% de la masse de refus sur le tamis 12.5.
- On lave chaque fraction séparément, conformément à la norme **EN 933-1** (décrite par l'AFNOR) et on la sèche dans l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention de la masse constante.
- On laisse l'échantillon refroidir à la température ambiante et on mélange les deux fractions pour obtenir un échantillon conforme aux proportions données ci-dessus.



Figure 16 : Quelques matériels utilisés pour l'essai Los Angeles

Tel que :

- 1: un jeu de tamis de 10 ,12.5 ,14 mm.
- 2: une balance précise au gramme.
- 3: une étuve à 105 °c

1.2.2 Exécution de l'essai

- On tourne manuellement le cylindre afin de positionner l'ouverture vers le haut de l'appareil.
- On introduit dans la machine la masse de l'échantillon ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie (conformément au tableau suivant).

Tableau 5 : Représentation de la relation entre les classes granulaires, le nombre de boulets et le nombre de tours selon la norme NF EN1097-2/A1.

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Nombre de tours
4 - 6.3	7	500
4 - 8	8	500
6.3 - 10	9	500
8 - 12.5	10	500
10 - 14	11	500
12.5 - 16	12	500
31.5 - 50	12	1000

- On ferme l'ouverture et on serre fermement.
- On règle le compteur à 500 tours.
- Après l'arrêt de la machine, on recueille le granulat dans le bac inférieur, tout en évitant la perte de matériau ou d'en laisser dans le cylindre.
- On tamise le matériau contenu dans le bac à l'aide du tamis 1.6 mm protégé par un tamis 1.8 mm.
- On lave le refus au tamis de 1.6 mm, on le laisse sécher dans l'étuve à 105 °C, jusqu'à masse constante.
- On pèse ce refus une fois séché, soit **m'** le résultat de la pesée.

1.3 Formulation

Si **m** est la masse du matériau soumis à l'essai, **m'** est la masse des éléments supérieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles **L.A.**, tel que ce coefficient est défini par le rapport :

$$LA = \frac{m - m'}{m} \times 100$$

1.4 Résultats expérimentaux des essais Los Angeles

Les résultats des essais Angeles de nos échantillons obtenus au laboratoire sont consignés dans le Tableau 6 suivant :

Tableau 6 : Résultats des essais Los Angeles .

Site d'échantillonnage	Code de L'échantillon	Fraction utilisée (mm)	Masse Initiale (g)	Masse finale (g)	Ceef. LA %	Lieu de réalisation de l'essai
Carrière de Cap Djinet	01	10/14	5000	4260	14.8	Labo ENP
	02	10/14		3970	20.6	//
	03	10/14		4220	15.6	//
	04	10/14		4360	12.8	//
	05	10/14		4390	12.2	//
	06	10/14		4313	13.7	CETIM
	07	10/14		4400	12.0	Labo ENP
	08	10/14		4412	11.8	CETIM
	09	10/14		4370	12.6	Labo ENP

2. Essai Micro-Deval

L'essai permet de mesurer la résistance à l'usure des échantillons de roches par frottement. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

La prise d'essai, constituée de 500 g, choisie parmi les classes granulaires types (4-6.3 mm, 6.3-10 mm, **10-14 mm**, 25-50 mm) est placée avec une charge, constituée de billes d'acier de 10 mm de diamètre, dans un cylindre métallique.

La rotation du cylindre autour de son axe placé horizontalement, entraîne une usure par frottement granulats-billes, la formation d'une proportion de fines d'autant plus grande que le matériau est plus tendre. Le pourcentage de ces éléments fins produits au cours de l'essai, constitue le coefficient Micro-Deval.

2.1 Description de la machine

L'appareil Micro-Deval comporte un à quatre cylindres d'essai tels que ces cylindres sont fabriqués en acier inox. Ils sont posés sur deux arbres horizontaux métalliques protégés par un recouvrement anti-usure.

- Chaque cylindre permet d'effectuer un essai.
- L'intérieur des cylindres ne doit présenter aucune saillie due à la soudure ou au mode de fixation, ils sont fermés par un couvercle plat de 8mm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint placé sur le couvercle.
- La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de ($\varnothing : 10 \pm 0.5$ mm) en acier inox (conformément à la norme NF A 35-572).

Note: Le contrôle du diamètre des billes peut se faire rapidement en les faisant passer sur deux barreaux parallèles d'écartement de 9.5mm [documentation CETIM].

- Diamètre intérieur de cylindre :
(200 ±1) mm
- Longueur utile de cylindre : (154 ±1) mm
- Epaisseur de cylindre : (3 ± 0.2) mm
- Moteur électrique : environ 1 kW; 380 V
(Assurant aux cylindres une vitesse de rotation régulière de (100 ±5) tr/min).



Figure 17: Dispositif de la machine Micro Deval

2.2 Mode opératoire

2.2.1 Préparation de l'échantillon

Après le concassage des échantillons portant sur une masse égale à 2000 g au moins chacune. L'essai s'effectue sur $500 \pm 2g$ de granulats secs de classe granulaire **10/14** répartis de la façon suivante :

- 60 à 70 % de la masse passant sur un tamis de 12,5.
- 30 à 40% de la masse de refus sur le tamis de 12,5.

L'échantillon est ensuite lavé et séché à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

2.2.2 Matériels utilisés pour l'exécution de l'essai Micro-Deval

- ◆ 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 : 1,6 mm, 8 mm, 10 mm, 11,2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm.
- ◆ une Étuve à $105 \pm 5 C^\circ$.
- ◆ Moyens nécessaires au lavage de l'échantillon tamisé.
- ◆ Éprouvette graduée en verre.
- ◆ 5kg de billes métalliques.
- ◆ une grille pour la récupération des billes après l'essai.



Figure 18: Quelques matériels utilisés pour l'essai Micro Deval

où :

1 : balance + billes ;

2 : éprouvette ;

3 : grille + tamis (1.6 mm)

2.2.3 Exécution de l'essai

- On introduit une masse de 500g de l'échantillon (lavée et séchée) dans le cylindre de la machine ainsi que la charge abrasive ($5\,000 \pm 5\text{g}$) relative à la classe granulaire choisie (10 - 14mm), voir Tableau 7 ci-après.
- On ajoute 2,5 litres d'eau pour l'essai MDE (Micro Deval humide).
- On ferme le cylindre et on lui fait subir 12 000 rotations à une vitesse comprise entre 100 et 105 trs /min.

Tableau 7 : Représentation de la relation entre la classe granulaire et la charge abrasive selon la norme NF EN1097-1/A1.

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 – 6.3	$2\,000 \pm 5$
6.3 – 10	$4\,000 \pm 5$
10 - 14	$5\,000 \pm 5$

Une fois l'essai achevé, l'échantillon est retiré du cylindre afin de le laver sur un tamis de 1,6 mm, puis le placer dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante. A la fin de cette opération, le refus (m') est pesé.

2.3 Formulation

Le coefficient micro-Deval est par définition le rapport:

$$\text{Où : } \quad \text{MDE} = \frac{m}{M} \times 100$$

M : la masse sèche de l'échantillon pour essai.

m = M - m' : la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm.

Note : Le coefficient MDE mesure le % d'usure, plus il est petit plus la résistance à l'usure est grande.

2.4 Résultats expérimentaux des essais Micro-Deval

Les résultats obtenus des essais Micro-Deval de nos neuf échantillons prélevés de la carrière de Cap Djinet sont consignés dans le Tableau 8 suivant :

Tableau 8 : Résultats des essais Micro Deval .

Site d'échantillonnage	Code de L'échantillon	Fraction utilisée (mm)	Masse Initiale (g)	Masse finale (g)	Ceof. M.D. (%)	Lieu de réalisation de l'essai
<i>Carrière de Cap Djinet</i>	01	10/14	500	395.5	20.9	SONATRO
	02	10/14		267	46,6	CETIM
	03	10/14		448.5	10.3	SONATRO
	04	10/14		402	19.6	SONATRO
	05	10/14		393	21.4	SONATRO
	06	10/14		373	25.4	CETIM
	07	10/14		440	22	SONATRO
	08	10/14		454	9.2	CETIM
	09	10/14		383	23.4	SONATRO

3. La Dureté Relative Globale DRG

Pour plus de vérification, les valeurs des coefficients de LA et de MDE n'ont pas de signification que si elles sont appréciées par le critère de Dureté Relative Globale (DRG), qui exprime la dureté relative d'un granulat selon une échelle allant de 6 à 32 sur un abaque (Figure 16) qui permet la détermination d'un coefficient de dureté (DRG) pour chaque échantillon prélevé.

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 de chaque échantillon.

- DRG hors abaque : < 6 et > 32 (matériau non conforme et inutilisable).
 - DRG normative : ≥ 6 et ≤ 32 (médiocre, bon ou excellent).
- [L.CHANANE, 2008].

Les résultats de la DRG de nos échantillons obtenus à partir de l'abaque conçu par (J.Alias ,1984) sont présentés dans le Tableau 9 suivant :

Tableau 9 : Les valeurs de DRG de chaque échantillon.

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valeurs DRG	10	6	15	11	10	9	10	16	10

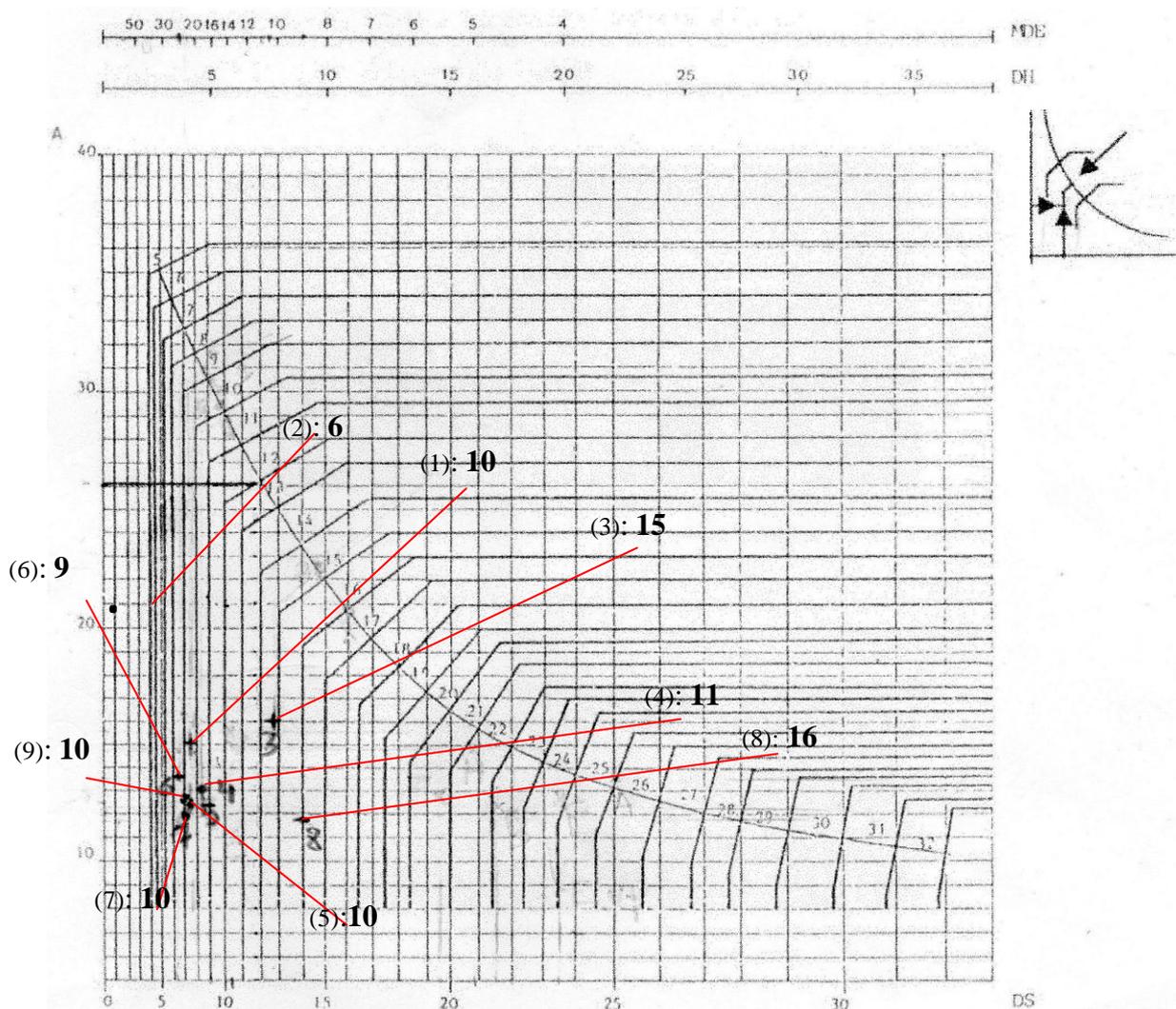


Figure 19 : Représentation de la dureté relative globale des échantillons dans l'abaque de J. Alias ,1984.

4. Interprétation des essais géotechniques

Tableau 10 : Résultats de tous essais géotechniques.

Type d'essai	Echantillons								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Los Angeles	14.8	20.6	15.6	12.8	12.2	13.7	12	11.8	12.6
Micro-Deval	20.9	46.6	10.3	19.6	21.4	25.4	22	9.2	23.4
DRG	10	6	15	11	10	9	10	16	10

4.1 Observation et interprétations des résultats

✎ En fonction du Tableau 10, illustré par le Tableau 12 donné après, on remarque pour les essais Los Angeles, que la plupart de nos échantillons soumis aux essais ont de bonnes valeurs qui sont proches l'une de l'autre, variant ainsi entre 11.8 et 13.7, excepté trois échantillons seulement avec des valeurs (de 20.6, 15.6 et 14.8) qui, présentent un écart évident, dont la valeur maximale accusée par l'échantillon 2 est de l'ordre de 20.6.

Comparativement aux normes géotechniques algériennes et étrangères, données dans le Tableau 11 ci-après, tous nos échantillons présentent de très bonnes valeurs de L.A. qui sont très loin des limites supérieures (exprimant le seuil de fragilité) exigées par les essais Los Angeles, ce qui veut dire que tous nos échantillons sont normatifs et valident leur résistance à la fragmentation par chocs quant à leur utilisation comme matériaux de granulats dans les différents projets de construction du génie civil et dans différentes régions climatiques .

✎ Pour les essais Micro-Deval, on constate que la quasi-totalité (8/9) des échantillons ont des valeurs acceptables allant de 9.2 à 25.4, dont deux échantillons seulement (3 et 8) ont donné de très bonnes valeurs (10.38 ; 9.2 respectivement) et qui sont nettement inférieures aux autres, sauf l'échantillon 2 qui présente une valeur de **46.6**, donc hors normes standards. Ce qui revient à dire que la quasi-totalité de nos échantillons sont conformes aux normes, aussi bien algériennes (< 35) qu'américaines (< 30), mais comparativement aux limites exigées par les normes européennes, on remarque que plus de la moitié des échantillons (1, 5, 6, 7 et 9) sont hors normes et accusent des valeurs supérieures à 20 (respectivement 20.9 ; 21.4; 25.4; 22 et 23.4), ce qui nous amène à dire que ces types d'échantillons font l'objet de matériaux de granulats dont l'utilisation est mieux recommandée dans des régions à climat sec.

✎ Pour la DRG, on constate que la plus part de nos échantillons (7/9) ont des valeurs inférieurs à 12 (10; 6; 11; 10; 9; 10 et 10), donc non conformes aux limites exigées par les normes standards aussi bien algériennes qu'étrangères, excepté les échantillons 3 et 8 avec des valeurs de 15 et 16 respectivement, qui sont de bonnes qualité par rapport aux normes algériennes et européennes et non américaines. Cependant, tous nos échantillons, malgré leur qualité médiocre, ils sont acceptables, donc utilisables comme matériaux de granulats dans les projets de construction du génie civil.

Tableau 11 : limites exigées des valeurs de LA , MDE et DRG [L.CHANANE, 2008]

Norme	LA	MDE	DRG
Algérienne	< 40	< 35	> 12
Européenne	< 25	< 20	> 14
Américaine	< 35	< 30	> 18

Tableau 12 : Comparaison des résultats aux différentes normes.

éch	Essai Los Angeles				Essai Micro Deval				DRG			
	valeur	N.Alg	N.Fr	N.Am	valeur	N.Alg	N.Fr	N.Am	valeur	N.Alg	N.Fr	N.Am
1	14,80	Acpt	Acpt	Acpt	20,96	Acpt	nonAcpt	Acpt	10	médiocre	médiocre	médiocre
2	20,60	Acpt	Acpt	Acpt	46,60	nonAcpt	nonAcpt	nonAcpt	6	médiocre	médiocre	médiocre
3	15,60	Acpt	Acpt	Acpt	10,38	Acpt	Acpt	Acpt	15	bonne	bonne	médiocre
4	12,80	Acpt	Acpt	Acpt	19,60	Acpt	Acpt	Acpt	11	médiocre	médiocre	médiocre
5	12,20	Acpt	Acpt	Acpt	21,40	Acpt	nonAcpt	Acpt	10	médiocre	médiocre	médiocre
6	13,70	Acpt	Acpt	Acpt	25,00	Acpt	nonAcpt	Acpt	9	médiocre	médiocre	médiocre
7	12,00	Acpt	Acpt	Acpt	22,00	Acpt	nonAcpt	Acpt	10	médiocre	médiocre	médiocre
8	11,80	Acpt	Acpt	Acpt	9,00	Acpt	Acpt	Acpt	16	bonne	bonne	médiocre
9	12,60	Acpt	Acpt	Acpt	23,40	Acpt	nonAcpt	Acpt	10	médiocre	médiocre	médiocre

N.B :

N. Alg. : norme Algérienne.

N. Am. : norme Américaine.

N. Fr. : norme Française.

Non Acpt. : Non accepté.

Acpt. : accepté.

5. Conclusion

✎ Généralement, les résultats obtenus des essais géotechniques ont vérifié et confirmé que la qualité de nos échantillons testés au laboratoire reste médiocre, à plus ou moins bonne, donc acceptable quant à leur utilisation comme matériaux de granulats dans les projets de construction.

Chapitre III : Relations Pétrogéochimique Et Géotechnique

1. Introduction

Les caractéristiques pétrogéochimiques ont un impact fondamental et déterminant sur les conditions physico-mécaniques de la roche, de telle manière à ce que la présence d'une certaine quantité en pourcentage poids de certains oxydes pétrogènes influe directement sur les propriétés intrinsèques de la roche (solidité et résistance aux contraintes de fluage et rupture par compression et traction ...) [L. CHANANE 2008].

Pour cela, on a procédé par un traitement mathématique à l'aide d'un logiciel statistique (EXCEL.10), en vue de déterminer ces relations par des corrélations en régression linéaire sous forme de diagrammes, faisant comparaître les données du Tableau 13, où les pertes au feu (PAF) et les paramètres géomécaniques (LA, MDE, DRG), sont opposés aux oxydes de base.

Tableau 13: Synthèse des résultats chimiques et géotechniques

Ech.	Na ₂ O+K ₂ O %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	PAF %	LA %	MDE %	DRG %
1	1,36	11,14	16,47	47,73	9,42	8,02	4,73	14,80	20,96	10
2	3,29	6,24	19,28	48,38	9,89	9,94	1,82	20,60	46,60	6
3	1,13	9,03	16,72	48,64	10,47	8,27	4,58	15,60	10,38	15
4	4,29	6,14	18,61	47,81	8,67	9,91	3,39	12,80	19,60	11
5	4,58	6,06	18,71	47,62	9,53	9,47	2,84	12,20	21,40	10
6	4,61	6,19	18,92	48,11	8,85	9,54	2,61	13,70	25,00	9
7	4,42	5,89	18,34	47,23	9,11	9,52	4,32	12,00	22,00	10
8	4,79	5,45	18,54	48,07	8,61	9,52	3,75	11,80	9,00	16
9	1,91	10,08	16,58	48,65	8,74	8,15	4,53	12,60	23,40	10

2. Diagrammes De Corrélation

Seuls les diagrammes de corrélations qui, ont un seuil significatif de $R^2 \geq 0,1$, sont pris en considération pour illustrer les relations pétrogéochimiques et géotechniques, qui sont présentées dans les figures suivantes:

Diagramme de corrélation PAF/ Al_2O_3 : le diagramme montre une forte diminution de la PAF en fonction des hautes valeurs de Al_2O_3 , exprimant ainsi une très faible altération de cet oxyde dans les échantillons.

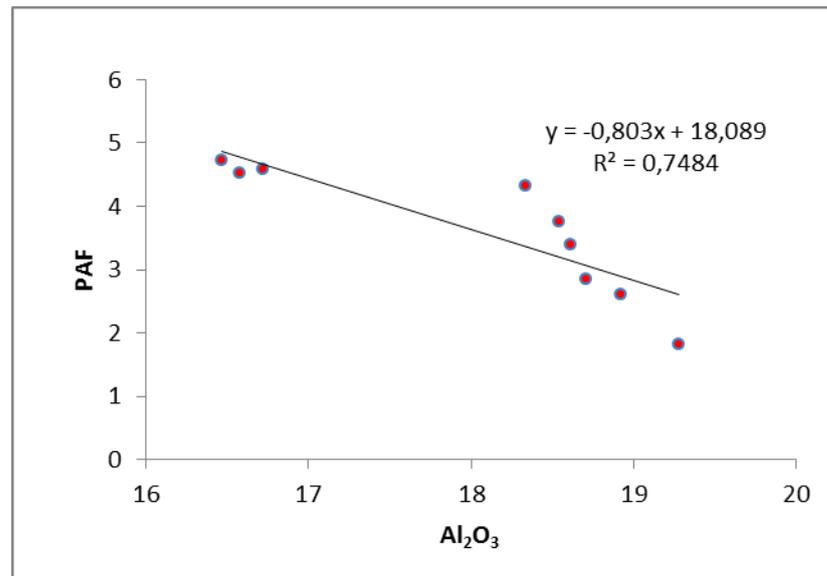


Figure 20: Diagramme de corrélation PAF/ Al_2O_3

Diagramme de corrélation PAF/ $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$: à l'instar du diagramme précédent, et à titre moindre, ce diagramme affiche aussi une nette diminution de la PAF en fonction des hautes valeurs des alcalins ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$), montrant ainsi une très faible altération de ces oxydes dans les échantillons.

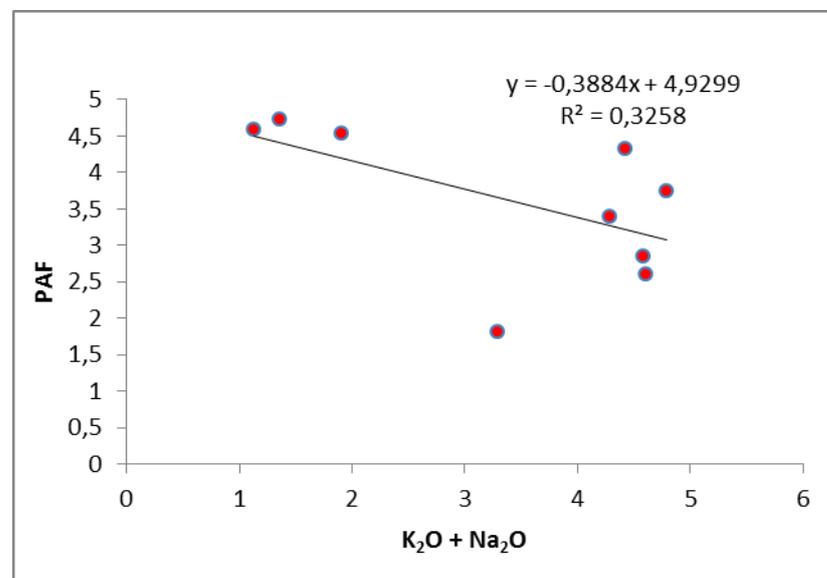


Figure 21: Diagramme de corrélation PAF/ $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$

Diagramme de corrélation PAF/Fe₂O₃ : Aussi, à l'instar des deux diagrammes précédents, ce diagramme présente une très forte diminution de la PAF avec les hautes teneurs de Fe₂O₃, indiquant ainsi une très faible altération de cet oxyde dans les échantillons.

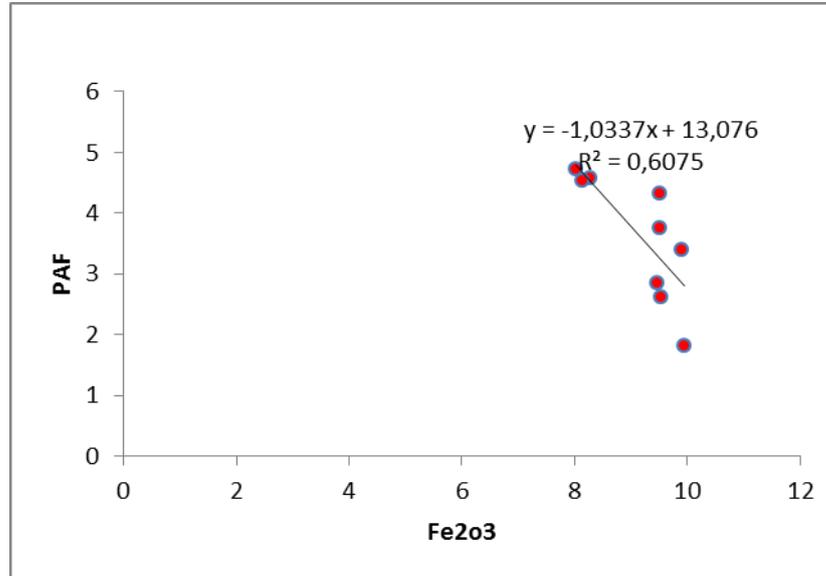


Figure 22: Diagramme de corrélation PAF/Fe₂O₃

Diagramme de corrélation PAF/MgO : contrairement aux diagrammes précédents, ce diagramme, montre en revanche, une augmentation de la PAF avec les hautes valeurs de MgO, illustrant une importante altération chimique de cet oxyde, affectant ainsi la transformation des ferromagnésiens présents dans les échantillons.

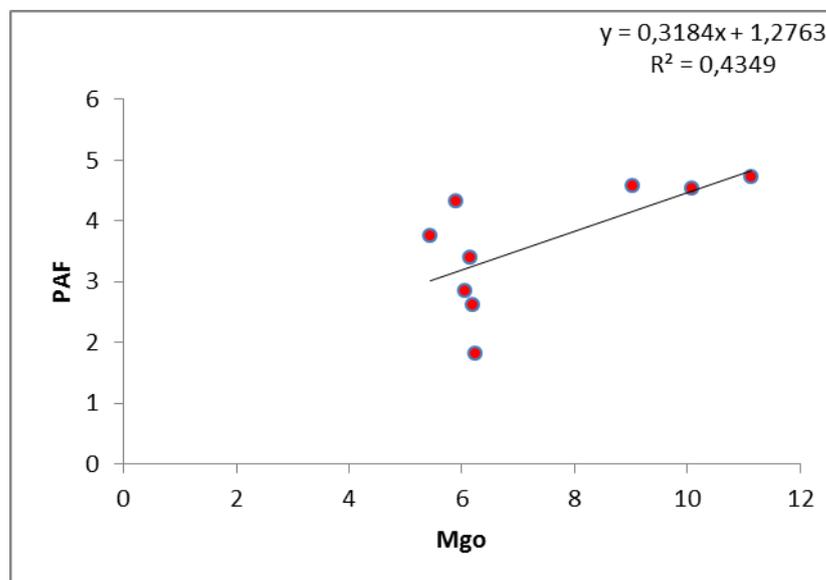


Figure 23: Diagramme de corrélation PAF/MgO

Diagramme de corrélation LA/SiO₂: le diagramme représente une nette diminution de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs de la SiO₂, vérifiant ainsi la sensibilité de la silice face aux contraintes physico-mécaniques.

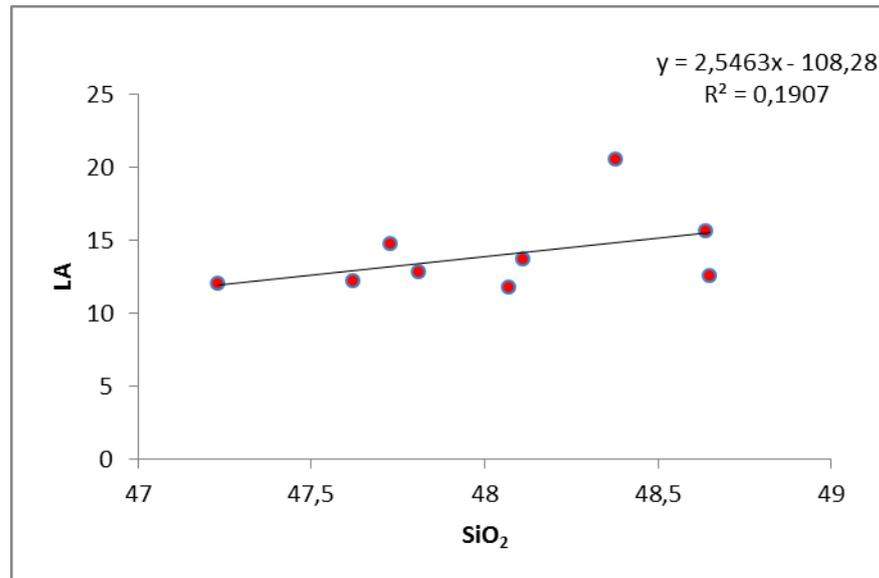


Figure 24: Diagramme de corrélation LA/SiO₂

Diagramme de corrélation LA/K₂O + Na₂O: contrairement aux autres oxydes, ce diagramme affiche une nette augmentation de la résistance aux chocs en fonction des hauts pourcentages des alcalins (K₂O + Na₂O).

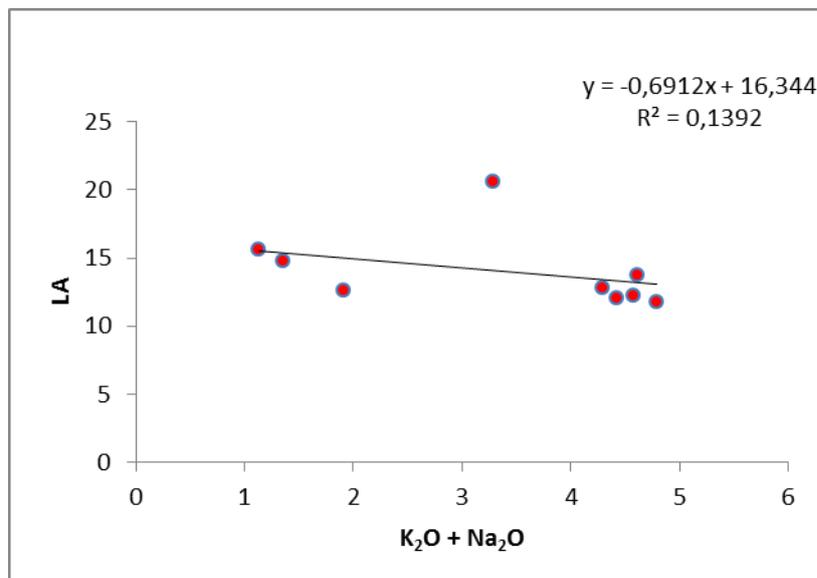


Figure 25: Diagramme de corrélation LA/ K₂O + Na₂O

Diagramme de corrélation LA/CaO : à l'instar de la silice, ce diagramme exprime une forte diminution de la résistance aux chocs avec les hautes teneurs de la chaux (CaO).

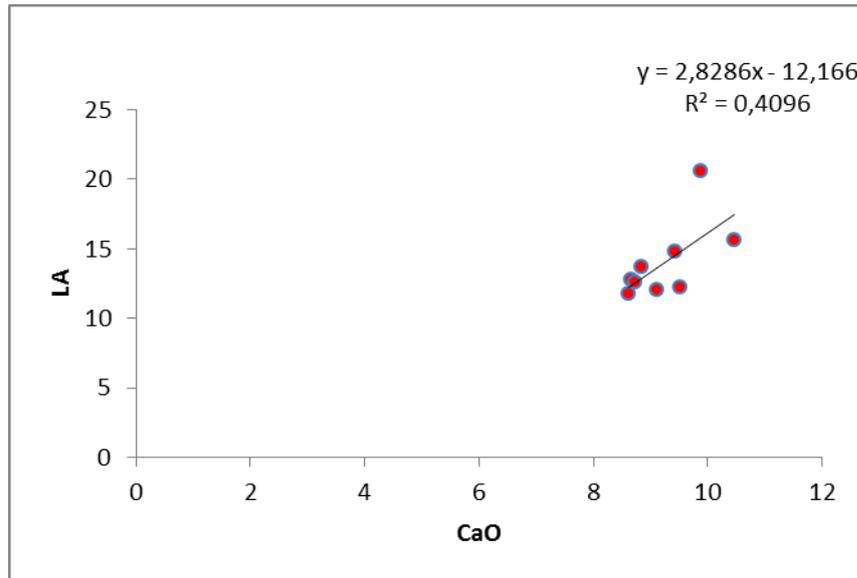


Figure 26: Diagramme de corrélation LA/ CaO

Diagramme de corrélation MDE/Al₂O₃ : au même titre que les Fe₂O₃, ce diagramme montre une diminution de la résistance à l'usure avec l'augmentation des teneurs de Al₂O₃.

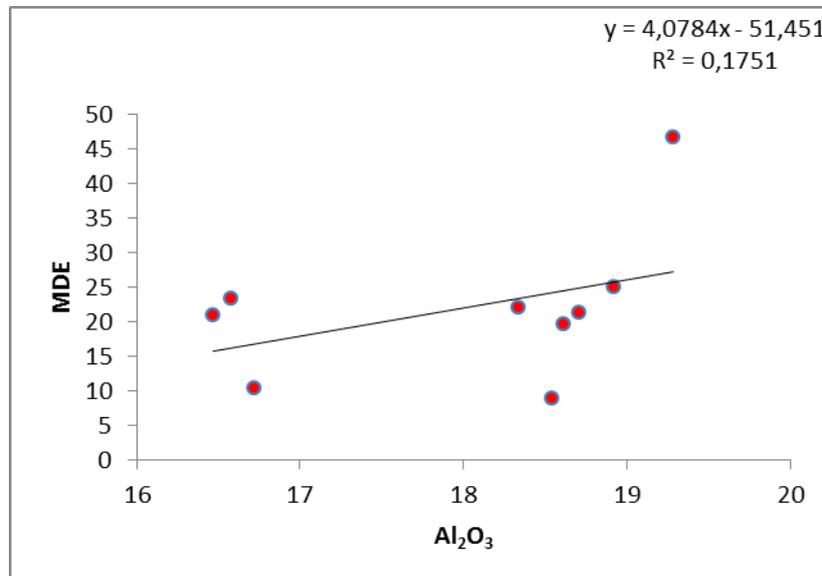


Figure 27: Diagramme de corrélation MDE/Al₂O₃

Diagramme de corrélation MDE/ Fe_2O_3 : ce diagramme montre une diminution de la résistance à l'usure avec les hautes teneurs de Fe_2O_3 .

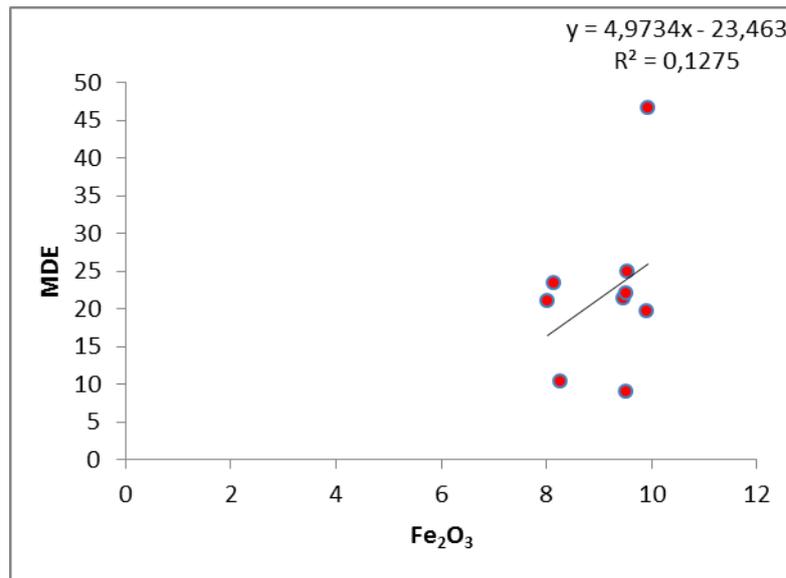


Figure 28: Diagramme de corrélation MDE/ Fe_2O_3

Diagramme de corrélation DRG/ Al_2O_3 : ce diagramme exprime une relative diminution de la dureté relative globale avec les valeurs croissantes de Al_2O_3 .

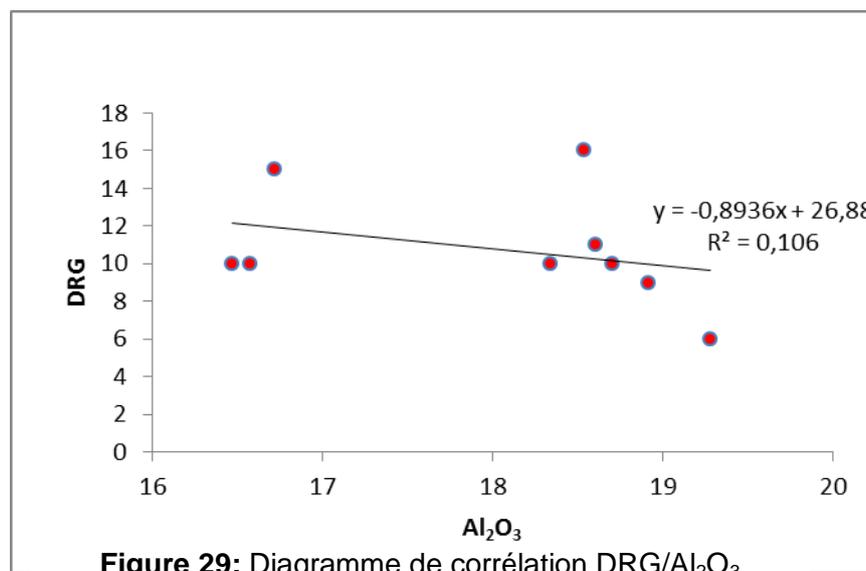


Figure 29: Diagramme de corrélation DRG/ Al_2O_3

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au terme de ce travail, les résultats des tests géotechniques, des études pétrographiques et des analyses géochimiques effectués sur des échantillons de roches, prélevés d'un affleurement magmatique, faisant objet d'une carrière en exploitation par Sonatro, située dans la région de Cap Djenet, sur le littoral Est Algérois, nous permettent de constater que :

➤ Du point de vue pétrographique, ces roches correspondent, selon l'analyse microscopique, à des pétrologies à texture microlitique porphyrique se rapportant aux roches volcaniques basaltiques, contenant des minéraux primaires, présents :

- en **phénocristaux**, dominés principalement par les plagioclases, les clinopyroxènes, et secondairement par quelques cristaux d'olivine,
- et en **mésostase**, dominée aussi par les microcristaux en granules de clinopyroxènes, microlites de plagioclases, quelques cristaux d'amphiboles, d'olivine et des minéraux opaques tels que la magnétite.

L'étude microscopique a indiqué aussi la présence de certains minéraux secondaires tels que la chlorite et la calcite. Les échantillons étudiés sont marqués par une altération plus ou moins avancée des ferromagnésiens par rapport aux plagioclases.

- Les analyses par fluorescence X ont permis de préciser la nature géochimique de ces roches, qui en général correspondent à des roches basiques se rapportant aux basaltes de série alcaline à faiblement subalcaline.
- Les résultats obtenus des essais géotechniques de Los Angeles (LA) et de Micro-Deval Humide (MDE), et par conséquent la Dureté Relative Globale (DRG), ont vérifié et confirmé que nos échantillons testés au laboratoire, sont généralement de qualité médiocre par rapport aux normes aussi bien algériennes qu'étrangères, et parfois bonne pour certains échantillons, selon les normes algérienne et européenne, donc acceptable quant à leur utilisation comme matériaux de granulats dans les projets de construction.

N.B. : *il est à signaler que la qualité médiocre de nos échantillons n'est pas due à la nature pétrographique des roches basiques, mais plutôt à leur « état » marqué par un début d'altération, en raison de leur situation dans une région littorale favorable aux altérations chimiques.*

- Les diagrammes des figures **20** à **29** montrent les corrélations existantes entre les teneurs des oxydes de bases suivants (SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, CaO , Fe_2O_3 et MgO) et les valeurs de PAF, LA, MDE et DRG.

- Les pourcentages de PAF accusent une nette diminution illustrée par les bonnes corrélations significatives avec Al_2O_3 , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, Fe_2O_3 , MgO , indiquant une très faible altération de l'ensemble des oxydes, contrairement à la magnésie (MgO) qui affiche une élévation du pourcentage, favorable à l'altération, ce qui vérifie son caractère hydrophile.
- Les valeurs de LA augmentent sensiblement en fonction de SiO_2 et CaO , à l'exception des alcalins ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) en fonction desquels les valeurs diminuent nettement, ce qui a caractérisé nos échantillons par une plus ou moins bonne résistance aux chocs.
- Les teneurs du MDE s'élèvent avec le Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ce qui exprime une plus ou moins bonne à faible résistance à l'usure de nos échantillons.
- Concernant la DRG, les diagrammes montrent une seule corrélation significative en fonction de Al_2O_3 qui accuse une baisse.

Ces résultats nous permettent d'affirmer et de vérifier que les corrélations peuvent exister et déterminer l'impact des caractéristiques pétrogéochimiques sur les paramètres géotechniques de la roche.

Dans notre étude, nous avons pu constater qu'en fonction de tous les paramètres géotechniques de la roche, la magnésie (MgO) s'est comportée différemment par rapport à tous les autres oxydes, et en raison de son caractère hydrophile et sa grande capacité de rétention d'eau, l'altération a beaucoup plus mobilisé les oxydes présents dans les ferromagnésiens que ceux présents dans les cortèges des autres minéraux de la roche, ce qui vérifie l'altération des clinopyroxènes (augite), qui a un pôle calcique. Ce qui a affecté en plus non seulement la diminution de la résistance mécanique mais aussi la diminution de la DRG des échantillons.

En conclusion, les résultats obtenus à partir des analyses pétro géochimiques et des essais géotechniques, ont confirmé et vérifié clairement que les échantillons de roches prélevés de l'affleurement magmatique de la région de cap-Djinet, décèlent une faible altération chimique développant une résistance physico-mécanique valable et acceptable par les normes standards nationale et étrangère, et cela, malgré la proximité de la mer, d'où l'influence de l'humidité marine, très favorable aux altérations chimiques des roches. Ce qui a encouragé la société Sonatro d'investir dans ce gisement rocheux en vue d'exploiter plusieurs carrières pour la production et l'alimentation du marché national en matériaux de granulats.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. A. Georges, T.Claude, " *granulats* ", presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1990.
2. Carte géologique de DELLYS-TIZIOUAZOU au 1/50 000, 2^{ème} édition, 1984.
3. Alain Foucault, Jean-François Raoul, << *Dictionnaire de Géologie* >>, 7^{ème} Ed. Dunod, Collection : *Universciences* , Paris, 2010
4. F.GABRYSIK, " *Cours matériaux, les granulats* ", France, 2002.
5. I. ALLOU, B.OTSMANE, " *Etude des caractéristiques géologiques et géotechniques des roches basiques des affleurements magmatiques de béni-saf et Saïda, pour la production des granulats* ", PFE, ENP Dpt. Génie Minier 2010.
6. J.ALIAS, " *la voie ferrée* ", Eyrolles, Paris, 1984.
7. J.DERCOURT; J.PAQUET, " *Géologie : objets et méthodes* ", 1978.
8. K.ARAB, H.BOUZIANE, " *Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballast* ", Projet d'ingénieur d'Etat, université de FERHAT ABBAS, Sétif, 2008.
9. L.CHANANE, " *comportement et influence des qualités du ballast sur la circulation des trains* ", mémoire de magister, ISFF, 2008.
10. M.BORDET, " *géologie-schémas et croquis des cours et conférences* ", Ecole centrale des Arts et Manufactures , 1979.
11. M.MOUSSAI, " *Utilisation des roches magmatiques intermédiaires en ballastage* ", mémoire de Magister, ENP-Dpt. Génie Minier, 2010.
12. M.TOUHARI A.HENNICHE, " *Resistance au jeune âge du béton* ", PFE, ENP-Dpt. Génie Civil, 2007.
13. *Manuel d'utilisation de la machine Los Angeles (I 04500)*, ENP Dpt. Génie Minier (2012).
14. P.BELLAIR ; C.POMEROL, " *Eléments de géologie* ", 2^{ème} édition, collection U-Armand colin, Paris, 1984.
15. R.DEGIOVANNI, << *les formations volcaniques du Cap Djinet* >>, thèse de doctorat, Université d'Alger, 1978.
16. R.DUPAIN, R.LANCHON, " *Granulats, sols, ciments et bétons* ", 4^{ème} Ed. Casteilla, Paris, 2009.

17. R. Maillot, " *Mémento technique des granulats*", Les presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2001.
18. R.YAKHLEF, « *les basaltes doléritiques de Cap Djinet* », mémoire d'ingénieur d'état, USTHB, 1992.
19. site internet : www.apw-boumerdes.com ; 31/05/2013.
20. site internet : www.la.refer.org/materiaux/chapitre_trois_trois.html ;02/06/2013.
21. site internet: www.fr.wikipedia.org/wiki/Granulat.html, 30/04/2013.
22. V.MILNITCHOUK, M.ARABADJI :« *Géologie Générale* », Editions Moscou, 1983.

ANNEXES

ANNEXE I : les étapes de réalisation des lames minces

1. Introduction

Une roche est totalement opaque, exception faite de quelques verres d'origine volcanique ou météoritique. Mais, en réalisant des coupes extrêmement fines, il est possible de voir en travers. L'observation microscopique, est alors possible aussi bien en lumière transmise qu'en lumière réfléchie.

Les différentes étapes de réalisation des lames minces pétrographiques:

2. Préparation du sucre

Il faut définir la zone d'un échantillon de roche, qui est à analyser à l'aide d'une scie circulaire diamantée, on découpe un sucre (petit volume de roche n'excédant pas 8 à 10 cm³).



Figure1 : Scie circulaire diamantée

3. Imprégnation (Étape facultative)

Dans le cas où la roche est peu cohérente, ou très fracturée, une étape d'imprégnation du sucre à la résine est nécessaire pour le consolider.

3.1 Etat de surface

Les sucres comme les lames de verre qui seront utilisés, doivent avoir une planéité parfaite pour être collés ensemble. On réalise cette rectification des surfaces grâce à un plateau en fonte (lapidaire) qui tourne, sur lequel, on dispose de poudre abrasive (carbure de silicium) de différentes granulométries (de la plus grossière à la plus fine), susceptibles d'user la surface du sucre ou de la lame pour obtenir une surface la plus plane possible.



Figure 2 : Le lapidaire

4. Collage

Les sucres sont collés sur les lames en verre à l'aide d'une résine de type Araldite. La manipulation est délicate, car il ne doit pas subsister de bulles d'air entre la lame et le sucre, et la couche de résine doit être la plus fine possible. Toutes ces précautions visent à assurer une observation finale (microscopique) dans les meilleures conditions.



Figure 3 : collage de sucre sur la lame de verre

5. Le sciage

Le sucre est scié avec un disque diamanté de précision qui, garde un parallélisme des faces (face collée par rapport à la face sciée) pour réduire son épaisseur à environ 1 à 2 mm.



Figure 4 : Sciage de la préparation

6. Rodage finale

Le lapidaire de l'étape 3, est à nouveau utilisé pour réaliser la dernière étape, la plus délicate, celle qui demande le plus de finesse (abaisser l'épaisseur de la roche à 30 μm). Avec les poudres abrasives en des passes successives, on diminue très lentement l'épaisseur de la roche, en vérifiant fréquemment l'avancement du rodage. La mesure de l'épaisseur peut se faire par un micromètre, ou bien directement au microscope. Une fois le rodage terminé, la surface de la roche est polie ou bien recouverte d'une lamelle de verre.

L'observation va se faire au microscope polarisant. L'épaisseur standard de 30 μm permet la reconnaissance des minéraux constitutifs de la roche.

ANNEXE II : Préparation des échantillons pour l'analyse par F.X

Pour l'exécution de l'analyse par Fluorescence X, sur un échantillon donné, il faut que le diamètre de la partie, de l'échantillon, prise pour l'analyse soit inférieure ou égale à 80 μ m, pour cela, les étapes suivies sont ainsi présentées :

- effectuer un concassage primaire dans un concasseur à mâchoire pour réduire la taille de la roche à une taille de l'ordre de 18mm.
- effectuer un concassage secondaire à l'aide d'un concasseur giratoire afin d'obtenir un diamètre d'environ 12mm.

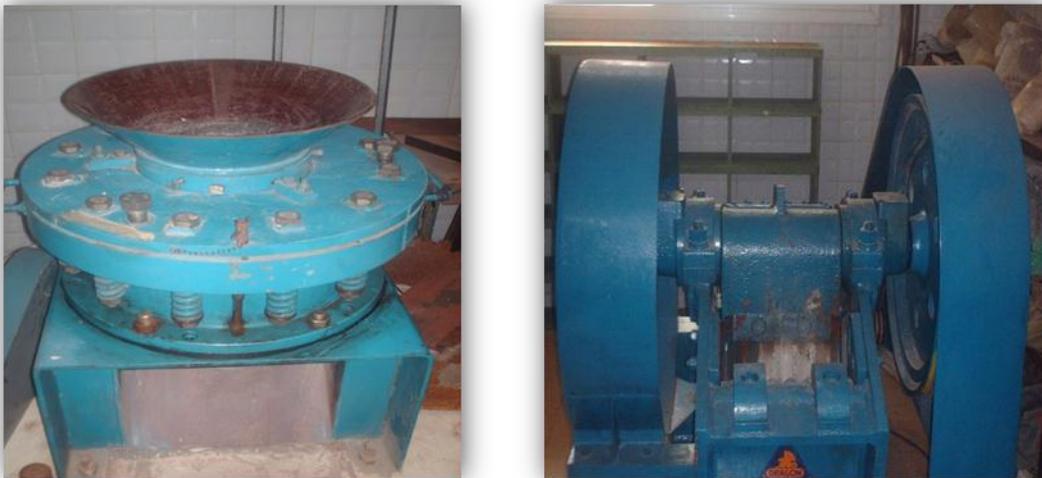


Figure 1 : concasseur giratoire (à gauche), concasseur à mâchoire.

- effectuer un premier broyage avec un broyeur à cylindre pour obtenir une taille de l'ordre de 2mm.
- effectuer un deuxième broyage avec un broyeur à billes pour obtenir un diamètre inférieur ou égal à 80 μ m.



Figure 2 : broyeur à cylindre (à gauche), broyeur à billes (à droite).

- on effectue un tamisage à l'aide d'un tamis de 80 μ m pour récupérer la partie de l'échantillon qui est inférieure à ce diamètre.

N.B : pour que nos échantillons soient représentatifs, on effectue une division homogène et uniforme à travers tout l'échantillon à l'aide des appareils de quartage.



Figure 3: appareils de quartage

Annexe 3 : Autres résultats de lames minces.

- Exemples d'augite faiblement altérée :

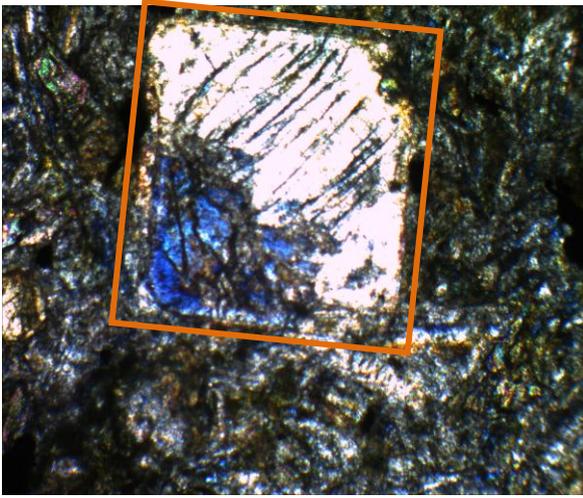


Figure 1 : Augite faiblement altérée 1
(obj 5X0,13 POL) en LPA

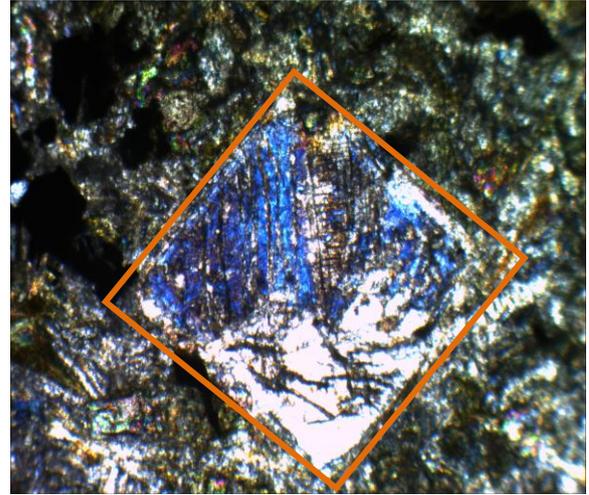


Figure 2 : Augite faiblement altérée 2
(obj 5X0,13 POL) en LPA

- Exemples d'olivine iddingsitée :

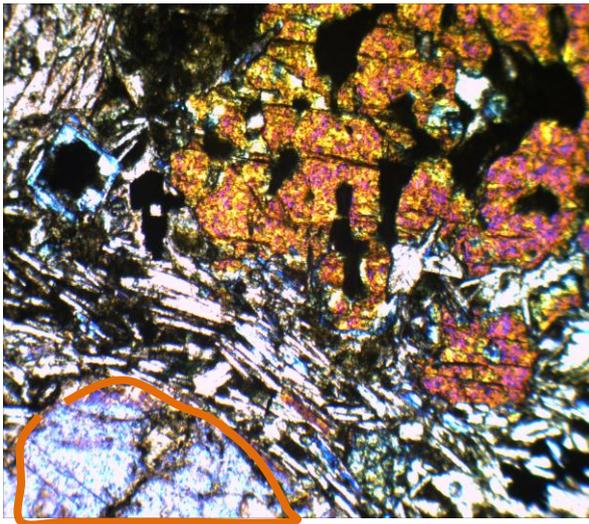


Figure 3 : olivine iddingsitée 1
(obj 5X0,13 POL) en LPA

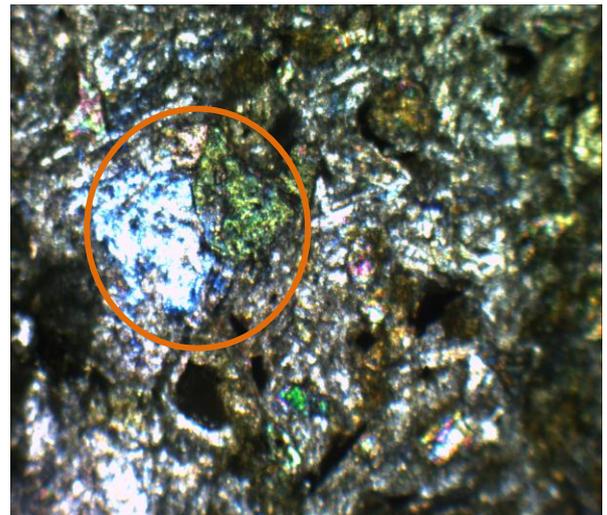


Figure 4 : olivine morcelée et iddingsitée 2
(obj 5X0,13 POL) en LPA

- Exemples de plagioclases :

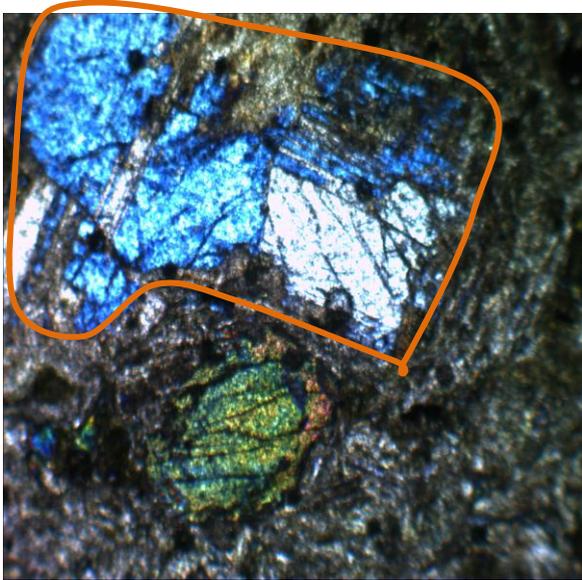


Figure 5 : plagioclase 1
(obj 5X0,13 POL) en LPA

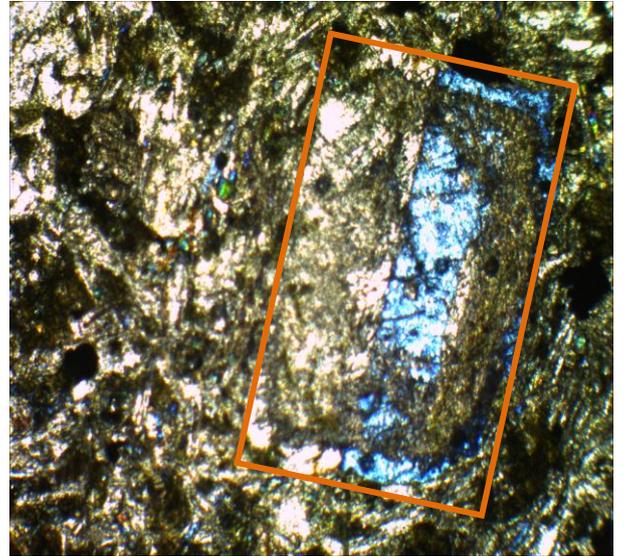


Figure 5 : plagioclase 2
(obj 5X0,13 POL) en LPA