REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département Génie Minier



Mémoire de fin d'études

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

Thème

Caractéristiques géotechniques et géochimiques des roches Basaltique de l'affleurement magmatique de Ain Témouchent

Réalisé par :

MEHALIL Mohamed

NASRI Badis

Proposé et Dirigé par:

CHANANE Larouci

2010/2011

إهداء

نهدي هذا العمل المتواضع إلى:

الوالدين الكريمين

الإخوة والأخوات

كل أفراد العائلة من قريب أو بعيد

كل الأساتذة

كل الأصدقاء وكل من ساهم في هذا العمل

ناصري باديس مهاليل محمد

Remerciement

Au terme de ce mémoire de fin d'études, nous remercions ALLAH le tout puissant qui, nous a donné le courage, la patience et la volonté pour achever et mener à bien nos études.

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

Notre gratitude va également droit aux membres du jury :

M. Amar SEBAI président de jury : Professeur
M. M. C. CHABOU, examinateur : Maître de conférences

Qui, ont bien voulu nous honorer par leur présence et d'accepter d'examiner et de juger notre modeste travail de recherche.

Nous tenons également à remercier le personnel du CETIM et de la DEM de Ain témouchent, au même titre que tout le personnel de la cité universitaire de Ain témouchent.

Nous tenons à remercier vivement l'ensemble des enseignants du Département Génie Minier de l'Ecole Nationale polytechnique.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 1

Chapitre 1

CADRE NATUREL DE LA REGION DE AIN TEMOUCHENT 3

1. **Aperçu géographique** 3
   1.1 Limite administrative 3
   1.2 Eléments de géographie physique et climatique 3
   Climat et hydrographie 6
   1.3. Géographie économique et humaine 6
   1.3.1 Infrastructures 6
   1.3.2 Ressources et activités économiques 7
2. **Contexe geologique regional** 7
   2.1 Historique des travaux de recherche géologique 7
   2.2 Lithostratigraphie 8
   2.3 Cadre géologique structural 12
   2.3.1 L'autochtone et le para-autochtone 12
   2.3.2 L'allochtone métamorphique 13
   2.3.3 L'allochtone non métamorphique (unités telliennes marneuses) 13
   2.3.4 Les lambeaux du Numidien (unité de flysh Nord-Maghrébin) 13

Chapitre 2

GENERALITES SUR LES GRANULATS 15

1. **Présentation générale** 15
   1.1 Définitions 15
   1.2 Nomenclature et Classification 15
   1.3 Les fuseaux granulométriques gel 17
   1.4 Les différentes approches pour l'étude des matériaux non liés 17
   1.4.1 L'approche microscopique 18
   1.4.2 L'approche macroscopique 18
   1.4.3 L'approche globale 18
2. **Types de granulats** 19
   Les granulats naturels 19
   Les granulats artificiels 19
   Les granulats très légers 19
3. **Caractéristiques des granulats** 19

3.1 Caractéristiques intrinsèque
3.1.1 Pétrographie
3.1.1.1 Minéralogie 19
3.1.1.2 Texture 19
3.1.2 Caractéristiques physiques 20
3.1.2.1 Porosité 20
3.1.2.2 Masse volumique absolue (MVA) 20
3.1.2.3 Masse volumique réelle (MVR) 20
3.1.2.4 Coefficient d'absorption d'eau (Ab) 20
3.1.2.5 Teneur en eau 20
3.1.3 Caractéristiques mécanique 21
3.1.3.1 Résistance à la fragmentation 21
3.1.3.2 Résistance au gel-dégel 21
3.2 Caractéristiques de fabrication 22
3.2.1 Granulométrie 22
3.2.2 Aplatissement 22
3.2.3 Angularité 23
3.2.4 Indice des vides Rigden 24
3.2.5 Propreté des granulats 24
4. **Caractéristiques géométriques des granulats routiers** 24
4.1. Etat de surface des granulats 24
4.2. La forme des granulats 25
4.3. Granularité 25
5. **Résistance à l'usure et aux chocs** 26
5.1. Résistance à la fragmentation Los Angeles 26
5.2. Résistance à l'usure micro-Deval 27
5.3. Résistance au polissage 28

Chapitre 3

GENERALITES SUR LES ROCHES MAGMATIQUES 30
A. **Introduction** 30
B. **Propriétés des roches basiques** 31
I. **Les différents groupes des roches basiques** 31
I.1 Roche de profondeur 31
I.2 Roches de demi-profondeur 32
I.3 Roches de surface 32
II. **Les basaltes** 33
II.1 Classification et nomenclature des basaltes 33

II.2 les principaux types de basaltes 34
1. Les Basalte tholéiitiques 34
2. Les Basaltes alcalins 34
3. Un type intermédiaire de basalte 34
II.3 **Caractéristique mécanique des basaltes** 35

Partie expérimentale

I. Introduction 36
II. Géologie des sites d'échantillonnage 36
- Echantillonnage de Ain Temouchent 38

Chapitre 1

III. **ETUDE PETROGRAPHIQUE ET ANALYSE GEOCHIMIQUE** 41
III.1. **Analyse microscopique de lames minces** 41
III.1.1 Echantillon S 41
III.1.2 Echantillon W 43
III.1.3 Echantillon C 45
III.1.4 Echantillon E 47
III.1.5 Echantillon N 49
III.1.6 Conclusion 51
III.2 **Analyses géochimiques** 51
III.3 **Conclusion** 52

Chapitre 2

IV. **ESSAIS GEOTECHNIQUES** 53
IV .1 **Essai Los Angeles** 53
Préparation de l'échantillon pour l'essai 54
Execution de l'essai 55
Résultats des essais 56
IV. 2 **Essai Micro Deval** 56
Appareillage: 56
Préparation de l'échantillon pour essai 57
Mode opératoire 57
IV.3 **Dureté relative globale** (DRG) 58
IV.4 **Résultats des essais géotechniques** 59
IV.5 **Comparaison des resultats des essais avec les normes étrangère** 62

Chapitre 3

V. **RELATIONS PETROGEOCHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES** 63
CONCLUSION 74
Bibliographie..... 76
Annexe 1 : Mode opératoire de préparation et de construction de lames mince……78
Annexe 2 : Mode opératoire de préparation des échantillons aux analyses géochimiques ……...81
Annexe 3: Matrice de corrélation..... 84

Liste des tableaux

Tableau 01: Localisation géographique.....3
Tableau 02: Différentes textures des granulats 19
Tableau 03: Coefficients d'aplatissement des différents types de granulats 23
Tableau 04: Formes des granulats.....25
Tableau 05: Teneur et dimension des minéraux de l'échantillon S 41
Tableau 06: Teneur et dimension des minéraux de l'échantillon W 43
Tableau 07: Teneur et dimension des minéraux de l'échantillon C.....45
Tableau 08: Teneur et dimension des minéraux de l'échantillon E 47
Tableau 09: Tteneur et dimension des minéraux de l'échantillon N.....49
Tableau 10: Résultats des analyses géochimiques en éléments majeurs des échantillons de Aïn Temouchent.....51
Tableau 11: Nombre de boulets en fonction de la classe granulaire.....55
Tableau 12: Résultats des essais Los Angeles. 56
Tableau 13: Masse totale de la charge en fonction de la classe granulaire.....58
Tableau 14: Résultats des essais Micro-Deval. 58
Tableau 15: Résultats des essais géotechniques des échantillons de Ain tmouchent. 59
Tableau 16: Normes des essais géotechniques des granulats du ballast (ENG, 1993). 60
Tableau 17: Comparaison des valeurs de LA, MDE et DRG par rapport aux normes étrangeres.....62
Tableau 18 : Teneur des éléments majeurs et les résultats des essais géotechniques.....63

Liste des figures

Figure 01: Limite administrative (Google earth) 5
Figure 02: Carte géologique de l'Algérie au 1/500 000 9
Figure 03: Esquisse géologique de l'oranie nord occidentale 12
Figure 04: Méthode/procédure de tamisage selon : H. Welemane 2005 15
Figure 05: Les différentes classes granulaires 17
Figure 06: Dimension du granulat 22
Figure 07: Principe de l'essai Los Angeles 27
Figure 08: Principe de l'essai micro-Deval 28
Figure 09: Modèle basaltique 34
Figure 10: Echantillon du Nord 36
Figure 11: Echantillon du Sud 37
Figure 12: Echantillon du Centre 37
Figure 13: Carte géologique de AIN TEMOUCHENT (ONIG) 39
Figure 14: Lame de l'échantillon S 42
Figure 15: Lame de l'échantillon W 44
Figure 16: Lame de l'échantillon C 46
Figure 17: Lame de l'échantillon E_1 48
Figure 18: Lame de l'échantillon E_2 48
Figure 19: Lame de l'échantillon N_1 50
Figure 20: Lame de l'échantillon N_2 50
Figure 21: Diagramme de TAS 52
Figure 22: Jeu de tamis (CETIM) 53
Figure 23: Machine Los Angeles (CETIM) 54
Figure 24: Echantillons avant l'exécution des essais. 54
Figure 25: Opération de tamisage de l'échantillon dans le tamis 1.6mm. 55
Figure 26: Machine Micro Deval (CETIM). 57
Figure 27: Abaque de dureté relative globale (DRG) (d'après J.Alias, 1984) 61
Figure 28: Corrélation PAF/SIO2 64
Figure 29: Corrélation PAF/AL2O3 64
Figure 30: Corrélation PAF/ K2O Na2O 65
Figure 31: Corrélation LA/SiO2 65
Figure 32: Corrélation LA/Al2O3 66
Figure 33: Corrélation LA/CaO 66
Figure 34: Corrélation LA/MgO 67
Figure 35: Corrélation LA/ K2O Na2O 67
Figure 36: Corrélation MDE/SiO2 68
Figure 37: Corrélation L.A/Al2O3 68
Figure 38: Corrélation MDE/ Fe2O3 69
Figure 39: Corrélation MDE/ CaO 69
Figure 40: Corrélation MDE/MgO 70
Figure 41: Corrélation MDE / K2O Na2O 70
Figure 42: Corrélation DRG/SiO2 71
Figure 43: Corrélation DRG/ Al2O3 71
Figure 44: Corrélation DRG/Fe2O3 72
Figure 45: Corrélation DRG/CaO 72
Figure 46: Corrélation DRG/ MgO 73
Figure 47: Corrélation DRG/ K2O Na2O 73

ملخص

- إن جميع الدراسات أدت من خلال الأبحاث والتحاليل إلى أن الحصى المستخرج من الصخور الكلسية يتصف بحساسية فيزيائية وميكانيكية جد عالية بفعل الحت عن طريق الإنهاك والصدمات وأخرى كيميائية عن طريق التلوث، لذا فإن الضرورة تستدعي القيام بأبحاث هادفة لإيجاد أنواع أخرى من الحصى من أصل صخور نارية قاعدية والتي تمثل نوعية أحسن تستجيب للمقاييس العالمية.
- إن هذا البحث الخاص بدراسة الصخور القاعدية لولاية عين تيموشنت قد مكننا من إيجاد العلاقات المتبادلة التي من شأنها الربط بين الخصائص الصخرية، الجيوكيميائية والجيوتقنية لهاته العينات الصخرية المستخرجة من مجموع الكتلة الصخرية النارية المتواجدة بعين تيموشنت والتي من شأنها تحديد صلاحيتها من حيث استعمالها كمواد حصوية ومدى مقاومتها ضد الضغوطات الفيزيائية و الكيميائية وكذا مستوى نوعيتها.

كلمات مفتاحية: الحصى، الصخور القاعدية، خصائص صخرية، جيوكيمياء، جيوتقني، العلاقات المتبادلة .

Résumé

- L'ensemble des travaux de recherches et d'analyses réalisés, ont confirmé que les granulats provenant des matériaux traditionnels calcaires, sont très sensibles au vieillissement physico-mécanique (abrasion par usure et choc) et chimique (pollution), d'où la nécessité de rechercher d'autres types de granulats provenant essentiellement de roches magmatiques basiques qui, semblent présenter de meilleures qualités, répondant aux normes internationales.
- Ce travail, consacré à l'étude de l'affleurement magmatique de Ain Temouchent a permis de vérifier les relations pouvant exister entre les caractéristiques pétrogéochimiques et géotechniques des échantillons de roches prélevés, dans le but de déterminer non seulement leur comportement, quant à leur utilisation comme granulats, face aux contraintes physiques, mécaniques et chimiques, mais aussi leur niveau de qualité.

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

Abstract

- The overall works of research and analysis fulfilled up to now, have confirmed that the granulates deriving from the traditional calcareous materials are very sensitive to physical-mechanics (attrition and choc abrasion) and chemical (pollution) ageing, that's why the necessity of seeking others types of granulates originating essentially from the basic magmatic rocks which it's seems to be of best qualities, matching the international standards and improving the functions degree and quality to provide better safety conditions.
- This topic, dealing with the study of the basic rocks, located in the area of the town of Ain Temouchent, enabled us to find out the relationships that can occurs between the petro-geochemical and geotechnics characteristics of our samples, in order to determine their behaviour, since they have to be used as granulates, against the physical, mechanical an chemical stress, and their quality standard as well.

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

INTRODUCTION GENERALE

La production des granulats se fait de plus en plus sentir en raison du lancement des grands chantiers consommateurs de quantités inestimables de granulats pour les projets de construction de bâtiments et travaux publics, inscrits aux programmes de différents secteurs de développement économique tels que, les voies routières, autoroutières et ferroviaires, ponts, tunnels, barrages, aéroports, logements, hôpitaux et travaux maritimes, etc.

Etant donné l'importance de ces projets nationaux d'ordre stratégique, les granulats font, de jour en jour, l'objet de plusieurs études et de recherches très élaborées par le développement des nouvelles techniques du génie civil exigeant un niveau de qualité qui, répond impérativement aux normes internationales, d'où la nécessité de rechercher d'autres types de granulats, provenant essentiellement de matériaux rocheux magmatiques aussi bien acides, intermédiaires que basiques, qui peuvent présenter de meilleures qualités.

L'objet de notre étude est consacré à l'affleurement magmatique de Ain Témouchent qui, s'inscrit dans la caractérisation géologique et géotechnique de tous les gisements rocheux, situés au nord algérien, afin d'établir une carte de classification, vérifiant le niveau de qualité des ces matériaux rocheux utilisés comme granulats.

Pour cela on a adopté le plan de travail suivant :

1) **Une synthèse bibliographique** : pour déterminer la géologie des sites d'échantillonnage.
2) **Définir les concepts d'études** utilisés, pour connaître :

- ✓ les *propriétés physico-mécaniques* des granulats,
- ✓ les *propriétés géologiques* des roches basiques.

3) **Échantillonnage des roches** à partir de différents sites de l'affleurement magmatique de Aïn Temouchent.

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 vérifier et mesurer le degré de résistance combinée à l'usure par frottements réciproques et à la fragmentation par chocs ;
- **Une *étude pétrographique par une analyse microscopique*** (Microscope Polarisant) des lames minces des échantillons prélevés ;

- Des ***analyses géochimiques par fluorescence de Rayons X***, afin de déterminer les compositions chimiques 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 le comportement physico mécanique et chimique de ces échantillons face aux contraintes de même nature.

Cadre naturel de la région de Ain témouchent (CH. *Younsi* 1994)

1 .Aperçu géographique

1.1. Limite administrative

La zone d'étude est située dans la wilaya de Ain témouchent, selon les coordonnées géographiques et Lambert-Nord Algérie, données dans le tableau 1, au nord-ouest du territoire national.

Coordonnées géographique	Coordonnées de Lambert
de 39 G 15' N	221,500 Km N
à 39 G 32'N	239,000 km N
et de 03 G 70' W	147,000 Km E
à 03 G 90' W	164,000 Km E

Tableau 1 : localisation géographique

Source : carte géologique de Ain témouchent 1/50 000 1987

(Feuille 209/B : 11/C : 5)

La wilaya de Aïn Temouchent est limitée au nord par la mer méditerranée, à l'ouest par la wilaya de Tlemcen, sidi Bel Abbes au sud et Oran à l'est, (fig. 1). Le chef lieu de wilaya est distant de 540 km d'Alger. Les localités importantes sont : Ain témouchent, Béni Saf, Hammam Bouhjar, El Amria, Elmalah, Tamzoura, Ain kihal, Bouzadjer et Hassi El Ghella.

1.2. Eléments de géographie physique et climatique

1.2.1 Relief

La région de Ain témouchent occupe la bande Ouest septentrionale qui, s'étale le long du littoral entre la mer méditerranéenne et les confins nord de Tlemcen.

L'orographie générale de la région est marquée par l'opposition entre le plateau de Ain témouchent et le massif des traras.

Le plateau de Ain témouchent est représenté par une immense terrasse néogène et quaternaire faiblement inclinée vers la mer et vers le cours inférieur de la Tafna. Son altitude moyenne varie de 200 à 400 m.

La monotonie générale caractérisant le plateau est rompue par de faibles reliefs volcaniques fortement érodés qui, se traduisent par de simples mamelons en pentes douces dominant l'altitude générale du plateau d'une centaine de mètres.

Le long de sa limite septentrionale, le plateau de Ain Témouchent est bordé par une ligne de reliefs côtiers, découpée en plusieurs pointements dont les plus importants correspondent à la chaine de Djebel Skouna (409 m) qui, limite au Nord la région de Béni Saf et se prolonge vers le cap Oulhassa (212 m).

Au Sud du plateau d'Ain témouchent, la Chaîne des Sebàa Chioukh prolonge à l'ouest les monts du Tessala et crée dans la topographie un paysage de collines dont le point culminant atteint 663m.

A l'Est de Ghamra, bordant Au nord, la dépression de la grande sebkha constitue la bordure entre le plateau d'Ain témouchent et le Sahel d'Oran.

Morphologiquement, cette zone est influencée par un important massif volcanique, dans les déjections restent visibles sur environ 400 m d'épaisseur.

Le massif de traras à l'Est, apparait comme une véritable chaine de montagne dont les caractéristiques physiques se manifestent surtout à l'intérieur et le long Sud du massif Si dans son ensemble, le massif de traras constitue une unité bien délimitée par la vallée de la Tafna à l'Est et au Sud, et par la plaine des trifas à l'Ouest, il présent dans le détail, plusieurs zones ayant chacune ses propres caractères

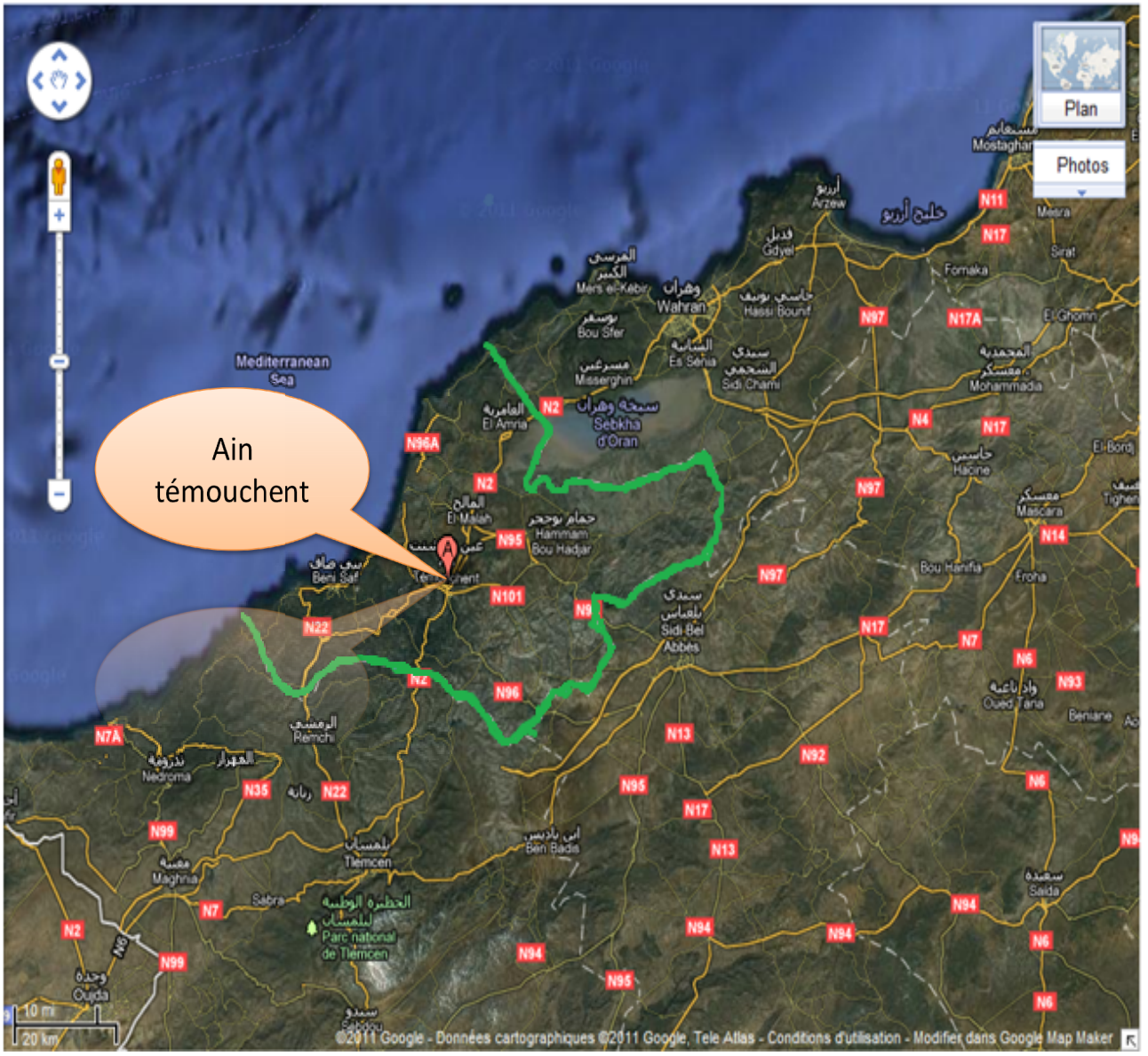


Figure 01: limite administrative (Google earth)

1.2.2 Climat et hydrographie

Le climat de la région d'Ain Témouchent est de type Méditerranéen. La température moyenne est de 10 à 14°C en hiver et de 25 à 45°C en été. Les précipitations annuelles sont relativement faibles, elles fluctuent entre 360 et 600mm/an.

Malgré les faibles précipitations annuelles, le réseau hydrographique est important dans la région.

L'Oued Tafna qui, constitue le plus important oued de la région, est un cours d'eau permanent de 177 km de long. Il prend sa source dans les monts de Tlemcen. Il reçoit deux affluents importants : l'oued mouilah qui draine la plaine des Angad et limite au sud la chaine du Djebel Filaoucène, et l'oued Isser qui longe le Sud de la chaîne des Sebàa Chioukh.

En outre, la région est sillonnée de plusieurs oueds torrentiels, alimentés en quelques jours par an, par les eaux de ruissellement superficiel.

Les principaux oueds côtiers sont les suivants :

_ Les oueds de Bou Kourdane et Sidi Ahmed qui, drainent le flanc Nord du massif du Djebel Skouna.

_ Les oueds cotiers creusés dans le plateau de Ain Témouchent tels que les oueds de Sidi Djellouh , El Hallouf, Rio Salado et de Sassel.

1.3. Géographie économique et humaine

1.3.1 Infrastructures

Le réseau routier est assez dense et bien entretenu dans la région. Il est représenté par les routes nationales RN 22 et RN 35 qui desservent les principales agglomérations de la wilaya de Ain Témouchent et les villes avoisinantes.

D'autre part, deux (02) lignes de chemin de fer existent dans la wilaya d'Ain Témouchent. L'une reliant Oran à Tlemcen et traversant toute la wilaya, l'autre construite sur un tronçon de 18 km, servant de transport pour l'acheminement du ciment de l'unité de Béni Saf vers l'arrière pays.

1.3.2 Ressources et activités économiques

La wilaya d'Ain Témouchent est une région à vocation agricole.

L'agriculture, principale ressource économique, engage une forte main d'œuvre qui active en grande partie dans la culture des céréales et celle de la vigne.

La culture des oliviers est peu répandue, par contre les possibilités offertes par la Tafna ont conféré des résultats florissants dans la culture des agrumes le long de son lit majeur.

Avec l'agriculture, l'intérêt économique de cette région tient essentiellement aux unités de production de matériaux de construction, telles que la cimenterie de Béni Saf, la briqueterie d'El Malah, les différentes carrières d'agrégats de basalte qui, ont fait

L'objet de plusieurs échantillonnages, plus une carrière d'exploitation de roches calcaires appartenant à de l'ENG d'El Malah ainsi que de l'unité de production de détergents (SNIC).

Cependant, la région est dotée d'un port de pêche et minéralier à Béni Saf, et d'un autre en voie de réalisation au niveau de Bouzadjer.

La pêche représente une source de revenus importants pour une grande partie de la population de béni Saf qui compte parmi les ports de pêche les plus actifs d'Algérie.

2. Contexte géologique régionale

2.1. Historique des travaux de recherches géologiques

Les premiers travaux relatifs à la géologie de la région de la « basse Tafna » remontent à une date très ancienne.

La majeure partie de ces travaux porte sur des points de détail de la géologie régionale, mentionnant les grands traits de la géologie oranaise. Parmi ces travaux, on citera les plus importants, comme :

En 1903, L. GENTIL donne la première étude géologique détaillée du bassin de la Tafna. Cette étude est accompagnée d'une carte géologique régionale au 1/200.000 et celle de Béni Saf au 1/50.000.

Par la suite F. DOUMERGUE, a procédé aux levés cartographiques des cartes géologiques au 1/50.000 de RIO SALADO, LOURMEL (1922) et les ANDALOUSES (1924).

En 1924, puis en 1926, deux publications de A. LACROIX, apportent des rectifications aux déterminations de certaines laves faites par L. GENTIL, contrairement au terme de leuco téphrite donné par cet auteur, les laves d'Ain témouchent furent alors déterminées comme « basanitoides à analcime ».

De 1932 à1935 D.DUSSERT et G. BETIER, fournissent plusieurs informations sur les gîtes de Ghar El Maden, Sebabna et Béni Saf.

En 1958, G. SADRAN, dans sa thèse intitulée : les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du tell Oranais, a essayé de reconstituer le mécanisme des éruptions volcaniques et de sa relation avec la tectonique.

GUARDIA (1975) et TERRET (1975), réalisent des études structurales dans toute la région et en donnent un nouveau schéma d'ensemble selon les conceptions de nappes.

En 1985, M'HAMED MEGARTSI de l'USTHB, étudie le volcanisme mio-plio-quaternaire de l'Oranie Nord-Occidentale.

2.2. Lithostratigraphie [A. BEY, 1996 ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, 1996]

Selon la carte géologique de l'Algérie, donnée en figure 2, la série stratigraphique représentée dans le secteur Ouest comporte les étages suivants :

- Schistes paléozoïques (Silurien), affleurant dans le secteur du Djebel Skouna et le long de la partie Ouest de la grande faille séparant les deux unités.

- Le Trias, localisé en petits affleurements, notamment à l'Est du Djebel Skouna, est constitué par des argiles et marnes gypsifères.

- Le Jurassique (Lias), présente une série essentiellement calcaire, plus ou moins dolomitisée, apparaissant dans le secteur du Djebel Skouna, et localement aux environs de Béni Saf. C'est dans cette série qu'est localisée la minéralisation ferrugineuse (Baroud, Dardir, Camerata...).

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

- Le Crétacé, constitué de grès, calcaires, marnes et argiles, affleurant au SE de Béni Saf.

- Le Miocène, qui couvre la majeure partie de ce secteur, est représenté surtout par des calcaires à lithothamnium. Ces calcaires, comprenant des passées détritiques à leur base, reposent en discordance soit sur les grès ou les marnes crétacé, soit directement sur le Lias

- Le Lias et le Paléozoïque, qui apparaissent dans les horsts de la région de Sidi Safi, sont des compartiments de substratum, rehaussés au cours du Miocène supérieur. Notons que la présence de ces pointements, dont l'érosion est contemporaine de la sédimentation miocène, expliquerait la présence et la répartition des faciès détritiques à la base des calcaires à lithothamnium.

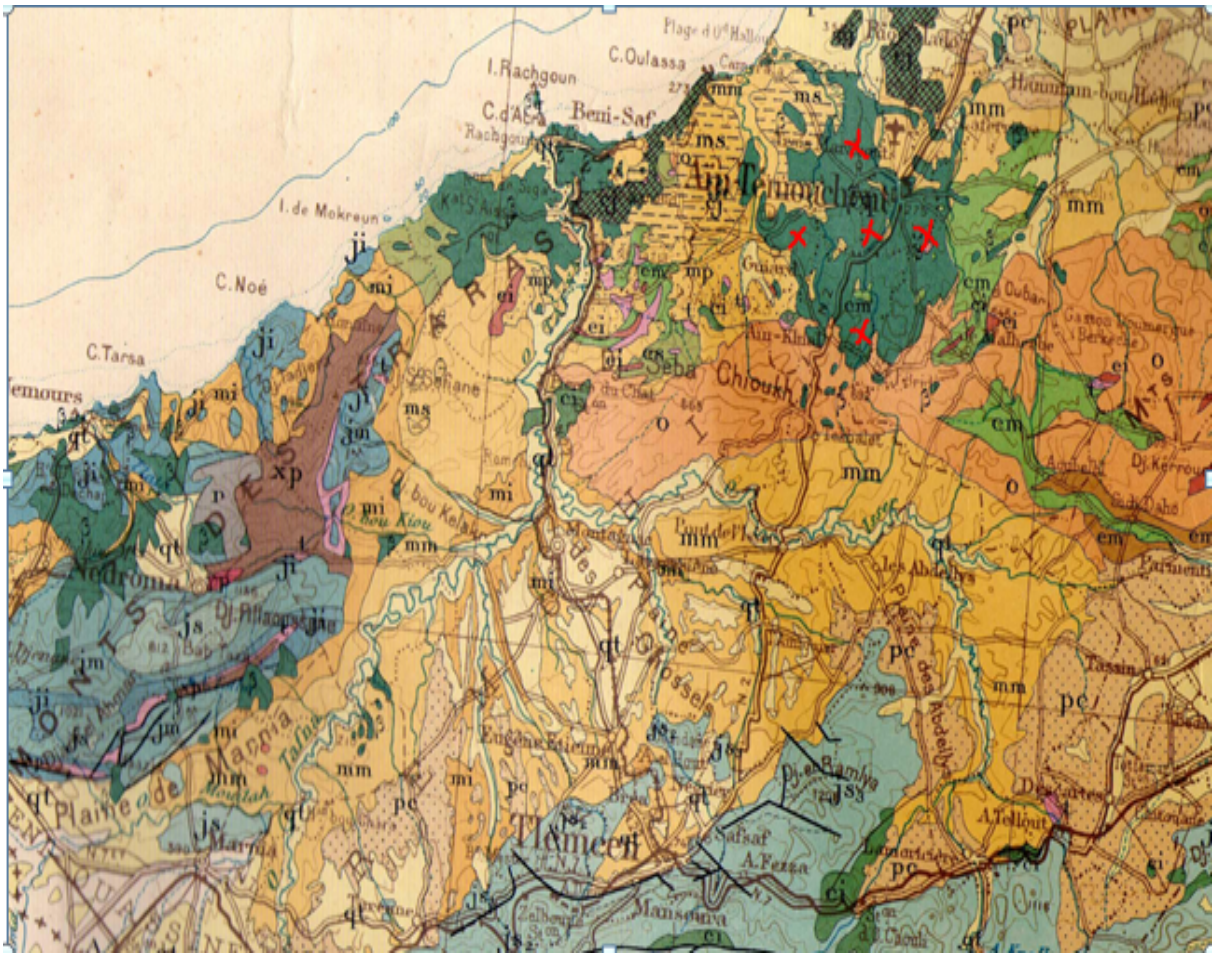
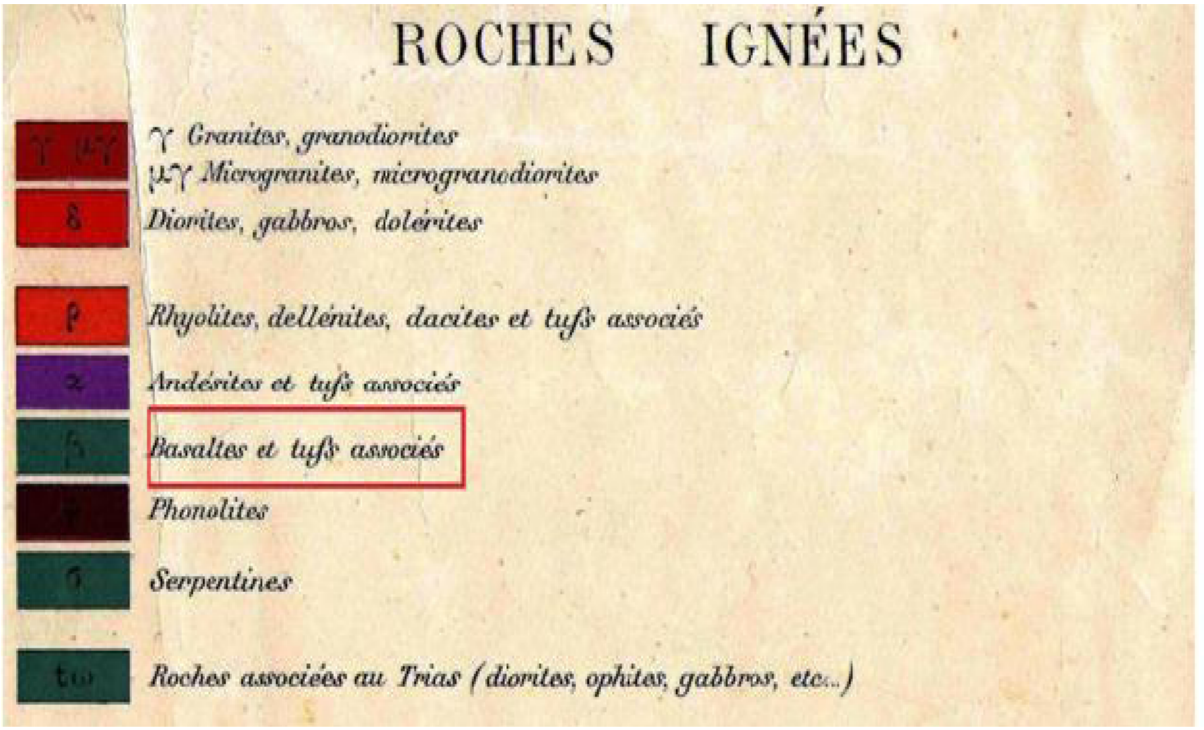


Figure 2: Carte géologique de l'Algérie au 1/500 000
2eme édition (1951-1952)

Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 2.



Légende représentant les roches ignées tirée de la légende précédente.



2. 3. Cadre géologique structural

- La région d'Ain Témouchent est comprise dans le domaine externe de la chaine alpine de la zone tellienne qui, depuis la région du tifaraoutine jusqu'a la frontière Marocaine, regroupe quatre ensembles, comme illustré dans la figure 3.

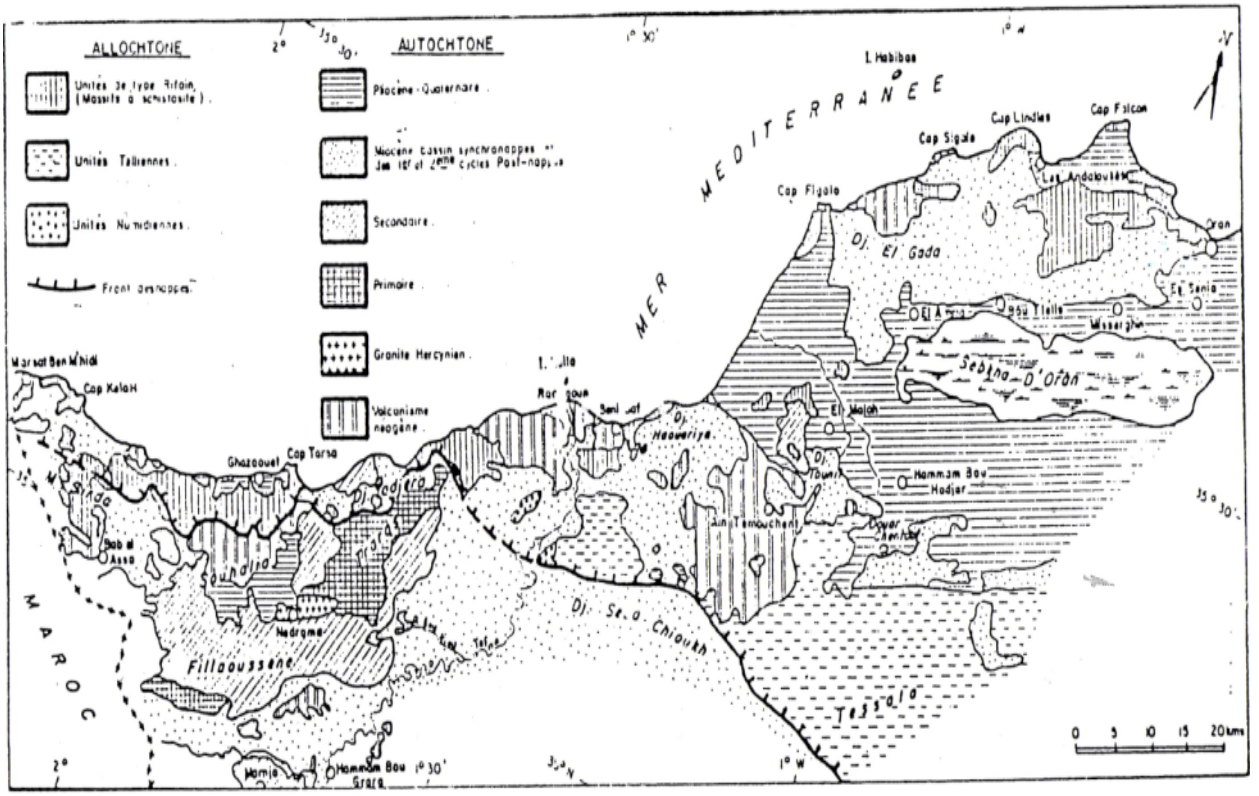


Fig.3 esquisse géologique de L'ORANIE NORD OCCIDENTALE (***Montage d'après cartes Fenet 1975 et Guardia, 1975)***

1- L'autochtone et le para-autochtone

L'autochtone affleure près de Ain témouchent, à hammam bouhdjar et au douar Chentouf. Plus au Nord, le soubassement à schistosité des massifs oranais, peut être considéré comme autochtone ou para-autochtone. De plus, sont rattachés au para-autochtone, les lambeaux de poussée jurassique de la région des M'sirda (Djebel Zendal) et des Souahlia.

2- L'allochtone métamorphique

Les unités qui composent L'allochtone métamorphique peuvent être reconnues depuis la frontière Algéro-marocaine jusqu'aux massifs de l'Est d'Oran .Elles sont constituées par des formations plus au moins métamorphiques dont l'âge a été souvent controversé. Il s'agit des unités :

- ✓ De Skouna (Jurassique-Crétacé inférieur).
- ✓ Des massifs d'El Malah (Trias -Jurassique-Crétacé inférieur).
- ✓ D'El Mokrane (Crétacé inférieur-éocène).
- ✓ Des Andalouses et du Cap Falcon (primaire).

3- L'allochtone non métamorphique (unités telliennes marneuses)

Trois unités ont été distinguées dans L'allochtone non métamorphique :

-L'unité des Chouala, visible autour d'Ain Alem (au Nord des Sebaa Chioukh) et d'Aghlal. Elle est composée de marne du crétacé inférieur à moyen et de l'Oligocène, parfois associées à des blocs de calcaire Jurassique.

-L'unité Sénonienne formée de terrains d'âge Crétacé supérieur à Eocène moyen à supérieur. Elle existe surtout dans les Sebàa Chioukh.

-L'unité Oligo-miocène, qui est très développée dans la partie orientale des Sebaa Chioukh, autour d'Aghlal, des lambeaux de cette unité sont également présents au Sud d'Ain Alem

4. Les lambeaux du Numidien (unité de flysh Nord-Maghrébin)

Ils sont constitués par des grés massifs à dragées de quartz, très disloqués, affleurant dans la basse vallée de la Tafna et dans la région d'EL Mokrane.

Les unités allochtones vont se mettre en place frontalement dans une avant fosse miocène qui est nommée "Bassin synchronappes ". Celui-ci va donner lieu à une accumulation de sédiments dont la nature va dépendre de l'endroit de dépôt.

Si dans la plupart des secteurs ce bassin synchronappes est constitué par une importante épaisseur de marnes vertes entrecoupées par des bancs gréseux, il peut également dans certains endroits être conglomératique ou contrefait les affleurements transgressés et démantelés.

Le miocène synchronappes constitue une formation importante surtout au Sud d'Ain Témouchent (Sebàa Chioukh) et dans la vallée de la Tafna. Il se développe vers l'est dans les Tessala. Les différentes études micropaléontologiques, conduisent à attribuer un âge serravalien à ces formations du miocène synchronappes.

Dans les Sebàa Chioukh, la vallée de la Tafna et la région de Béni Saf, des formations continentales argileuses vertes (Lie-de-vin), associées à des grés et de pouddingues de même couleur, sont comprises entre le matériel des nappes et les séries du Miocène terminal marin.

GENERALITES SUR LES GRANULATS

1 - Présentation générale

1. 1. Définitions (Jeuffroy, G. et Sauterey, R., 1991).

La norme française définit le granulat comme étant un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 128 mm, destiné notamment à la confection des mortiers et des bétons ainsi qu'à celle des couches de :

- Fondations des chaussées.
- De base
- Couches de roulement
- Et aux couches d'assises et des ballasts de voies ferrées

Ils sont appelés fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts suivant leurs dimensions. Les granulats peuvent être d'origines diverses :

- Naturelles comme les alluvions et les formations résiduelles,
- Provenir du concassage des roches massives comme (basalte, calcaire, grès, etc.)
- Artificiels ou provenant de sous-produits industriels.

1.2. Nomenclature et Classification (Jeuffroy, G. et Sauterey, R., 1991).

La norme française, laquelle définit la classification des granulats d'après les dimensions de leurs grains, exprimées en ouvertures de tamis à mailles carrées en millimètres (fig. 4.)

Un granulat d/D est un matériau dont la classe granulaire est

comprise entre la plus petite dimension d et la grande dimension D.

Si d $<$ 0,5 mm, le granulat est désigné 0/D. Le qualificatif primaire

est ajouté lorsque le matériau est obtenu par une seule opération de

concassage.



Figure 4, méthode/procédure de tamisage selon : H. Welemane *2005*

* d/D s'il satisfait aux conditions suivantes :

Refus sur le tamis de maille D et tamisât au tamis de maille d, compris :

- entre 1 et 15 % si D > 1,58d,

- entre 1 et 20 % si D = 1,58d.

Refus nul sur le tamis de maille 1,58D, tamisât au tamis de maille 0,63d < 3 %, où d = 0,5mm.

* 0/D s'il satisfait aux conditions suivantes :

Refus sur le tamis de maille D compris entre 1 et 15 %,

Refus nul sur le tamis de maille 1,58D.

Il existe six classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés, illustrés par la figure 5 **(Dupain et ALL, 2004)** :

- Les fillers 0/D avec D < 2 mm et au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
- Les sablons 0/D avec D ≤1 mm, et moins de 70 % de passant à 0,063 mm.
- Les sables 0/D avec 1 < D ≤6,3 mm.
- Les graves 0/D avec D ≥ 6,3 mm.
- Les gravillons d/D avec d ≥ 1 mm et D ≤ 125mm.
- Les ballasts d/D avec d ≥ 25 mm et D ≤ 50 mm.

La norme française distingue deux types de Graves Non Traitées (GNT), selon leur mode d'élaboration **(Jeuffroy, G. et Sauterey, R., 1991) :**

- GNT type A obtenue en une seule fraction (tout-venant) directement sur une installation de criblage et de concassage, permettant d'obtenir une compacité minimale à l'OPM (**Optimum Proctor**) de 80 %),

- GNT type B obtenue par mélange de deux (ou plusieurs) fractions granulométriques différentes. Elles sont malaxées et humidifiées en centrale, permettant d'obtenir une compacité minimale à l'OPM de 80 % pour la catégorie B1 et 82 % pour la catégorie B2. Ce type de GNT permet d'obtenir une meilleure qualité de mise en œuvre.



Figure 5 : les différentes classes granulaires

1.3. Les fuseaux granulométriques

Bien qu'elles soient appliquées à la granulométrie, elles doivent être étendue à l'ensemble des propriétés des granulats (Equivalent de sables, ….etc.).

* Le fuseau granulométrique est la zone délimitée par deux courbes granulométriques enveloppes **(Jeuffroy, G. et Sauterey, R., 1991)**. On distingue :

- Le fuseau de spécification propre à la technique considérée, qui définit la zone dans laquelle doivent se situer les fuseaux de tolérance,

- Le fuseau de fabrication, qui contient 95 % des courbes granulométriques du matériau fabriqué. Un fuseau de fabrication est entièrement inclus dans le fuseau de régularité. Sa définition requière au moins 15 valeurs afin d'être suffisamment représentatif et est établit par le producteur de granulats ;

- le fuseau de régularité, ou de tolérance, qui définit l'étendue de la zone dans laquelle doivent se situer 95 % des courbes obtenues au cours du contrôle.

1 .4. Les différentes approches pour l'étude des matériaux non liés

En fonction de l'échelle d'observation, il y a différentes approches qui peuvent être adoptées pour la détermination et l'étude des caractéristiques des matériaux de chaussées **(Gidel, 2001, Habiballah, 2005).**

1.4.1. L'approche microscopique

L'observation pour cette approche se fait à l'échelle des granulats. On observe les caractéristiques géométriques et mécaniques des grains.

Les observations à relever à l'échelle granulaire afin de déterminer les caractéristiques du grave non traitée sont les suivantes :

- Les caractéristiques liées à la géométrie globale des grains : la granularité, la taille des grains et leur forme, l'angularité et la rugosité.

- Les caractéristiques mécaniques des grains sont évaluées selon leurs duretés et leurs résistances. La dureté des granulats est un facteur à prendre en compte dans la classification des matériaux non liés des chaussées souples. En absence de liant, les granulats sont amenés à supporter plus d'efforts d'attrition et de fragmentation. La résistance à ce genre d'agression repose sur la nature minéralogique des granulats. Cette résistance est mesurée par l'essai Los Angles (LA) et par l'essai Micro-Deval (MDE).

1.4.2. L'approche macroscopique

L'échelle de l'observation est celle d'un échantillon homogène dont les dimensions sont suffisamment supérieures au diamètre maximal des grains afin de pouvoir assimiler l'échantillon à un milieu continu. Grâce à cette approche, il est facile de simuler des sollicitations et de relever les réponses de l'échantillon. Cette approche est l'une des bases des méthodes de dimensionnement rationnel des chaussées. Parmi les essais utilisés, il y a l'essai CBR (Californian Bearing Ratio) et l'essai triaxial à chargements répétés (TCR).

1.4.3. L'approche globale

Pour cette approche, l'observation des phénomènes se fait à l'échelle des couches. Elle permet l'étude du comportement de l'ensemble d'une structure de chaussée en prenant en compte les conditions *in situ* non réalisables dans les deux premières approches. Dans le cas des chaussées souples, l'approche globale de l'étude du comportement mécanique des matériaux à l'échelle des couches est basée sur la mesure de la déformation verticale en surface de la chaussée. La méthode réglementaire consiste en une évaluation globale de l'état de la structure et du sol support à partir de la comparaison de la déflexion mesurée avec des seuils prédéfinis (*exemple de la structuration du code de calcul Alizé 3*).

L'approche globale s'appuie sur des essais réalisés sur l'ensemble chaussée-sol support, notamment l'essai de plaque statique et cyclique, la dynaplaque, le manège de fatigue et les chaussées instrumentées.

2. Types de granulats (RICHARD Maillot 2001)

On distingue :

- **Les granulats naturels :** issus des roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique.
- **Les granulats artificiels** : qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais, de sous-produits industriels (laitiers, scories…) ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton, souvent appelés granulats recyclés.
- **Les granulats très légers :** ils sont d'origine aussi bien organique que minérale (bois, polystyrène). Ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m3.

3. Caractéristiques des granulats (RICHARD Maillot 2001)

Quel que soit l'usage que l'on en fait des granulats (béton hydraulique, pour usages routiers ou encore en préfabrication), les granulats se caractérisent par un certain nombre de propriétés qui dépendent :

- De leur origine géologique : ce sont des caractéristiques liées au gisement qu'on appelle «caractéristiques intrinsèques».
- Du traitement qu'ils ont subi entre leur extraction et leur passage à l'état de produits finis dans l'usine de traitement : ce sont les «caractéristiques de fabrication».

Ces caractéristiques sont mesurées par des essais le plus souvent normalisés.

3.1 Caractéristiques intrinsèques

3.1.1 Pétrographie

3.1.1.1 Minéralogie

Pour les granulats, les minéraux apparaissent dans les roches exploitées sous forme de très petits éléments dont l'identification s'obtient par examination en lame mince d'épaisseur est < 30µm.

3.1.1.2 Texture

Les minéraux s'organisent en différentes textures et structures, en fonction de leur dimension.
On distingue les textures des granulats donnés dans le tableau 2 suivant:

Texture	Taille des minéraux
Macro grenue	10mm
Grenue	1mm
Micro grenue	0.1mm
Crypto cristalline	0.01mm
Vitreuse	< 0.001mm

Tableau 2 : différentes textures des granulats

3.1.2 Caractéristiques physiques

- **3.1.2.1 Porosité**

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume total de la roche exprimé en pourcentage (%). On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

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

- **3.1.2.2 Masse volumique absolue (MVA)**

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

$$MVA = \frac{Ms}{Vt - Vv} \quad (\text{tonnes/m}^3)$$

- **3.1.2.3 Masse volumique réelle (MVR)**

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

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

- **3.1.2.4 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 sa masse sèche, multiplié par cent.

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

Où :
Ma : $la\ masse\ d'un\ échantillon\ immergé\ dans\ l'eau\ pendant$ 24 heures
Ms: $la\ masse\ d'échantillon\ sèc$

- **3.1.2.5 Teneur en eau**

C'est le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon en l'état et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon.

$$W = 100\frac{M - M's}{M's}$$

Où :
- M : $la\ masse\ des\ granulats\ humides$
- $M's$: $la\ masse\ des\ granulats\ secs$

3.1.3 Caractéristiques mécanique

❖ 3.1.3.1 Résistance à la fragmentation

La mesure de la résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai que l'on appelle Los Angeles (LA)

Ce coefficient est le rapport de la quantité des fines inférieures à 1,60 mm (maille carrée) produites dans la machine Los Angeles, et la masse de la prise d'essai.
Le coefficient Los Angeles est, par définition le rapport de :

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

Où : m = masse des fines produites au cours de l'essai et dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm (maille carrée)

M = masse initiale avant l'essai.

❖ 3.1.3.2. Résistance au gel-dégel (NF EN 1367-1)

L'essai consiste à faire subir 10 cycles de gel-dégel sous l'eau à trois éprouvettes de gravillons de fraction 8/16 mm préalablement imbibés d'eau, puis à déterminer leur perte de masse moyenne. Les éprouvettes sont préparées par tamisage à l'aide des tamis de 8 et 16 mm et pesage. Elles sont ensuite immergées chacune dans une boîte contenant de l'eau distillée à 20° C pendant 24 h. Puis chaque boîte est disposée dans une armoire réfrigérante pour subir 10 cycles de gel-dégel, à variation de température imposée. À l'issue de ces cycles, le refus à 4 mm de chaque éprouvette est séché puis pesé. Si M_1 désigne la masse initiale d'un échantillon et R_1 son refus au tamis de 4 mm après essai, sa perte de masse F_1 est donnée par la relation :

$$\boldsymbol{F_1\ (sans\ unité) = (M_1 - R_1)\ /M_1}$$

La perte de masse moyenne est la moyenne des pertes de masse des trois éprouvettes. Un granulat résiste d'autant mieux au gel-dégel que la valeur moyenne F est faible. S'il est recommandé de réaliser l'essai sur 2 000 g de gravillons de fraction 8/16 mm, l'essai peut néanmoins être réalisé sur les fractions 4/8 – 16/31,5 ou

31,5/63 mm, en ajustant la masse d'échantillon et en éliminant après les cycles de gel-dégel le passant à d / 2.

3.2 Caractéristiques de fabrication

3.2.1 Granulométrie

Le respect d'une régularité dans la répartition granulométrique d'un produit est essentiel quel que soit l'usage du produit. La norme exigera le respect de valeur spécifiée conduisant à construire les fuseaux de régularité et de fabrication.

La détermination de la granularité s'obtient par l'analyse granulaire (analyse granulométrique).

L'analyse granulométrique est effectuée sur des tamis à maille carrée.

Il est évident qu'en fonction des caractéristiques de l'échantillon et la précision requise, on n'emploie qu'un nombre réduit des tamis choisis et normalisés, l'échantillon pour essais doit avoir une masse supérieure à 0.2 D.

3.2.2 Aplatissement

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite de risque d'apparition de plans de glissement potentiels. Pour la majeure partie des usages, on préférera utiliser des granulats les plus isotropes possibles.

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions principales (Figure 6) :

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

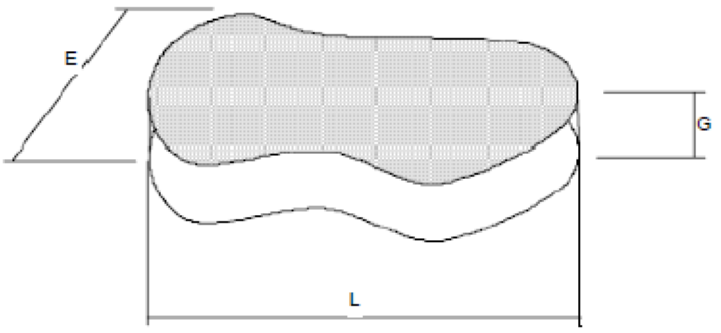


Figure 6 : dimension du granulat

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

Cependant, l'essai consiste à effectuer 02 tamisages successifs :

Un premier tamisage permet de classer l'échantillon en différentes classes granulaires d/D, où d étant la dimension minimale des plus petits éléments en mm. D étant la dimension maximale des plus gros éléments en mm.

Un deuxième tamisage des différentes classes granulaires d/D, sur des grilles à fentes parallèles d'écartement : D/2.

Ce qui permet d'aboutir à représenter le coefficient d'aplatissement comme étant le pourcentage d'éléments d'un granulat tel que : G/E > 1.58

Pour une classe granulaire d/D donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel.

$$Ai = 100 Mei\ Mgi$$

Où :

Mgi = masse de la classe granulaire d/D.
Mei = masse passant à travers le tamis à fentes d'écartement E correspondant.

Le coefficient d'aplatissement global A du mélange, s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire provenant des différentes roches présentées dans le tableau 3 suivant:

$$A = Mei\ Mgi$$

types de granulats	Basalte	Calcaire	Silexite
Coefficient d'aplatissement (%)	14,93	6,1	24,93

Tableau 3. - Coefficients d'aplatissement des différents types de granulats

3.2.3 Angularité

Une bonne angularité des granulats est nécessaire à l'obtention d'une bonne adhérence sur couche de roulement.

L'angularité des granulats est éventuellement estimée par les valeurs des indices du rapport de concassage.

On peut préférer comme mesure d'angularité des matériaux, celle du temps d'écoulement d'un volume de granulat donné à travers un orifice donné. Il en est de

même pour les sables, la méthodologie étant la même, sauf pour l'appareillage de mesure.

Les essais de référence européens pour mesurer l'angularité sont :

- ✓ le comptage manuel de faces cassées pour les granulats retenus au tamis de 4 mm.
- ✓ la mesure du temps d'écoulement dans un angulomètre à sable pour les granulats passant au tamis de 4 mm.

3.2.4 Indice des vides Rigden

Essentiel en technique routière, cet indice est représentatif du volume des vides existant entre les fines sèches compactées dans un récipient.

3.2.5 Propreté des granulats

La présence des argiles 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.

4. Caractéristiques géométriques des granulats routiers [Makhaly **BA. 2008]**

Les matériaux constituant les différentes couches d'une chaussée peuvent être des matériaux concassés ou roulés. Cependant, afin de disposer d'un angle de frottement le plus fort possible, il est nécessaire d'exiger un indice de concassage d'autant plus élevé que le trafic est plus important et la charge légale à l'essieu plus lourde.

4.1. Etat de surface des granulats

Dans le cas des roches polycristallines (Ø > 1 mm), la rugosité dépend de la structure de la roche. Si le grain est monominéral (Ø < 1 mm), la surface est généralement lisse.

L'état de surface des grains joue un rôle au niveau de la maniabilité des matériaux, de la stabilité des assises non traitées et de la microrugosité des couches de surface. Cependant, l'action du trafic tend à polir la surface des grains, mais il est admis qu'une bonne microrugosité assure généralement une bonne adhérence à faible vitesse.

Elle joue un rôle important pour les gravillons de la couche de roulement, en améliorant l'adhérence, et pour ceux des assises de chaussées, dont elle améliore la stabilité.
Pour un granulat concassé de roche massive, elle est égale à 100 %.

Pour un granulat d'origine alluvionnaire, elle est définie par deux données :

- l'indice de concassage *IC,* proportion en poids d'éléments supérieurs à la dimension *D* du granulat élaboré.

- le rapport de concassage *RC,* rapport entre *d* du matériau soumis au concassage et *D* du granulat obtenu.

Pour les assises de chaussées non traitées, l'angularité favorise les propriétés mécaniques en augmentant l'angle de frottement interne : celui-ci augmente d'environ 12° dans un essai triaxial quand on passe des billes de verre entièrement roulées aux billes de verre concassées. Pour les couches de roulement, ce facteur favorise l'adhérence pneumatique, la rupture du film d'eau et le drainage.

La maniabilité et la compactibilité sont également liées à l'angularité : le déplacement relatif des grains et leur mise en place sont facilités lorsqu'ils sont arrondis.

4.2. La forme des granulats

Elle joue un rôle important à la fois pour les granulats de la couche de roulement, des gravillons plats ayant tendance à se coucher au moment du compactage, et pour les matériaux d'assise, des granulats plats ou allongés réduisant la compacité et la stabilité, comme il est illustré par le tableau 4.

Elle a aussi une grande influence sur les caractéristiques mécaniques des matériaux (Los Angeles, Micro-Deval, fragmentation dynamique).

.

cubes	Toutes dimensions à peu près égales (bonne compacité)
sphères	Toutes dimensions à peu près égales
plaquettes	Une dimension beaucoup plus petite que les deux autres (mauvaise compacité)
aiguilles	Une dimension beaucoup plus grande que les deux autres (très mauvaise compacité)

Tableau 4 : Formes des granulats

4.3. Granularité (NF EN 933-1)

L'essai de référence européen pour l'analyse granulométrique consiste à séparer, au moyen d'une colonne de tamis, un échantillon en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Cet essai s'applique aux granulats passant au tamis à maille de dimension 90 mm (tamis de 90 mm). Les tamis utilisés sont tous à mailles carrées, dont les dimensions (ouverture nominale) commencent à 0,063 mm. En-deçà de 4 mm, leur maillage est réalisé en fils tissés, tandis qu'il l'est en tôles perforées à partir de 4 mm et au-delà. L'échantillon à tester, dont la masse minimale imposée

augmente avec la grosseur des plus gros éléments pour disposer d'un nombre suffisant de particules, est séché, pesé et lavé sur un tamis de 0,063 mm, puis de nouveau séché et pesé. Il est ensuite tamisé dans une colonne, dont l'ouverture nominale des tamis est décroissante du haut vers le bas. Le choix des tamis de la colonne dépend de la fraction granulaire testée et il est généralement imposé.

Le résultat est une courbe granulométrique exprimant, pour chaque dimension de tamis représentée en abscisse, la proportion massique (%) de l'échantillon de granulat passant à travers ce tamis rapportée à la masse sèche initiale de l'échantillon. À cet égard, la proportion massique de passant au tamis de 0,063 mm (appelée « fines » et définissant la « propreté ») intègre les éléments éliminés lors du lavage initial de l'échantillon.

5. Résistance à l'usure et aux chocs [Technique de l'ingénieur Référence C902 10 août 2007]

5.1. Résistance à la fragmentation Los Angeles (NF EN 1097-2)

Elle caractérise la résistance aux chocs des granulats. Pour notre étude L'essai consiste à appliquer un cycle de broyage à sec à un échantillon de 5 000 g de gravillons de fraction 10/14 mm. L'échantillon doit au préalable être préparé par tamisage et pesage de façon analogue à l'essai d'usure. Puis, une charge abrasive de 11 boulets d'acier est introduite avec l'échantillon dans un cylindre en acier d'axe horizontal, de diamètre intérieur 71 cm et comportant une plaque fixée sur une génératrice. Ensuite, un cycle de 500 rotations du cylindre autour de son axe est réalisé, au rythme de 32 tr/min. Pendant chaque rotation, les boulets sont remontés par la plaque dans le haut du cylindre (figure 07) puis tombent en chute libre sur les particules restées dans le fond. À l'issue du cycle, l'échantillon est soigneusement récupéré, tamisé à l'aide d'un tamis de 1,6 mm et le refus R ainsi obtenu est pesé. Le coefficient Los Angeles LA est alors donné par la formule suivante :

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

Où : m = masse des fines produites au cours de l'essai et dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm (maille carrée)

M = masse initiale avant l'essai.

Un granulat résiste d'autant mieux à la fragmentation par chocs que ce coefficient LA est faible. L'essai peut également être réalisé sur les fractions granulaires 4/8 – 6,3/10 – 8/11,2 et 11,2/16 mm en utilisant un nombre de boulets et une tolérance sur la masse de la charge abrasive adaptés. En France, il est lui aussi très souvent pratiqué sur la fraction 6,3/10 mm.

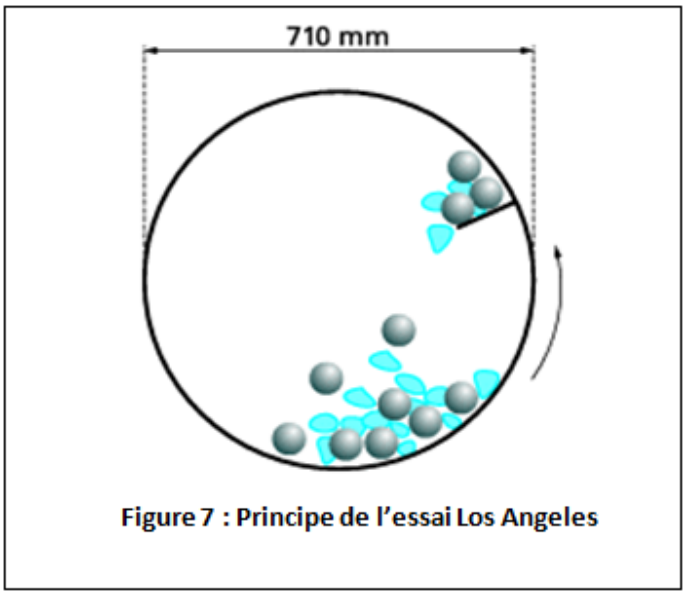


Figure 7 : Principe de l'essai Los Angeles

5.2. Résistance à l'usure micro-Deval (NF EN 1097-1)

L'essai consiste à appliquer un cycle d'usure par attrition en présence d'eau à deux éprouvettes constituées chacune de 500 g de gravillons de fraction 10/14 mm. Chaque éprouvette doit au préalable être tamisée à l'aide des tamis de 10 – 12,5 et 14 mm, de façon à éliminer les particules passant à travers le tamis de 10 mm et celles retenues sur le tamis de 14 mm, puis recomposée par pesage de façon à assurer entre 60 et 70 % de passant en masse au tamis de 12,5 mm. Ensuite, l'une des éprouvettes est introduite avec 2,5 l d'eau et une charge abrasive de 5 000 g de billes d'acier de diamètre 10 mm à l'intérieur d'un cylindre en acier d'axe horizontal (figure 08), de diamètre intérieur de 20 cm. Puis, un cycle de 12 000 rotations du cylindre autour de son axe est réalisé, au rythme de 100 tr/min. À l'issue du cycle, l'éprouvette est soigneusement récupérée, tamisée à l'aide d'un tamis de 1,6 mm et le refus R ainsi obtenu est séché puis pesé. Le coefficient micro-Deval MDE de l'éprouvette est alors donné par la formule suivante :

$$MDE\ (\%) = (500 - R) / 5$$

Le cycle d'usure est réitéré avec la seconde éprouvette et son coefficient micro-Deval est calculé comme précédemment. Le coefficient micro-Deval du granulat 10/14 mm testé est la moyenne des coefficients micro-Deval des deux éprouvettes.

Un granulat résiste d'autant mieux à l'usure par attrition en présence d'eau que ce coefficient moyen MDE est faible. L'essai peut également être réalisé sur les fractions granulaires 4/6,3 – 6,3/10 – 8/11,2 et 11,2/16 mm, en utilisant une masse adaptée à la charge abrasive. En France, il est très souvent pratiqué sur la fraction 6,3/10 mm, car celle-ci est couramment employée.

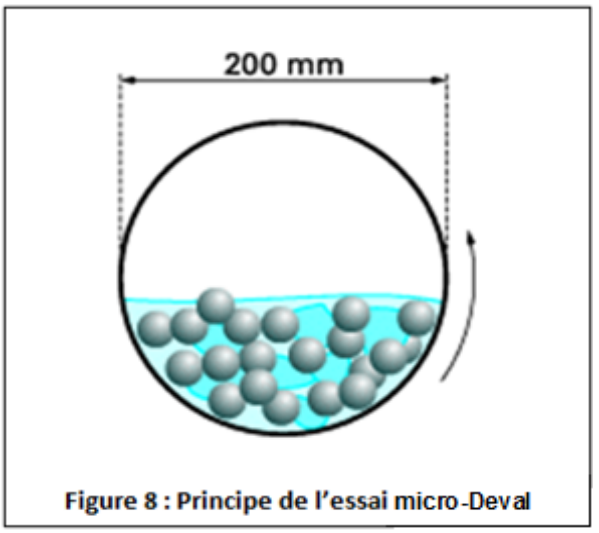


Figure 8 : Principe de l'essai micro-Deval

5.3. Résistance au polissage (NF EN 1097-8)

Elle est caractérisée par le coefficient de polissage accéléré (PSV) des gravillons. L'essai consiste à soumettre successivement deux séries de 14 éprouvettes de gravillons à deux cycles de polissage simulant l'effet du trafic, puis à mesurer la rugosité résiduelle des gravillons à l'aide d'un pendule de frottement. L'essai est réalisé sur la fraction des gravillons passant au tamis de 10 mm et retenue sur une grille à fentes de 7,2 mm. Dans chaque série, 12 des 14 éprouvettes sont constituées de 6 granulats différents à tester (soit 2 éprouvettes par granulat), tandis que les deux dernières correspondent au granulat de référence. Chaque éprouvette est confectionnée en disposant des gravillons de face plane vers le bas dans un moule, de façon à constituer une mosaïque la plus complète et jointive possible, puis en remplissant les vides entre les grains avec un sable roulé et en achevant le remplissage du moule à l'aide d'une résine de fixation des gravillons entre eux.

La procédure d'essai consiste à disposer selon un ordre imposé les 14 éprouvettes de la première série à la périphérie d'une roue d'axe horizontal ,puis à réaliser deux cycles de trois heures de polissage au moyen d'un mélange d'eau et d'émeri (grossier puis fin) injecté en continu entre la roue porte-éprouvettes et une roue en caoutchouc simulant le trafic.

La procédure d'essai est ensuite réitérée avec les 14 éprouvettes de la seconde série. À l'issue de ces cycles, la rugosité résiduelle des éprouvettes de gravillons est mesurée à l'aide d'un pendule de frottement, dont le mouvement de balancier est freiné par le contact tangentiel du patin en caoutchouc avec la surface de l'éprouvette.

Si C et S désignent respectivement les rugosités moyennes mesurées sur les 4 éprouvettes du granulat de référence et sur les 4 éprouvettes d'un des granulats

testés, le coefficient de polissage PSV accéléré de ce dernier est donné par la relation suivante :

$$PSV\ (sans\ unité) = S + (52,5 - C)$$

Un granulat résiste d'autant mieux au polissage accéléré que cette valeur PSV est élevée. L'essai qui vient d'être décrit plus haut, comporte deux inconvénients majeurs. D'une part, le coût prohibitif de l'émeri impose aux laboratoires d'attendre de disposer de 6 granulats différents (généralement 6 carrières différentes) à tester pour lancer un essai, ce qui est peut être long. D'autre part, la confection des éprouvettes est longue, puisqu'elle nécessite de placer les particules une par une, et demande beaucoup de soin sous peine de biaiser les résultats.

Il résulte de ces inconvénients des délais d'obtention des résultats relativement longs, ce qui peut poser problème pour certains chantiers.

Généralités sur les roches magmatiques [C. Pomerol, Y. Lagabrielle, M. Renard 2005 ; J. D. Winter]

A. Introduction

Les roches magmatiques, désignées également sous les vocables de roches ignées, et roches éruptives, se forment lors du refroidissement et solidification du magma, avec ou sans cristallisation complète des minéraux le composant. Cette solidification peut se produire :

- en profondeur, cas des roches magmatiques plutoniques (dites « intrusives ») ;
- à la surface, cas des roches magmatiques volcaniques (dites « extrusives » ou « effusives »).

Dans tous les cas, les roches magmatiques sont qualifiées d'endogènes (tout comme les roches métamorphiques), car formées en profondeur, par opposition aux roches exogènes (telles les roches sédimentaires), formées par accumulation et cristallisation de matériaux à la surface du globe. Les roches volcaniques ne sont que trempées à la surface, la cristallisation s'effectue bien en profondeur.

Les roches magmatiques les plus courantes sont le granite et le basalte : la « famille » des granites représentent 95% des roches plutoniques et les basaltes représentent 90% des roches volcaniques. De façon générale, les roches magmatiques constituent la majeure partie des roches continentales et océaniques. Les magmas à l'origine de ces différentes roches peuvent provenir du manteau terrestre et de la croûte ou même d'une roche déjà existante refondue. Ces origines variées de fusion partielle, les différents processus affectant l'occurrence du magma et les modalités de mise en place sont à l'origine de la richesse des roches magmatiques, ce qui complique leur classification parfois.

Selon le mode de mise en place

- Une roche volcanique ou « effusive » est produite par le refroidissement très rapide du liquide magmatique au contact de l'air ou de l'eau (phénomène de trempe donnant une roche à texture « hyaline »ou vitreuse). Ces roches ne développent en général pas de phénocristaux et présentent des textures microlithiques variées, avec plus ou moins de verre.

- Une roche plutonique ou « intrusive » est produite par le refroidissement lent du magma en profondeur. Elles présentent de nombreux phénocristaux dans une (matrice) à texture grenue. Ces roches sont entièrement cristallines (roche « holocristalline »).

- Toute une gamme de roches intermédiaires existe entre ces deux pôles classiques. On parle de roches péri plutoniques ou hypo volcaniques, ce sont

des roches de semi-profondeur à texture microgrenue, typiquement des intrusions filoniennes.

B. Propriétés des roches basiques

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

- Un déficit du taux de *silice (Si O_2)*, compris entre (55% et 45%), c'est-à-dire sans quartz exprimé.
- Une dominance de minéraux de *Plagioclases : Ca Al_2 Si_2 O_8* ,
- La présence de minéraux ferromagnésiens tels que : l'*Olivine*, les *Pyroxènes*, et les *amphiboles,*
- Et en traces les minéraux opaques tel que les oxydes de fer comme la *Magnétite(Fe_3O_4)* et l'*Ilménite($FeTiO_3$)*. [P.Bellair et Ch.Pomerol 1984].

I. Les différents groupes des roches basiques [BORDET, 1979 ; BELLAIR et POMEROL, 1984]

I.1 Roche de profondeur

A texture grenue, comme le Gabbro.

Le Gabbro **:** est une roche formée de plagioclases (anorthite, bytownite et labrador) associés aux pyroxènes. Les gabbros peuvent aussi contenir de l'olivine, d'oxydes de fer et de l'amphibole. Donc les gabbros typiques sont calco-ferromagnésiens. Il se présente soit en massifs indépendant, soit associé à d'autres roches basiques, sous forme de filons et dykes.

Les propriétés mécaniques du gabbro sont très voisines de celle de granite d'où la grande sensibilité des gabbros à la fragmentation mécanique.

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

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

I.2 Roches de ½ profondeur

À texture ophitique insertale comme la Dolérite, l'Ophite, le Diabase.

La texture ophitique est un type de cristallisation où les minéraux sombres (pyroxènes) sont les premiers qui se cristallisent sous forme de baguettes, alternés par les minéraux clairs (plagioclases). [M. BORDET, 1979].

La texture de ces roches se présente en 04 types :

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

Les ophites: sont des roches voisines des dolérites à grands cristaux de pyroxène (augite diallagique) englobant des petites lattes de plagioclases (andésine, labrador). Les pyroxènes, fréquemment altérés, confèrent à la roche un aspect d'une peau de serpent (d'où leur nom) qui, prend une belle teinte verte par la transformation des pyroxènes en serpentine, en ouralite et en chlorite. Les lattes de plagioclases s'altèrent souvent en épidote. Ces **roches** sont très fréquentes en Algérie.

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

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

I.3 Roches de surface

À texture microlitique, comme le Basalte et le Labradorite.

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

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

Les basaltes sont des roches noires, à verre peu abondant et denses (d=3,2 environ), comportant des plagioclases (surtout les labradors : An >50%) et des clinopyroxènes (augite dominante, souvent maclée et zonée), accompagnés selon les cas d'olivine,

d'hypersthène (orthopyroxène), de magnétite et d'ilménite, il peut s'y ajouter, en faible pourcentage, soit du quartz, soit des feldspathoïdes (néphéline, analcime).
La magnétite (Fe_3O_4) est abondante dans certains basaltes de 10 à 25%, parfois jusqu'à 55% dans certains gisements, ce qui confère la coloration de la roche**.**

II. Les basaltes [BORDET ,1979]

II.1 Classification et nomenclature des basaltes

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

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

Basalte demi-deuil : à phénocristaux de plagioclases (labrador en baguettes blanches) et d'augites apparaissent sur un fond à base de pâte légèrement vacuolaire noire ou rouge sombre.

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

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

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

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

Les spilites secondaires : dérivant de roches basaltiques déjà cristallisées qui, en présence de vapeur d'eau, ont subi des phénomènes de transformation *deutérique* (auto métamorphisme) avec enrichissement en Na_20, H_20, $C0_2$, et appauvrissement en Al_2O_3, K_20.

II.2 Les principaux types de basaltes

A l'échelle du globe, on distingue 03 principaux types de basaltes (fig09) :

1. Les Basalte tholéiitiques

Saturés, mésocrates, à labrador-bytownite, augite peu calcique et hypersthène, avec présence exceptionnelle d'olivine, relativement riches en silice dans le verre, bien que le quartz et la tridymite sont rarement exprimés, ce sont des basaltes, qui constituent parfois de vastes épanchements sur les continents, et sont associés le plus souvent à des points chauds des fonds océaniques actuels (rides médio-océaniques) en pillow-lavas (laves en coussins) et dans certains arcs insulaires (associés à des andésites), et ils forment la partie supérieure des complexes ophiolitiques qui, par différentiation des magmas tholéiitiques conduisent à des andésites puis aboutissent à des rhyolites.

2. Les Basaltes alcalins *:*

Sous saturés, mélanocrates, à olivine abondante, labrador, augite peu calcique et titanifère, et sont plus riches que les tholéiites en alcalins, en général, $Na_2O > K_2O$; si $Na_2O = K_2O$, se sont des basaltes ***shoshonitiques.***

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

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

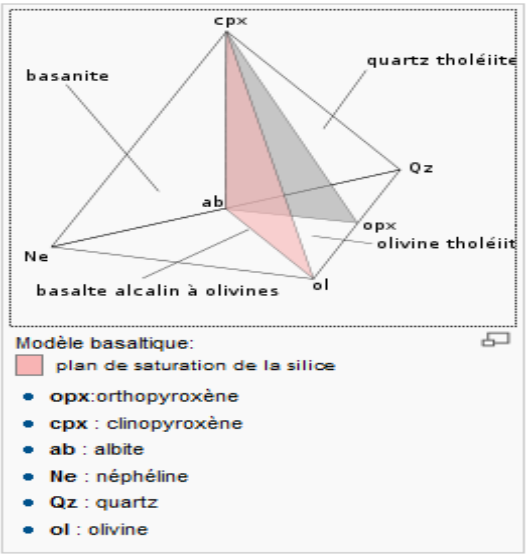


Figure 09 : Diagramme modal de basalte

II.3 Caractéristique mécanique des basaltes [CHANANE. 2008]

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

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

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

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

$$R_T = (0.08 + 0,12/2) \times R_é, \text{ en } [Kgf/cm^2] \text{ est } R_T \approx 500\ Kgf/cm^2 \text{ ou } 50\ MPa.$$

Ces roches sont les plus préférées, en l'occurrence celles qui sont récentes (moins de 10 000 ans) en raison de leur très faible altération, néanmoins l'altération des anciens basaltes augmente de la surface vers les profondeurs et aussi avec les âges géologiques (CHRISTIE Tony et ALL, 2001)

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

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

I- Introduction

Cette partie sera consacrée à :

- L'élaboration des essais géotechniques Los Angeles et Micro Deval afin de vérifier et mesurer le degré de résistance combinée à l'usure par frottements et à la fragmentation par chocs de ces matériaux (granulats) face aux chocs,
- Analyse microscopique des lames minces confectionnées à partir des échantillons prélevés,
- Des analyses géochimiques vérifiant les compositions chimiques dominantes sous forme d'oxydes ou éléments majeurs afin de déterminer la nature pétrographique des échantillons.
- Et une corrélation entre les conditions géotechniques et la composition chimique de nos échantillons, prélevés de l'affleurement magmatique de Aïn Temouchent, afin de vérifier et de déterminer leur qualité pour être utilisé comme matériaux de granulat.

II. Géologie des sites d'échantillonnage

Le magmatisme du domaine littoral de l'Ouest algérien est localisé au niveau des sections sismiques, montrant un plan de détachement N-S associé à des failles responsables d'un effondrement de substratum pendant le miocène moyen et supérieur favorisant les remontées magmatiques récentes. (WEC 2007).

Neuf échantillons ont été prélevés du massif volcanique formant un gisement basaltique, qui selon la carte géologique d'Ain Temouchent au 1/50 000, donnée en figure : 13, est situé prés de la côte, d'une distance allant de 05 à 20 kilomètres de la mer, d'où l'influence des vents humides et leur effet sur la météorisation chimique des roches, à des niveaux hypsométriques allant de 200 à 600 m, entre les étages du miocène terminal marin et lagunaire (m.s) à base de marnes et gypses, en passant par le miocène supérieur marin (m.m) à base de calcaires, grès et argiles, et les terrains de l'oligocène marin (o), et les couches du crétacé moyen (marin ou lagunaire, c .m).

D'autre part, nous avons procédé à l'échantillonnage des roches magmatiques à partir :

- de deux (02) carrières :
  - ✓ Une à l'abandon :

    - Echantillons N1, N2 : prélevés du site de Oued Snoun, distant l'un de l'autre de 25 m environ, fig. 10.



Figure10 : échantillon du Nord

- Echantillons S1, S2 : prélevés du site d'El Hssasna, distant l'un de l'autre de 40m environ, fig. 11.



Figure11:échantillon du Sud

✓ Et l'autre en exploitation :

- Echantillons C1, C2 : prélevés du site de Route Aghlal, distant l'un de l'autre de 25 m environ, fig. 12.



Figure12 : échantillon du Centre

- et des sites vierges :

✓ Echantillons E1, E2 : prélevés du site de Chaabat alham, distants l'un de l'autre de 30m environ.

✓ Echantillon W : prélevé du site de Aïn tolba, au bas coté d'une route d'exploitation.

Cependant, l'échantillonnage a été réalisé, avec l'assistance d'un ingénieur géologue de la DEM de la wilaya, dans différents endroits du massif, suivant les quatre directions cardinales à partir du centre de l'affleurement : N-S-W-E, comme il est indiqué un peu plus loin dans la figure 13. Toutefois, il est à signaler que la surface du massif est entièrement couverte par la terre végétale, excepté celle relative aux carrières qui, présentent des gradins d'exploitation.

Cependant, le chois des lieux d'échantillonnages est porté sur l'affleurement magmatique de Aïn Temouchent de nature pétrographique volcanique, d'âge stratigraphique, semble t'il récent, et de conditions géodynamiques de mise en place appartenant à l'Ouest du domaine littoral, situé dans les zones d'écrasement proche de la ligne de faille et d'affrontement entre les 02 plaques tectoniques. L'Eurasie au Nord et l'Afrique au Sud.

Les conditions géodynamiques alpines de ces zones d'écrasement et de fissuration sont responsables des remontées magmatiques basiques, effusives à pétrologie volcanique (basaltique), traversant les failles profondes traduites par des

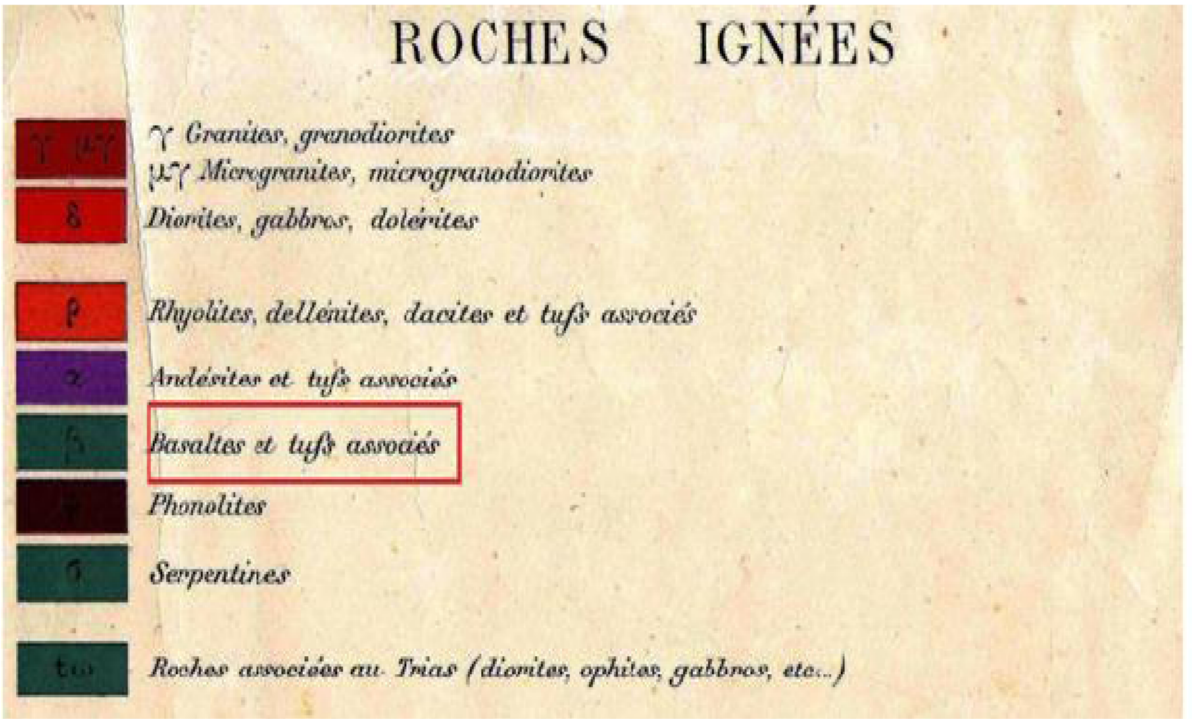
lignes de fracturation constituant le siège des volcans fissuraux [V.MILNITHOUK, M.ARABADJI 1983 ; P.Bellair et Ch. Pomerol 1984] donnant naissances à la mise en place.

Des coulées de nappes basaltiques, de taille moyenne, sous forme d'épanchement en surface formant un petit Stock [V.MILNITHOUK et M.ARABADJI 1983 ; P.Bellair et Ch.Pomeral 1984].

Figure 13: Carte géologique de l'Algérie au 1/500 000
2eme édition (1951-1952)



Légende représentant les roches ignées tirée de la légende précédente.



N.B. : Pour des contraintes d'ordre technique (défaut de consommables et réactifs) et de programmation (défaut de temps nécessaire aux analyses), exprimant la faible capacité et la forte charge des laboratoires du CETIM, nos neuf (09) échantillons, préalablement destinés aux analyses chimiques et aux essais géotechniques, ont été réduits à cinq (05) échantillons (N, S, W, C et E) sur lesquels est basée toute notre étude.

III. ETUDE PETROGRAPHIQUE ET ANALYSE GEOCHIMIQUE

III.1. Etude microscopique de lames minces

III.1.1. Echantillon S (fig. : 14)

Description

Se caractérise par une texture porphyrique à mésostase microlitique faiblement discernable, de structure massive.

La roche se caractérise par l'absence des phénocristaux de minéraux clairs, mais la présence peu abondante de minéraux colorés noyés dans une mésostase finement microlitique très altérée en un minéral phylliteux verdâtre et parsemée de tâches noirâtres de minéraux opaques, probablement des oxydes de fer (magnétite ou ilménite). Elle montre par endroits une structure intersertale dessinée par quelques petites lattes de plagioclases délimitant des cases polygonales colmatées par des minéraux secondaires.

COMPOSITION MINERALOGIQUE	%	DIMENSIONS DES GRAINS mm
phénocristaux		
olivine	9	0,1- 2
pyroxènes	5	0,08 – 0,2
amphiboles	9	0,1- 1,6
Mésostase		
Microlites	40	
Pyroxènes	3	
Olivine	3	
Minéraux opaques	10	
Iddingsite	20	
Calcite	<1	
chlorite	<1	

Tableau 05: teneur et dimension des minéraux de l'échantillon **S**

Phénocristaux

Pyroxènes

Relativement abondants, les pyroxènes sont représentés par de l'augite et la titanoaugite.

- **Augite** : Souvent altérée, l'augite se présente en cristaux sub-automorphes dominants à parfois automorphes à section octogonale, accompagnée parfois de la titanoaugite de même forme et dimensions et de couleur rosâtre.

Olivine

Plus abondante, l'olivine se présente en cristaux allongés xénomorphes à contours partiellement creux, fourchus متفرع et montrant souvent une altération débutante à la périphérie qui, se traduit par leur remplacement en iddingsite formant une auréole épaisse de couleur brun rougeâtre autour des cristaux. Par endroit, elle se

cristallise sous forme de cristaux granulaires de petite taille entièrement transformés en iddingsite.

Amphiboles
Très abondants, dominant toute la masse, les amphiboles à section prismatique allongée et polygonale de type hornblende verte. L'intense opacification de certains cristaux de forme irrégulière, sous l'aspect de tâches noirâtres, indique une transformation partielle.

Minéraux Opaques
Les tâches noirâtres visibles sont représentés probablement par de la magnétite ou l'ilménite se présentant en fines particules uniformément distribuées dans toute la mésostase.

Mésostase
Dominée par de fins microlites de plagioclases, faiblement discernables, de taille n'excédant pas 0,1mm, sans aucune orientation préférentielle dans la masse. Ils sont intercalés de microcristaux de pyroxènes, d'olivine. Par endroits on remarque que cette mésostase est chargée de minéraux opaques, et partiellement altérée en rares cristaux de chlorite et de calcite de forme irrégulière.

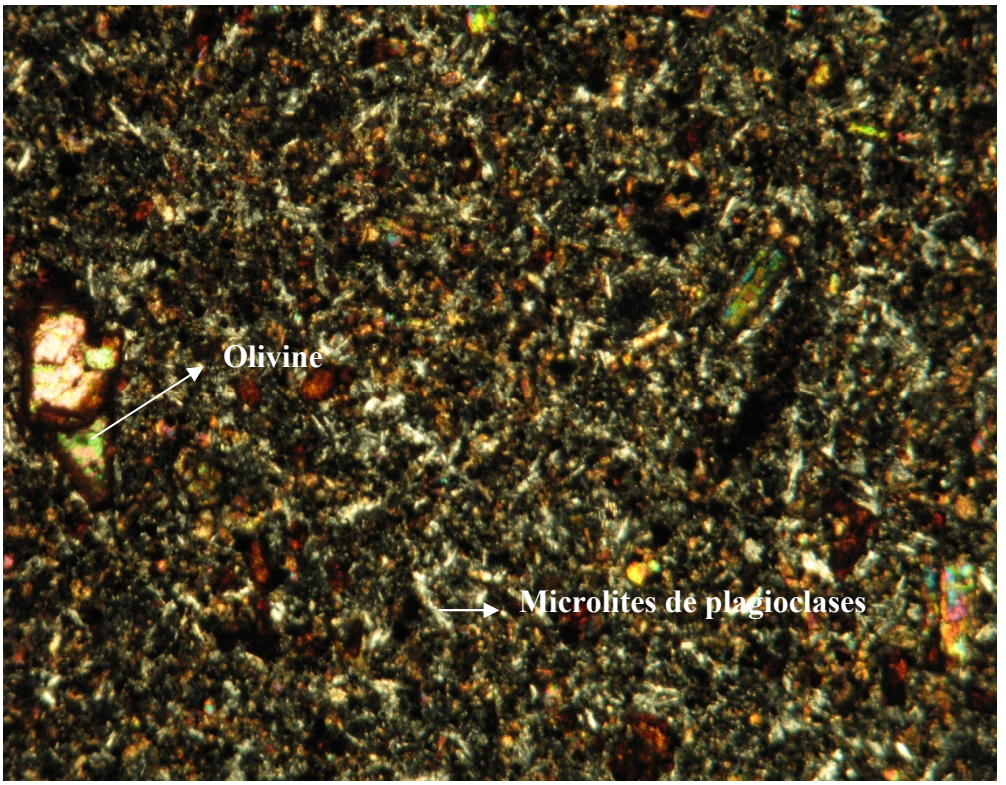


Figure : 14, Lame de l'échantillon **S** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

III.1.2. Echantillon W (fig : 15)

Description

se caractérise par une texture porphyrique à mésostase microlitique faiblement discernable, de structure massive.

L'étude microscopique de la lame mince définit l'échantillon comme étant une roche à olivine, pyroxènes et amphiboles. Ils se caractérisent par des transformations secondaires qui ont affecté principalement les amphiboles et à un degré moindre les pyroxènes et l'olivine.

Malgré l'altération, la texture microlitique porphyrique de la roche reste faiblement discernable.

COMPOSITION MINERALOGIQUE	%	DIMENSIONS DES GRAINS mm
phénocristaux		
olivine	<1	0,08 – 0,4
pyroxènes	04	0,1 - 0,8
amphiboles	05	0,1 – 0,7
Mésostase		
Microlites	40	≤ 0,01
pyroxènes	20	
minéraux opaques	15	
Iddingsite	15	
Calcite	<1	
chlorite	<1	

Tableau 06: teneur et dimension des minéraux de l'échantillon **W**

Phénocristaux

Pyroxènes

Ils sont représentés par des cristaux prismatiques allongés et trapus d'augite, indiquant une fissuration en craquelures, et de titanoaugite de couleur rosâtre montrant un remplacement partiel par l'iddingsite à la périphérie. Cette pseudomorphose est localisée uniquement sur la bordure et les craquelures, où leur transformation a engendré également la néoformation des minéraux opaques (oxydes de fer) sous forme de particules uniformes.

Amphiboles

Les amphiboles relativement abondants en cristaux d'hornblende verte et marrons à section prismatique allongée et trapue polygonale, où la plupart sont brunies par une intense opacification.

Péridots (olivine)

Ils s'observent en cristaux granulaires à prismatiques allongés xénomorphes, altérés à leur périphérie et en surface par des craquelures, soulignant des transformations en iddingsite. D'autres cristaux, de forme irrégulière, sont par contre totalement transformés en iddingsite de couleur rouge sang.

Mésostase

Elle est constituée de fins microlites de plagioclases de taille n'excédant pas 0,1mm, non orientés. Elle est dominée aussi par de microcristaux de pyroxènes, d'iddingsite de couleur rouge brique résultant probablement de la transformation de l'olivine et des pyroxènes, intercalés de microcristaux de minéraux opaques. Et par endroit, on remarque la présence de rares cristaux de chlorite et de calcite de forme irrégulière.

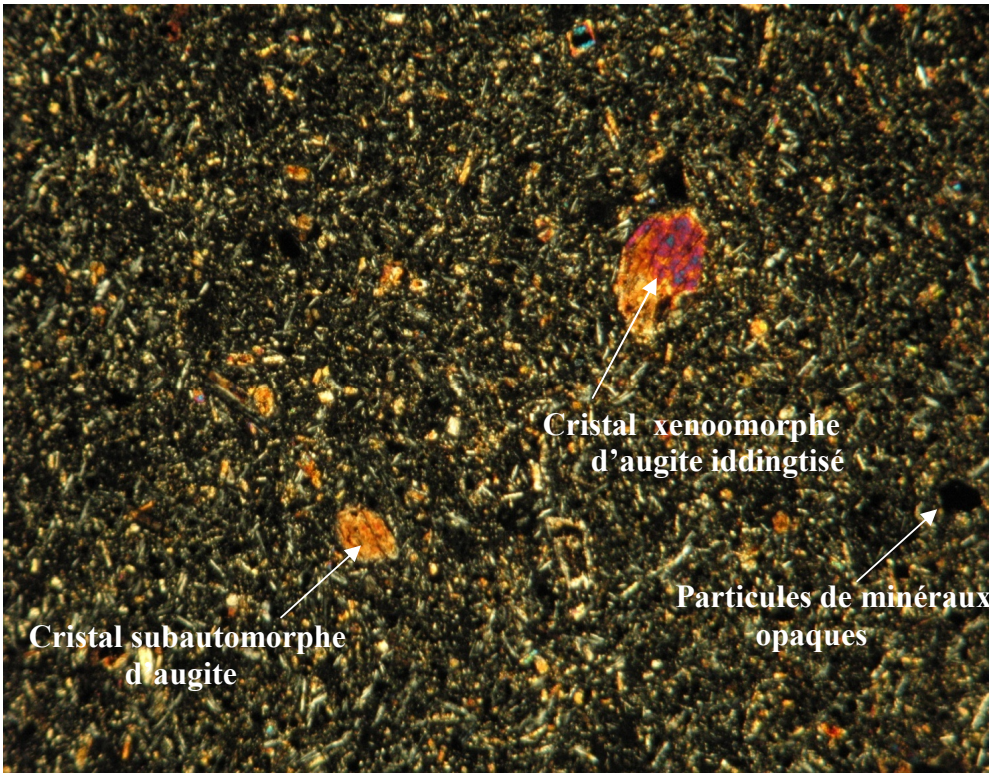


Figure : 15, Lame de l'échantillon **W** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

III.1.3. Echantillon C (fig. : 16)

Description

Se caractérise par une texture porphyrique à mésostase microlitique faiblement discernable, de structure massive.
Il s'agit d'une masse altérée dans laquelle on remarque une altération des pyroxènes et l'olivine qui, sont répartis dans un fond finement microlitique parsemé de taches noirâtres de minéraux opaques.

COMPOSITION MINERALOGIQUE	%	DIMENSIONS DES GRAINS mm
phénocristaux		
olivine	02	0,1 – 0,4
pyroxènes	03	0,1 - 1
amphiboles	12	0,1 – 1,2
Mésostase		
Microlites	40	≤ 0,01
pyroxènes	10	
Minéraux opaques	18	
Iddingsite	13	
Chlorite	1	
calcite	1	

Tableau 07: teneur et dimension des minéraux de l'échantillon **C**

Phénocristaux

Pyroxènes

Les pyroxènes apparaissent en cristaux sub-automorphes à automorphes à section octogonale de taille atteignant 1 mm. Rarement intacts, ils sont affectés souvent par une intense altération traduite par leur transformation en amphiboles de type actinote, en iddingsite formant une couronne rougeâtre autour des cristaux et parfois en très rares cristaux de chlorite.

Péridots (olivine)
Présents en cristaux sub-automorphes granulaires à allongés, fortement altérés à leur périphérie, montrant des craquelures, et donnant lieu à des transformations en iddingsite en auréole de couleur rouge sang autour des cristaux, et parfois en très rares cristaux de chlorite et de calcite.

Amphiboles

Les amphiboles, rarement intactes, apparaissent à leur tour en cristaux automorphes à sub-automorphes à section prismatique allongée et trapue polygonale, montrant une couleur verdâtre et marron. Ils sont presque totalement opacifiés.

Mésostase

Elle est constituée essentiellement de fins microlites de plagioclases de taille n'excédant pas 0,08mm, non orientés. Ils sont intercalés par de microcristaux de pyroxènes, d'iddingsite de couleur rouge sang et chargée de fines particules de minéraux opaques, et parfois de rares cristaux de chlorite et de calcite de forme irrégulière.

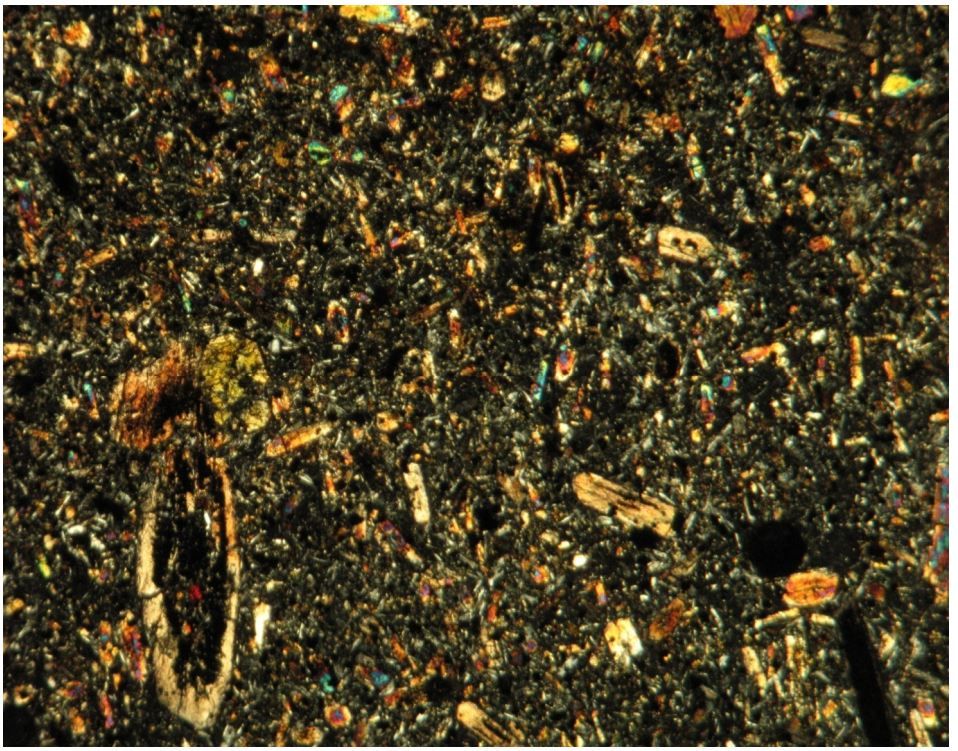


Figure : 16, Lame de l'échantillon **C** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

III.1.4. Echantillon E (fig : 17-18)

Description

se caractérise par une texture porphyrique à mésostase microlitique faiblement discernable, de structure massive.

COMPOSITION MINERALOGIQUE	%	DIMENSIONS DES GRAINS mm
phénocristaux		
olivine	05	0,1 – 3,8
pyroxènes	02	0,1 - 1
Amphiboles	08	
Mésostase		
Microlites	35	≤ 0,01
Olivine	10	
Amphiboles	05	
Minéraux opaques	20	
Iddingsite	15	
Chlorite	<1	
calcite	<1	

Tableau 08: teneur et dimension des minéraux de l'échantillon **E**

Phénocristaux

Minéraux ferromagnésiens

Ils se caractérisent par l'abondance des amphiboles en cristaux granulaires et d'olivine en cristaux automorphes à sub-automorphes et quelques cristaux d'orthopyroxène de type hypersthène altérés à leur périphérie.

Pyroxènes

Quelques cristaux automorphes à section octogonale laissant apparaître parfois une faible altération affectant essentiellement les parties périphériques où, elle forme des auréoles marron. Cette altération qui, se traduit par une ouralitisation avancée (abondance des amphiboles), et accompagnée parfois par une accumulation en chlorite et d'oxydes de fer de type hématite, de forme quelconque à la périphérie des cristaux.

Péridots (olivine)

Relativement abondants en cristaux automorphes à sub-automorphes, parfois totalement transformés en iddingsite.

Mésostase

Elle est constituée dans sa plus grande partie de microlites de plagioclases de taille n'excédant pas 0,07mm, non orientés, dominée aussi par de micro grains de minéraux opaques, d'olivine, d'iddingsite et d'amphiboles, avec parfois de rares cristaux de chlorite et de calcite de forme irrégulière.

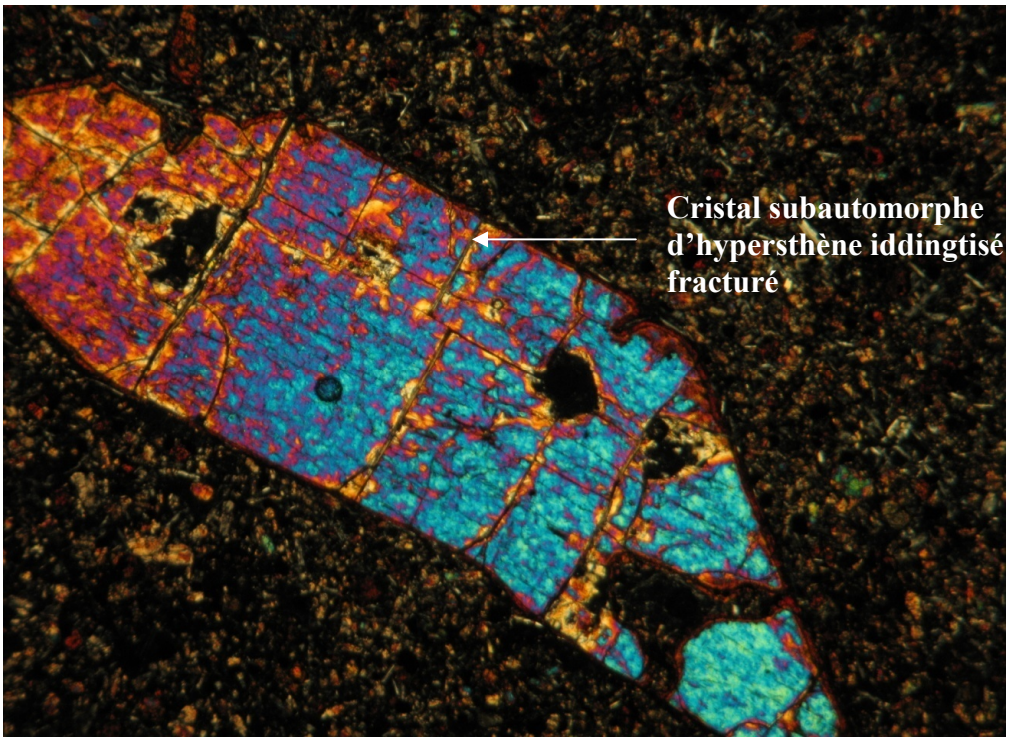


Figure 17 : Lame de l'échantillon **E** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

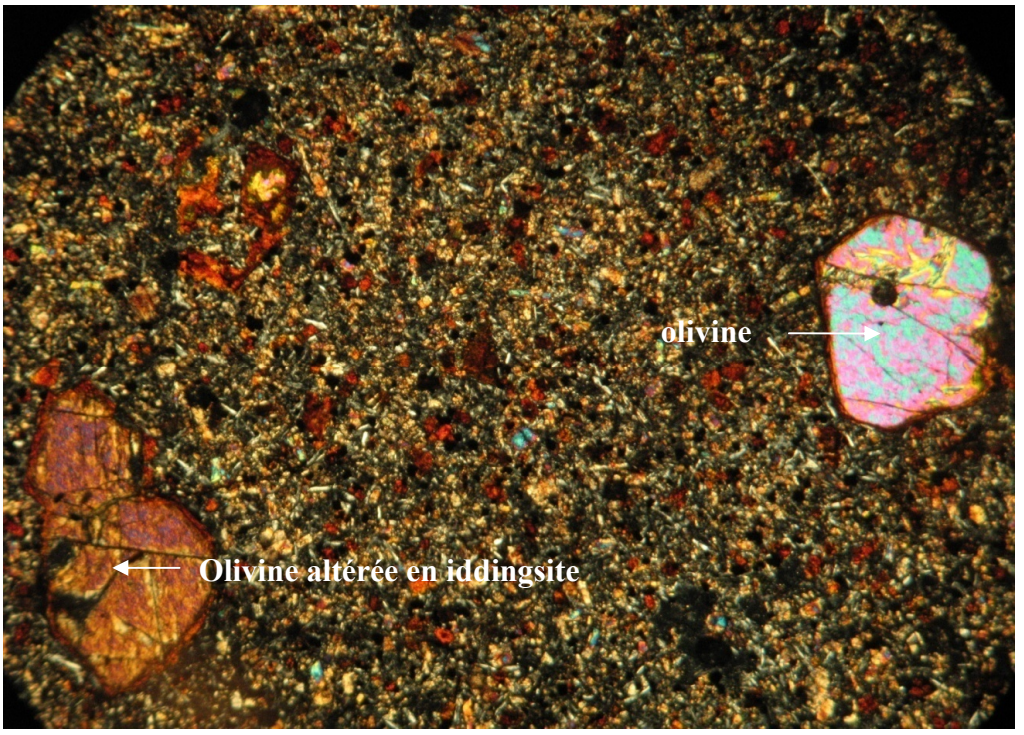


Figure 18 : Lame de l'échantillon **E** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

III.1.5. Echantillon N (fig. : 19-20)

Description

se caractérise par une texture porphyrique à mésostase microlitique faiblement discernable, de structure massive.
Du point de vue structure et composition minéralogique, cet échantillon présente une grande similitude avec l'échantillon E, sauf que dans cet échantillon N, on remarque beaucoup plus de présence d'orthopyroxène de type hypersthène qui, sont en quantité relativement abondante. Toutefois, les transformations secondaires sont par contre plus intenses.

COMPOSITION MINERALOGIQUE	%	DIMENSIONS DES GRAINS mm
phénocristaux		
olivine	5	0,1 – 3,8
pyroxènes	15	0,1 - 1
Mésostase		
Microlites	30	≤ 0,01
Pyroxènes	15	
olivine	10	
amphiboles	10	
minéraux opaques	8	
chlorite	5	
calcite	<1	

Tableau 09: teneur et dimension des minéraux de l'échantillon **N**

Phénocristaux

Pyroxènes

Dominés par l'hypersthène en cristaux polygonaux à prismatiques allongés, altérés à leur périphérie et craquelés en surface, et affectés par une altération en chlorite et en iddingsite formant une auréole rouge sang autour des cristaux.

Olivine

Souvent intacte, l'olivine se présente en cristaux automorphes à section hexagonale, laissant parfois apparaître un fin liseré rougeâtre d'iddingsite et verdâtre de chlorite sur la bordure. Dans certains cristaux, cette altération s'introduit dans les craquelures.

Mésostase : identique à l'échantillon E.

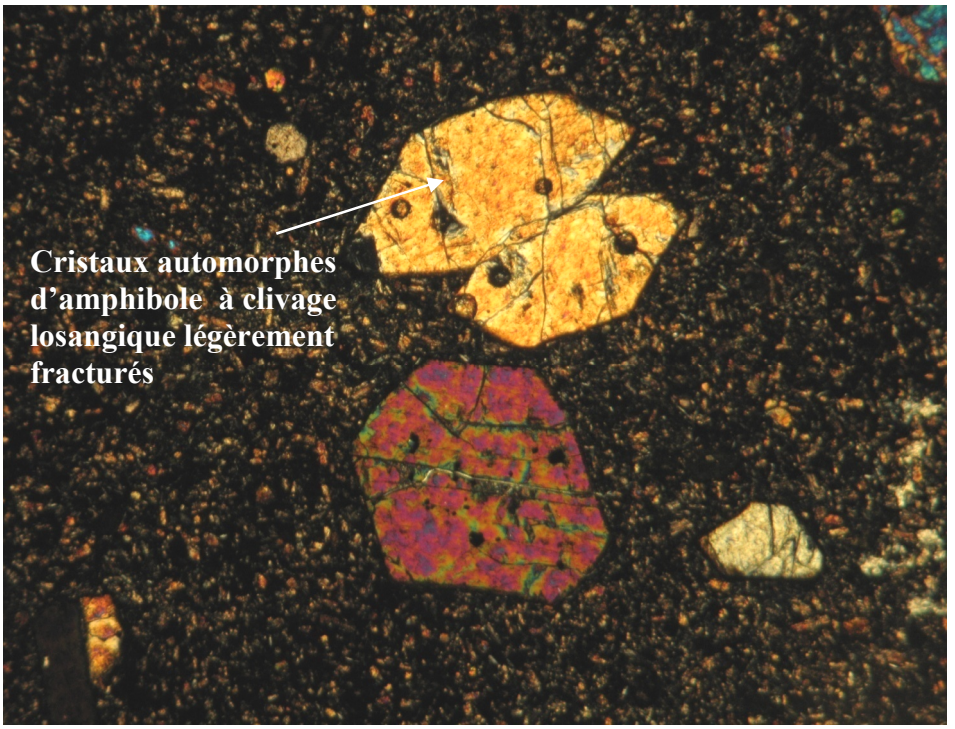


Figure 19 : Lame de l'échantillon **N** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

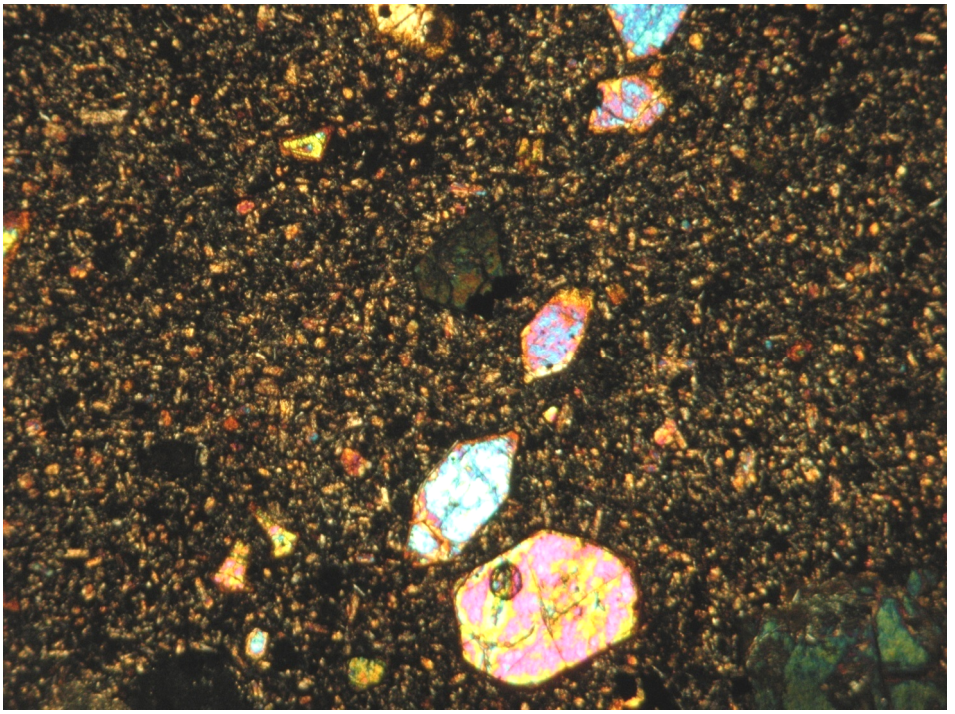


Figure 20 : Lame de l'échantillon **N** en LPA (Obj. 5x0,13 pol.)

III.1.6. Conclusion

A la lumière de l'analyse microscopique, tous les échantillons présentent les mêmes caractères pétrographiques, dominés par les phénocristaux et un fond de mésostase. Cependant, les phénocristaux sont représentés par les clinopyroxènes de type augite associés parfois aux orthopyroxènes de type hypersthène, les amphiboles de type hornblende et parfois d'actinote, et d'olivine. Toutefois, on remarque l'absence des plagioclases en lattes, excepté de rares spécimens en trace.
Quant à la mésostase, elle est composée de microlites de plagioclases, de minéraux opaques (oxydes de fer d'ilménite et de magnétite), et de microcristaux de pyroxènes, d'olivine et d'amphiboles, associés souvent aux minéraux d'altération de type iddingsite et parfois à ceux de chlorite et de calcite.

III.2. Analyses géochimiques

Les résultats des analyses géochimiques par fluorescence X de nos 05 échantillons prélevés de l'affleurement magmatique de Aïn Temouchent, exprimés en pourcentage poids, sont présentés par le tableau 10.

Echantillons	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	SO_3 %	K_2O %	Na2O %	P_2O_5 %	TiO_2 %	Totale %	PAF %
E	**44.57**	**15.21**	**10.37**	**11.65**	**8.44**	**0.01**	**0.81**	**2.94**	**0.62**	**2.59**	**100**	**2.79**
C	**44.59**	**17.05**	**10.52**	**10.48**	**4.44**	**0.01**	**1.16**	**5.86**	**0.76**	**2.36**	**100**	**2.77**
N	**43.93**	**12.58**	**10.38**	**11.40**	**12.66**	**0.01**	**0.72**	**2.81**	**0.57**	**2.60**	**100**	**2.34**
W	**44.17**	**17.39**	**11.47**	**11.00**	**4.53**	**0.01**	**0.66**	**4.56**	**0.87**	**2.85**	**100**	**2.49**
S	**45.99**	**17.34**	**9.41**	**9.96**	**4.81**	**0.01**	**1.19**	**5.74**	**0.55**	**2.35**	**100**	**2.64**

Tableau 10: résultats des analyses géochimiques en éléments majeurs des échantillons de Aïn Temouchent.

L'examen des résultats analytiques du tableau 10, montre clairement que tous les échantillons sont caractérisés par :

- Un taux de SiO_2 compris entre 43.93 et 45.99 %, fluctuant à la limite entre les roches basiques et ultrabasiques.

- Des pertes au feu relativement faibles, allant de 2.34 à 2.79%, correspondant à une altération plus ou moins avancée des échantillons, traduisant la présence des minéraux d'altération tels que l'iddingsite, chlorite et la calcite.

- Les pourcentages des alcalins Na_2O et K_2O sont assez élevés, de 3.53 à 7.02%, ainsi que ceux de TiO_2 (02.35 à 2,85%) qui sont souvent associés au cortège minéral des clinopyroxènes.

Les valeurs de nos échantillons représentés dans le diagramme T.A.S (figure 19). (Taux des alcalins : Na_2O + K_2O en fonction de SiO_2), montrent clairement le caractère d'une pétrologie basique à tendance ultrabasique se rapportant aux basanites et téphrites. Les basanites correspondent à des laves en coulées associées le plus souvent à des basaltes riches en olivines, et les téphrites à des

basaltes de faciès paléo volcanique se présentant en mélaphyre où, les pyroxènes sont ouralitisés.

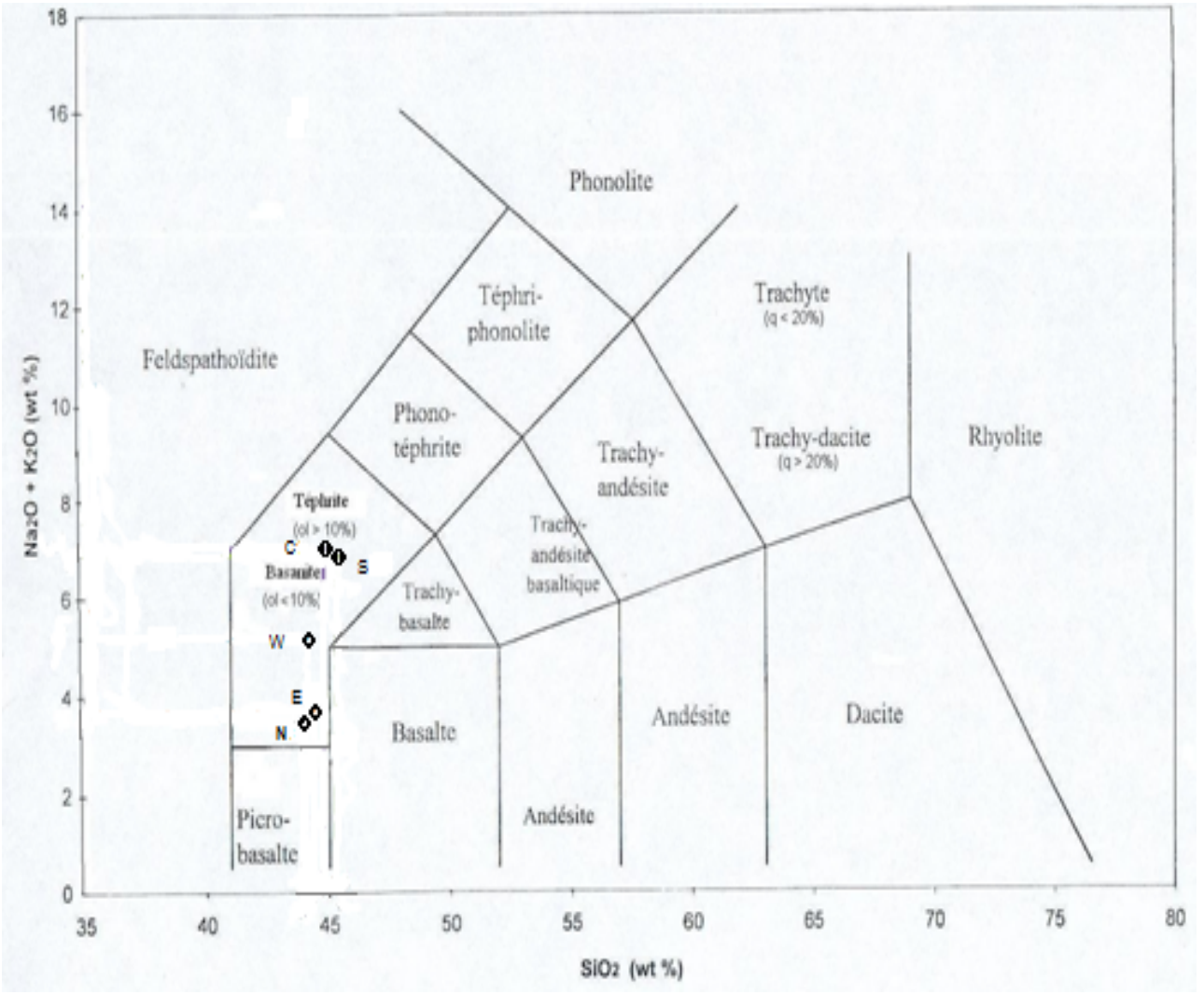


Figure 21 : Diagramme de TAS

III.3. Conclusion

Les études pétrographiques et les analyses géochimiques effectuées dans le cadre de ce travail, ont confirmé que tous les échantillons sont de ***nature pétrologique magmatique basique à tendance ultra basique.***

- Il s'agit probablement de basaltes altérés sous l'effet de l'humidité marine (reste à vérifier et valider par les diagrammes de corrélation entre certains oxydes et le pourcentage des pertes au feu), favorisant un début de spilitisation, témoignée par la présence de chlorite et de calcite avec enrichissement en Na_2O.

IV. ESSAIS GEOTECHNIQUES

IV .1. Essai Los Angeles

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par choc et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat, Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottements dans la machine Los Angeles. A un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau. Dans la machine Los Angeles, introduire la prise d'essai M = 5000 g et la charge de boulets de la classe granulaire choisie.

- Après 500 rotations de la machine, à une vitesse régulière comprise entre 30 et 33 tr/min (un moteur d'au moins 0,75 kW), recueillir le granulat et le tamiser à 1,6 mm.
- Si **M** est la masse du matériau soumis à l'essai, **m** la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime en pourcentage par la relation :

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

- Par définition cette relation, correspond à une quantité sans dimension appelée: ***Coefficient Los Angeles*** du matériau.

Appareillage *:* Il consiste en :

- Une balance capable de peser l'éprouvette et la charge abrasive avec une précision égale à 0,1 % de la masse de la prise d'essai.
- Jeu de tamis : de 1,6 mm, 8 mm, 10 mm, 12,2 mm et 14 mm. (figure 22).
- Étuve ventilée, capable de maintenir une température de 110 ± 5 C°.
- Moyens nécessaires au lavage de l'échantillon tamisé.
- Équipement nécessaire à la réduction de l'échantillon de laboratoire en prise d'essai.
- Éprouvette(s) graduée(s) en verre, conforme(s) à l'ISO 4788:1980. Ou tout autre moyen de mesure de volume d'eau égal à 2.5 ± 0,05 l.
- Machine los Angeles (figure 23).



Figure 22 : jeu de tamis (CETIM)



Figure 23: machine Los Angeles (CETIM)

Préparation de l'échantillon pour l'essai

-concasser la roche dans un concasseur à mâchoires.

-Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie (10-14) (figure 24), en commençant par le tamis le plus grand.

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

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



Figure 24 : les échantillons avant l'exécution des essais.

Exécution de l'essai

Mise en place de l'échantillon pour essai

Introduire avec précaution la charge de boulets de la classe granulaire choisie, puis l'échantillon pour essai. La charge est fixée conformément aux indications du tableau 10 suivant:

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)
4 – 6.3	7	3080
6.3 – 10	9	3960
10 - 14	**11**	**5000**
10 – 25	11	4840
16 – 31.5	12	5280
25 - 50	12	5280

Tableau 11: nombre de boulets (masse totale de la charge) en fonction de la classe granulaire.

-Replacer le couvercle

-Faire effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35 tr/mn.

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

-Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm (figure 25).

-Peser ce refus une fois séché. Soit m' le résultat de la pesée (tableau 12).



Figure 25 : opération de tamisage de l'échantillon dans le tamis 1.6mm.

Résultats des essais

Echantillons	E	C	N	W	S
Passant de tamis 1.6mm (g)	1859	927	1133	1162	931
Coefficient Los Angeles LA (%)	37.18	18.54	22.66	23.24	18.62

Tableau 12 : Résultats des essais Los Angeles.

IV. 2. Essai Micro Deval

L'essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive (Tableau 13). Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient Micro-Deval est faible, meilleur est le matériau.

- Dans les cylindres de la machine, introduire chaque prise d'essai M = 500 g et la charge abrasive (billes en acier de 10 mm de diamètre) correspondant à la classe granulaire choisie. Les essais peuvent s'effectuer à sec ou en présence d'eau. Dans ce dernier cas, on ajoutera 2,5 litres d'eau par essai. Après rotation des cylindres à une vitesse de 100 tr/min pendant 2 heures (12000 tours), tamiser le matériau sur le tamis de 1,6 mm et peser passant **m**.
- Si **M** est la masse du matériau soumis à l'essai, **m** la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime en pourcentage par la relation :

$$MDE = 100(m/M)$$

- Par définition cette relation, correspond à une quantité sans dimension appelée: ***Coefficient Micro Deval*** du matériau.

Appareillage:

Il consiste en :

- Une balance capable de peser l'éprouvette et la charge abrasive avec une précision égale à 0,1 % de la masse de la prise d'essai.
- Jeu de tamis : de 1,6 mm, 8 mm, 10 mm, 12.5 mm et 14 mm.
- Étuve ventilée, capable de maintenir une température de 110 ± 5 C°.
- Moyens nécessaires au lavage de l'échantillon tamisé.
- Équipement nécessaire à la réduction de l'échantillon de laboratoire en prise d'essai.
- Éprouvette(s) graduée(s) en verre, conforme(s) à l'ISO 4788:1980. Ou tout autre moyen de mesure de volume d'eau égal à 2.5 ± 0,05 l.
- Machine Micro Deval (figure 26).

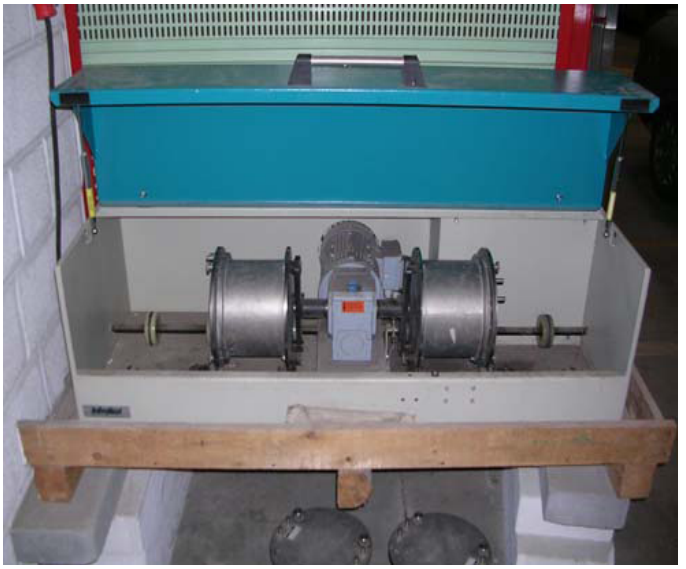


Figure 26 : machine Micro Deval (CETIM).

Préparation de l'échantillon pour essai

-L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires types.

Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence de l'eau :

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

-Effectuer une double pesée du matériau séparée d'une heure d'intervalle, les 02 pesées ne différent pas plus de 0.1%, où : M1 = M2 = M = 500g.

-Tamiser l'échantillon à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.

-la masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ± 2g.

Mode opératoire

Introduire dans chaque cylindre d'essai une éprouvette. Ajouter un nombre suffisant des billes pour obtenir une charge de 5000±5 g. La charge est fixée conformément aux indications du tableau 12 suivant :

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 – 6.3	2 000 ± 5
6.3 – 10	4 000 ± 5
10 - 14	5 000 ± 5

Tableau 13: masse totale de la charge en fonction de la classe granulaire.

- ✓ Ajouter 2.5 ± 0,05 l d'eau dans chaque cylindre.
- ✓ Fixer soigneusement un couvercle sur chacun des cylindres, puis les placer sur les deux arbres.
- ✓ Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de 100 tr/min pendant 12000 tours.
- ✓ Verser le matériau ainsi que l'eau de lavage sur un tamis de 1.6 mm.
- ✓ Mettre le refus à 1.6 mm sur un plateau.
- ✓ Sécher le contenu du plateau à l'étuve réglée à 105±5 °C, et peser pour déterminer la masse de refus à 1.6 mm.(tableau 14).

Echantillons	E	C	N	W	S
Passant de tamis 1.6mm (g)	270	188	161	201	204
Coefficient Micro-Deval MDE (%)	54	37.6	32.2	40.2	40.8

Tableau 14: Résultats des essais Micro-Deval.

IV.3. Dureté relative globale (DRG) [Alias J, 1984]

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

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

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

Où : MDS : Micro-Deval sec ;
MDE : Micro-Deval en présence d'eau ;
LA : Los Angeles.

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

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

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

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

σ_{DR} : écarte type $= \frac{\sqrt{\sum(DR_i - \overline{DR})}}{\sqrt{(n-1)}}$

Avec : n : nombre d'échantillons soumis à l'essai ; **[ARAB Karima, BOUZIAN Hadjer, 2008]**

IV.4. Résultats des essais géotechniques

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

Echantillons	E	C	N	W	S
Coefficient los Angeles **LA (%)**	**37.18**	**18.54**	**22.66**	**23.24**	**18.62**
Coefficient Micro-Deval **MDE (%)**	**54**	**37.6**	**32.2**	**40.2**	**40.8**
Dureté relative globale **DRG**	**hors abaque**	**6**	**7**	**hors abaque**	**hors abaque**

Tableau 15 : Résultats des essais géotechniques des échantillons de Ain témouchent.

Les résultats des essais géotechniques présentés dans le tableau14 ont donné des valeurs différentes, moyennes pour LA (C, N, W et S) à trop élevées (hors limite) pour MDE, pour tous les échantillons, sauf **N** avec 32.2 %. D'autant plus que l'échantillon **E**, présente des valeurs trop élevées, donc hors normes, avec un LA de 37.18 %, où il est proche de la limite supérieure acceptable de fragilité et un MDE de 54 %, au même que titre que tous les autres échantillons qui, dépassent largement la limite supérieure fixée par les normes géotechniques aussi bien algériennes qu'étrangères, comme l'indique le tableau 16 qui, illustre clairement les comparaisons. Par contre, l'échantillon **N**, est le seul qui est considéré comme normatif, avec un LA de 22.66 % et un MDE de 32.2 %, donc proche aussi de la limite maximale.

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

Tableau 16: Normes des essais géotechniques des granulats du ballast (ENG, 1993).

(*) (J. F. Pasquet, janvier 2003).
(**) (Yiping Wu et al, Frazier Parker Jr., Ken Kandhal, janvier 1998). (Elizabeth A. et Hunt, P.E., Mai 2001).

Pour l'appréciation de la qualité d'un granulat et son utilisation comme ballast ou matériau de construction en Géni Civil (béton), l'estimation des coefficients de LA et MDE nécessite un classement déterminé par la Dureté Relative Globale (DRG), qui exprime la dureté relative d'un granulat selon une échelle allant de 6 à 32 sur un abaque (**figure28**). Dans le cas des graves et des ballasts, les valeurs obtenues sont déterminées par la projection du couplage des coefficients de LA et de MDE pour chaque échantillon [CHANANE Larouci, 2008].

D'autre part, le critère de DRG reste relatif d'un pays à un autre pour le classement des matériaux de granulats, ainsi pour [CHANANE Larouci, 2008].

- **La norme européenne**

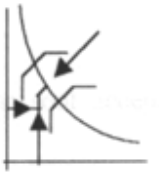
- une DRG hors abaque (< 6 ou >32) : le matériau est non conforme et inutilisable ;
- et une DRG normative (6< DRG <32) : le matériau est considéré comme utilisable de qualité médiocre, bon ou excellent.
- Selon la norme européenne, un matériau avec une DRG >14, est considéré comme excellent.

- **La norme américaine**

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

La norme algérienne :

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



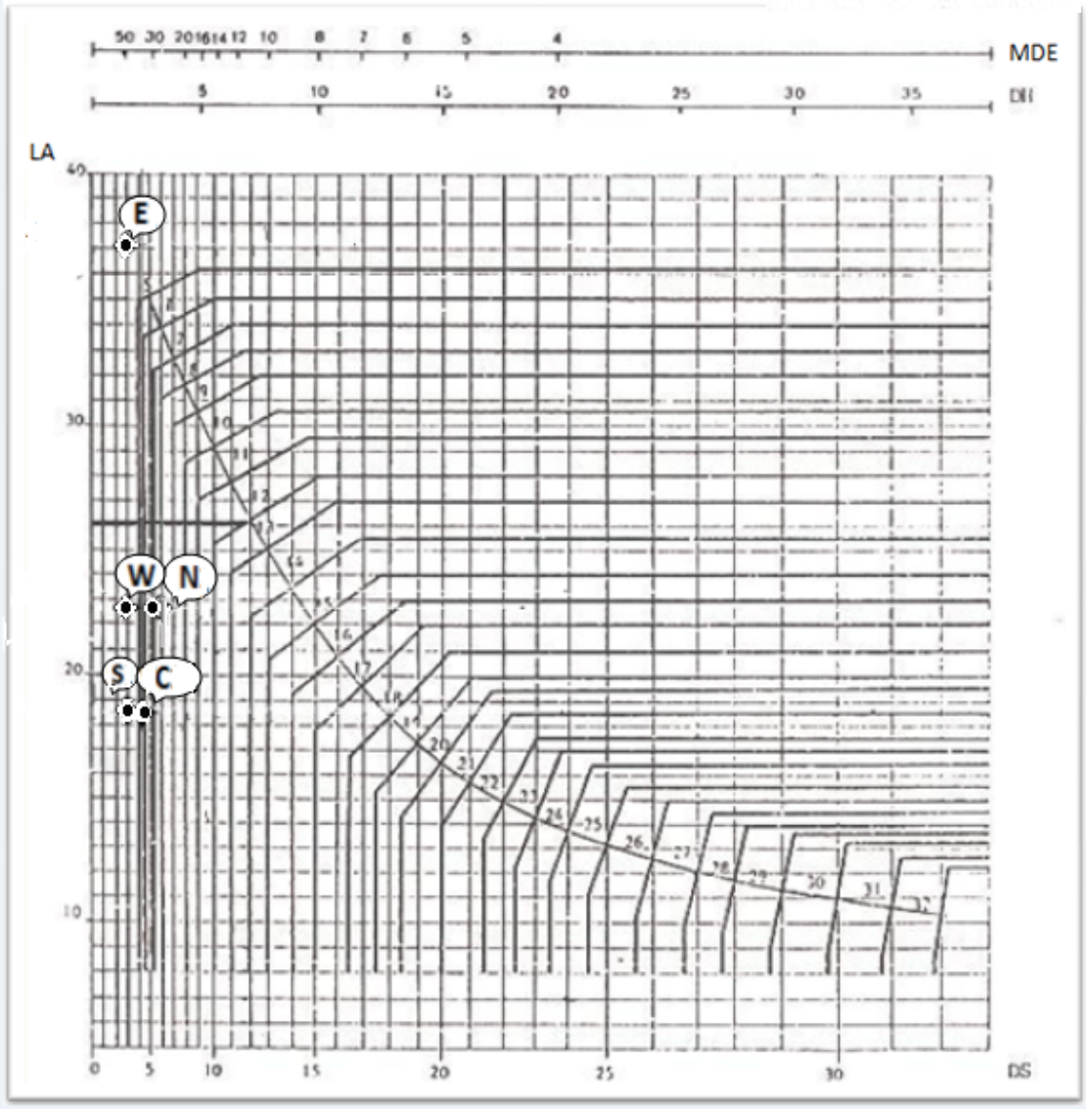


Figure 27 : Abaque de dureté relative globale (DRG) (d'après J.Alias, 1984)

IV.5. Comparaison des résultats des essais avec les normes européennes et américaine Afin

Echantillons	Essai Los Angeles LA				Essai Micro-Deval MDE				Dureté relative globale DRG			
	Valeur (%)	N.A <40	N.F <25	N.Am < 35	Valeur (%)	N.A <35	N.F <20	N.Am < 30	valeur	N.E >14	N.Am >18	N.Al >12
E	37.18	Ac	NAc	NAc	54	NAc	NAc	NAc	hors abaque	inutilisable	inutilisable	inutilisable
C	18.54	Ac	Ac	Ac	37.6	NAc	NAc	NAc	6	médiocre	médiocre	médiocre
N	22.66	Ac	Ac	Ac	32.2	Ac	NAc	NAc	7	médiocre	médiocre	médiocre
W	23.24	Ac	Ac	Ac	40.2	NAc	NAc	NAc	hors abaque	inutilisable	inutilisable	inutilisable
S	18.62	Ac	Ac	Ac	40.8	NAc	NAc	NAc	hors abaque	inutilisable	inutilisable	inutilisable

Tableau 17 : Comparaison des valeurs de **LA**, **MDE** et **DRG** par rapport aux normes : algérienne (**N.A.**), française (**N.F**.), européenne (**N.E**) et américaine (**N.Am**).
Ac : Acceptable; **NAc** : Non acceptable.

Selon les normes algériennes et étrangères de DRG, les seuls échantillons de roches, testés dans le cadre de notre étude, qui sont normatifs et utilisables comme matériau de granulats, sont ceux de **C** (DRG : 6) et **N** (DRG : 7), mais de qualité médiocre, alors que tous le reste des échantillons sont hors normes et inutilisables comme il est illustré au tableau 17.

Etant donné que la DRG constitue un critère de classement de qualité des granulats, ceci n'influe guère sur la qualité réelle de la nature des roches magmatiques à différentes pétrologies, qui demeurent toujours meilleures en termes de résistance physico mécanique (dureté et solidité).

Cependant, la qualité médiocre de nos échantillons déterminée par la DRG, revient fondamentalement au mauvais choix d'échantillons liés aux conditions naturelles défavorables aux points de prélèvements.

V. RELATIONS PETROGEOCHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES

L'impact des caractéristiques pétrographiques (texture, structure et minéralogie) sur les conditions géotechniques est étroitement lié au paramètre de dureté relative, exprimant de façon intrinsèque la solidité et la résistance aux ruptures par compression et traction. [M. CHANANE 2008]

Cependant, les relations pétro géochimiques et géotechniques, ont fait l'objet d'un traitement mathématique à l'aide d'un logiciel statistique **(XL stat 2010)**, pour déterminer les corrélations en régression linéaire sous forme de diagrammes, faisant comparaître les données du **tableau 18**, où les pertes au feu **(PAF)** et les paramètres géomécaniques **(LA, MDE, DRG),** sont opposés aux éléments majeurs sous formes d'oxydes.

Echantillons	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na2O %	Totale %	PAF %	LA %	MDE %	DRG %
E	**44.57**	**15.21**	**10.37**	**11.65**	**8.44**	**0.81**	**2.94**	**100**	**2.79**	**37.18**	**54**	**Hors abaque**
C	**44.59**	**17.05**	**10.52**	**10.48**	**4.44**	**1.16**	**5.86**	**100**	**2.77**	**18.54**	**37.6**	**6**
N	**43.93**	**12.58**	**10.38**	**11.40**	**12.66**	**0.72**	**2.81**	**100**	**2.34**	**22.66**	**32.2**	**7**
W	**44.17**	**17.39**	**11.47**	**11.00**	**4.53**	**0.66**	**4.56**	**100**	**2.49**	**23.24**	**40.2**	**Hors abaque**
S	**45.99**	**17.34**	**9.41**	**9.96**	**4.81**	**1.19**	**5.74**	**100**	**2.64**	**18.62**	**40.8**	**Hors abaque**

Tableau 18 : Teneur des éléments majeurs (oxydes) et les résultats des essais géotechniques

Tous les diagrammes retenus par le logiciel ont un niveau de signification alpha ≥ 0.05, comparativement à toutes les valeurs données dans le tableau de matrice de corrélation. Au seuil de signification **Alpha = 0,050**, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation. Autrement dit, la corrélation n'est pas significative. Ainsi les diagrammes de corrélations sont présentés de fig.28-47 comme suit :

Diagramme de corrélation PAF/SIO_2 : Le diagramme présente une augmentation importante de la PAF avec les hautes teneurs de la silice, indiquant une altération de l'échantillon.

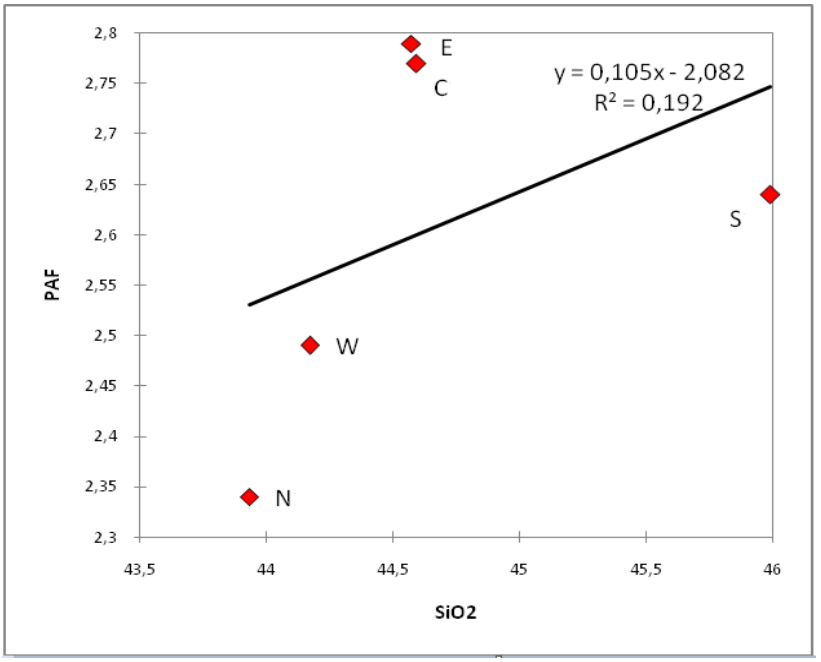


Fig 28 : Corrélation PAF/SIO_2

Diagramme de corrélation PAF/ AL_2O_3 : Le diagramme montre une augmentation substantielle de la PAF avec les hautes teneurs de l'alumine AL_2O_3, indiquant aussi l'altération de l'échantillon.

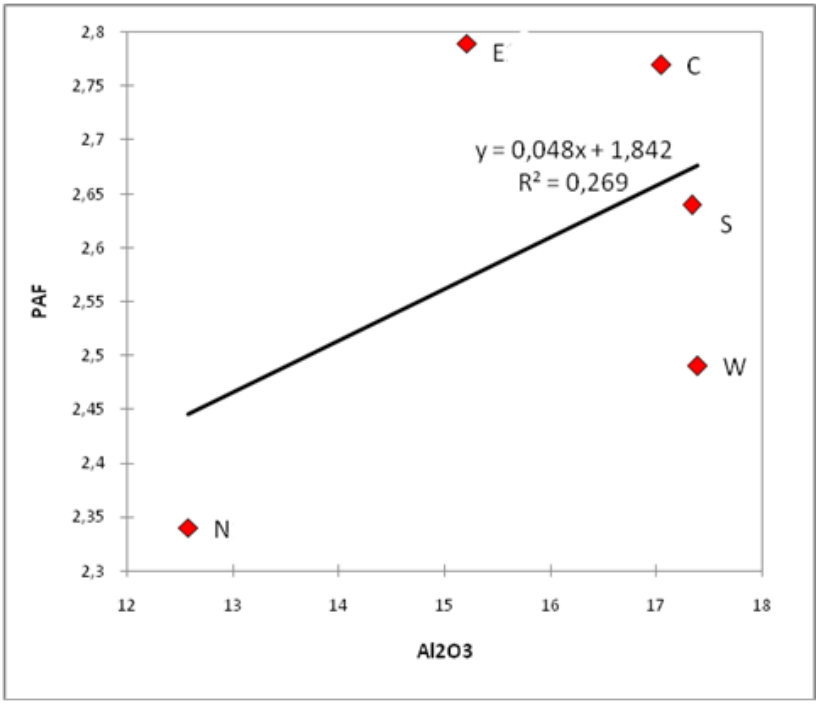


Fig. 29 : Corrélation **PAF/AL_2O_3**

Diagramme de corrélation PAF/ K_2O Na_2O : Le diagramme se caractérise par une hausse de la PAF en fonction des hautes teneurs des alcalins K_2O Na_2O, témoignant aussi de l'altération de l'échantillon.

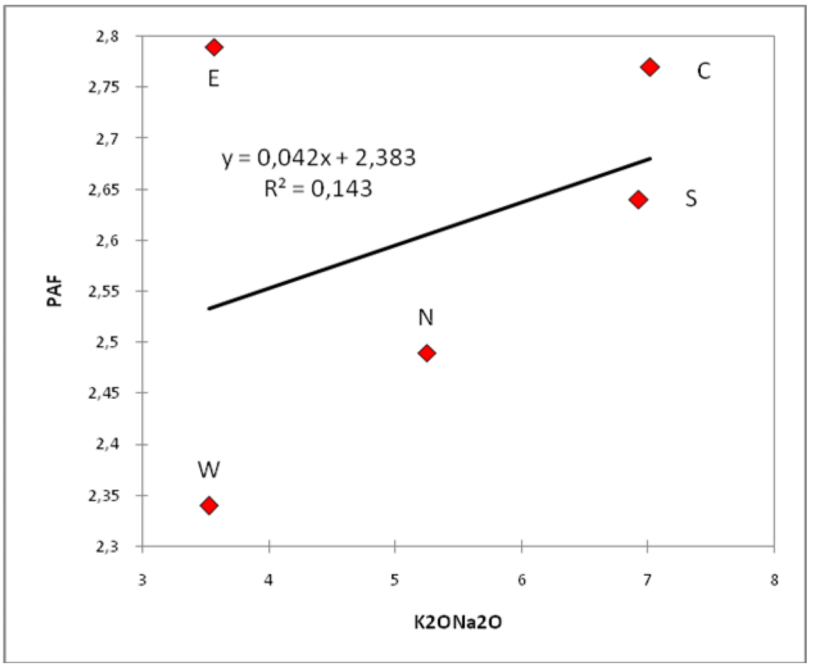


Fig. 30 : Corrélation PAF/ K_2O Na_2O

Diagramme de corrélation LA/SiO_2 : montre une légère augmentation de la résistance physico-mécanique des échantillons à l'abrasion par chocs (LA) en fonction des hautes teneurs de la silice.

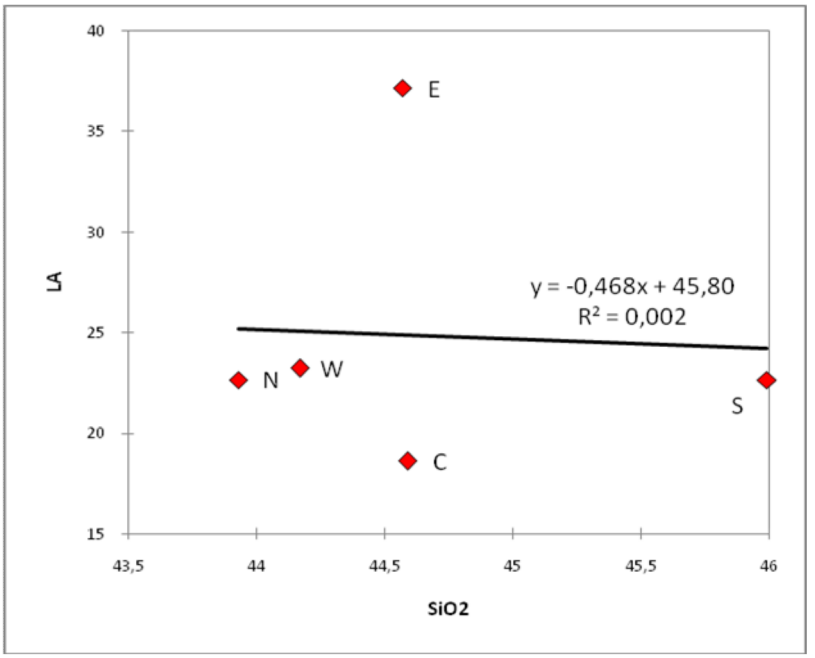


Fig. 31 : Corrélation LA/SiO2

Diagramme de corrélation LA/Al_2O_3 : indique une élévation plus ou moins importante de la résistance physico-mécanique à l'abrasion par chocs (LA.) en fonction des hautes teneurs de Al_2O_3.

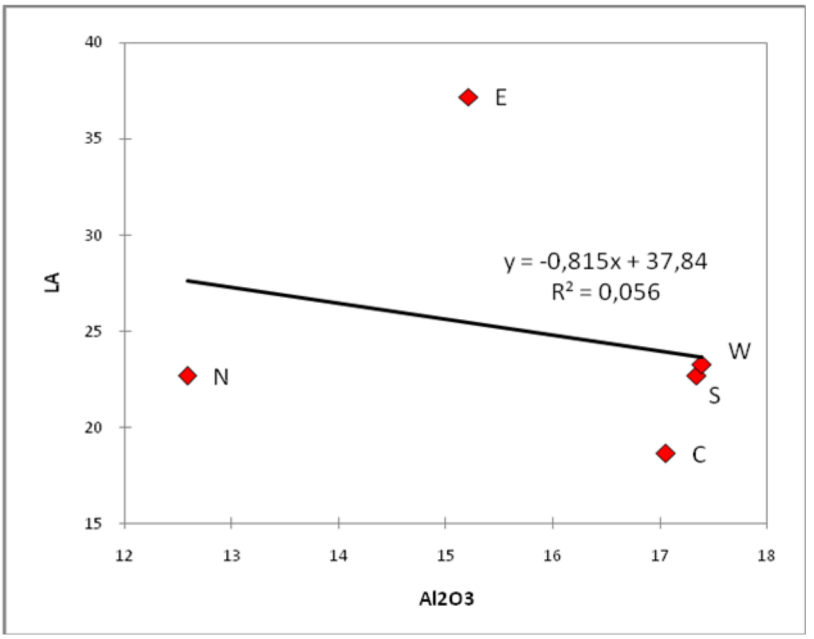


Fig. 32 : Corrélation LA/Al_2O_3

Diagramme de corrélation LA/CaO : Le diagramme montre une importante baisse de la résistance physico mécanique à l'abrasion par chocs avec les hautes teneurs de la chaux (CaO).

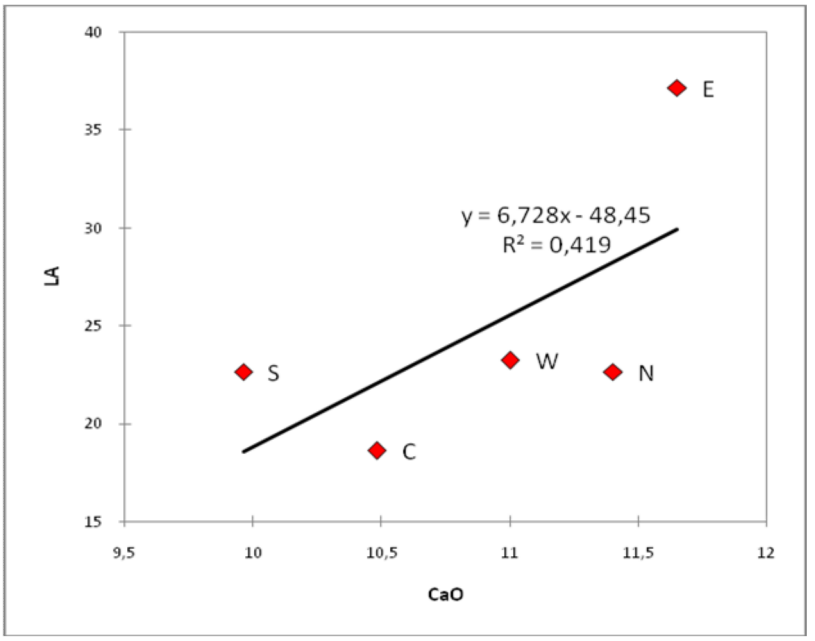


Fig. 33 : Corrélation LA/CaO

Diagramme de corrélation LA/MgO : montre aussi une diminution plus ou moins importante la résistance physico mécanique à l'abrasion par chocs avec les hautes teneurs de MgO.

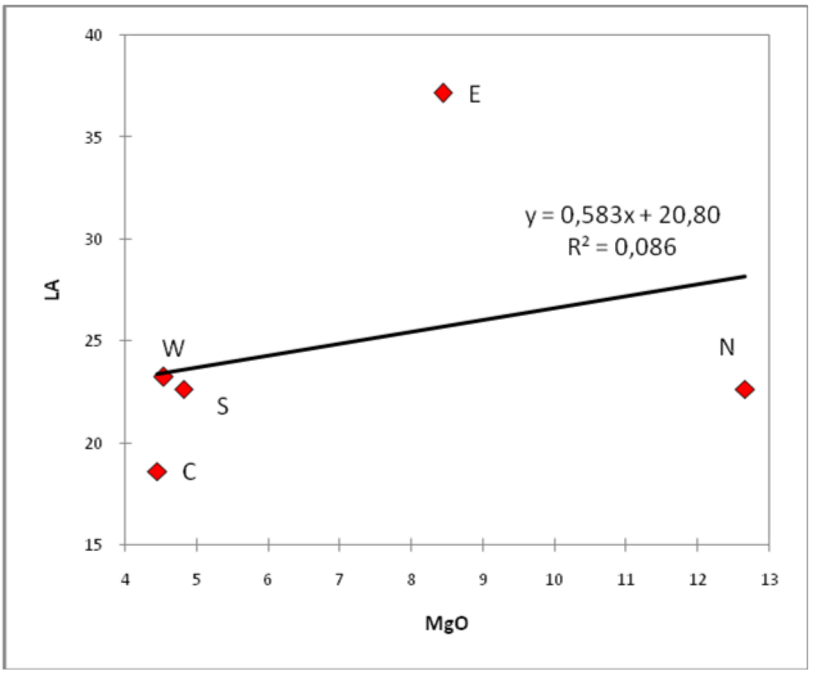


Fig. 34 : Corrélation LA/MgO

Diagramme de corrélation LA/ K_2O Na_2O : donne une très bonne résistance physico-mécanique à l'abrasion par aux chocs (LA.) en fonction des hautes teneurs des alcalins (K_2O Na_2O).

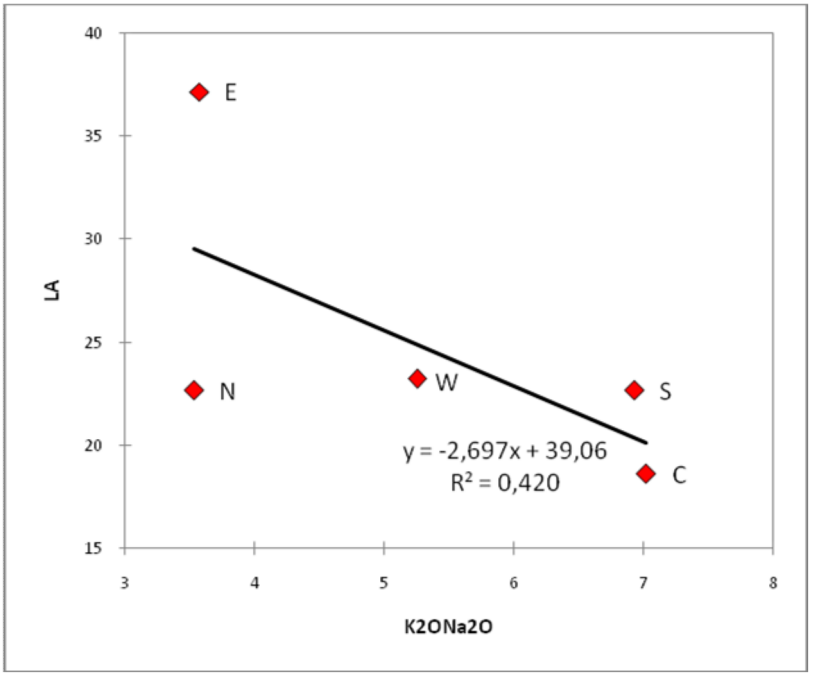


Fig. 35: Corrélation LA/ K_2O Na_2O

Diagramme de corrélation MDE/SiO_2 : On observe une diminution assez importance de la résistance physico-mécanique à l'abrasion par usure (MDE) avec les hautes teneurs de la **SiO_2**.

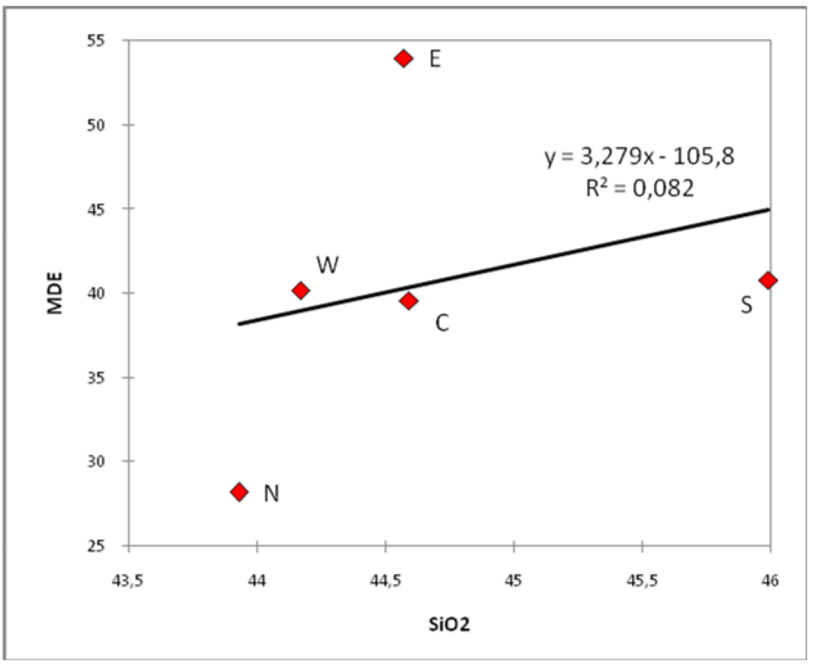


Fig. 36 : Corrélation MDE/SiO_2

Diagramme de corrélation L.A/Al_2O_3 : Caractérise une baisse assez importance de la résistance physico-mécanique à l'usure (MDE) en fonction des hautes teneurs de l'Al_2O_3.

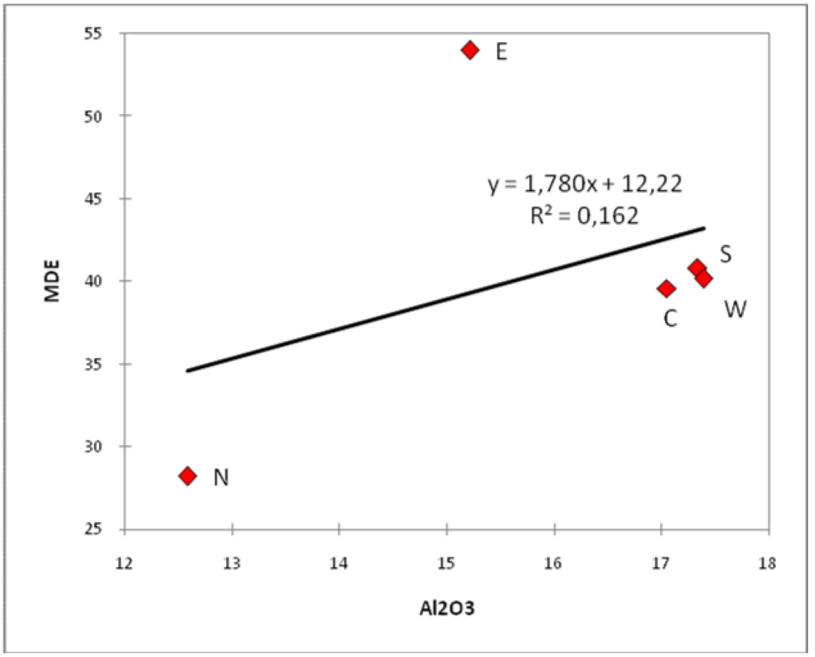


Fig. 37: Corrélation L.A/Al_2O_3

Diagramme de corrélation MDE/ Fe_2O_3 : montre en une très légère augmentation de la résistance physico mécanique à l'abrasion par usure (MDE) avec les hautes teneurs des **Fe_2O_3.**

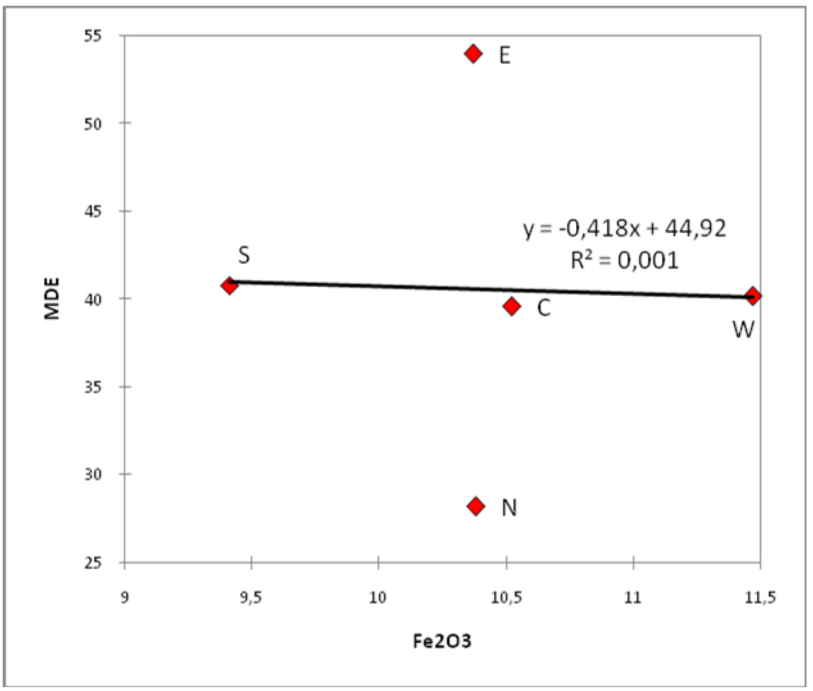


Fig. 38 : Corrélation MDE/ Fe_2O_3

Diagramme de corrélation MDE/ CaO : Indique une diminution relative de la résistance physico-mécanique à l'abrasion par usure (MDE) en fonction des hautes valeurs de **CaO**.

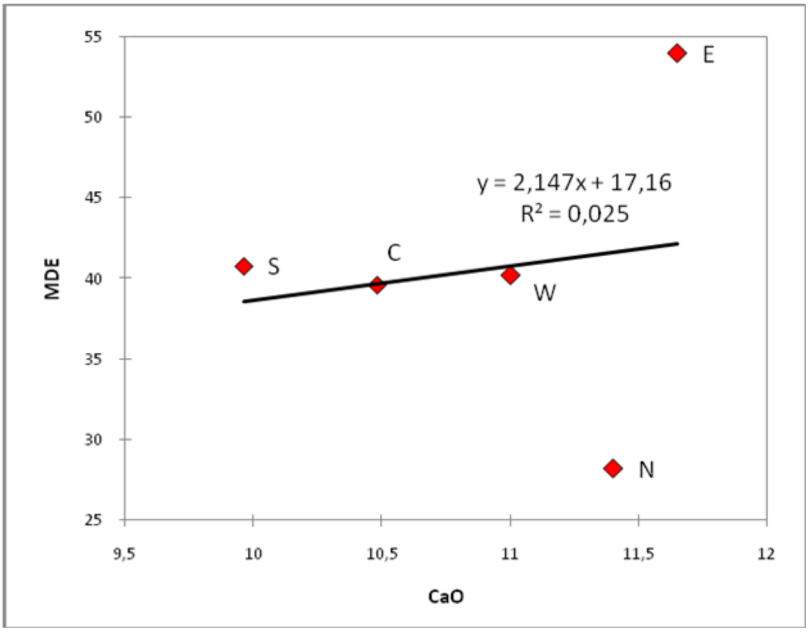


Fig. 39 : Corrélation MDE/ CaO

Diagramme de corrélation MDE/MgO : montre une très bonne résistance physico mécanique des échantillons à l'abrasion par usure (MDE) qui, augmente considérablement avec les hautes teneurs de MgO.

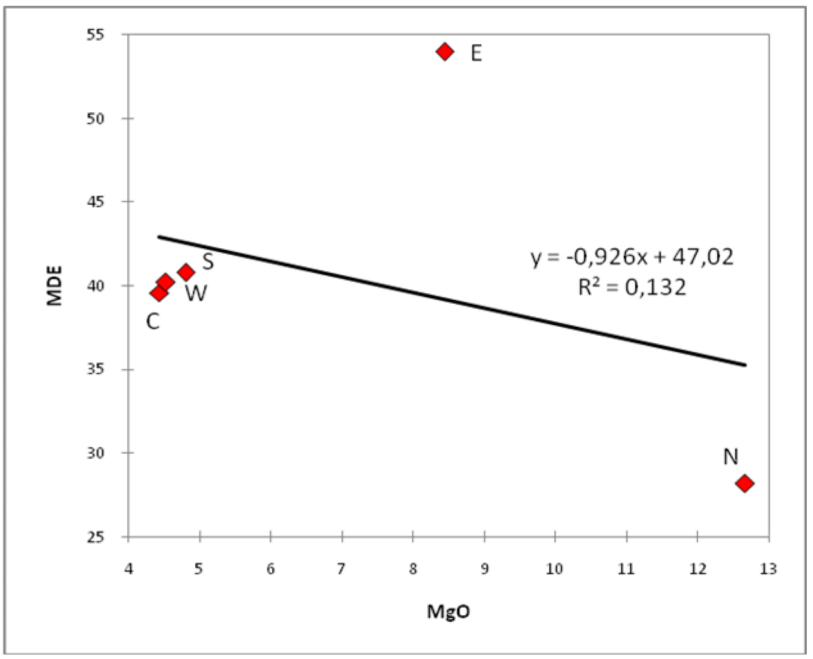


Fig. 40 : Corrélation MDE/MgO

Diagramme de corrélation MDE / K2O Na2O : montre en une très légère hausse de résistance physico mécanique à l'abrasion par usure (MDE) avec les hautes teneurs des alcalins (K_2O Na_2O).

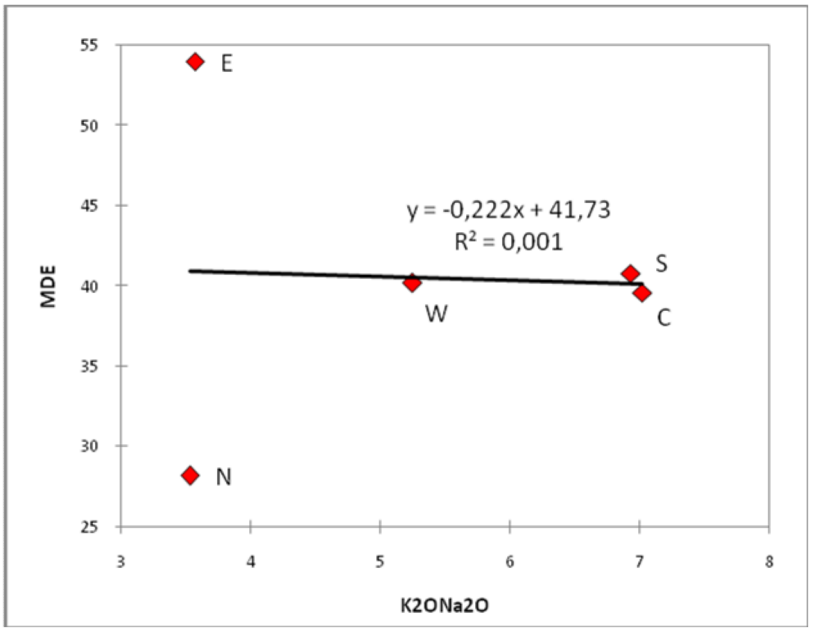


Fig. 41 : Corrélation MDE / K2O Na2O

N.B. En fonction du classement donné par l'abaque de DRG, seulement deux (02) échantillons qui sont normatifs. Il s'agit des échantillons du Nord (N) et Centre (C), qui feront l'objet de corrélation en régression linéaire, il est évident qu'ils ne seront pas représentatifs. Mais, il est utile de donner le comportement et le niveau de dureté de ces échantillons en fonction de certains oxydes.

Digramme de corrélation DRG/ SiO_2: pour les deux (02) échantillons normatifs, le diagramme montre une très faible dureté relative globale (DRG) en fonction des hautes teneurs de la silice.

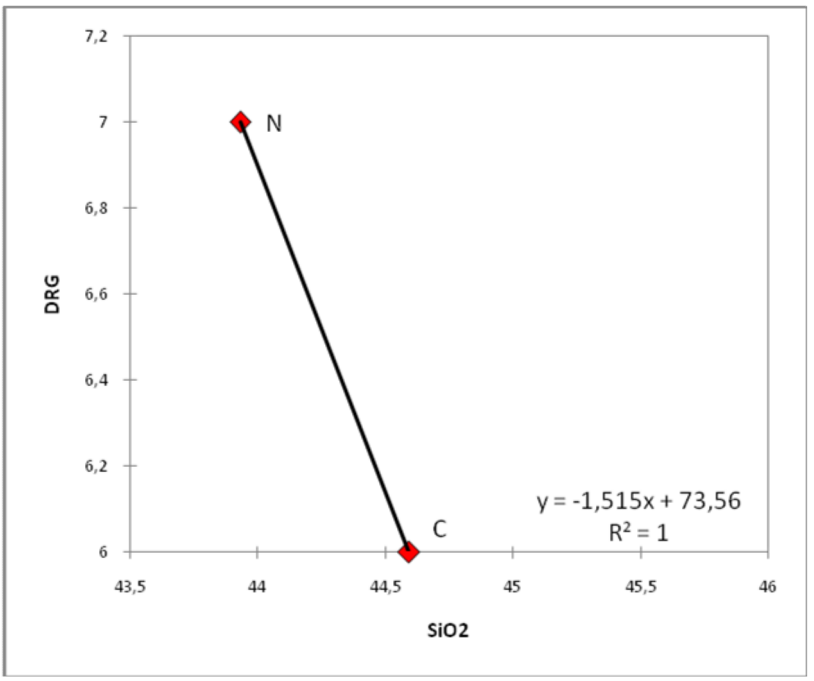


Fig. 42: Corrélation DRG/SiO_2

Digramme de corrélation DRG/ Al_2O_3: caractérise aussi une diminution très substantielle de la dureté relative globale (DRG) en fonction des hautes teneurs de Al_2O_3.

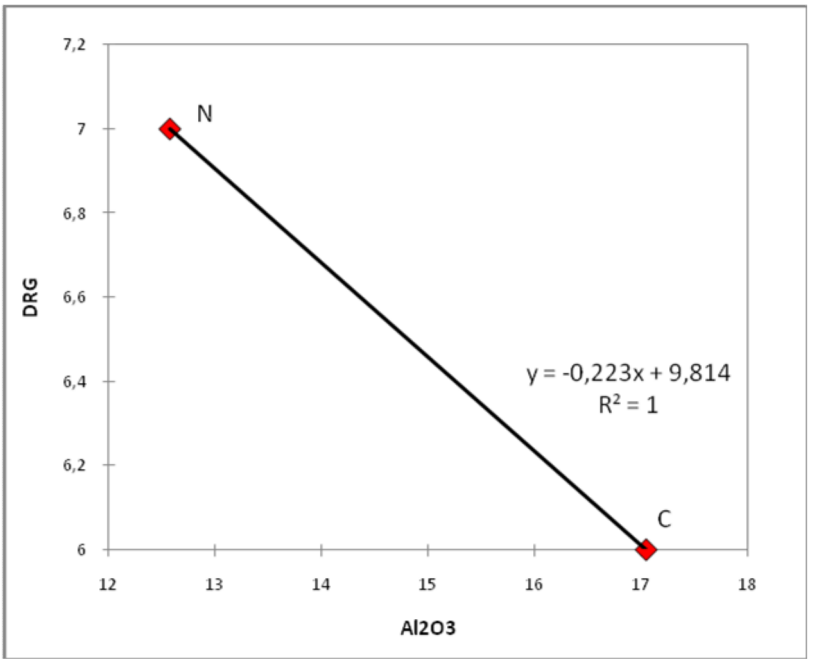


Fig. 43 : Corrélation DRG/ Al_2O_3

Diagramme de corrélation DRG/Fe_2O_3 : indique une très forte diminution de la dureté relative globale (DRG) avec les hautes teneurs de Fe_2O_3.

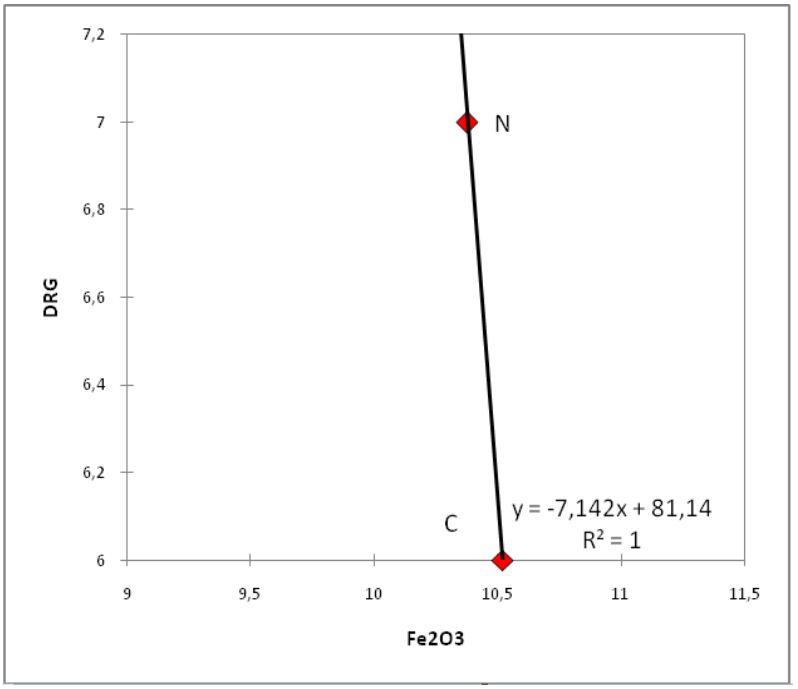


Fig. 44 : Corrélation DRG/Fe2O3

Digramme de corrélation DRG/ CaO: affiche une hausse importante de la dureté relative globale (DRG) en fonction des hautes teneurs de la chaux CaO.

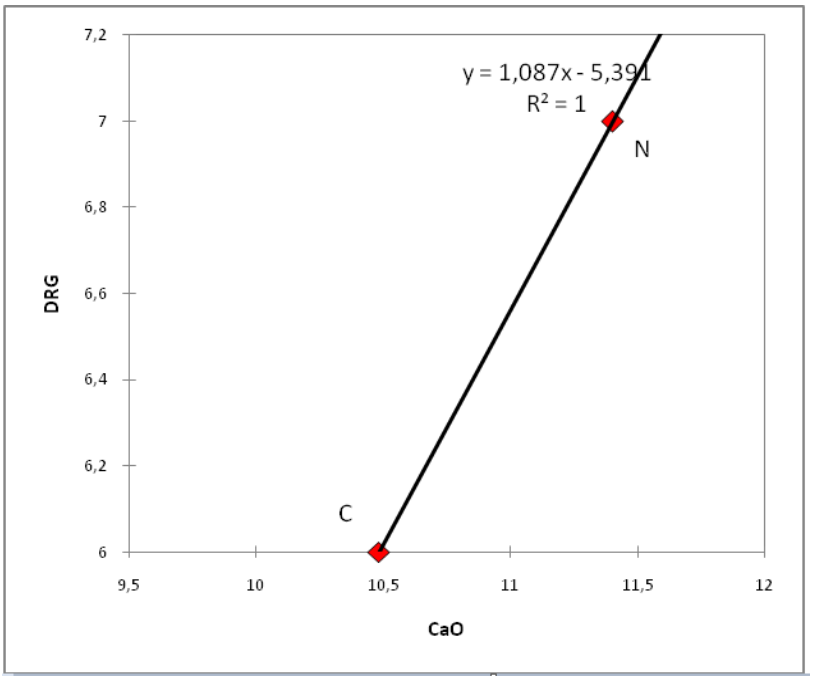


Fig. 45: Corrélation DRG/CaO

Digramme de corrélation DRG/ MgO : présente une importante hausse de dureté relative globale (DRG) en fonction des hautes teneurs de MgO.

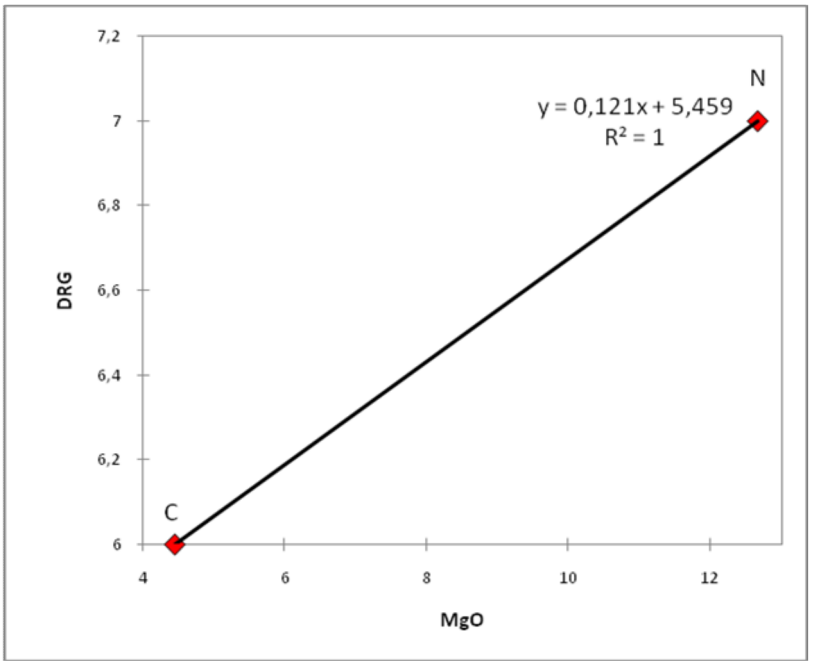


Fig. 46 : Corrélation DRG/ MgO

Digramme de corrélation DRG/ K_2O Na_2O : caractérise une très faible dureté relative globale (DRG) en fonction des hautes teneurs des alcalins (K_2O Na_2O).

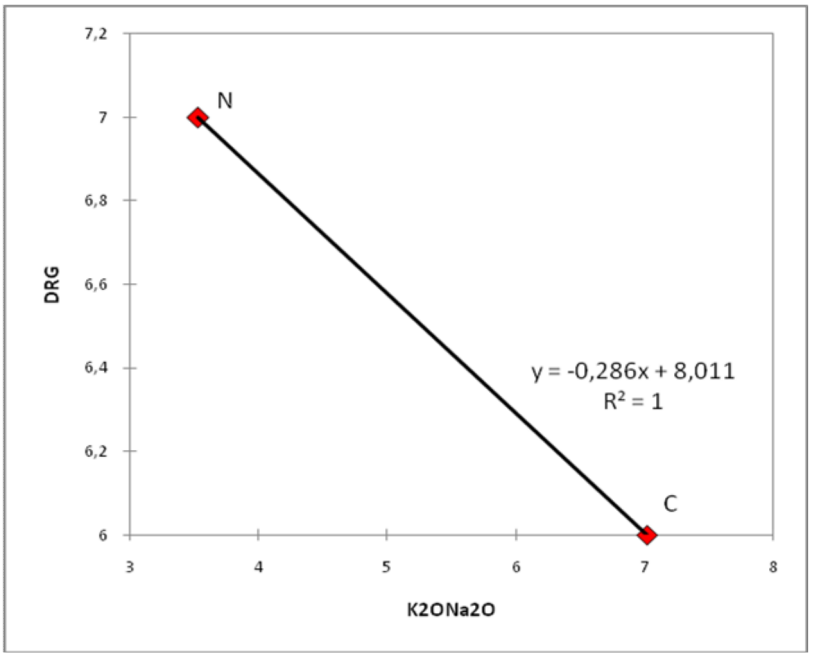


Fig. 47 : Corrélation DRG/ K_2O Na_2O

CONCLUSION GENERALE

Au l'issue de cette étude basée sur les corrélations entre les propriétés pétro-géochimiques et les caractéristiques géotechniques effectuées sur les échantillons prélevés de l'affleurement magmatique de Ain Témouchent, on a constaté que **:**

- Les analyses géochimiques à la fluorescence X, ont permis de préciser la nature pétrographique de ces roches qui, en général correspondent à des roches basiques à tendance ultra basiques de type basanite et téphrite.

- Les valeurs de la PAF, augmentent manifestement avec les hautes teneurs de SiO_2, Al2O3 et des K_2O Na_2O, tous ces oxydes constituent la structure du cortège minéral des plagioclases qui, sont en grande partie, **semble t'il,** responsable de l'altération de nos échantillons issus d'un magma basaltique et transformés en basanite et téphrite. Cependant, cela a été amplement constaté lors de l'étude microscopique où, les microlites de plagioclases sont très faiblement discernables, et aussi par l'absence des plagioclases en lattes. Toutefois, l'altération des plagioclases est partiellement associée à celle des férro-magnésiens pour donner naissance aux minéraux d'altération tels que les chlorites et la calcite qui, font partie de la mésostase. D'autant plus que la DRG, vérifie clairement cette constatation en fonction des mêmes oxydes.

- Les essais géotechniques, en termes de Los Angeles (LA) et Micro-Deval Humide (MDE), ont donné les propriétés suivantes **:**

✓ Les valeurs de LA, indiquent une bonne résistance physico-mécanique aux chocs de nos échantillons avec les hautes valeurs de SiO_2, Al_2O_3 et des K_2O Na_2O, alors qu'elle est faible en fonction des valeurs élevés de MgO et de CaO.

✓ Les valeurs de MDE, expriment une bonne résistance physico-mécanique à l'abrasion par usure avec les hautes teneurs de MgO et Fe_2O_3 qui, dominent dans les ferromagnésiens, partiellement altérés, alors qu'elle diminue au contraire avec les hautes teneurs de SiO_2, Al_2O_3 et de CaO, présent principalement dans les plagioclases.

✓ pour les valeurs de DRG, on remarque que la dureté relative globale est très faible en fonction des hautes teneurs de SiO_2, Al_2O_3 et des K_2O Na_2O, dominant dans les plagioclases, et diminue fortement avec les valeurs élevés des Fe_2O_3 en raison de leur haute sensibilité à l'oxydation, alors qu'elle est assez bonne en fonction des hautes valeurs de MgO et de CaO, présent essentiellement dans les ferromagnésiens.

En conclusion, les résultats obtenus à partir des analyses pétro géochimiques et des essais géotechniques, ont vérifié clairement que les échantillons prélevés au Sud, Est et à l'Ouest du massif, indiquent une altération plus au moins avancée dans la partie supérieure de l'affleurement, en raison de la proximité de la mer, d'où l'influence de l'humidité marine, et du passage des oueds (cours d'eaux) qui, en coulant par intermittence, altèrent les roches de surface par infiltration des eaux à travers les fissures et les plans de fracturations, associant d'autre part, le faible contraste thermique entre l'hiver et l'été. Excepté, les échantillons du Centre et du Nord qui, présentent un niveau de qualité médiocre. Ce qui nous permet de recourir au décapage et déblaiement de toute la partie supérieure de l'affleurement, couvrant les niveaux non atteint par l'altération, dans le but d'un projet d'ouverture de carrières pour la production des granulats.

Bibliographie

1) **A. BEY ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI:** « station géante EL-MALAH, rapport d'étude géologique du gisement de d'HAR EL-MENDJEL:ENG » **; novembre 1996.**

2) **ALIAS J. :** « La voie ferrée », Eyrolles **; 1984.**

3) **ALLOU Ismail, OTSMANE Belkacem : «** Etude des caractéristiques géologiques et géotechniques des roches basiques, pour la production des granulats**»**, PFE G.Minier ENP d'Alger, 70 pages **; 2010.**

4) **ARAB Karima, BOUZIANE Hadjer :** « Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballas», Projet d'ingénieur d'état, université FERHAT ABBAS, Sétif **; 2008.**

5) **BELLAIR P.**, **POMEROL C. : «** Elément de géologie **»**, 8ième édition, Collection U -Armand Colin, 495 pages **; 1984.**

6) **BORDET M. :«** Géologie- Schémas et croquis des cours et conférences **»**, Ecole Centrale des Arts et Manufactures, 253 pages **; 1979.**

7) **Carte géologique de l'Algérie** aux 1/500 000 2 eme éditions **; 1951-1952.**

8) **CHANANE Larouci : «**COMPORTEMENT ET INFLUENCE DES QUALITES DU BALLAST SUR LA CIRCULATION DES TRAINS **»**, Mémoire de magister, Institut Supérieur de Formation Ferroviaire ISFF 67pages **; 2008.**

9) **CH. Younsi ingénieur géologue : «** projet systématique Ain témouchent **:** recherche et étude sommaire des principaux indices de matières premières aptes à la production de matériaux de construction et de poudre de calcium pour peinture et aliments de bétail ENDMC/UUREG Boumerdes**» ; octobre 1994.**

10) **DUPAIN ; LANCHON ; ARROMAN, ST. «** Granulats, Sols, Ciments et Bétons**»**, 3ème édition – 236 pages **; 2004.**

11) **C. Pomerol, Y. Lagabrielle, M. Renard ; J. D. Winter«** les roches magmatiques**» ; 2005.**

12) **ELIZABETH A., Hunt P.E.:** « MICRO-DEVAL COARSE AGGRAGATE TEST EVALUATION », Oregon, pp. 1-13**; 2001.**

13) **ENG :** « Normes des essais géotechniques des granulats du ballast » **; 1993.**

14) GIDEL G. « Comportement et valorisation des graves non traitées de calcaires utilisées pour les assises de chaussées souples**»**. Thèse de Doctorat, EDSPI. Université de Bordeaux I - 251 pages **; 2001.**

15) Google earth : Site Internet.

16) HABIBALLAH T. « Modélisation des déformations permanentes des graves non traitées. Application au calcul de l'orniérage des chaussées souples**»**. - Thèse de doctorat Génie civil, Université de Limoge - 177 pages **; 2005.**

17) H. Welemane : « Le matériau béton Cours spécifique de Génie Civil **»** Semestres 4 Ecole nationale d'ingénieurs de Tarbes ; **2005.**

18) JEUFFROY, G. ; SAUTEREY, R. : « Cours de routes : contrôles et qualité - Presses de l'école nationale des ponts et chaussées**»** 645 pages **; 1991.**

19) Makhaly BA. : «Identification géotechnique de matériaux concasses-types en corps de chaussées et évaluation de leur qualité**»** Université Cheikh Anta Diop – DEA département de géologie **; 2008.**

20) MILNITCHOUK V., ARABADJI M. :« Géologie Générale », Ed. Moscou, 440p **; 1983.**

21) Office National de la géologie : Carte géologique de Ain Temouchent 1/50 000, (Feuille 209/B: 11/C: 5) **; 1987.**

22) PASQUET J. F. :« Synthèse granulats Bassin Parisien », (1ère partie), Rapport BRGM/RP-52106 FR, pp. 9-32 **; janvier 2003.**

23) RICHARD Maillot : «Mémento technique des granulats», Les Presses de l'Ecole des Mines **; 2001.**

24) Technique de l'ingénieur Référence C902 10 août **; 2007.**

25) YIPING Wu et al: « Aggregate Toughness/Abrasion resistance and Durability/Soundness Tests related to asphalt concrete performance in pavements », Alabama/Georgia USA, pp. 1-21**; Janvier 1998.**

Annexe 01

Mode opératoire pour la préparation et la construction de Lames minces

La plupart des minéraux en grains qui constituent nos échantillons ne se laissent pas traverser par les rayons lumineux. Pour les observer au microscope, il est nécessaire de réaliser une préparation de très faible épaisseur appelée lame mince. Sa fabrication passe par quatre étapes principales : le sciage de la roche, le collage d'un échantillon sur une lame de verre, le sciage de la préparation, la réalisation de la lame mince proprement dite par usure de l'échantillon

1. Le sciage de la roche : Il est réalisé à l'aide d'une scie circulaire diamantée. Deux coupes parallèles espacées d'environ 1 cm permettant de détacher une plaque de roche dans laquelle on découpe enfin un fragment ayant une taille d'un morceau de sucre (fig. 01).



Figure 01 : sciage de la roche

2. Le collage sur lame de verre : l'une des faces du "morceau de sucre" est aplanie à l'aide d'un tour à plateau horizontal par usure avec un abrasif. Cette face rectifiée est alors collée sur une plaque de verre par du "baume du canada" (fig. 02).



Figure02 : collage sur la lame de verre

3. le sciage de la préparation: le fragment de roche collé sur la lame est à nouveau découpé à la scie diamantée pour réduire son épaisseur à environ 1 à 2 mm (Fig. 03).

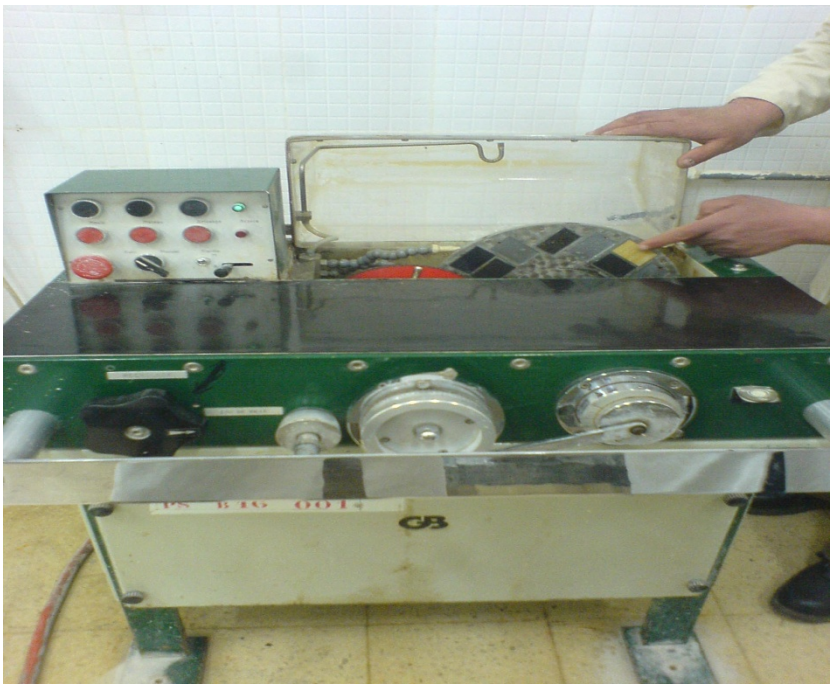


Figure 03 : sciage de la préparation (CETIM, mai 2011)

4. La réalisation d'une lame mince : ensuite amincir encore cette section par usure sur le plateau du tour à l'aide d'une poudre abrasive de classe 200-300 (cette poudre est amené de l'ORGM), et la classe 600 pour la finition (Fig. 04).



Figure 04 : réalisation d'une lame mince

En fin d'opération, le technicien contrôle avec un microscope polarisant le parallélisme des faces, et l'épaisseur de la préparation doit être de 30 µm. A cette épaisseur, la plupart des

minéraux sont transparents à la lumière et ils peuvent être étudiés sous un microscope.On recouvre ainsi la préparation par collage d'une lamelle protectrice.

ANNEXE O2

Mode opératoire pour la préparation des échantillons de roches aux analyses géochimiques par fluorescence X :

Les analyses géochimiques effectuées au laboratoire du CETIM de boumerdes à l'aide d'un spectromètre de fluorescence, exprimant les résultats en pourcentage poids pour les éléments majeurs (oxydes) et en ppm pour les éléments mineurs (traces), sont consignés dans un tableau (tab. 8).

1. Procédure

1.1. Préparation mécanique des échantillons : d'abord, on a procédé par :

- concassage de nos cinq échantillons pour obtenir des fragments de différentes tailles,
- prise d'une petite quantité de chaque échantillon,
- et broyage jusqu'à obtention d'une poudre de ≤80µm.

1.2. Détermination de la perte au feu : (EN 196-2)

Selon le processus suivant :

- Peser dans un creuset en platine préalablement séché et taré 1± 0.05 g de ciment.
- Mettre le creuset et son contenu, menu de son couvercle dans le four à une température stabilisée à 975 ± 25°C.
- Retirer le couvercle du creuset du four au bout de 5min et laisser le creuset dans le four pendant 10min supplémentaires,
- refroidir le creuset dans un dessiccateur à température ambiante,
- peser et remettre le creuset et son contenu dans le four pendant une durée de 15min et repeser.
- La différence entre les deux pesées doit être < 0.0005 g sinon remettre de nouveau le creuset dans le four pendant 15 autres min jusqu' à satisfaction de cette condition par les deux dernières pesées successives.

$$\% \text{ perte au feu} = (M_i - M_f) \times 100$$

M_i : masse initiale (prise d'essai)
M_f : masse finale (produit calciné)

1.3. Confection de perles

Mode opératoire pour l'oxydation des éléments chimiques :

- Peser dans un creuset en platine (creuset pour perleuse), préalablement séché et taré à 1g d'échantillon.
- Ajouter 5g de fondant (le titraborate de lithium $Li_2B_4O_7$).
- Mélanger le contenu avec une spatule pour bien homogénéiser.
- Mettre le creuset avec son contenu ainsi que la coupelle dans la perleuse (endroits prévus pour ces objets).

- Lancer le programme d'élaboration de perle de la façon suivante (Fig. 01):
    - ✓ allumer le disjoncteur principal,
    - ✓ mettre en marche le compresseur puis le refroidisseur,
    - ✓ allumer le disjoncteur de l'appareil,
    - ✓ allumer la perleuse avec le bouton vert (ON),
    - ✓ choisir le programme approprié et appuyer sur le bouton jaune (Start) pour le lancer,
    - ✓ après arrêt du programme et refroidissement de la coupelle, retirer la coupelle avec une pince et procéder au détachement de la perle juste en retournant la coupelle.
    - ✓ pour arrêter l'appareil, procéder de la façon inverse à l'opération de lancement,
    - ✓ A la fin de l'opération, tous les échantillons auront l'aspect d'un morceau de verre.



Figure 01 : Opération de perle (CETIM, Mai 2011)

1.4. Pose des échantillons dans un spectromètre de fluorescence X :

Dans cette dernier étape, on met le morceau de verre dans un spectromètre de fluorescence **X** (Fig. 02) qui, fonctionne automatiquement à l'aide d'un logiciel installé sur un ordinateur. On opte pour le choix du type d'échantillon, pour notre cas, il s'agit des échantillons de basalte, et on lance l'analyse.

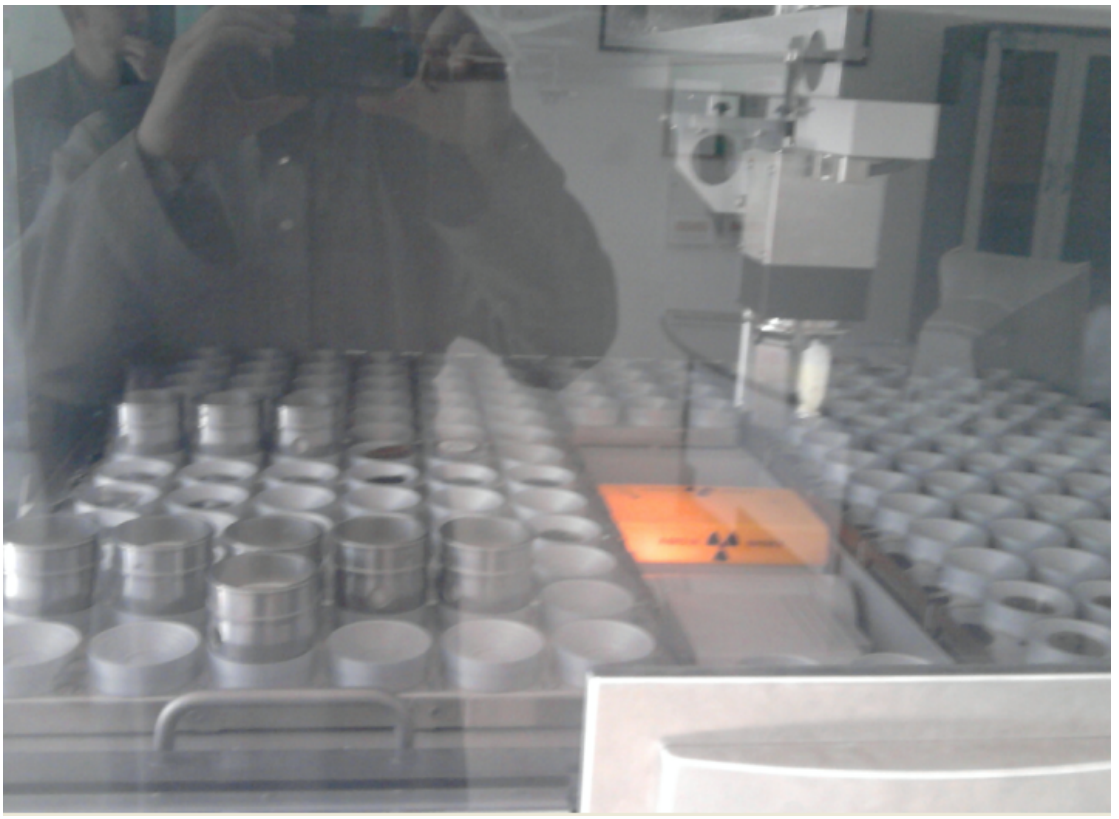


Figure 02 : spectromètre de fluorescence X (CETIM, Mai 2011)

Les résultats des compositions chimiques et les teneurs seront imprimés à la fin de l'opération.

1.5. Résultats : pour ce qui concerne les résultats obtenus dans le cadre de notre travail, les analyses géochimiques de nos échantillons sont affichés en pourcentage poids des éléments majeurs dans le tableau 01 suivant :

Echantillons	PAF %	%	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	SO_3 %	K_2O %	Na2O %	P_2O_5 %	TiO_2 %
E	**2.79**	**100**	**44.57**	**15.21**	**10.37**	**11.65**	**8.44**	**0.01**	**0.81**	**2.94**	**0.62**	**2.59**
C	**2.77**	**100**	**44.59**	**17.05**	**10.52**	**10.48**	**4.44**	**0.01**	**1.16**	**5.86**	**0.76**	**2.36**
N	**2.34**	**100**	**43.93**	**12.58**	**10.38**	**11.40**	**12.66**	**0.01**	**0.72**	**2.81**	**0.57**	**2.60**
W	**2.49**	**100**	**44.17**	**17.39**	**11.47**	**11.00**	**4.53**	**0.01**	**0.66**	**4.56**	**0.87**	**2.85**
S	**2.64**	**100**	**45.99**	**17.34**	**9.41**	**9.96**	**4.81**	**0.01**	**1.19**	**5.74**	**0.55**	**2.35**

Tableau01 : pourcentage des éléments majeurs

ANNEXE 03

Matrice de corrélation de Pearson

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K_2O-Na_2O	PAF	LA	MDE	DRG
SiO2	1	0,543	-0,784	-0,776	-0,504	0,643	0,439	-0,053	0,287	-1,000
Al2O3	0,543	1	0,065	-0,681	-0,995	0,799	0,519	-0,237	0,403	-1,000
Fe2O3	-0,784	0,065	1	0,476	-0,089	-0,273	-0,248	-0,030	-0,033	-1,000
CaO	-0,776	-0,681	0,476	1	0,690	-0,945	-0,205	0,648	0,161	1,000
MgO	-0,504	-0,995	-0,089	0,690	1	-0,828	-0,528	0,294	-0,364	1,000
K2ONa2O	0,643	0,799	-0,273	-0,945	-0,828	1	0,379	-0,649	-0,042	-1,000
PAF	0,439	0,519	-0,248	-0,205	-0,528	0,379	1	0,357	0,809	-1,000
LA	-0,053	-0,237	-0,030	0,648	0,294	-0,649	0,357	1	0,763	1,000
MDE	0,287	0,403	-0,033	0,161	-0,364	-0,042	0,809	0,763	1	-1,000
DRG	-1,000	-1,000	-1,000	1,000	1,000	-1,000	-1,000	1,000	-1,000	1