

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECOLE DOCTORALE INGENIERIE ET ENVIRONNEMENT

Option : Mines et Environnement

Intitulé

*Utilisation des roches magmatiques intermédiaires en ballastage*

Présenté par:

M<sup>r</sup> MOUSSAI Mohamed Abdallah

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

Soutenu le 16 Juin 2010 devant le Jury:

	Nom	Prénom	Etablissement
Président	BALI	Abderrahim	Professeur à l'ENP.
Rapporteur	SEBAI	Amar	Maître de conférences à l'ENP.
Examineurs	AIT MOKHTAR	Khadija	Maitre de conférences à USTHB.
	HDDADI	Smail	Maitre de conférences à USTHB.



# Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur A. SEBAÏ, pour sa disponibilité, sa patience et ses conseils tout au long de ce travail. Mes remerciements vont également aux enseignants du département Génie Minier qui ont contribué à ma formation.

Ma gratitude va également aux membres du jury qui ont bien voulu m'honorer par leur présence à la soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements :

➤ A toute l'équipe du laboratoire CETIM de Boumerdes et celui du LNHC de Oued Smar pour leurs collaboration.

➤ A la responsable du centre de documentation, qui m'a facilité la consultation des ouvrages et des documents au niveau de l'ENG.

➤ A la Direction et au personnel de l'ENG.

➤ A la Direction et au personnel de l'ONEX de Boumerdes.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers et merveilleux parents, sources d'affection et d'encouragement.*

*Mes chers frères.*

*Ma chère et unique sœur.*

*Mes chers amis.*

*Mohamed Abdallah*

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد خصائص الجيوتقنية بالأخص لوس أنجلس و ميكرو دوفال. والجيوكيميائية من العناصر الكبيرة المكونة للاحجار المغماتية المعتدلة، النتائج المحصل عليها المرتكزة على رسومات بيانية للإرتباطات الموجودة بين الجيوتقنية والجيوكيميائية من الاكسيدات المكونة لعينات من الاحجار لثلاث محاجر الموجوده في الشمال الجزائري تبين انه يمكن أن توجد بعض العلاقات بين هاته التجارب الجيوتقنية والتحليل الجيوكيميائية والتي قد تستعمل كمعايير إختيار لنوعية الحجارة المغماتية المعتدلة الممكن إستعمالها كمواد البلاست للسكك الحديدية.

**الكلمات المفتاحية :** الجيوتقنية , الجيوكيميائية , الاحجار المغماتية المعتدلة , البلاست , لوس انجلس, ميكرو دوفال, أندزيت, غرانو ديوريت .

## Résumé

L'objectif de cette étude est la détermination des caractéristiques géotechniques, principalement le Los Angeles et le Micro Deval et géochimiques en éléments majeurs des roches magmatiques intermédiaires de types andésite et granodiorite. Les résultats obtenus basés sur des diagrammes de corrélation entre la géotechnique et la géochimie basée sur certains oxydes d'échantillons de roches provenant de trois carrières de granulats situées sur le littoral algérien ont montré l'existence possible de relations entre ces essais géotechniques et ces analyses géochimiques et qui pourraient servir de critères pour le choix d'un type de roches intermédiaires comme matériau de ballast de voie ferrée.

### Mots clés :

Géotechnique, géochimique, roches magmatiques intermédiaires, ballast, Los Angeles, Micro Deval, andésite, granodiorite.

## Abstract

The objective of this study is the determination of the characteristics geotechnics mainly Los Angeles and the Micro Deval and geochemical in major elements of the intermediate magmatic rocks. The results obtained based in correlation diagram between geotechnics and geochemical in some oxyde of rocks from three aggregates quarries located on the Algerian coast, showed that certain correlations could exist between these geotechnics tests and these geochemical analyses and who could be used as criteria for the choice of a type of intermediate magmatic rocks like material of ballast of way track.

### Keys words:

Geotechnic, geochemical, intermediate magmatic rocks, ballast, Los Angeles, Micro Deval, Andesit, granodiorit



## *Table des matières*

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>01</b>
<b>Chapitre I : LES ROCHES MAGMATIQUES</b> .....	<b>01</b>
<b>I-2-Les roches magmatiques intermédiaires</b> .....	<b>02</b>
<b>I-2-1-Les roches plutoniques ou intrusives</b> .....	<b>03</b>
<b>I-2-2-Les roches volcaniques ou effusives</b> .....	<b>05</b>
<b>I-3-Le Magmatisme en Algérie</b> .....	<b>07</b>
<b>I-3-1- La Plate-forme Saharienne</b> .....	<b>07</b>
<b>I-3-2- Le magmatisme de l'Algérie du Nord</b> .....	<b>09</b>
<b>Chapitre II : GEOLOGIE DES SITES D'ETUDE</b> .....	<b>14</b>
<b>II-1-Introduction</b> .....	<b>14</b>
<b>II-2-La Carrière de Sidi El-Houari</b> .....	<b>14</b>
<b>II-2-1-Aperçu géologique régional</b> .....	<b>15</b>
<b>II-2-2-Géologie du gisement</b> .....	<b>19</b>
<b>II-3-La Carrière de Ahmer El-Ain</b> .....	<b>19</b>
<b>II-3-1-Géomorphologie</b> .....	<b>20</b>
<b>II-3-2-Géologie du gisement</b> .....	<b>21</b>
<b>II-4-La Carrière de Si Mustapha</b> .....	<b>21</b>
<b>II-4-1-Géologie régionale</b> .....	<b>22</b>
<b>II-4-2-Géologie du gisement</b> .....	<b>25</b>
<b>Chapitre III: ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOCHIMIQUE</b> .....	<b>28</b>
<b>III-1-Les essais Géotechniques</b> .....	<b>28</b>

<b>III-1-1-Définition du ballast</b> .....	<b>28</b>
<b>III-1-2-Caractéristiques mécaniques</b> .....	<b>28</b>
<b>III-1-3- Expérimentation</b> .....	<b>29</b>
<b>III-1-4- Résultats des essais</b> .....	<b>32</b>
<b>III-2-Les analyses Géochimiques</b> .....	<b>33</b>
<b>III-3-Relation géochimie-géotechnique</b> .....	<b>34</b>
<b>III-3-1-Les Diagrammes de Corrélation</b> .....	<b>35</b>
<b>III-4-Relation chimie-géotechnique</b> .....	<b>51</b>
<b>III-4-1-Les Diagrammes de Corrélation</b> .....	<b>52</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>69</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 01</b> : Composition chimique et normative moyenne de quelques roches magmatiques intermédiaires intrusives .....	04
<b>Tableau 02</b> : Composition chimique et normative moyenne de quelques roches magmatiques intermédiaires effusives .....	06
<b>Tableau 03</b> : Les roches magmatiques intermédiaires d'Algérie .....	13
<b>Tableau 04</b> : Coordonnées de la carrière de Sidi El Houari .....	14
<b>Tableau 05</b> : Coordonnées du périmètre.....	20
<b>Tableau 06</b> : Résultats des essais géotechniques .....	32
<b>Tableau 07</b> : Résultats des analyses géochimiques .....	33
<b>Tableau 08</b> : Résultats géotechniques et géochimiques .....	34
<b>Tableau 09</b> : Normes admissibles .....	51
<b>Tableau 10</b> : Récapitulation des résultats de la Granodiorite et des Andésites.....	52

## TABLE DES FIGURES

<b>Figure 01</b> : Les principales roches magmatiques et leurs compositions minéralogiques .....	1
<b>Figure 02</b> : Classification de Streckeisen.....	2
<b>Figure 03</b> : Répartition et âge du volcanisme récent en Afrique du Nord.....	12
<b>Figure 04</b> : Carte de situation géographique de la carrière « Sidi El Houari ».....	15
<b>Figure 05</b> : Carte géologique détaillée de la région de Tipaza.. ..	18
<b>Figure 06</b> : Carte de situation géographique de la carrière "Ahmer El Ain " ..	19
<b>Figure 07</b> : Carte de situation géographique de la carrière "Si Mustapha"...	22
<b>Figure 08</b> : Carte géologique détaillée de la région de Si Mustapha .....	26
<b>Figure 09</b> : Abaque de Dureté Relative Globale (DRG) .....	31
<b>Figure 10</b> : LA en fonction de $\text{SiO}_2$ .....	35
<b>Figure 11</b> : LA en fonction de $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	36
<b>Figure 12</b> : LA en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	36
<b>Figure 13</b> : LA en fonction de $\text{MgO}$ .....	37
<b>Figure 14</b> : LA en fonction de $\text{CaO}$ .....	37
<b>Figure 15</b> : LA en fonction des alcalins.....	38
<b>Figure 16</b> : LA en fonction de la perte à feu.....	38
<b>Figure 17</b> : MDE en fonction de $\text{SiO}_2$ .....	39
<b>Figure 18</b> : MDE en fonction de $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	39
<b>Figure 19</b> : MDE en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	40
<b>Figure 20</b> : MDE en fonction de $\text{MgO}$ .....	40
<b>Figure 21</b> : MDE en fonction de $\text{CaO}$ .....	41
<b>Figure 22</b> : MDE en fonction des alcalins.....	41
<b>Figure 23</b> : MDE en fonction de PAF.....	42
<b>Figure 24</b> : LA en fonction de $\text{SiO}_2$ .....	43

<b>Figure 25</b> : LA en fonction de $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	43
<b>Figure 26</b> : LA en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	44
<b>Figure 27</b> : LA en fonction de $\text{MgO}$ .....	44
<b>Figure 28</b> : LA en fonction de $\text{CaO}$ .....	45
<b>Figure 29</b> : LA en fonction des alcalins.....	45
<b>Figure 30</b> : LA en fonction de PAF.....	46
<b>Figure 31</b> : MDE en fonction de $\text{SiO}_2$ .....	46
<b>Figure 32</b> : MDE en fonction de $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	47
<b>Figure 33</b> : MDE en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	47
<b>Figure 34</b> : MDE en fonction de $\text{MgO}$ .....	48
<b>Figure 35</b> : MDE en fonction de $\text{CaO}$ .....	48
<b>Figure 36</b> : MDE en fonction des alcalins.....	49
<b>Figure 37</b> : MDE en fonction de PAF.....	49
<b>Figure 38</b> : LA en fonction de Si.....	51
<b>Figure 39</b> : LA en fonction de Al.....	52
<b>Figure 40</b> : LA en fonction de Fe.....	52
<b>Figure 41</b> : LA en fonction de Mg.....	53
<b>Figure 42</b> : LA en fonction de Ca.....	53
<b>Figure 43</b> : LA en fonction de Na.....	54
<b>Figure 44</b> : LA en fonction de K.....	54
<b>Figure 45</b> : LA en fonction des alcalins.....	55
<b>Figure 46</b> : MDE en fonction de Si.....	55
<b>Figure 47</b> : MDE en fonction de Al.....	56
<b>Figure 48</b> : MDE en fonction de Fe.....	56
<b>Figure 49</b> : MDE en fonction de Mg.....	57
<b>Figure 50</b> : MDE en fonction de Ca.....	57
<b>Figure 51</b> : MDE en fonction de Na.....	58

<b>Figure 52</b> : MDE en fonction de K.....	58
<b>Figure 53</b> : MDE en fonction des alcalins.....	59
<b>Figure 54</b> : LA en fonction de Si.....	59
<b>Figure 55</b> : LA en fonction de Al.....	60
<b>Figure 56</b> : LA en fonction de Fe.....	60
<b>Figure 57</b> : LA en fonction de Mg.....	61
<b>Figure 58</b> : LA en fonction de Ca.....	61
<b>Figure 59</b> : LA en fonction de Na.....	62
<b>Figure 60</b> : LA en fonction de K.....	62
<b>Figure 61</b> : LA en fonction des alcalins.....	63
<b>Figure 62</b> : MDE en fonction de Si.....	63
<b>Figure 63</b> : MDE en fonction de Al.....	64
<b>Figure 64</b> : MDE en fonction de Fe.....	64
<b>Figure 65</b> : MDE en fonction de Mg.....	65
<b>Figure 66</b> : MDE en fonction de Ca.....	65
<b>Figure 67</b> : MDE en fonction de Na.....	66
<b>Figure 68</b> : MDE en fonction de K.....	66
<b>Figure 69</b> : MDE en fonction des alcalins.....	67

# INTRODUCTION

Le ballast, un des éléments support de la voie, est un granulat provenant du concassage de roches. Il assure entre autres la fonction de transmission et répartition des charges statiques et dynamiques induites par les circulations des trains, afin d'assurer leur sécurité et le confort des voyageurs.

Les granulats de ballast ont en général un diamètre de 25 à 50 mm, et proviennent du concassage de roches calcaires ou magmatiques. Le choix du type de roches utilisées dépend de :

- Sa disponibilité (existence de gisements) ;
- La possibilité de son exploitation ;
- Le coût de revient de son exploitation et son transport ;
- Ses qualités géomécaniques et géologiques.

Cependant, le granulat utilisé par le réseau ferroviaire national, qui provient principalement de roches carbonatées (calcaire) est de qualité médiocre par rapport aux normes internationales, d'où la nécessité de trouver d'autres types de roches pouvant satisfaire aux exigences de ces normes.

Ainsi, ce mémoire sera axé sur la détermination des caractéristiques géotechniques et géochimiques des roches magmatiques intermédiaires, issues de diverses carrières situées dans le littoral algérien, à savoir celles de Sidi el Houari et Ahmer el Ain situées à l'Ouest d'Alger, et celle de Si Mustapha se trouvant à l'Est de la capitale.

Cette étude est subdivisée comme suit :

- Une partie descriptive concernant les différents types des roches magmatiques qui existent en Algérie ;
- Une deuxième partie est consacrée à la description géologique de trois gisements de roches magmatiques intermédiaires, qui sont les andésites pour les carrières de Sidi el Houari et Ahmer el Ain et la granodiorite pour la carrière de Si Mustapha ;

➤ Une troisième partie portera sur l'étude géotechnique et géochimique des échantillons prélevés dans les sites choisis, et qui est suivie par l'élaboration de corrélations des essais géotechniques (Los Angeles et Micro Deval) en fonction de certains oxydes obtenus par la géochimie, ces diagrammes ont été établis à l'aide du logiciel SPSS17.

Enfin, les résultats de cette étude nous ont permis de trouver certaines corrélations entre les paramètres géochimiques et géotechniques pouvant servir de critères pour le choix d'un type de roches magmatiques intermédiaires comme matériau de ballast de la voie ferrée.

# Chapitre I

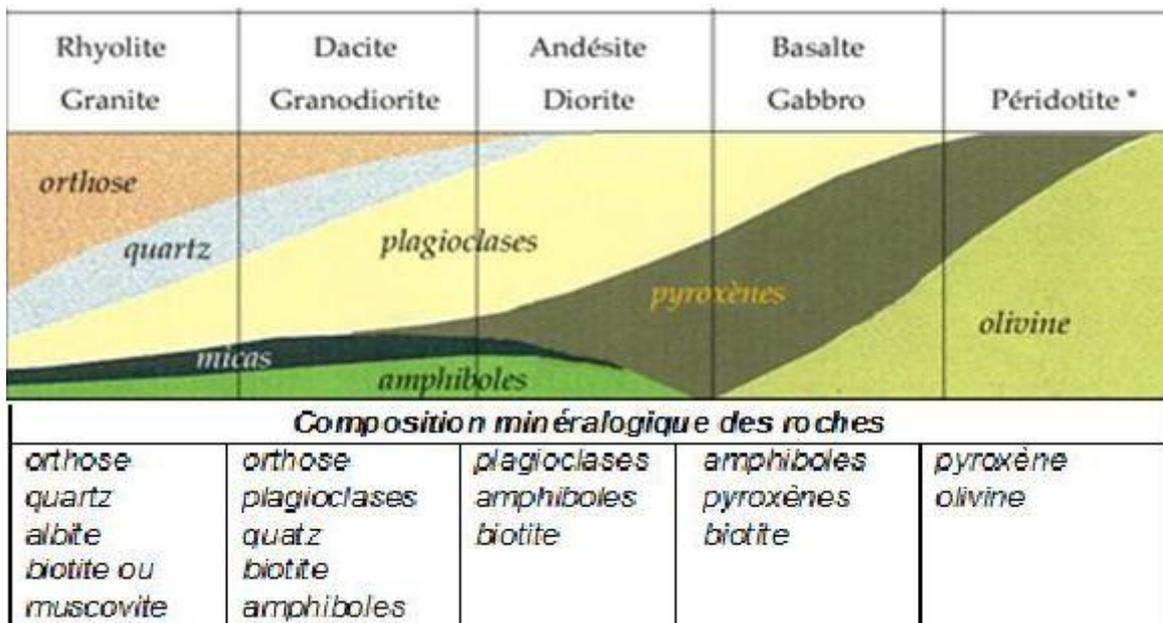
## LES ROCHES MAGMATIQUES

**I-1- INTRODUCTION**

On appelle roches magmatiques, les roches dont la matière provient directement des profondeurs de la Terre. Si la composition chimique du magma d'origine varie, cela entraîne généralement la cristallisation de minéraux différents et donc la formation de familles de roches différentes. On peut avoir pour une composition chimique identique (même magma originel), mais des textures très différentes. La figure 01 représente les principales roches magmatiques et leurs compositions minéralogiques.

Parmi les familles de roches magmatiques, on s'intéressera dans ce mémoire aux roches magmatiques intermédiaires.

Riche en Si et Na => pauvre en Si, riche en Fe, Mg et Ca => très pauvre en Si, riche en Fe et Mg



**Figure 01** : Les principales roches magmatiques et leurs compositions minéralogiques (site internet)

**I-2- LES ROCHES MAGMATIQUES INTERMÉDIAIRES**

Pour déterminer précisément les roches magmatiques effusives (structure microlithique) ou de profondeur (dites plutoniques), on se base sur la présence ou non de certains minéraux dits primaires. Seulement, dans beaucoup de cas, ces minéraux ne peuvent être observés (altération), et on est obligé d'effectuer des analyses chimiques pour déterminer la nature de la roche.

On distingue trois grandes familles de roches magmatiques, qui ont pour origine le degré de saturation en silice de la roche. Ainsi, une roche sera dite sursaturée en silice (supérieure à 65%) si elle exprime du quartz sous forme de cristaux. Une roche sera dite sous-saturée (silice inférieure à 45%) si elle contient des feldspathoïdes, minéraux extrêmement déficitaires en silice. Entre les deux, se situent les roches saturées, dites intermédiaires (entre 52 et 65% de silice) qui ne contiendront ni quartz ni feldspathoïdes (dans la limite d'une tolérance de 10%), mais seulement des minéraux de feldspaths (Cailleux et Chavan, 1965; Theobald et Gamma., 1969).

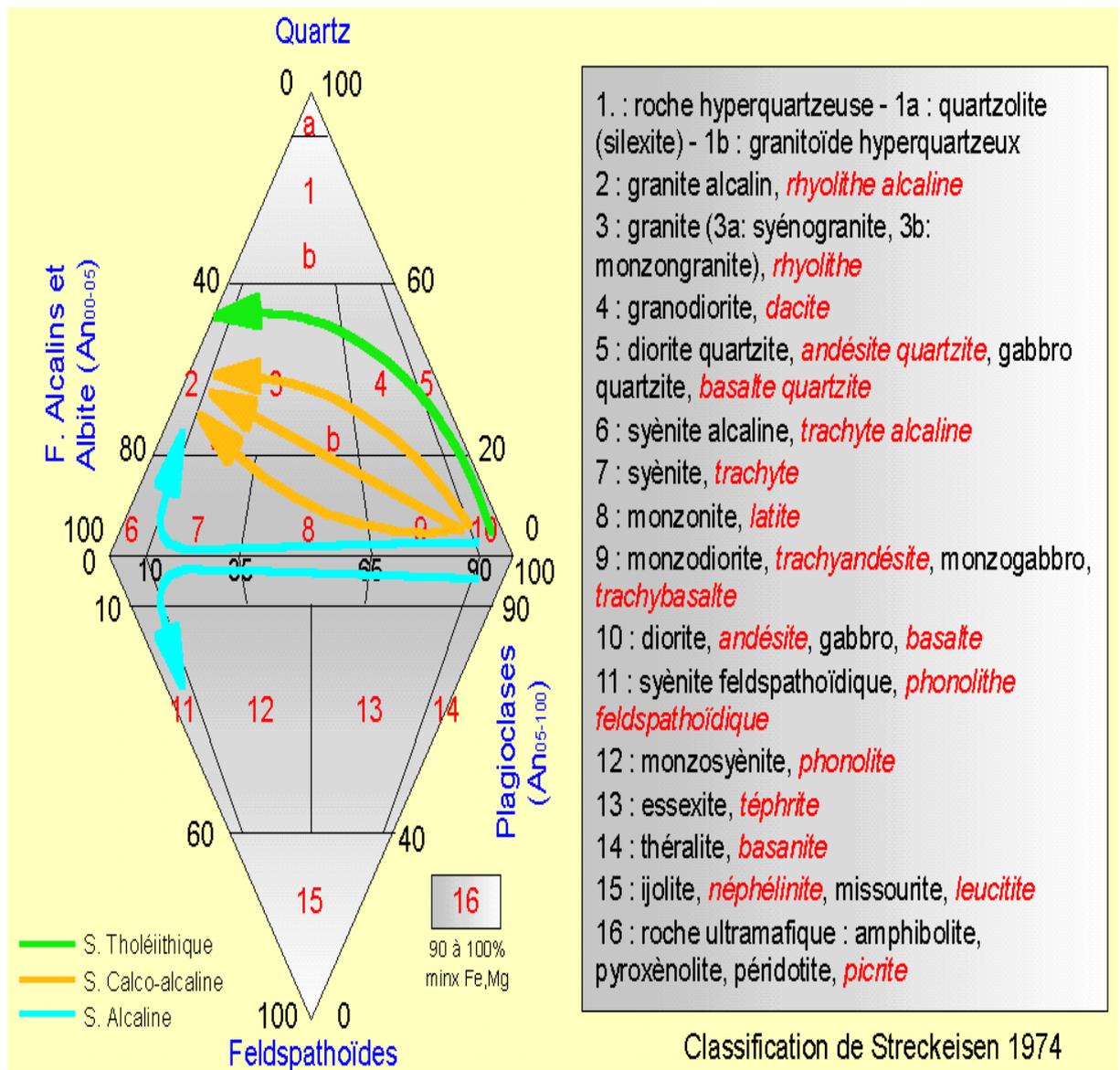


Figure 02 : Classification de Streckeisen, 1974 (site internet)

### **I-2-1- Les roches plutoniques ou intrusives**

#### ***a) La Granodiorite***

C'est une roche assez fréquente, intermédiaire entre les granites et les diorites. Equivalente à la rhyodacite (microlitique), elle est grenue et composée principalement de plus de 10% de quartz et de feldspaths (plagioclases dominants par rapport à l'orthose). Les minéraux ferro-magnésiens sont la biotite, l'amphibole (hornblende) et le pyroxène (Foucault, 1984).

#### ***b) La Diorite quartzique***

C'est une roche grenue renfermant du quartz, du plagioclase et des minéraux ferro-magnésiens. En général, les diorites quartziques ne contiennent pas de feldspath potassique et sont plus sombres que le granite, où la hornblende et la biotite, sont les minéraux ferro-magnésiens prédominants (Cailleux et Chavan, 1965; Jung, 1977).

#### ***c) la Syénite***

Elle est aussi grenue et dépourvue ou pauvre en quartz, et dont le minéral essentiel est le feldspath alcalin (microcline, orthose, anorthose). Les minéraux ferro-magnésiens qui s'y trouvent sont la biotite, la hornblende ou l'aegyrine (Jung, 1977).

#### ***d) La Monzonite***

De couleur claire, la roche a une composition intermédiaire entre celle des syénites alcalines et celle des diorites. Les monzonites sont remarquables par leur structure, dite « structure monzonitique » où de grands cristaux d'orthose moulent ou enclavent les plagioclases. Dans cette roche, le quartz est peu abondant, le plagioclase correspond à de l'andésine et le principal minéral ferro-magnésien est l'augite.

En général la quantité d'orthose est égale à celle des plagioclases dans une monzonite. Si la proportion d'orthose est supérieure à celle des plagioclases, la roche est nommée « Mangérite » (Jung, 1977).

e) *La Diorite*

C'est une roche formée de minéraux visibles à l'œil nu et sensiblement de même taille. Elle comprend, au moins un plagioclase surtout de type andésine et un ou plusieurs minéraux colorés. Ces derniers occupent environ le tiers de la surface. Suivant la nature du minéral coloré prédominant, la diorite est dite à amphibole (hornblende), à mica noir ou à pyroxène. Le quartz est absent ou très rare. De près, l'aspect des diorites est moucheté, mais de loin la couleur d'ensemble est gris, plus rarement gris-vert, exceptionnellement gris-rosé (Cailleux et Chavan, 1965).

**Tableau 01** : Composition chimique et normative moyenne de quelques roches magmatiques intermédiaires intrusives (Cailleux et Chavan, 1965)

Eléments majeurs	Granodiorite	Diorite quartzique	Diorite	Les minéraux	Diorite quartzique	Diorite
SiO <sub>2</sub>	66	65	60	Quartz	20	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16	16	14	Orthose	6	3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	6	7	Albite	56	65
MgO	2	3	4	Anorthite	0	0
CaO	4	3	5	Feldspathoïde	0	0
Na <sub>2</sub> O	4	3	3	Magnétite	2	2
K <sub>2</sub> O	3	3	2			
H <sub>2</sub> O	1	1	5			

### **I-2-2-Les roches volcaniques ou effusives**

#### ***a) La Rhyodacite***

C'est la roche effusive équivalente de la granodiorite, elle est intermédiaire entre une rhyolite et une dacite. Elle contient du quartz, de l'orthose rare ou parfois absent, des plagioclases de type oligoclase et andésine plus abondants, et souvent riche en mica noir (Jung, 1977 ; Foucault, 1984).

#### ***b) La Dacite***

En affleurement, elles sont généralement de couleur gris clair. Au microscope polarisant, on peut y observer des phénocristaux d'andésine (plagioclase), du quartz automorphe et des minéraux ferro-magnésiens baignant dans une pâte microlitique ou vitreuse. Les ferro-magnésiens des dacites peuvent être selon les cas : la biotite seule ou associée à de l'amphibole ou du diopside ou de l'hypersthène (Jung, 1977).

#### ***c) Le Trachyte***

C'est une roche microlitique effusive de couleur blanchâtre, grise à gris-verdâtre et un peu rugueuse au toucher. Elle comporte des phénocristaux de sanidine, de la biotite et de l'amphibole. On y trouve aussi des microlites d'anorthose, d'albite ou de sanidine. La mésostase vitreuse est peu abondante (Bellair et Pomerol, 1984).

#### ***d) La trachy-andésite***

Roche effusive équivalente à la monzonite, elle est de teinte gris clair à gris foncé, microlitique et constituée de plagioclases (oligoclase, andésine), de feldspaths alcalins (sanidine, orthose) avec soit de la biotite, soit de l'hypersthène, soit de l'amphibole ou l'augite (Jung, 1977 ; Foucault, 1984).

#### ***e) L'andésite***

C'est une roche microlitique qui se distingue généralement par des plagioclases de type andésine ou oligoclase ( $An < 50$ ) et plus rarement de biotite, d'amphibole (hornblende) et de

pyroxène ; les feldspaths potassiques en sont totalement absents. Les andésites se rencontrent en domaine continental de type marge active ou arc insulaire (zones de subduction). Sur des faciès anciens, on trouve fréquemment une forte proportion de chlorite et/ou d'épidote. C'est une roche leucocrate à la différence des basaltes plutôt sombres (meso à mélanocrates). La texture varie généralement, de l'aphanitique au porphyrique (Cailleux et Chavan , 1965 ).

**Tableau 02:** Composition chimique et normative moyenne de quelques roches magmatiques intermédiaires effusives (Foucault, 1984)

Eléments majeurs			Les minéraux		
	Dacite	Andésite		Dacite	Andésite
SiO <sub>2</sub>	63,6	54,2	Quartz	19,6	5,7
TiO <sub>2</sub>	0,6	1,3	Orthose	8,3	6,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,7	17,2	Albite	34,1	30,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	3,5	Anorthite	23,3	27,2
FeO	3,0	5,5	Feldspathoïde	-	-
MnO	0,1	0,1	Diopside	9,4	20,4
MgO	2,1	4,4	Hypersthène		
CaO	5,5	7,9	Olivine	-	-
Na <sub>2</sub> O	4,0	3,7	Magnétite	3,3	5,1
K <sub>2</sub> O	1,4	1,1	Ilménite	1,2	2,4
H <sub>2</sub> O	0,6	0,9	Apatite	0,3	0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	0,3			

## I-3-LE MAGMATISME EN ALGERIE

En tenant compte de la géologie algérienne, nous résumons dans ce qui suit les roches magmatiques qui existent en Algérie.

### I-3-1-La Plate-forme Saharienne

#### a) *Le Protérozoïque inférieur*

Il est constitué de :

- lambeaux d'un vieux socle archéen (gneiss, migmatites, granites) ;
- séries volcaniques (magmatisme d'Aftout) éburnéennes, où dominant des volcanites acides et des granites ;
- intrusions tardives sous forme de sills et de dykes de roches basiques (gabbros, diorites, dolérites, basaltes, lamprophyres ...). Ces formations sont rencontrées dans le Craton Ouest Africain, qui affleure dans l'extrémité orientale de la dorsale Reguibat (Bitam et Fabre, 1996; Thomas, 2005).

#### b) *Le Pharusien*

Les roches du Pharusien sont diverses ; on y rencontre bien souvent des granites de compositions différentes, ainsi que des diorites, des gabbros et des serpentines.

Dans certaines régions du Hoggar, des formations liées au Domaine Panafricain datées entre 870-840 Ma (Caby, 1970), se subdivisent en:

- Série verte constituée essentiellement de flyschs, de graywackes, de tufs, de conglomérats, avec des intercalations de *laves andésitiques* et *dacitiques* et de leurs brèches; cette série est recoupée par des diorites quartziques, des diabases et des *granodiorites* ;
- Série volcanique de Gara - Akfou - Taoudart et au Massacène dans l'Iforas, qui est constituée essentiellement de *laves andésitiques* intercalées avec des pyroclastites, des conglomérats polygéniques et des tufs et graywackes au sommet (Aliev et Ait Laoussine, 1971 ; Bitam et Fabre, 1996; Thomas, 2005; Chaouche, 2007-2008).

*c) Le Mésozoïque*

➤ *La partie orientale de la Plate-forme Saharienne* (Filali, 2000)

Les roches magmatiques de cette partie sont divisées en deux séries : inférieure (Hassi R'mel, Hassi Messaoud, Hassi Amrane) et supérieure (entre Nezla et Rhourde el Baguel). Ces formations magmatiques ne sont rencontrées qu'en sondage et elles se situent dans différents niveaux stratigraphiques, tels que le Cambro-Ordovicien et le Trias. D'après les études pétrographiques effectuées dans ces régions, ont été mis en évidence deux types de roches, à savoir :

- ✓ Les spilites : caractérisées par l'abondance de plagioclase de type albite et de chlorite ;
- ✓ Les dolérites : de texture inter-granulaire, dont les analyses géochimiques ont montré qu'il s'agit peut être de basaltes alcalins.

Cependant ces roches magmatiques ont été peu étudiées du point de vue géochronologique, ce qui ne permettait pas d'avoir un âge précis de ces dernières.

➤ *La partie occidentale de la Plate-forme Saharienne* (Chabou, 2008)

La partie occidentale de la Plate-forme Saharienne a été le siège d'une importante activité magmatique fini-triasique, qui s'est manifestée sous forme de coulées, de dykes et de sills qui couvrent une superficie de plus de 500.000 km<sup>2</sup>.

La série primaire des bassins de Tindouf, de Reggane et de Béchar est recoupée par de dykes auxquels sont associés des sills. Quelques coulées sont également connues en subsurface à l'Est de Béchar. Au Nord de Tindouf, les sills sont plus répandus et injectent les séries paléozoïques allant de l'Emsien au Viséen supérieur.

Dans la région Bled el Mess, des dykes orientés NE-SO traversent tout le Paléozoïque jusqu'au Namurien. Des sills sont interstratifiés dans le Dévonien supérieur et le Carbonifère ; tandis qu'au Nord-Est de Reggane, deux sills reliés par un dyke recourent les formations viséennes et dévoniennes.

Entre Béchar et Abadla, affleure un faisceau de dykes dont le principal est celui de Ksi-Ksou, qui recoupe tous les terrains paléozoïques jusqu'à l'Autunien. Enfin, au Nord-Ouest d'Abadla, des sills ou des coulées de basalte, reposent sur les formations rouges autuniennes.

L'étude pétrographique sur quelques échantillons de roches de ces régions a montré qu'il s'agit de basaltes à texture doléritique à ophitique. Les principaux minéraux sont le labrador, l'augite et les oxydes de fer dont essentiellement de la magnétite. Des plages de micropegmatite, de la biotite et de l'olivine peu abondante et souvent altérée, complètent la paragenèse. Les minéraux d'altération sont principalement la chlorite, la calcite et l'épidote. D'autre part, l'étude géochimique des dolérites et basaltes du Sud-Ouest algérien a montré que ces roches correspondent à de tholéiites continentales pauvres en titane.

Les datations  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  effectuées sur quelques échantillons de dolérites de ces régions ont donné des âges approximatifs situés entre  $192,7 \pm 3,0$  et  $198,9 \pm 1,8$  Ma, et un âge-plateau de  $198,9 \pm 2,3$  Ma a été obtenu sur plagioclases d'une dolérite du bassin de Tindouf.

### **I-3-2- Le Magmatisme de l'Algérie du Nord**

Le Nord de l'Algérie est délimité par les éléments suivants :

- Au Sud, l'Atlas Saharien correspondant à une chaîne de montagnes d'origine alpine ;
- Au Centre des plates-formes, comme la Méséta oranaise à l'Ouest et le môle d'Ain Regada à l'Est ;
- Dans la partie septentrionale se trouvent l'Atlas Tellien et une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur, ainsi que des bassins néogènes tardifs comme le Chélif et le Hodna, qui se sont installés sur ces nappes.

#### ***a) Le Cambrien et l'Ordovicien***

Deux types de roches éruptives apparaissent parmi les formations métamorphiques de la Petite Kabylie :

- Les roches basiques et ultrabasiques rencontrées en filons-couches horizontaux ou inclinés, sont contenues dans les micaschistes ;

• Les roches acides se trouvant le plus souvent dans les gneiss et étant représentées par des pegmatites, parmi lesquelles on peut citer par exemple le gisement de granite situé à Nedroma, au Sud de Nemours (Chaouche, 2007-2008).

### *b) Le Dévonien*

A la base du Dévonien moyen, apparaissent des microbrèches aux débris de phanites siluriennes et de roches magmatiques dans le miogéosynclinal tellien et dans la Kabylie (Aliev et Ait Laoussine, 1971, Askri et al, 1995)

### *c) Le Carbonifère*

La fin du Viséen est caractérisée par des écoulements de basaltes, *d'andésites* et de rhyolites, ce qui reflète le stade inverse de l'étape hercynienne. Au Westphalien, se manifestent les mouvements hercyniens majeurs, accompagnés de l'injection des granites syntectoniques (Aliev et Ait Laoussine, 1971).

### *d) Le Permien*

Dans les environs d'Oran, les couches du Permo-Trias montrent le faciès de schistes et de grès violacés. Des faciès semblables sont rencontrés dans le Djebel Daoui où les *andésites* sont surmontées par la formation schisteuse violacée à quartzites dont l'épaisseur va jusqu'à 500m (Aliev et Ait Laoussine, 1971; Askri et al, 1995).

### *e) Le Trias*

Dans la région de l'anticlinal de Tikjda- Ait Oubane, à la base du Trias reposent des conglomérats épais de 20m. Au milieu de cette série, il y a des bancs de roches éruptives dont le minéral essentiel est le feldspath (64%), à moindre degré le péridot (15%) et l'orthopyroxène (9%). Les intrusions triasiques étant en règle générale, situées à la limite de deux séries lithologiques différentes (Aliev et Ait Laoussine, 1971; Askri et al, 1995).

Dans la partie Nord- Ouest des Hauts Plateaux se développent des formations volcano-sédimentaires. Ces formations sont représentées par des conglomérats rouge-brun, des argiles vertes et rouges, des basaltes et plus rarement par des dolomies et des marnes. Les

conglomérats sont formés essentiellement de galets de roches éruptives (*granodiorites* et rhyolites).

D'autre part, des roches éruptives sous forme de basaltes ou de basaltes doléritiques existent dans le horst de Ghar Rouban dont l'épaisseur atteint 60m ; alors que dans les Monts de Saida, elles ont une épaisseur de l'ordre de 50 à 60m (Aliev et Ait Laoussine, 1971; Askri et al, 1995).

### **f) Le Cénozoïque**

➤ **L'Eocène** : Les roches éruptives tertiaires de l'Algérie ont débuté par l'émission de granites dits "vrais". On les rencontre à Thenia, Bougie, Collo et EI-Milia, en place ou en blocs roulés dans les poudingues de nombreuses localités (Curie et Flamand, 1890; Askri et al, 1995).

➤ **Le Miocène** : Au sein des bassins « post-nappes » littoraux, s'est mis en place un magmatisme calco-alcalin et alcalin d'âge Miocène et Quaternaire (figure 03). Après les granites dits "vrais", sont venus des termes plus finement cristallins, granites à muscovite et microgranulites ; puis des roches à cristallinité décroissante constituées par les différents termes de la série des rhyolites.

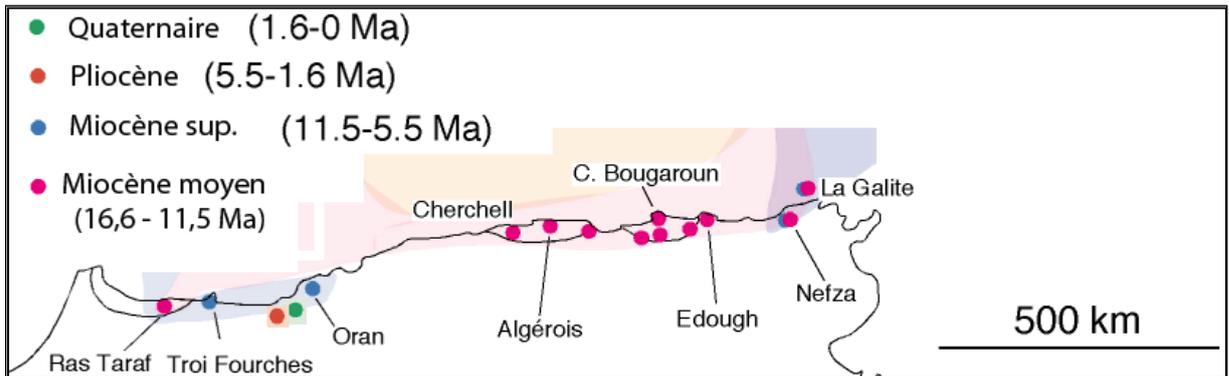
Durant l'Helvétien, apparaissent des roches appartenant à la classe des *augitandésites* et des basaltes. On peut en voir des coulées intercalées à Drah-Rahmane (massif de Cap Djinet).

Au début du Sahélien, il y a eu réapparition brusque de types acides (quelques rhyolites), puis des roches trachytoporphyriques et des *trachyandésites* (Mzaïta) (Curie et Flamand, 1890; Askri et al, 1995).

➤ **Le Pliocène** : C'est à la fin du Pliocène que semblent être sorties les syénites néphéliniques de Cherchell (Djebel Aroudjaoud).

**g) Le Quaternaire**

Dans le Quaternaire se trouvent des basaltes et en particulier les basaltes à leucite d'Aïn-Témouchent (Aïn-Tolba) (Curie et Flamand, 1890; Askri et al, 1995).



**Figure 03** : Répartition et âge du volcanisme récent en Afrique du Nord

**Tableau 03** : Les roches magmatiques intermédiaires d'Algérie

Roche	Formation	Age	Domaine	Lieu	
ANDESITE POTASSIQUE	volcanisme calco-alcalin	Miocène supérieur 7,5 – 11,7 Ma	ATLAS  ALGERIEN	Oranie	
ANDESITE		Carbonifère  La fin du Viséen		Rhar Rouban et  Tifrit	
GRANODIORITE		Miocène Inferieur 16,2 Ma		Beni Touffout-El Milia	
DACITE et RHYODACITE		volcano- sédimentaires		Miocène Moyen 14,5 – 15,9 Ma	El Aouana
GRANODIORITE		galets de roches éruptives		Permo -Trias	Ghar Rouban et Djebel Aouzater et Bled Chaib ( région de Saida)
ANDESITE	formations volcano- sédimentaires	Néoprotérozoïque	PLATE- FORME SAHARIENNE	Région de Hoggar Sud- Ouest de Tamanrasset	
DIORITE	Socle du Hoggar	Pharusien		Région du Hoggar	
ANDESITE	volcanisme calco-alcalin	Permo -Trias		Hassi R'Mel , Oued Namous, Oued Rhabi	
DACITE et RHYODACITE	formations volcano- sédimentaires	Néoprotérozoïque		Région de Hoggar  Sud-Ouest de Tamanrasset	
DACITE et RHYODACITE	volcanisme calco-alcalin	Protérozoïque supérieur		Oued Souss  Le massif Yetti-Eglab	

# Chapitre II

## GEOLOGIE DES SITES D'ETUDE

## II-1- INTRODUCTION

Dans le présent mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude géologique et géotechnique de roches magmatiques intermédiaires de trois carrières situées dans la région centre du Nord algérien. Ces carrières de granulats sont celles de :

- Sidi El Houari (région de Hadjout) dont la principale roche est une andésite ;
- Hamr El Ain (commune d'Oued Djer, El Afroun) dont la roche étudiée est aussi une andésite ;
- Si Mustapha (commune de Thénia) constituée en général par la granodiorite.

## II-2- LA CARRIERE DE SIDI EL HOUARI

Le gisement d'andésite de Sidi El-Houari s'étend sur 17 ha, suivant un quadrilatère dont les coordonnées des points sont données dans le tableau 04 ci-dessous.

Le gisement se trouve dans la région de Hadjout, qui se situe au centre de l'Algérie septentrionale, à environ 80 km à l'Ouest d'Alger. Il se localise entre Hamr El Aïn et Bourkika (figure 04).

**Tableau 04** : Coordonnées de la carrière de Sidi El Houari

<b>POINTS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	456 700	4 036 100
2	456 700	4 035 800
3	456 200	4 035 800
4	456 200	4 035 900
5	456 100	4 035 900
6	456 100	4 036 100



Figure 04 : Carte de situation géographique de la carrière « SIDI EL HOUARI »  
(Extraite de la carte touristique de l'Algérie du Centre Nord, INC ; Echelle 1/500 000<sup>e</sup>)

## II-2-1-Aperçu géologique régional

### a) Litho-stratigraphie

D'après les études de Raymond et Magne (1969), les manifestations volcaniques s'étendent sur une période allant du Burdigalien terminal à l'Est (basaltes de Dellys) au Langhien –Tortonien à l'Ouest.

Dans le bassin de Menaceur, les rhyolites et la plupart des andésites sont antérieures à une série marine qui débute au Tortonien inférieur. Les andésites les plus récentes atteignent au plus l'extrême base du Tortonien supérieur. Aucune trace de volcanisme n'a été décelée dans le Pliocène inférieur, ni même dans le Miocène terminal.

Les formations sédimentaires en contact avec les roches volcaniques appartiennent à deux grands ensembles :

- Au Sud, les formations telliennes ;
- Au Nord, les formations néogènes dites post-nappes et les dépôts quaternaires.

### ➤ *Les formations telliennes*

Elles comprennent deux unités séparées par un contact anormal, jalonné de Trias :

- ✓ l'Unité Inférieure, essentiellement schisteuse du Crétacé inférieur et moyen, dite « autochtone de Bou-Maâd » ;
- ✓ l'Unité Supérieure dite des « quatre mamelons » du Crétacé moyen au Lutétien supérieur. Elle est grésio-quartzitique à la base et marno-calcaire vers le sommet.

### ➤ *Les formations néogènes post-nappes et les dépôts quaternaires*

Elles résultent du remplissage des bassins du Tell septentrional durant :

- ✓ Le Cycle Miocène : Burdigalien à Tortonien supérieur ;
- ✓ Le Cycle Pliocène : Pliocène inférieur à Pliocène supérieur.

Les dépôts du Miocène sont représentés à la base par des formations détritiques, gréseuses, riches en faunes littorales et qui se poursuivent au Miocène moyen et supérieur par des dépôts de marnes sur lesquels repose en discordance le Pliocène inférieur.

Le Pliocène inférieur marin, marneux plus ou moins sableux est formé de mollasses calcaires très fossilifères. Au Pliocène supérieur (Villafranchien), épisode continental, on a les dépôts d'alluvions et de cailloutis.

Les matériaux de comblement représentant le Quaternaire, se composent de grès, de sables grossiers, de cailloutis et de tufs sédimentaires.

Les épanchements volcaniques sont intercalés entre les dépôts du Miocène supérieur et ceux du Miocène inférieur. En règle générale, ils se situent soit entre les formations

détritiques continentales et les formations marines, soit entre les formations détritiques empruntées au substratum immédiat et les faciès marins.

Dans le bassin de Menaceur, les épanchements volcaniques s'intercalent au sein des marnes du Miocène supérieur. Dans la région de Hadjout, entre El Affroun et Hamr-El-Aïn les andésites sont interstratifiées dans les marnes calcaires et les grès du Miocène inférieur (Burdigalien supérieur, ex Cartennien de Glangeaud, 1932 et Ficheur, 1903).

Les roches éruptives tertiaires du Tell Algérois traversent un édifice complexe au cours des phases ultimes de l'orogénèse alpine :

- ✓ Phase Miocène inférieur ;
- ✓ Phase Post- Astienne.

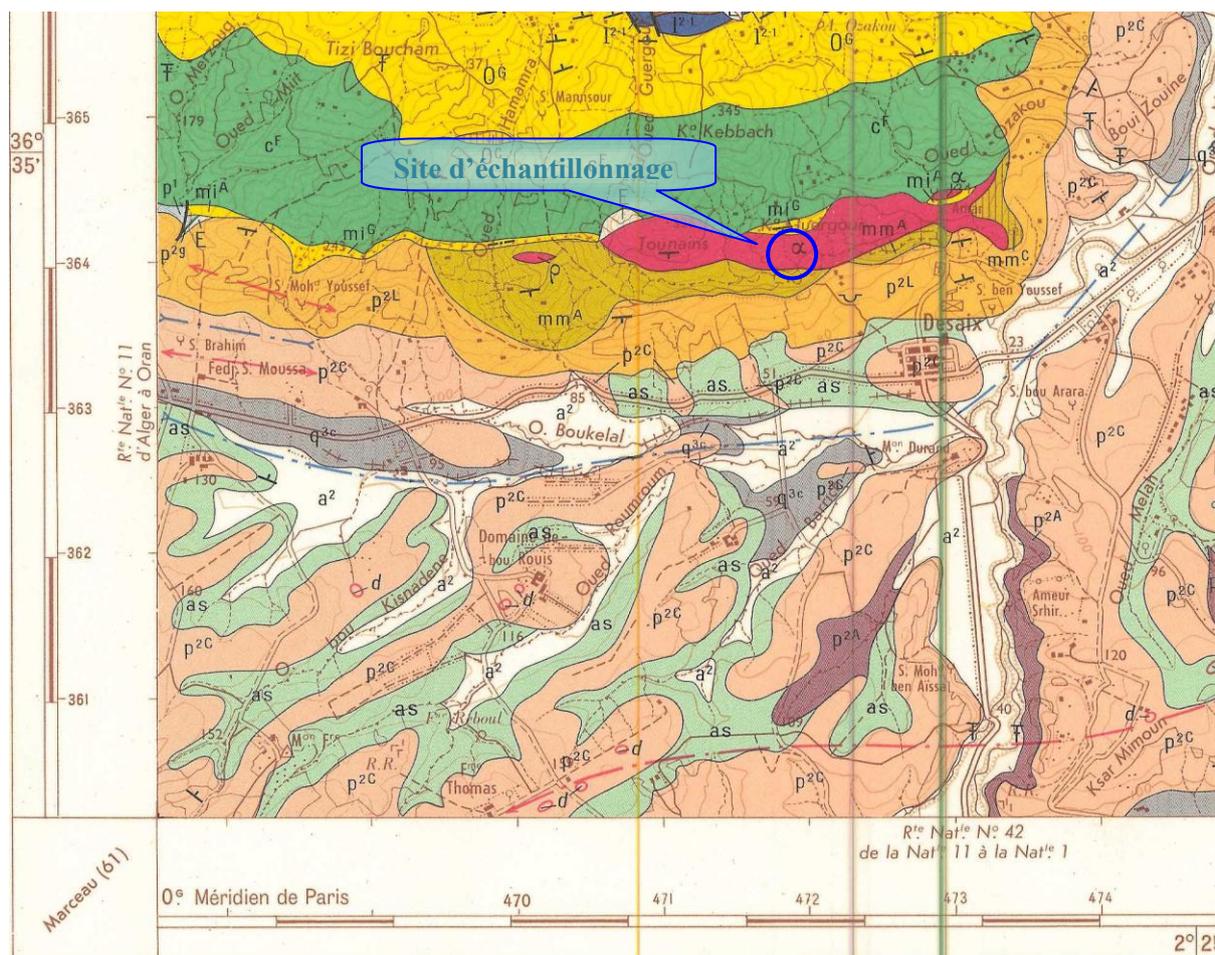
### ***b) Tectonique***

La région du gisement est affectée par une tectonique assez intense. Cette tectonique est essentiellement cassante et les directions de ces failles sont variables dont les plus représentatives sont :

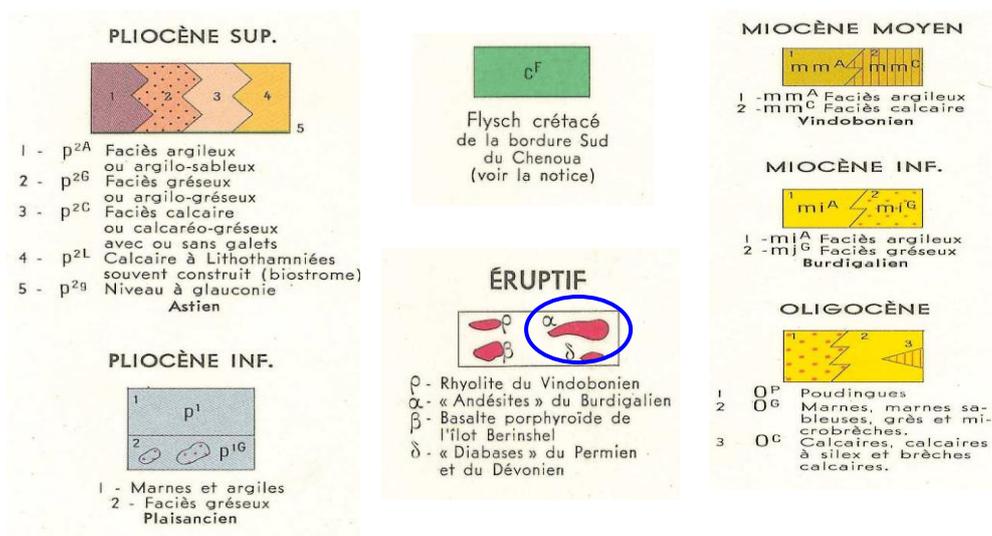
- Les failles de direction NS ;
- Les failles de direction NE-SO et NO-SE ;
- Enfin les failles de direction E-O et qui correspond à celle du l'accident régional, partant du SO de Hamr El Aïn vers Blida.

En général, toutes ces zones d'accidents se résument en des zones de broyage où le faciès affecté par cette tectonique devient soit mylonitique, soit même argileux.

Le long de cette fracture de direction E-O, affleurant dans la partie Sud du gisement, se localisent des foyers sismiques.



**Figure 05 :** Carte géologique détaillée de la région d'étude, Echelle 1/50000<sup>e</sup> (1962)  
 Extraite de la feuille n° 40 - B4 / C15, 1962, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d'Alger.



**Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 05**

## II-2-2-Géologie du gisement

Il s'agit d'un gisement, d'âge Miocène inférieur (Burdigalien), qui occupe une superficie moyenne effective de 6 hectares. Il affleure sous forme de dôme dont l'axe a une direction générale NE-SO. Les différentes formations rencontrées sont : l'andésite, la rhyolite et les formations récentes (Sonarem, 1981; Ait Hamou, 1987).

Il fait partie du chapelet de collines boisées d'aspect sombre formant les épanchements volcaniques de Hadjout. Ces épanchements qui s'alignent sur une trentaine de kilomètres environ forment un liséré étroit allongé parallèlement au littoral, d'orientation générale E-O à ENE-OSO.

Les laves se débitent en faveur des fractures sous forme de prismes en plaquettes, de prismes polyédriques à contours plus ou moins nets (Sonarem, 1981; Ait Hamou, 1987).

## II-3- LA CARRIERE DE AHMER EI AÏN

Ce gisement est situé au lieu dit Bled Boutchour de la commune de Oued-Djer, à environ 1 km au Sud de la ville de Ahmer El Ain, à 1,3 km au Sud de la RN42 et à environ 5 km de Oued Djer chef lieu de la Commune, appartenant à la Daïra d'El Affroun (Wilaya de Blida).



**Figure 06 : Carte de situation géographique de la carrière « Ahmer El Ain »**  
(Extrait Extrait de Google maps, Echelle 1/500 000<sup>e</sup>)

Le périmètre de l'exploitation s'étend sur 17 ha suivant un quadrilatère dont les coordonnées des points sont données dans le tableau n°5 présenté ci-après.

**Tableau 05 : Coordonnées du périmètre**

Points	X(m)	Y(m)
1	460880	4035205
2	460940	4035205
3	460940	4035165
4	460965	4035165
5	460965	4035125
6	461130	4035125
7	461130	4035000
8	461250	4035000
9	461250	4034850
10	461400	4034850
11	461400	4034670
12	460950	4034670
13	460950	4034850
14	460880	4034850

### **II-3-1-Géomorphologie**

Ce site est caractérisé par un relief montagneux d'altitudes moyennes variant de 180 à 240 m et par un couvert végétal plus au moins développé surtout du côté Est.

La géologie régionale de ce site est la même de celle du premier site (Figure 05).

### **II-3-2-Géologie du gisement**

La géologie de ce gisement est représentée principalement par un pointement de roches volcaniques sous forme d'un dôme. Le gisement est constitué d'une roche volcanique, l'andésite à grain fin à moyen et à texture microlitique. Il ne présente pas à première vue d'orientation préférentielle dans les épanchements volcaniques. La couverture stérile, qui est

très importante (10 à 15 m de puissance), se compose essentiellement de terre végétale altérée (Sonarem, 1981; Ait Hamou, 1987).

C'est une roche très compacte et dure, de couleur gris à gris foncé. Ce changement dans la couleur est dû au pourcentage des minéraux ferro-magnésiens se trouvant dans la roche (20 à 30 % de Ca, Fe et Mg => roche sombre et 10 à 20% de ces éléments => gris clair).

En profondeur la roche est saine, et au contact des eaux de surface et des conditions atmosphériques, elle devient de plus en plus friable (altération des minéraux ferro-magnésiens, des feldspaths et des phyllosilicates). Ce phénomène est très développé surtout dans la partie superficielle et dans le côté Ouest où les failles ont joué le rôle de drainage des eaux superficielles et des pluies ; ces dernières ont accentué le phénomène d'altération de la roche qui est devenue friable et non exploitable.

Sur le plan tectonique, ce site est affecté surtout dans sa partie Ouest par un réseau de failles de directions N-S à NNO-SSE avec un pendage sub-vertical vers l'Ouest. La fracturation, omniprésente a les directions suivantes : N240, N290 et N200, dont la fracturation subméridienne (N190 à N200) verticale est très visible dans le gisement.

### **II-4- LA CARRIERE DE SI MUSTAPHA**

Cette carrière de granodiorite, exploitée actuellement par l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG), est située à 53 km à l'Est d'Alger et 3 km au Nord-Est de la commune de Thenia (wilaya de Boumerdes).

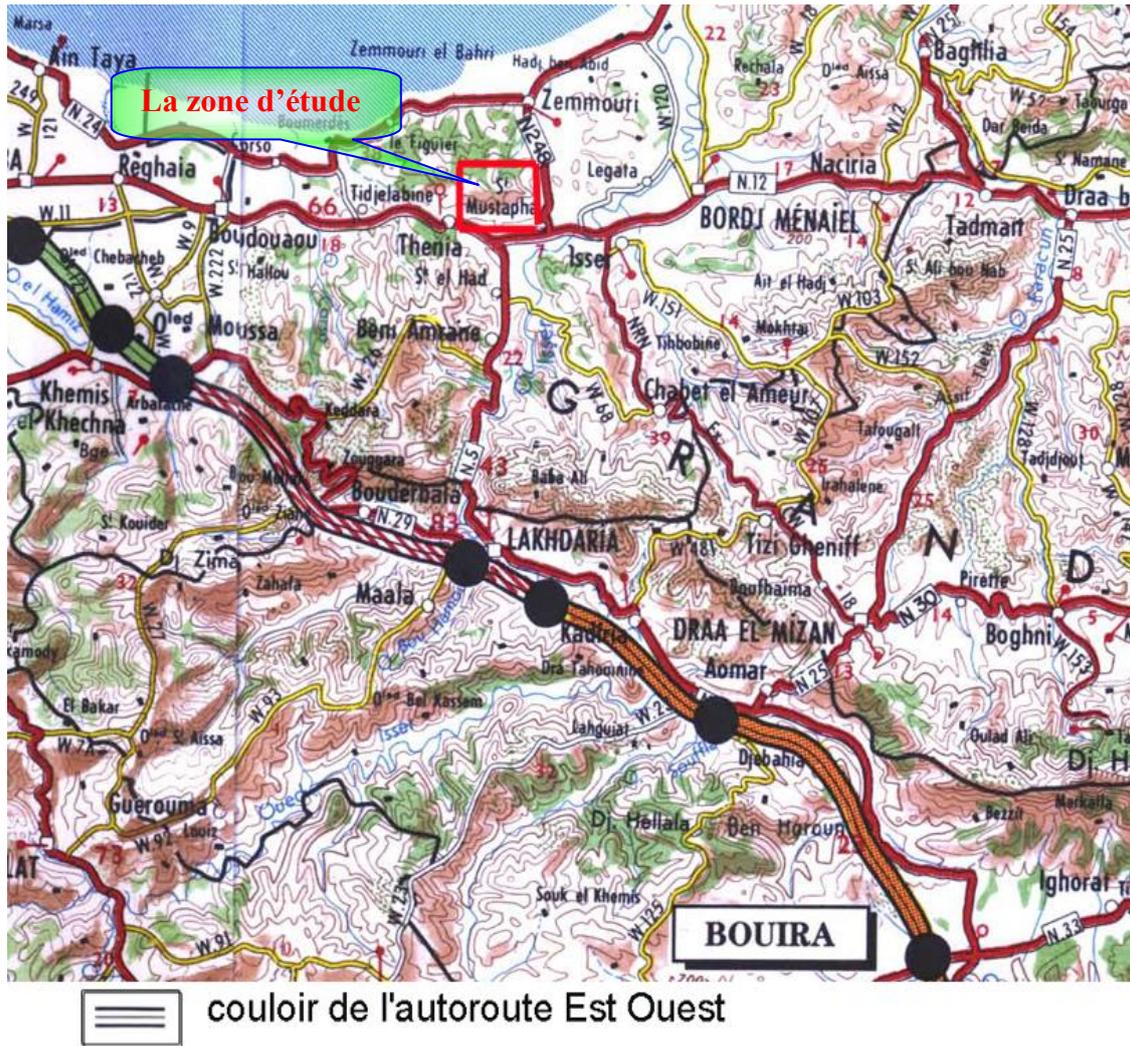


Figure 07: Carte de situation géographique de la carrière « SI MUSTAPHA »  
(Extrait de la carte touristique de l'Algérie du Centre Nord, INC ; Echelle 1/500 000<sup>e</sup>)

## II-4-1-Géologie régionale

Dans la région du gisement de granodiorite de Si Mustapha affleurent trois ensembles géologiques, qui sont ( Ficheur, 1894 ; Begiovanni A, 1978) :

- ✓ Le socle Précambrien métamorphique ;
- ✓ Les formations sédimentaires du Crétacé supérieur, Neogène et Quaternaire ;
- ✓ Les roches magmatiques effusives et intrusives.

**a) Le Socle métamorphisé**

Le socle Précambrien qui affleure au Nord du massif de granodiorite est constitué par :

- une assise inférieure en schiste d'une puissance de 1000m, apparaissant dans les flancs Nord et Sud du Djebel Bou Arous et formant un synclinal de direction E-O, est constituée par les schistes satinés, schistes à biotite et de lentilles de calcaires cristallins ;
- une assise supérieure de phyllades gris sombre ou gris verdâtre à bleuâtre, avec des bancs de quartzites ;
- des lentilles de calcaires cristallins encaissées dans les phyllades.

**b) Les formations du Néogène et Quaternaire**

➤ **Le Néogène**

Il est composé par les dépôts d'âge Miocène et Pliocène (Begiovanni A, 1978; DREG/SNMC, 1984).

- **Le Miocène** : est formé de dépôts comprenant des termes burdigaliens et hélvétiques. Le burdigalien est composé de bas en haut par des conglomérats d'agrégats à blocs et à galets, des marnes et argiles et des grès calcaires jaunâtres, tandis que le Helvétien est représenté par une série volcano-sédimentaire comprenant des conglomérats à éléments grossiers de composition essentiellement granodioritique à ciment arkosique.

- **Le Pliocène** : il est constitué par des marnes argileuses, des argiles gris beige alternant avec des bancs sédimentaires de calcaire massif. Des intercalations peu puissantes de grès calcaire apparaissent parfois compactes ou schistifiées et des couches de poudingues à éléments homogènes, représentées par des grès, des schistes cristalloylliens des phyllades et des calcaires.

➤ **Le Quaternaire**

Il est composé de galets villafranchiens pluridimensionnels friables brun rouge. Les galets sont représentés par des débris schisteux et phylliteux de grès et de quartz immergés dans de sable argileux à grains non calibrés.

*c) Les roches magmatiques effusives et intrusives*

Ces roches constituent des petits pointements d'extension faibles dans le socle cristallophyllien dans le Miocène. Elles sont localisées essentiellement le long du littoral d'El Karma à Cap Djenet. Selon l'âge et le mode de mise en place, on peut distinguer ( Ficheur, 1894; Begiovanni A, 1978; DREG/SNMC, 1984) :

- les granites leucocrates et les pegmatites ;
- les roches d'épanchement ;
- les granodiorites de Thenia.

➤ *Les granites leucocrates et les pegmatites*

Ils affleurent et forment un petit massif de 8km<sup>2</sup> situé à 6km au Sud-Est de Bordj Menaël. Ce sont des roches à texture grenue, très altérées et fortement cataclasées, de teinte gris claire à gris jaunâtre. On reconnaît dans ces roches les constituants suivants : le quartz 40 à 50%, le feldspath potassique 37 à 45%, représenté par le microcline souvent perthétique, les plagioclases fortement séricitisés, et des minéraux ferro-magnésiens (biotite et muscovite).

Dans la région de Thenia, de nombreuses roches pegmatitiques affleurent en moyenne partie sur le flanc de Djebel Bou Arous. Se sont des roches calcaires à gros grains, composées de muscovite, microcline et tourmaline qui dépasse les 10%.

➤ *Les roches d'épanchement*

D'après Ficheur (1894), Glangeaud (1932) et Begeovanni (1978), ces roches sont liées au volcanisme helvétique caractérisé par deux phases distinctes :

- La phase rhyolitique : qui se localise en moyenne partie au Nord et Nord-Est de Thenia en recoupant le massif granodioritique et les sédiments miocènes. Ces roches sont de teinte gris clair à gris verdâtre ;
- La phase tardive andésitique : qui se trouve exclusivement au Nord et Nord-Est de Thenia, en bordure de la côte, et qu'on peut suivre depuis Boumerdes jusqu'à Cap Djenet.

### ➤ La granodiorite de Thenia

Le massif de granodiorite de Thenia occupe une superficie de 8km<sup>2</sup> sur le flanc Sud du Djebel Arous, dont il forme l'une des sommets orienté selon une direction Est-Ouest.

La granodiorite de Thenia est une roche massive bien cristallisée de couleur gris à gris verdâtre. La composition minéralogique est en général la suivante : plagioclase, feldspath, quartz, amphibole et biotite.

D'après Belanteur (1986), la granodiorite de Thenia aurait cristallisé à basse pression (3-4kb) avec une température de l'ordre de 900°C à partir d'un magma d'origine mantellique qui a subi une contamination et qui se serait inséré par l'intermédiaire de grandes failles Sud et Nord-Est, entre les schistes cristallins précambriens et les formations volcano-sédimentaires helvétiques. Enfin, les roches sont intensivement fissurées et dont certaines ont subi une forte altération.

## II-4-2- Géologie du gisement

### a) *Pétrographie*

Le gisement de Si Mustapha fait partie du massif de Thenia. Il est constitué essentiellement de granodiorite à grains fins et moyens de couleur grise et gris foncé à teinte verdâtre et de diorites quartziques grises ou gris foncé teintées de vert, et à texture massive. La teinte verdâtre est due à la présence dans les roches de minéraux foncés de hornblende, de chlorite, de biotite et plus rarement de pyroxène.

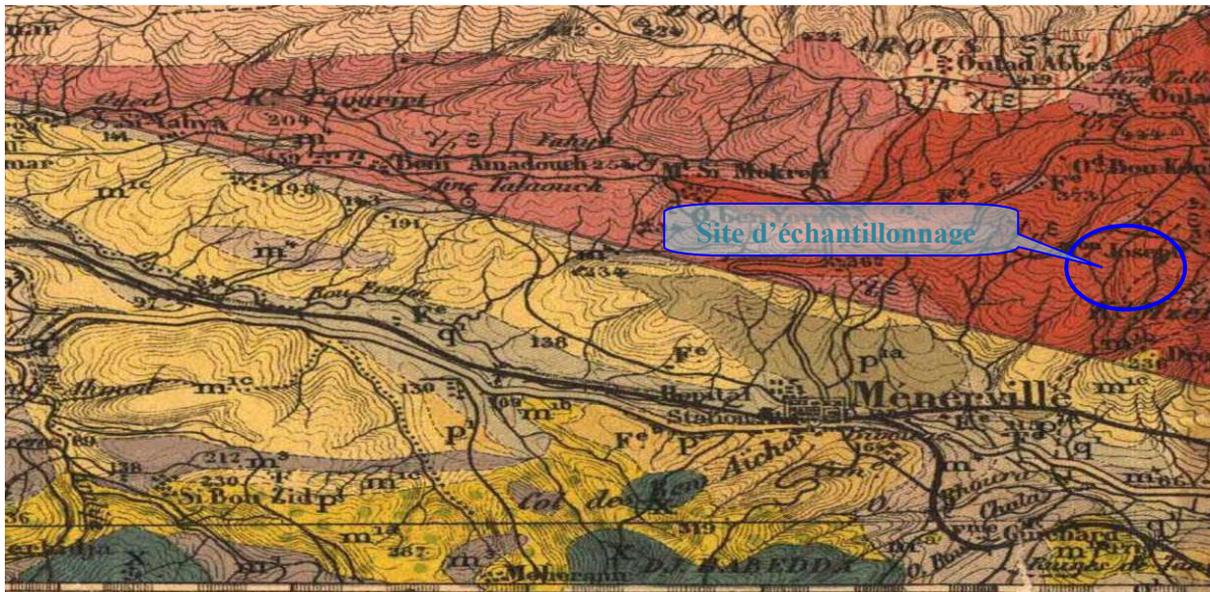
La granodiorite de Si Mustapha a une structure hypidio-morphogrenue à moyennement grenue et est essentiellement constituée par des plagioclases (52 à 69%) de type andésite-oligoclase en général zonés et maclés, d'orthose rare, des grains irréguliers de quartz (10 à 17%), de la biotite (0 à 10%), de la hornblende (0 à 5%), des minéraux accessoires tels que l'apatite, le zircon, la tourmaline et la magnétite et des minéraux secondaires comme la chlorite, l'épidote, la saussurite, la calcite, la montmorillonite et les carbonates.

L'âge de la granodiorite de Thenia est estimée entre 19-22Ma (DREG/SNMC, 1984 ; Belanteur, 1986).

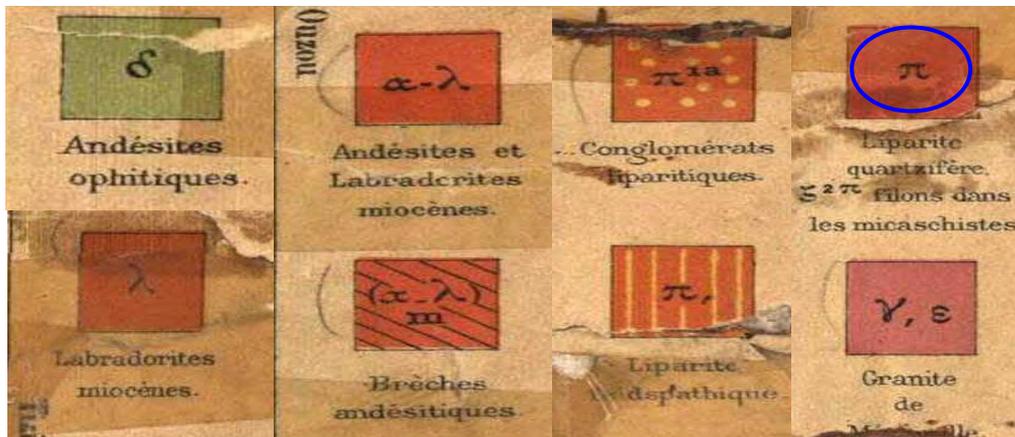
**b) Tectonique**

La région du gisement est caractérisée par un contexte tectonique complexe. Au Sud et au Nord, le massif de granodiorite se trouve en contact tectonique avec les roches encaissantes.

Vers le Sud, le contact passe par une faille, qui bien que masquée sous les terrains quaternaires, son axe est orienté dans le sens SE-NO et fait jonction dans l'Ouest du massif avec une zone d'accidents sensiblement E-O, servant de contact Nord entre les granodiorites et les roches encaissantes (DREG/SNMC, 1984).



**Figure 08:** Carte géologique détaillée de la région de Si Mustapha Echelle 1/50000<sup>e</sup> (1895) Extraite de la feuille n° 22-THENIA(Ménerville), 1895, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d'Alger.



**Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 08**

La zone étudiée est marquée par la prédominance d'accidents tectoniques E-O et la partie Nord est affectée par plusieurs accidents parallèles distants de 100 à 125 m.

### *c) Hydrogéologie de gisement*

Le gisement de granodiorite de Si Mustapha n'est pas inondé. Il occupe une élévation s'étendant selon une direction N-O, dont la côte absolue se situe à 411,2 m. Le versant le plus raide se trouve dans la partie Sud-Ouest du gisement. La haute perméabilité des granodiorites fissurées favorise l'infiltration des eaux atmosphériques. D'autre part, la topographie fortement disséquée de la région du gisement facilite l'émergence des eaux souterraines (Ficheur, 1894; Begiovanni, 1978; DREG/SNMC, 1984).

# Chapitre III

## ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOCHIMIQUE

Ce chapitre sera consacré à l'élaboration des essais géotechniques Los Angeles et Micro Deval, et des analyses géochimiques en éléments majeurs sur des échantillons de roches magmatiques intermédiaires prélevées sur terrain à partir des trois carrières décrites précédemment, pouvant être destinés à la production des granulats du ballast.

### **III-1- LES ESSAIS GEOTECHNIQUES**

#### **III-1-1-Définition du ballast**

Le ballast est une couche de concassés rocheux dur et calibré sur laquelle repose les traverses supportant deux rails. Il doit être résistant à l'usure par frottements et à la fragmentation par chocs, tout en étant élastique et compact.

La granulométrie du ballast utilisée actuellement en Algérie est de 25/50 mm et de 32/63mm dans certains pays européens (Chanane, 2008), mais on peut utiliser aussi du ballast fin (gravelette : 16/31.5 mm) au niveau des appareils de voie et des embranchements.

#### **III-1-2-Caractéristiques mécaniques**

Les granulats de ballast doivent satisfaire à certaines conditions relatives à leurs résistances mécaniques (dureté). Cette dureté doit être envisagée sous le double aspect de la résistance combinée de :

- ✓ La fragmentation par chocs ;
- ✓ L'usure par frottement réciproque des granulats.

##### ***a) Résistance à l'usure***

Les matériaux de la couche de ballast, sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, subissent des déplacements relatifs provoquant une usure par frottement aux points de contact entre les granulats. Ce phénomène a été reproduit en laboratoire sous le nom d'essai Deval ou Micro-Deval, à sec (MDS), ou en présence d'eau (MDE).

***b) Résistance à la fragmentation par chocs***

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

- ✓ Frottement des granulats entre eux ;
- ✓ Chocs engendrés par les traverses.

Ces deux phénomènes ont été reproduits en laboratoire sous l'appellation d'essai Los Angeles (LA), qui permet de mesurer la solidité traduite par la résistance à l'abrasion par usure et par chocs (Chanane, 2008).

**III-1-3- Expérimentation**

***a) Essai Micro-Deval***

Après le concassage des échantillons de roches au Laboratoire Central des Travaux Publics de Hussein Dey, et au laboratoire LHCC d'Oued el Semmar, nous avons réalisé des essais de Micro-Deval Humide (MDE), conformément aux dernières normes françaises (NF P 18-572 Décembre 1990), éditée par l'AFNOR.

Les échantillons de roches sont concassés en fragments à arêtes vives dont la fraction granulométrique est de l'ordre de 10-14mm, enfermés dans un cylindre. Il s'agit de mesurer l'usure sur les granulats par des frictions réciproques dans ce cylindre mis en rotation dans des conditions bien définies. L'usure est mesurée par la quantité d'éléments fins inférieurs à 1.6mm produite dans un broyeur en présence d'eau.

L'usure des arêtes des fragments par frottements et chocs modérés est déterminée par la pesée des fragments arrondis obtenus à la fin de l'essai. La perte de masse est proportionnelle à la fragilité de la roche. Les résultats du coefficient de Micro-Deval s'expriment par le rapport  $100 (m/M)$ , avec  $m = M - m'$ , d'où  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai,  $m$  est la masse des éléments retenus inférieurs à 1.6 mm obtenus au cours de l'essai et  $m'$  est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm.

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

***b) Essai Los Angeles***

Là aussi nous avons réalisé l'expérimentation des essais Los Angeles sur la base des dernières normes françaises (NF P 18-573 Décembre 1990), éditée par l'AFNOR.

Les échantillons de roches sont concassés en fragments à arêtes vives dont la fraction granulométrique est de l'ordre de 25-50mm, enfermés dans un cylindre mis en rotation avec douze boulets d'acier de 47mm de diamètre. La taille du cylindre, le nombre de boulets, le nombre de tours/minute et la durée de l'essai sont normalisés.

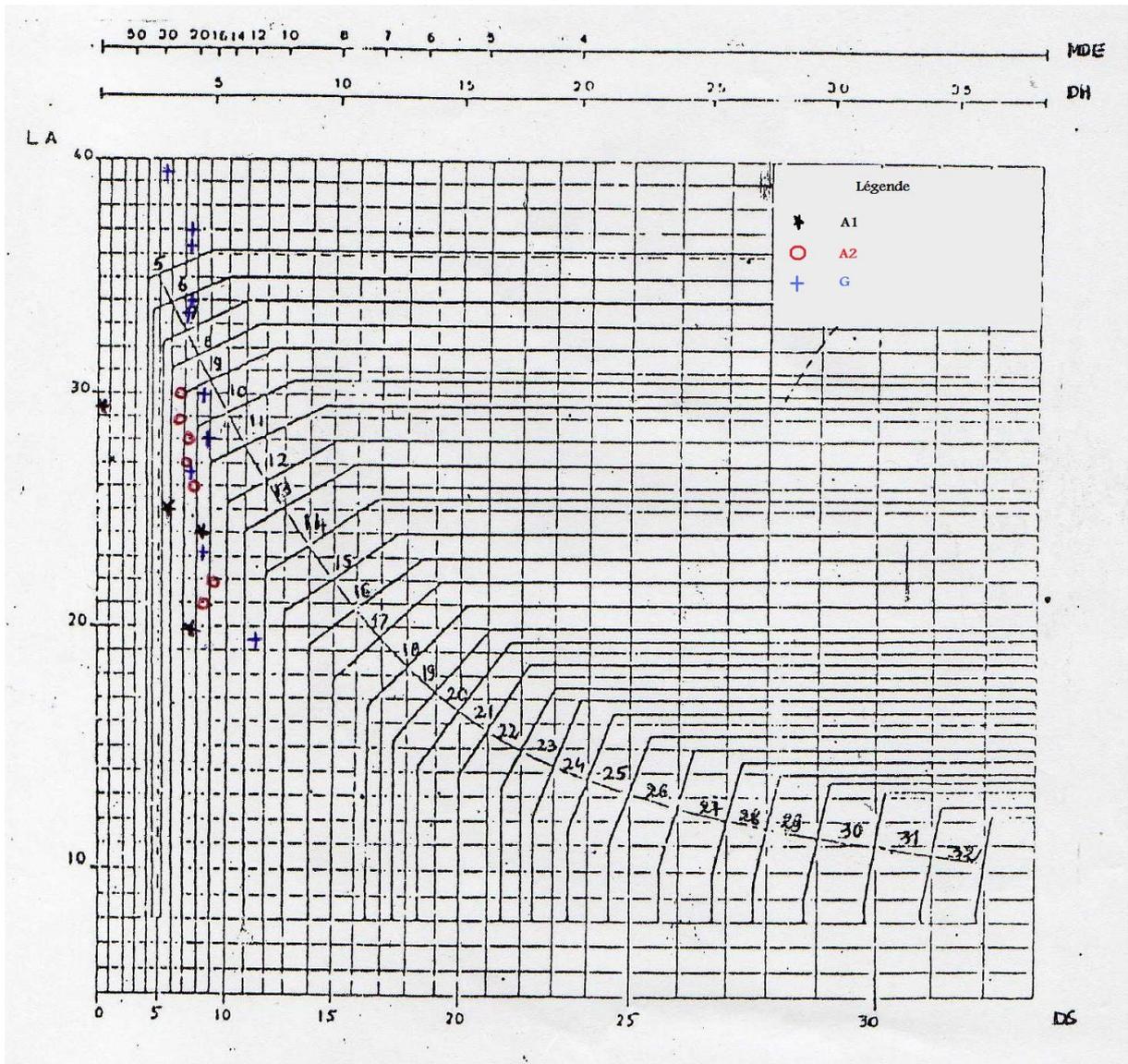
Il s'agit de mesurer la quantité des particules fines produites lors de la soumission des granulats aux chocs de coups standards des boulets d'acier dans une machine de laboratoire conçue à cet effet. A la fin de l'essai, on tamise et on pèse la quantité des particules fines produites obtenue qui permet de déterminer la résistance à la fragmentation des granulats du ballast. Les résultats du coefficient Los-Angeles sont définis par le rapport **100 (m/5000)**, avec  $m = 5000 - m'$  ou  $m = M - m'$ . Le résultat obtenu sera arrondi à l'unité.

***c) La Dureté Relative Globale DRG***

Pour l'appréciation de la qualité d'un granulat et son utilisation comme ballast, l'estimation des coefficients de *LA* et *MDE* nécessite un classement déterminé par la Dureté Relative Globale (*DRG*), qui exprime la dureté relative d'un granulat selon une échelle allant de 6 à 32 sur un abaque (figure 09). Dans le cas des gravées et des ballasts, les valeurs obtenues sont déterminées par la projection du couplage des coefficients de *LA* et de *MDE* pour chaque échantillon.

D'autre part, la valeur de la *DRG* reste relative d'un pays à un autre pour le classement des granulats de ballast, ainsi pour la norme européenne (Chanane, 2008) :

- ✓ une *DRG* normative (de >6 à <32) : le matériau est considéré comme médiocre, bon ou excellent ;
  
- ✓ une *DRG* hors abaque (< 6 et >32) : le matériau est non conforme et inutilisable.



**Figure 09 :** Abaque de Dureté Relative Globale (DRG) (d'après Alias, 1984)

### III-1-4- Résultats des essais

Suite aux essais Los Angeles et Micro-Deval réalisés, on a recherché les valeurs des DRG de nos échantillons (figure 09). Le tableau 06 suivant reprend les résultats obtenus pour les roches des trois sites étudiés.

**Tableau 06 : Résultats des essais géotechniques**

<b>SITE</b>	<b>N° ECH</b>	<b>Essai Micro-Deval (MDE)</b>	<b>Essai Los-Angeles</b>	<b>Dureté Relative Globale (DRG)</b>
<i>ANDESITE DE SIDI EL HAOUARI</i>	1	59,64	29,36	-
	2	17,22	23,59	11
	3	23,82	19,80	10
	4	26,82	24,88	8
<i>ANDESITE DE AHMER EL AIN</i>	1	24,6	30	9
	2	23	27	10
	3	24	29	9
	4	23	28	10
	5	18	21	11
	6	22,5	26	10
	7	16,5	21,7	12
<i>GRANODIORITE DE SI MUSTAPHA</i>	1	56	61,16	-
	2	26,4	45,08	-
	3	16,6	28,6	11
	4	21,6	26,84	10
	5	19,8	33,4	7
	6	34	54,14	-
	7	13,2	19,28	13
	8	19	23,28	11
	9	28,4	39,5	-
	10	20	34,38	7
	11	21,4	36,76	-
	12	18	30,54	10
	13	38,6	47,14	-
	14	20,6	37	-

### III-2-LES ANALYSES GEOCHIMIQUES

Des analyses géochimiques en éléments majeurs par fluorescence X ont été réalisées sur les mêmes échantillons d'andésite provenant de la Carrière de Ahmer El Ain et Sidi El Houari et de granodiorite de la carrière Si Mustapha, et cela au Laboratoire du CETIM (Boumerdes).

**Tableau 07 : Résultats des analyses géochimiques**

SITE	Ech	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O3	K2O	TiO2	P2O5	PAF
ANDESITE DE SIDI EL HAOUARI	01	55,18	14,97	5,93	4,51	6,59	2,30	0,73	0,55	0,13	8,74
	02	56,65	14,74	6,78	5,23	7,74	1,95	1,15	0,54	0,10	3,51
	03	56,28	15,20	6,09	5,09	7,75	2,05	0,82	0,55	0,11	4,72
	04	59,74	14,34	6,50	4,32	6,12	1,74	0,99	0,60	0,10	5,26
ANDESITE DE AHMER EL AIN	01	54,59	13,58	5,90	3,61	8,59	1,98	1,60	0,55	0,07	7,82
	02	59,88	14,70	3,98	2,26	6,44	2,10	2,31	0,59	0,07	6,28
	03	58,78	13,37	4,29	2,93	6,88	2,18	2,44	0,52	0,06	7,45
	04	57,77	16,17	4,26	2,26	7,11	2,03	2,12	0,60	0,08	5,95
	05	65,26	15,22	2,85	1,37	5,84	2,15	2,34	0,59	0,08	3,15
	06	59,23	14,11	4,22	2,39	7,50	1,82	1,93	0,57	0,08	6,86
	07	55,05	14,50	5,70	4,44	6,05	2,15	0,70	0,70	0,10	4,5
GRANODIORITE DE SI MUSTAPHA	01	57,07	16,37	7,16	3,33	4,60	3,17	3,35	0,59	0,21	3,7
	02	55,64	15,74	6,33	3,87	5,32	2,67	4,58	0,60	0,18	4,8
	03	59,88	16,13	6,05	3,32	4,13	3,31	3,98	0,73	0,14	1,7
	04	58,25	15,88	6,59	3,47	4,59	3,41	3,88	0,72	0,18	2,4
	05	55,2	15,57	6,74	3,69	5,84	2,87	3,69	0,59	0,24	4,8
	06	56,55	16,10	5,69	3,33	4,77	2,83	5,15	0,73	0,2	4,1
	07	58,59	16,10	7,17	3,98	3,78	3,49	3,68	0,74	0,21	1,6
	08	58,3	16,4	5,97	2,93	4,91	3,48	3,55	0,62	0,26	3,7
	09	57,34	15,77	7,26	3,75	4,67	3,08	3,27	0,61	0,26	3,8
	10	53,27	14,8	7,21	3,66	7,56	2,89	3,68	0,73	0,21	5,6
	11	55,51	15,31	7,11	3,36	6,66	3,19	3,68	0,68	0,20	4,8
	12	57,17	16,45	6,96	3,64	3,75	3,39	3,72	0,60	0,29	4,2
	13	58,68	15,31	7,74	3,98	3,96	3,41	3,88	0,74	0,23	2
	14	58,98	16,01	7,12	3,9	3,88	3,14	4,18	0,74	0,19	1,5

**III-3-RELATIONS GEOTECHNIQUE-GEOCHIMIE**

Dans le tableau 08, nous avons combiné les résultats des essais géotechniques à ceux des analyses géochimiques afin de tracer certains diagrammes de corrélation des premiers en fonction des secondes.

**Tableau 08 : Résultats géotechniques et géochimiques**

SITE	Ech	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PAF	LA	MDE	DRG
<i>ANDESITE DE SIDI EL HAOUARI</i>	A1,1	55,18	14,97	5,93	4,51	6,59	3,03	20,9	8,74	29,36	59,64	-
	A1,2	56,65	14,74	6,78	5,23	7,74	3,1	21,52	3,51	23,59	17,22	11
	A1,3	56,28	15,20	6,09	5,09	7,75	2,87	21,29	4,72	19,80	23,82	10
	A1,4	59,74	14,34	6,50	4,32	6,12	2,73	20,84	5,26	24,88	26,82	8
<i>ANDESITE DE AHMER EL AIN</i>	A2,1	54,59	13,58	5,90	3,61	8,59	3,58	19,48	7,82	30	24,6	9
	A2,2	59,88	14,70	3,98	2,26	6,44	4,41	18,68	6,28	27	23	10
	A2,3	58,78	13,37	4,29	2,93	6,88	4,62	17,66	7,45	29	24	9
	A2,4	57,77	16,17	4,26	2,26	7,11	4,15	20,43	5,95	28	23	10
	A2,5	65,26	15,22	2,85	1,37	5,84	4,49	18,07	3,15	21	18	11
	A2,6	59,23	14,11	4,22	2,39	7,50	3,75	18,33	6,86	26	22,5	10
	A2,7	55,05	14,50	5,70	4,44	6,05	2,85	20,2	4,5	21,7	16,5	12
<i>GRANODIORITE DE SI MUSTAPHA</i>	G1	57,07	16,37	7,16	3,33	4,60	6,52	23,53	3,7	61,16	56	-
	G2	55,64	15,74	6,33	3,87	5,32	7,25	22,07	4,8	45,08	26,4	-
	G3	59,88	16,13	6,05	3,32	4,13	7,29	22,18	1,7	28,6	16,6	11
	G4	58,25	15,88	6,59	3,47	4,59	7,29	22,47	2,4	26,84	21,6	10
	G5	55,2	15,57	6,74	3,69	5,84	6,56	22,31	4,8	33,4	19,8	7
	G6	56,55	16,10	5,69	3,33	4,77	7,98	21,79	4,1	54,14	34	-
	G7	58,59	16,10	7,17	3,98	3,78	7,17	23,27	1,6	19,28	13,2	13
	G8	58,3	16,4	5,97	2,93	4,91	7,03	22,37	3,7	23,28	19	11
	G9	57,34	15,77	7,26	3,75	4,67	6,35	23,03	3,8	39,5	28,4	-
	G10	53,27	14,8	7,21	3,66	7,56	6,57	22,01	5,6	34,38	20	7
	G11	55,51	15,31	7,11	3,36	6,66	6,87	22,42	4,8	36,76	21,4	-
	G12	57,17	16,45	6,96	3,64	3,75	7,11	23,41	4,2	30,54	18	10
	G13	58,68	15,31	7,74	3,98	3,96	7,29	23,05	2	47,14	38,6	-
	G14	58,98	16,01	7,12	3,9	3,88	7,32	23,13	1,5	37	20,6	-

### III-3-1 Les diagrammes de Corrélation

Dans ce qui suit, nous allons élaborer plusieurs diagrammes de corrélation des résultats des essais géotechniques LA, MDE en fonction de quelques oxydes qui sont  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}_3$  et de la perte au feu (PAF), et ce à l'aide d'un outil statistique, le Logiciel SPSS 17.

#### a) Les échantillons de Granodiorite

##### a1) Les diagrammes de LA

##### ➤ LA en fonction de $\text{SiO}_2$

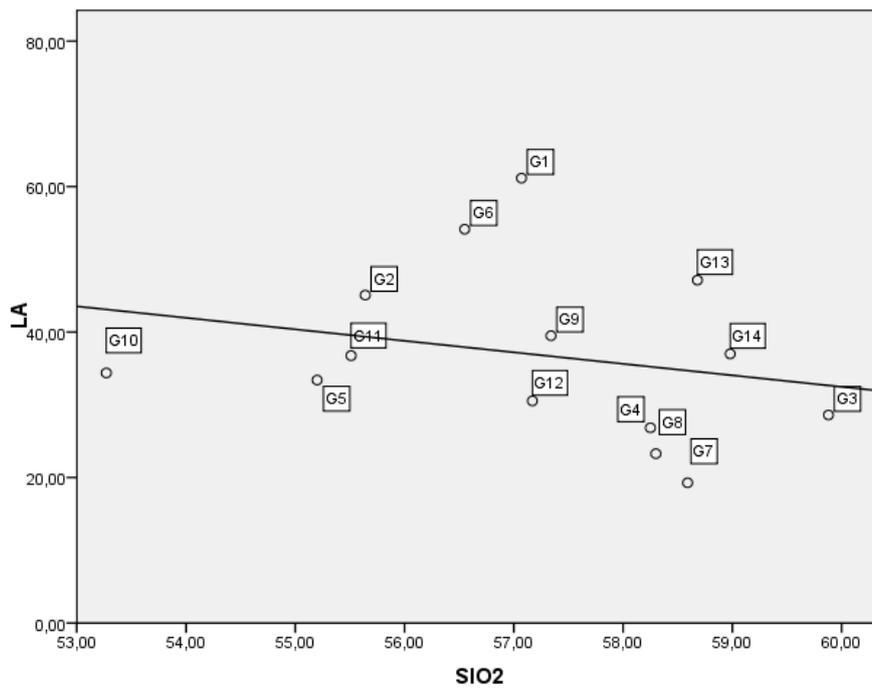


Figure 10 : LA en fonction de  $\text{SiO}_2$

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc augmente en fonction des hautes teneurs en  $\text{SiO}_2$

➤ *LA en fonction de  $Al_2O_3$*

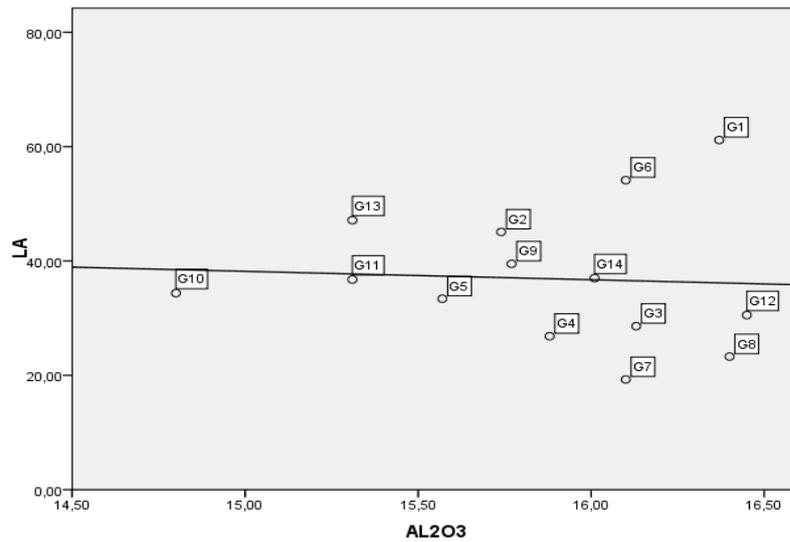


Figure 11 : LA en fonction de  $Al_2O_3$

➤ *LA en fonction de  $Fe_2O_3$*

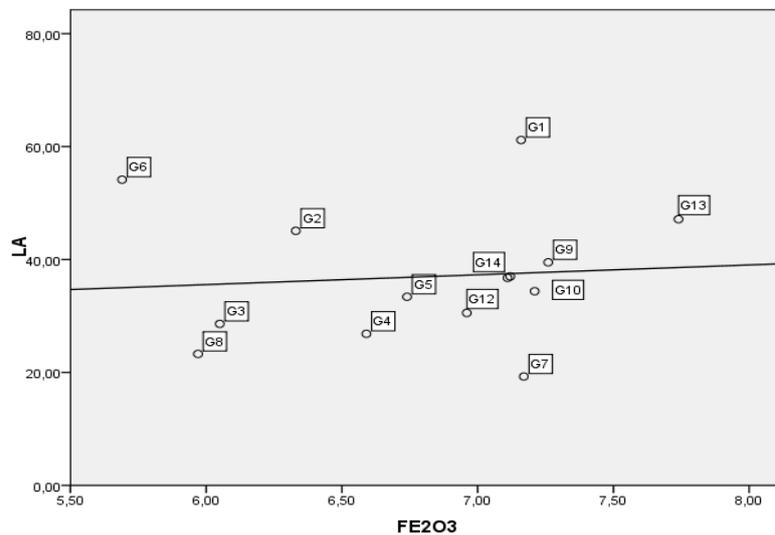


Figure 12 : LA en fonction de  $Fe_2O_3$

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue lorsque les teneurs en  $Fe_2O_3$  haussent.

➤ *LA en fonction de MgO*

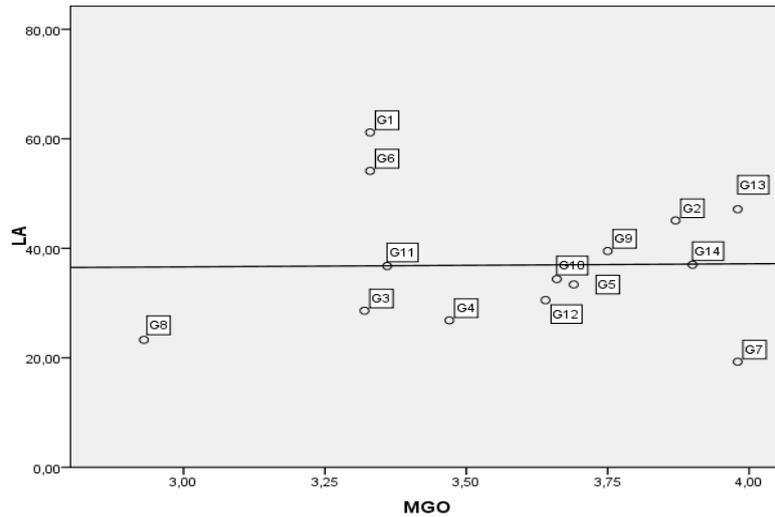


Figure 13 : LA en fonction de MgO

➤ *LA en fonction de CaO*

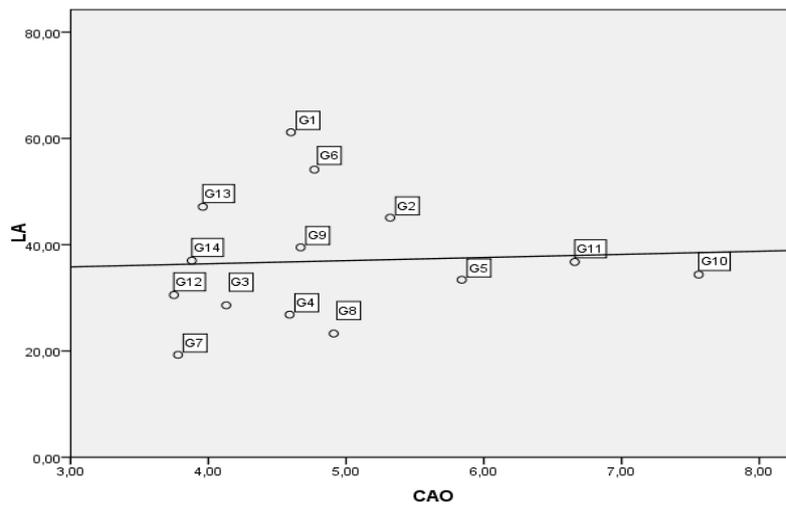


Figure 14 : LA en fonction de CaO

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue en fonction des hautes teneurs en CaO.

➤ *LA en fonction des alcalins*

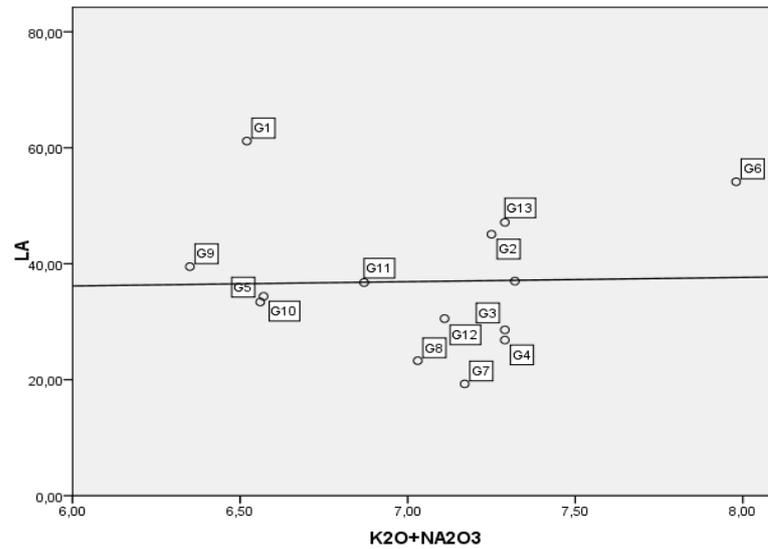


Figure 15 : LA en fonction des alcalins

➤ *LA en fonction de PAF*

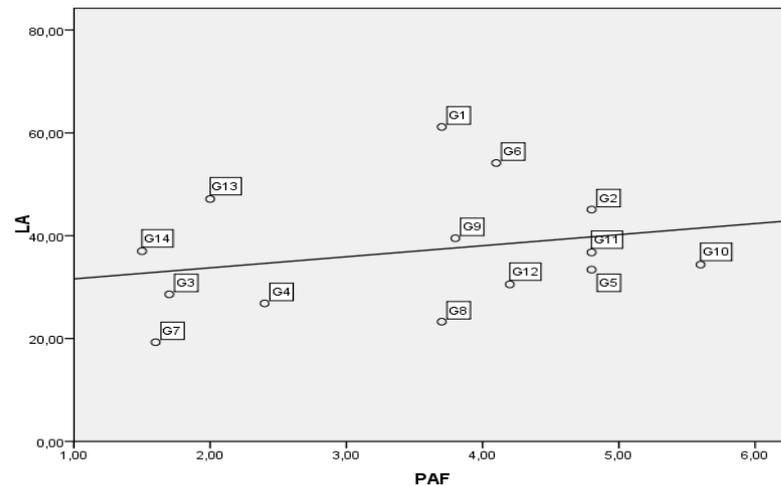


Figure 16 : LA en fonction de la perte à feu

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue lorsque la PAF augmente.

a2) Les diagrammes de MDE

➤ MDE en fonction de  $SiO_2$

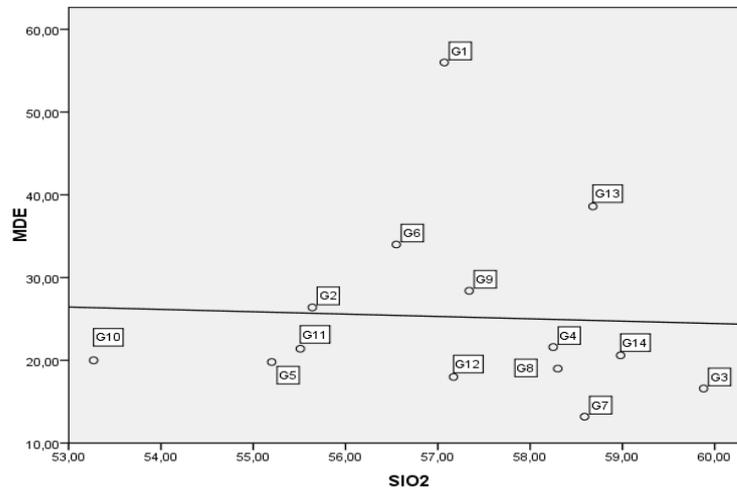


Figure 17 : MDE en fonction de  $SiO_2$

La figure 17 montre que la résistance à l'usure augmente en fonction des hautes teneurs en  $SiO_2$ .

➤ MDE en fonction de  $Al_2O_3$

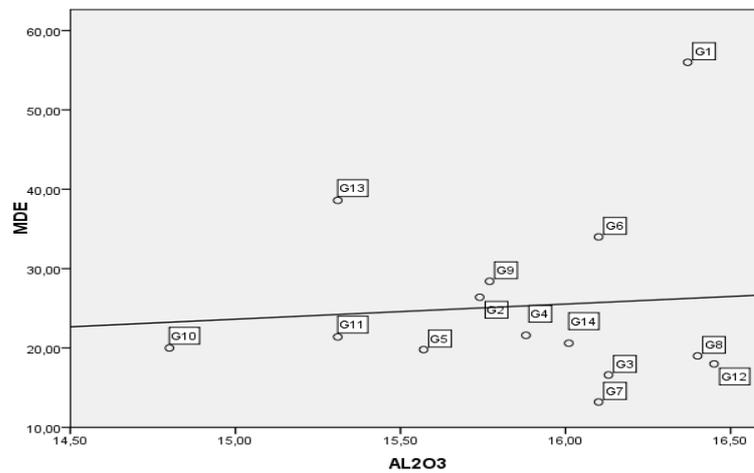


Figure 18 : MDE en fonction de  $Al_2O_3$

la figure 18 montre que la résistance à l'usure diminue lorsque la teneur en  $Al_2O_3$  augmente.

➤ *MDE en fonction de  $Fe_2O_3$*

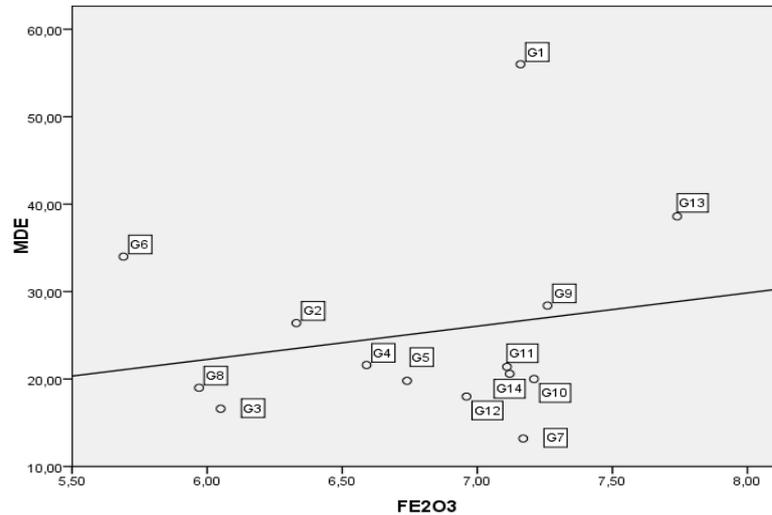


Figure 19 : MDE en fonction de  $Fe_2O_3$

Cette figure montre que la résistance à l'usure diminue en fonction des grandes valeurs de  $Fe_2O_3$ .

➤ *MDE en fonction de MgO*

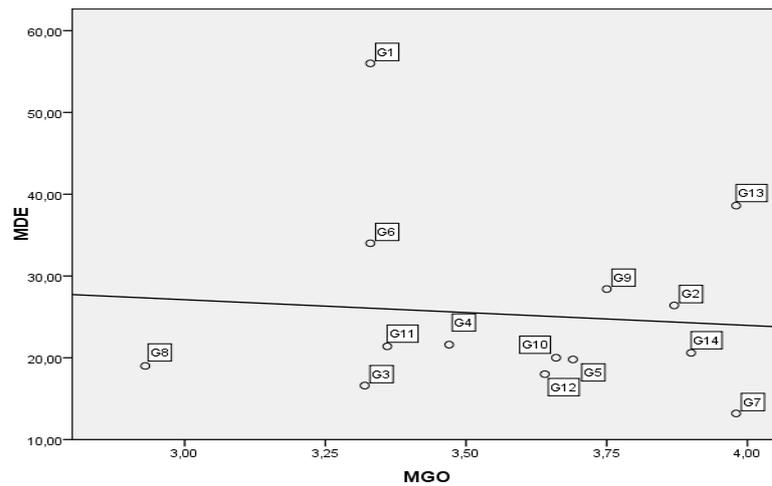


Figure 20 : MDE en fonction de MgO.

La figure précédente montre que la résistance à l'usure augmente lorsque MgO, croit.

➤ *MDE en fonction de CaO*

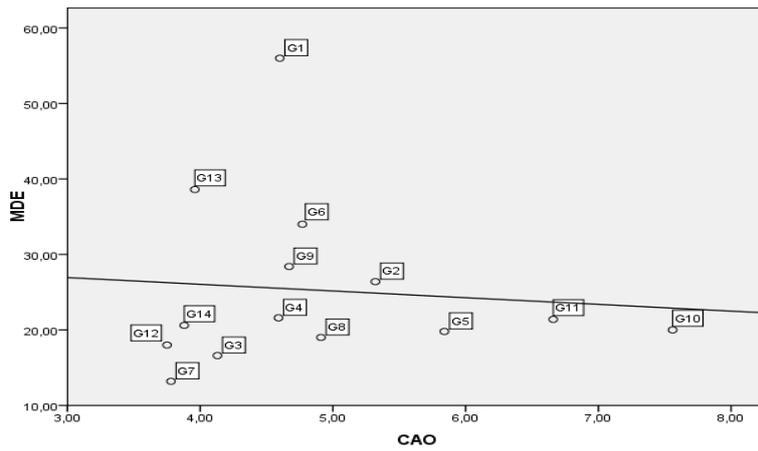


Figure 21 : MDE en fonction de CaO

la figure ci-dessus correspond à une augmentation de la résistance à l'usure en fonction des hautes valeurs de CaO.

➤ *MDE en fonction des alcalins*

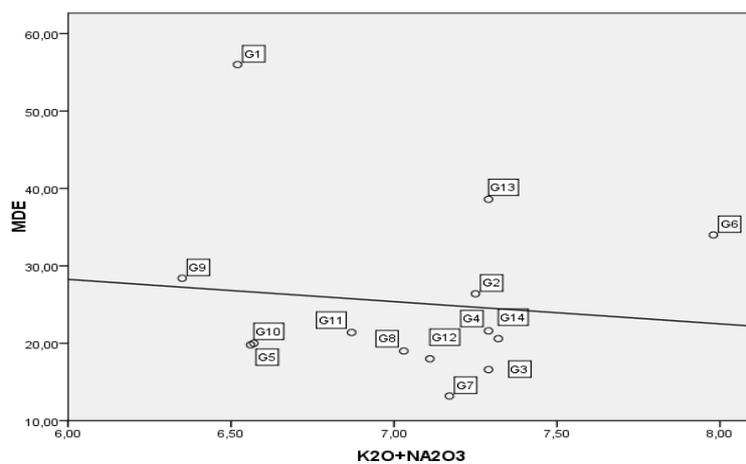
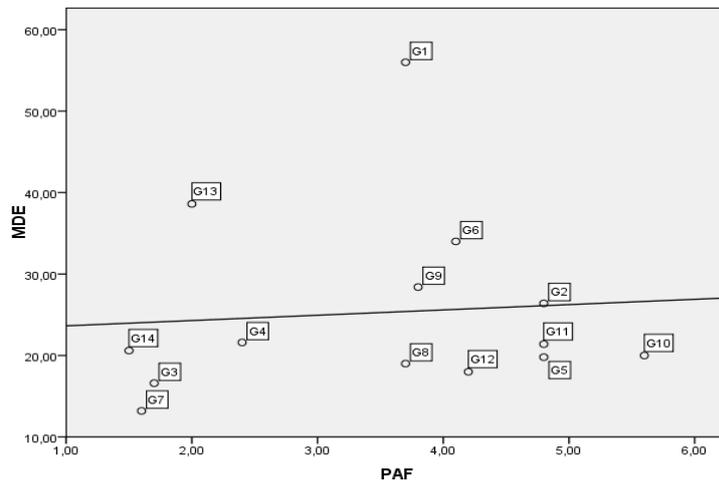


Figure 22 : MDE en fonction des alcalins

La figure précédente correspond à une augmentation de la résistance à l'usure en fonction des hautes teneurs des alcalins.

➤ *MDE en fonction de PAF*



**Figure 23** : MDE en fonction de PAF

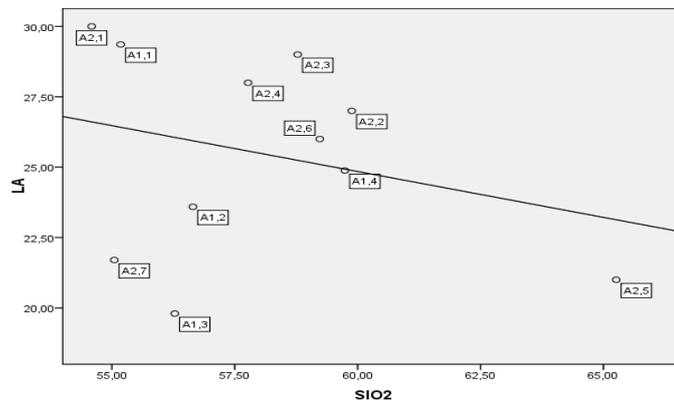
La figure 23 montre que la résistance à l'usure diminue quand la PAF croit.

**b) Les échantillons d'andésite**

Dans les diagrammes qui suivent, nous avons combiné ensemble les échantillons d'andésite des deux sites Sidi El Houari et Ahmar El Ain.

**b1) Les diagrammes de LA**

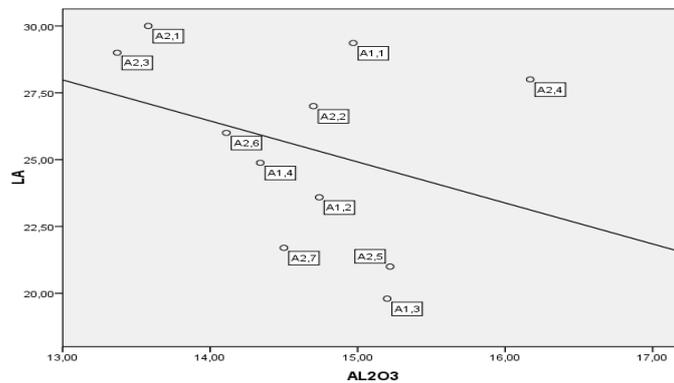
➤ *LA en fonction de SiO<sub>2</sub>*



**Figure 24 : LA en fonction de SiO<sub>2</sub>**

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc augmente lorsque SiO<sub>2</sub> augmente.

➤ *LA en fonction de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*



**Figure 25 : LA en fonction de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

La figure précédente montre que la résistance à la fragmentation par choc augmente en fonction des valeurs importantes de  $Al_2O_3$ .

➤ *LA en fonction de  $Fe_2O_3$*

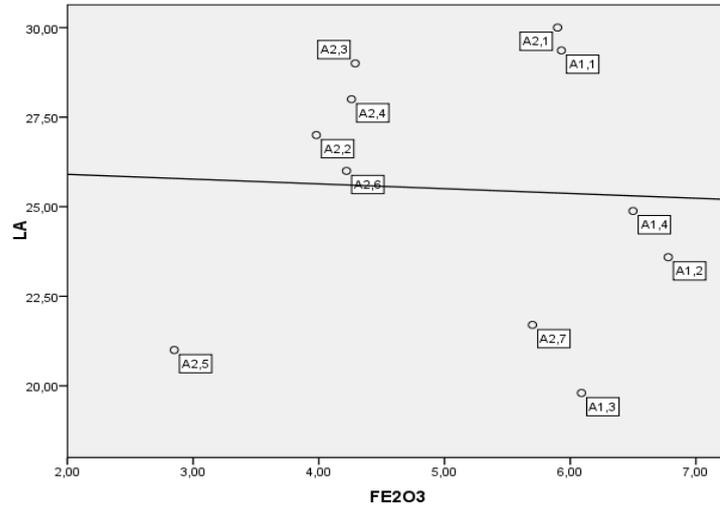


Figure 26 : LA en fonction de  $Fe_2O_3$

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc augmente en fonction des hautes teneurs de  $Fe_2O_3$ .

➤ *LA en fonction de  $MgO$*

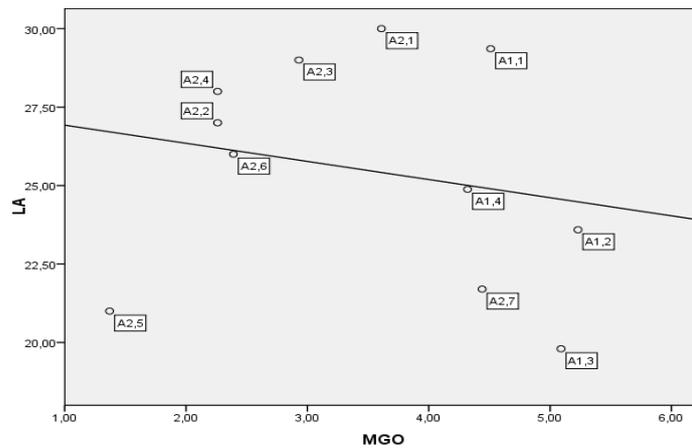
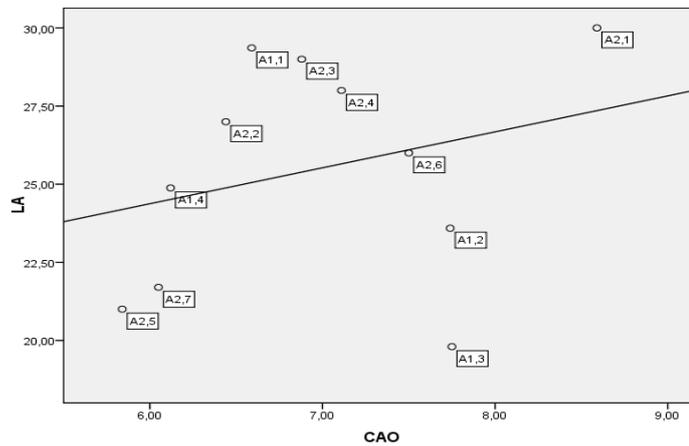


Figure 27 : LA en fonction de  $MgO$

La figure 27 montre que la résistance à la fragmentation par choc s'élève en fonction des hautes valeurs de MgO.

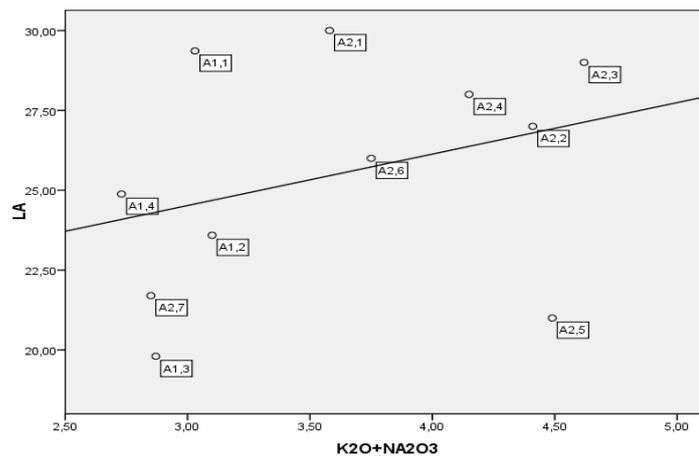
➤ *LA en fonction de CaO*



**Figure 28** : LA en fonction de CaO

Cette figure montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue en fonction des hautes teneurs de CaO.

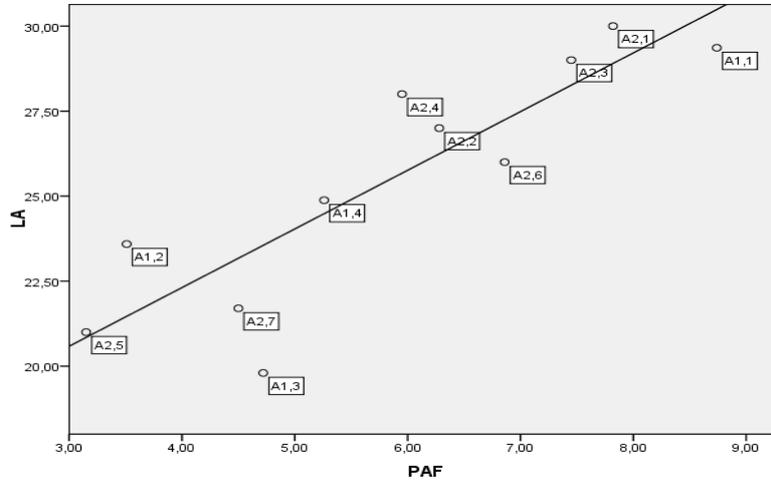
➤ *LA en fonction des alcalins*



**Figure 29** : LA en fonction des alcalins

La figure ci-dessus montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue lorsque les alcalins augmentent.

➤ *LA en fonction de PAF*

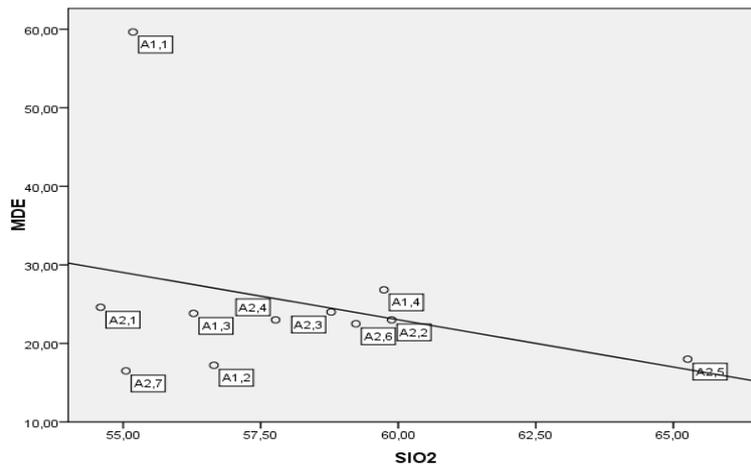


**Figure 30 : LA en fonction de PAF**

La figure 30 montre que la résistance à la fragmentation par choc diminue quand les valeurs de la PAF croissent.

**b2) Les diagrammes de MDE**

➤ *MDE en fonction de SiO<sub>2</sub>*



**Figure 31 : MDE en fonction de SiO<sub>2</sub>**

La figure de la page précédente montre que la résistance à l'usure augmente en fonction des hautes teneurs de  $\text{SiO}_2$

➤ *MDE en fonction de  $\text{Al}_2\text{O}_3$*

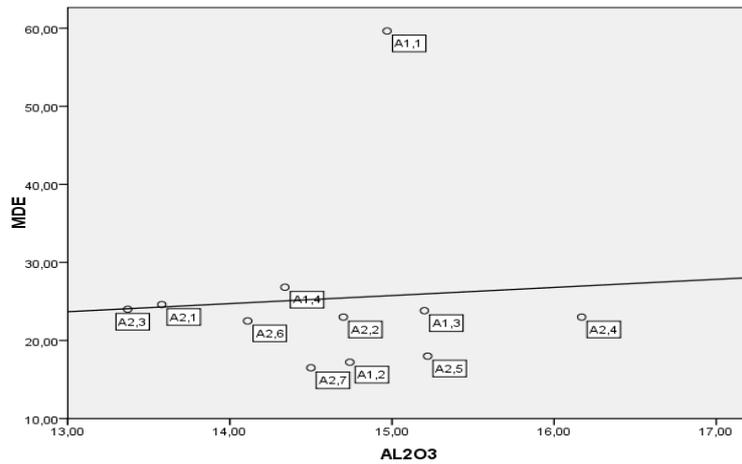


Figure 32 : MDE en fonction de  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Cette figure montre que la résistance à l'usure diminue en fonction des grandes valeurs de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

➤ *MDE en fonction de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$*

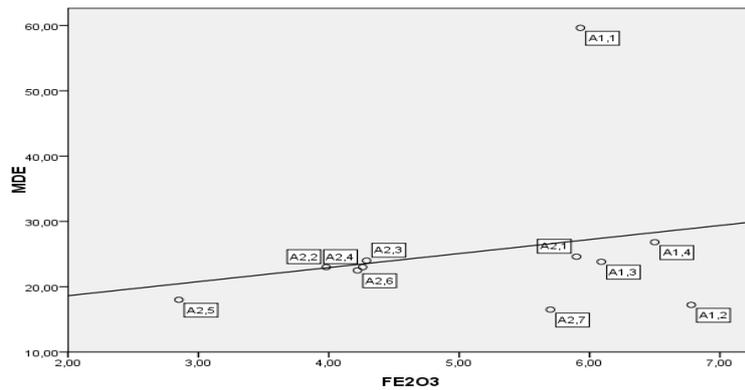


Figure 33 : MDE en fonction de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

La figure 33 montre que la résistance à l'usure décroît en fonction des hautes teneurs de  $Fe_2O_3$ .

➤ *MDE en fonction de MgO*

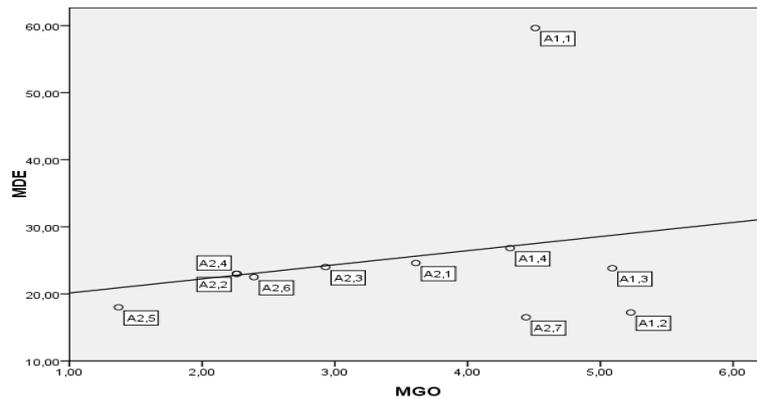


Figure 34 : MDE en fonction de MgO

La figure précédente permet de constater que la résistance à l'usure diminue lorsque les valeurs de MgO croissent.

➤ *MDE en fonction de CaO*

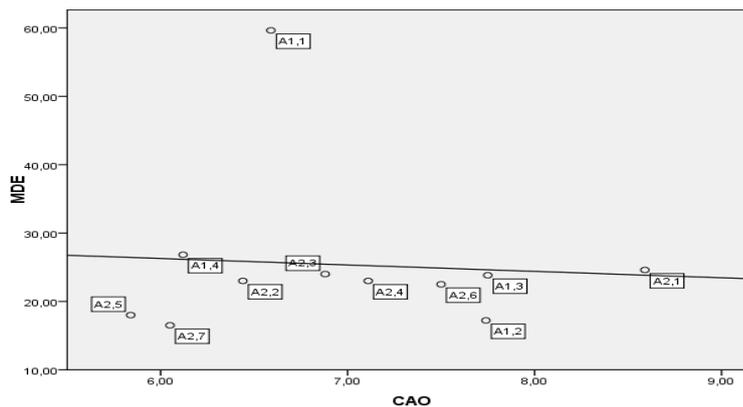
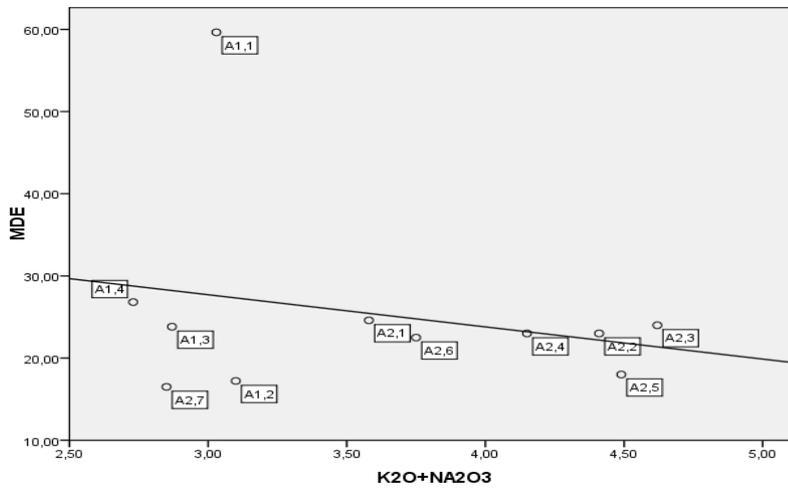


Figure 35 : MDE en fonction de CaO

Cette figure montre que la résistance à l'usure augmente en fonction des hautes valeurs de CaO

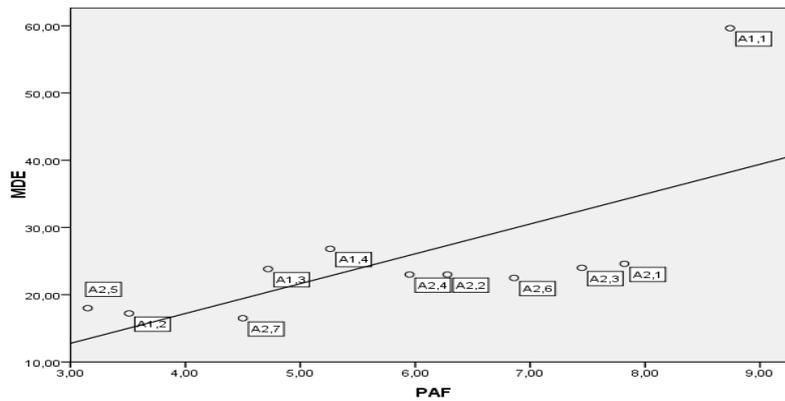
➤ *MDE en fonction des alcalins*



**Figure 36 :** MDE en fonction des alcalins

La figure 36 montre que la résistance à l'usure augmente en fonction des hautes concentrations des alcalins.

➤ *MDE en fonction de PAF*



**Figure 37 :** MDE en fonction de PAF

Dans cette figure, on constate que la résistance à l'usure diminue lorsque la PAF augmente.

### III-4-RELATIONS GEOTECHNIQUE-CHIMIE

#### III-4-1-Conversion des oxydes en éléments chimiques

Pour obtenir le pourcentage des éléments chimiques dans l'échantillon, on utilise la formule suivante :  $(\% \text{ oxyde} \times M \times n) / M'$  ou M est la masse molaire de l'élément, n est le nombre d'atome de l'élément dans l'oxyde et M' est la masse molaire de son oxyde.

Les résultats de cette opération sont repris par le tableau 09 :

**Tableau 09:** Résultats des éléments chimiques

Ech	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Na+K
A1,1	25.38	7.93	4.15	2.71	4.68	1.13	0.61	1.73
A1,2	26.06	7.81	4.75	3.14	5.50	0.96	0.95	1.91
A1,3	25.89	8.06	4.26	3.05	5.50	1.00	0.68	1.69
A1,4	27.48	7.60	4.55	2.59	4.35	0.85	0.82	1.67
A2,1	25.11	7.20	4.13	2.17	6.10	0.97	1.33	2.30
A2,2	27.54	7.79	2.79	1.36	4.57	1.03	1.92	2.95
A2,3	27.04	7.09	3.00	1.76	4.88	1.07	2.03	3.09
A2,4	26.57	8.57	2.98	1.36	5.05	0.99	1.76	2.75
A2,5	30.02	8.07	2.00	0.82	4.15	1.05	1.94	3.00
A2,6	27.25	7.48	2.95	1.43	5.33	0.89	1.60	2.49
A2,7	25.32	7.69	3.99	2.66	4.30	1.05	0.58	1.63
G1	26.25	8.68	5.01	2.00	3.27	1.55	2.78	4.33
G2	25.59	8.34	4.43	2.32	3.78	1.31	3.80	5.11
G3	27.54	8.55	4.24	1.99	2.93	1.62	3.30	4.93
G4	26.80	8.42	4.61	2.08	3.26	1.67	3.22	4.89
G5	25.39	8.25	4.72	2.21	4.15	1.41	3.06	4.47
G6	26.01	8.53	3.98	2.00	3.39	1.39	4.27	5.66
G7	26.95	8.53	5.02	2.39	2.68	1.71	3.05	4.76
G8	26.82	8.69	4.18	1.76	3.49	1.71	2.95	4.65
G9	26.38	8.36	5.08	2.25	3.32	1.51	2.71	4.22
G10	24.50	7.84	5.05	2.20	5.37	1.42	3.05	4.47
G11	25.53	8.11	4.98	2.02	4.73	1.56	3.05	4.62
G12	26.30	8.72	4.87	2.18	2.66	1.66	3.09	4.75
G13	26.99	8.11	5.42	2.39	2.81	1.67	3.22	4.89
G14	27.13	8.49	4.98	2.34	2.75	1.54	3.47	5.01

### III-4-2 Les diagrammes de Corrélation

Dans ce qui suit, nous allons encore élaborer plusieurs diagrammes de corrélation des résultats des essais géotechniques LA, MDE, en fonction de quelques éléments chimiques qui sont Si, Al, Fe, Mg, Ca, K+Na, K et Na et ce toujours à l'aide de l'outil statistique **SPSS 17**.

#### a) Les échantillons d'andésite

##### a1) Les diagrammes de LA

###### ➤ LA en fonction de Si

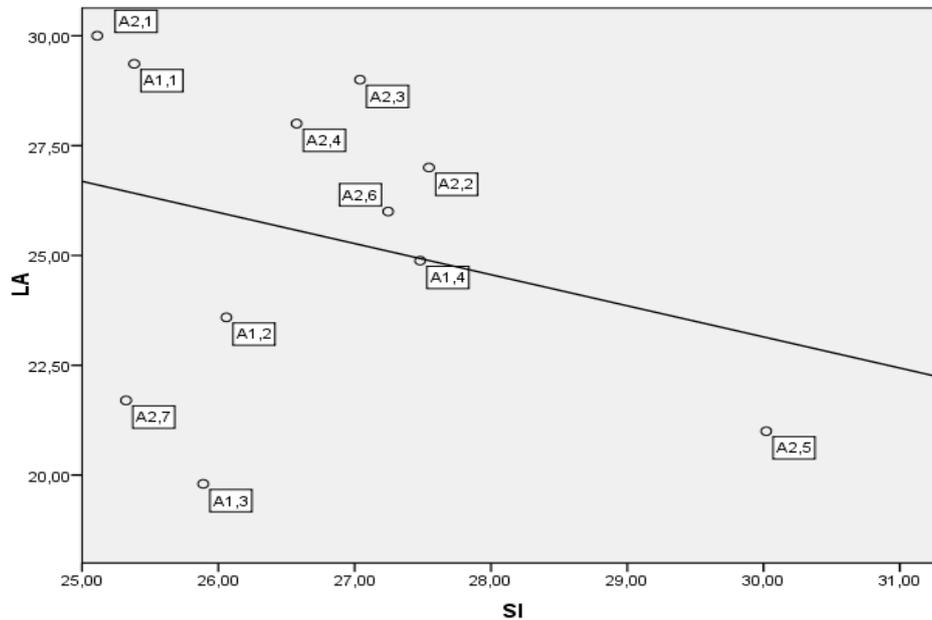


Figure 38 : LA en fonction de Si

➤ *LA en fonction de Al*

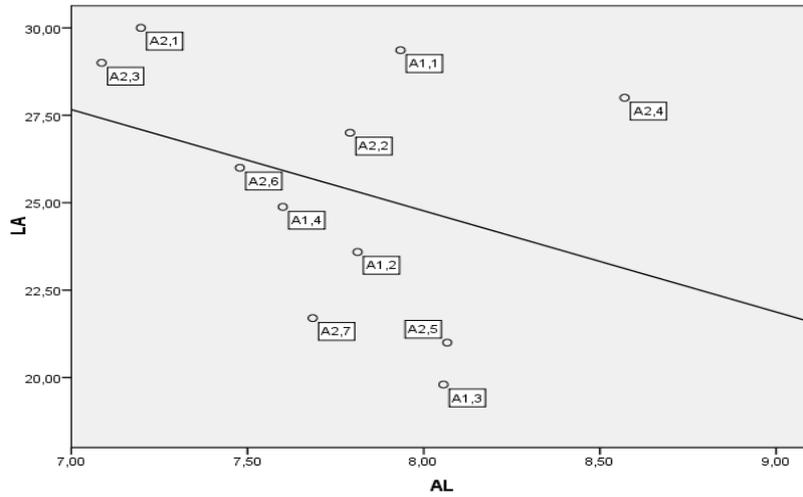


Figure 39 : LA en fonction de Al

➤ *LA en fonction de Fe*

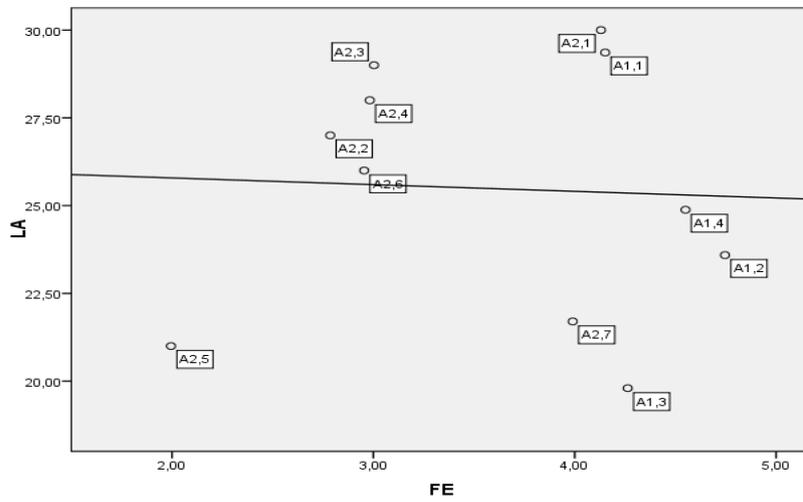


Figure 40 : LA en fonction de Fe

➤ *LA en fonction de Mg*

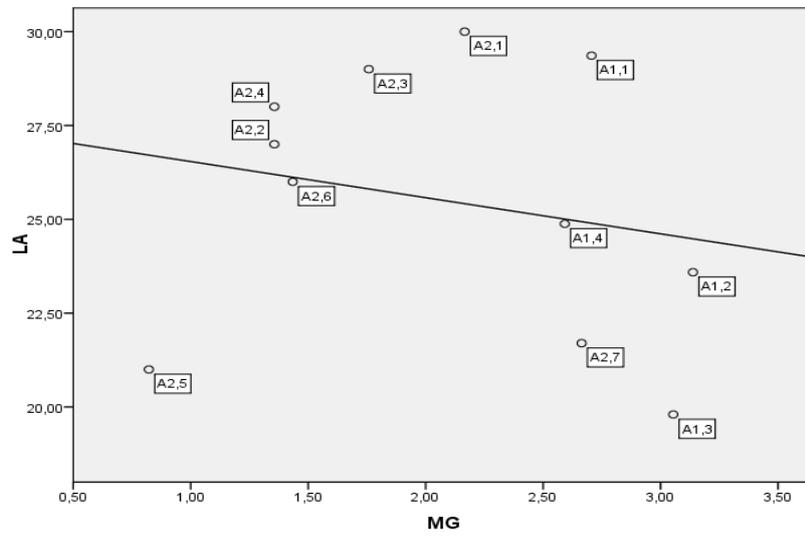


Figure 41 : LA en fonction de Mg

➤ *LA en fonction de Ca*

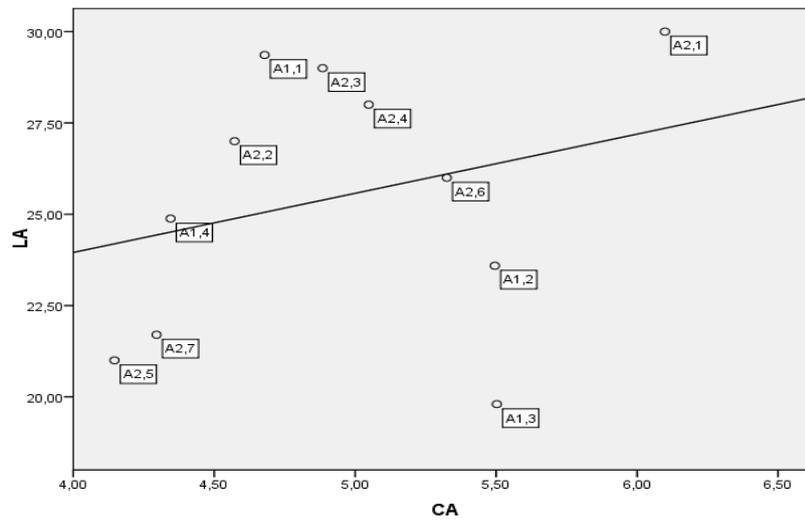


Figure 42 : LA en fonction de Ca

➤ *LA en fonction des Na*

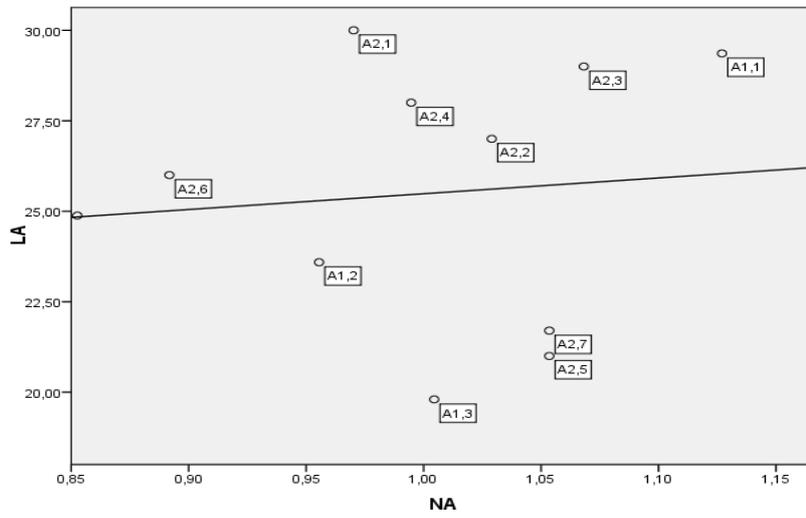


Figure 43 : LA en fonction de Na

➤ *LA en fonction des K*

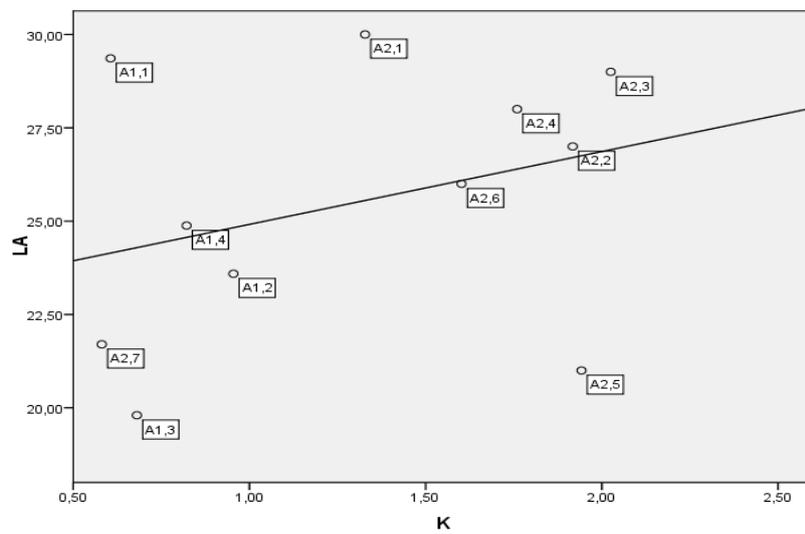


Figure 44 : LA en fonction de K

➤ *LA en fonction des alcalins*

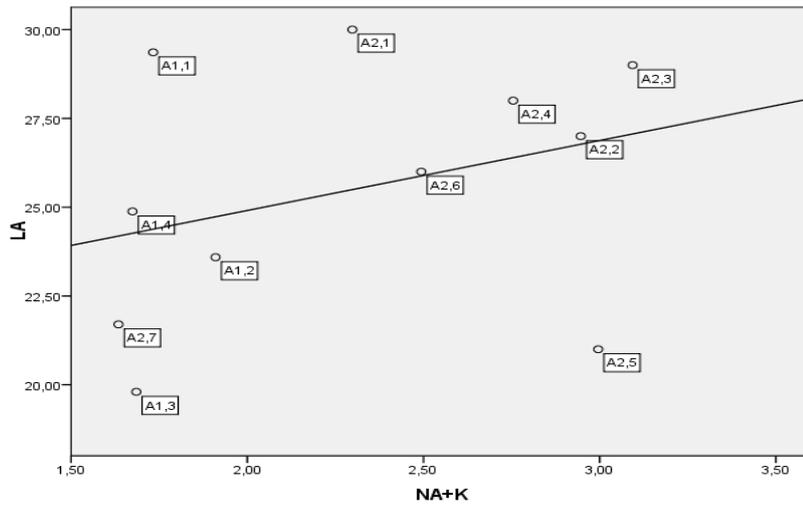


Figure 45 : LA en fonction des alcalins

Pour la roche andésitique, on remarque que pour les figures 38 à 45 :

- LA augmente en fonction des valeurs élevées de Ca, Na, K et Na+K.
- LA diminue lorsque les teneurs en Si, Al et Mg croissent.

a2) Les diagrammes de MDE

➤ *MDE en fonction de Si*

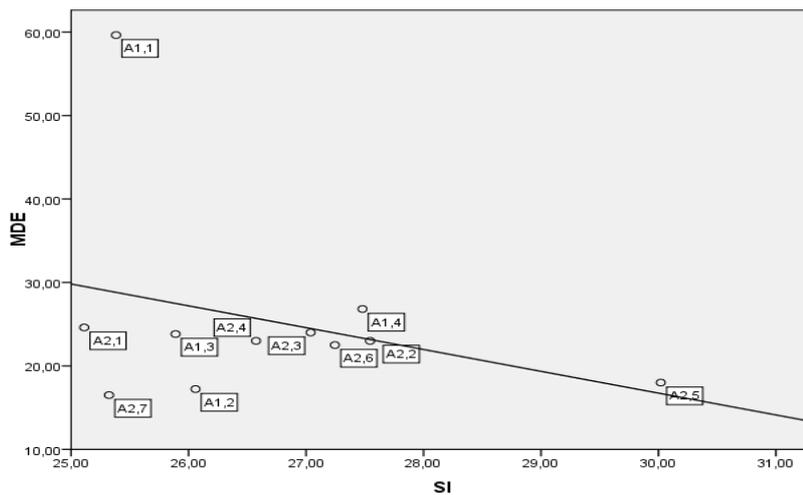


Figure 46 : MDE en fonction de Si

➤ *MDE en fonction de Al*

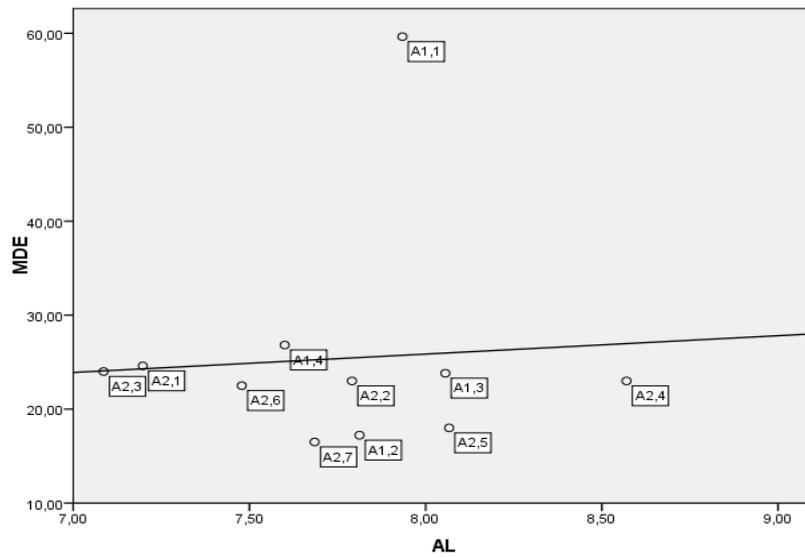


Figure 47 : MDE en fonction de Al

➤ *MDE en fonction de Fe*

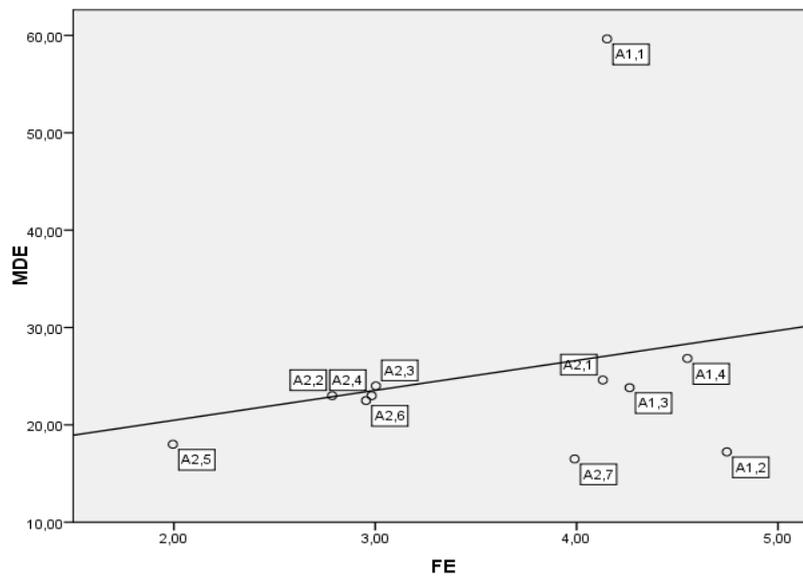


Figure 48 : MDE en fonction de Fe

➤ *MDE en fonction de Mg*

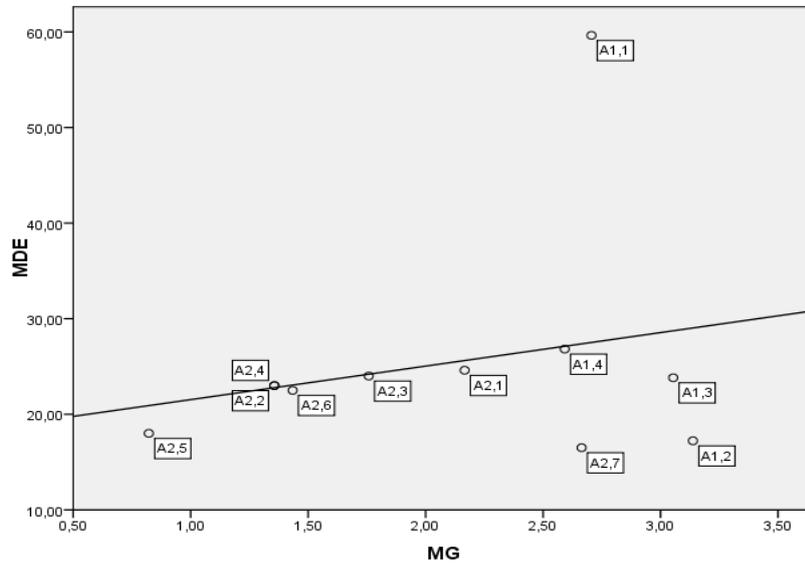


Figure 49 : MDE en fonction de Mg

➤ *MDE en fonction de Ca*

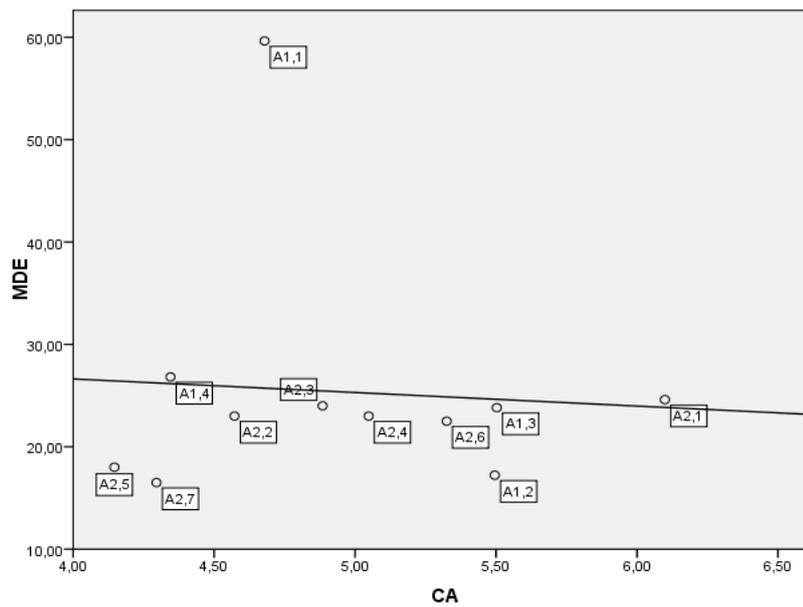


Figure 50 : MDE en fonction de Ca

➤ *MDE en fonction de Na*

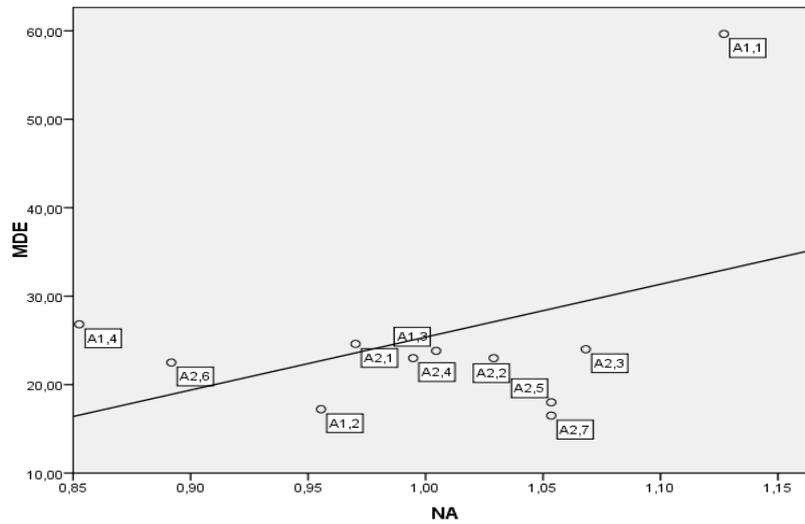


Figure 51 : MDE en fonction de Na

➤ *MDE en fonction de K*

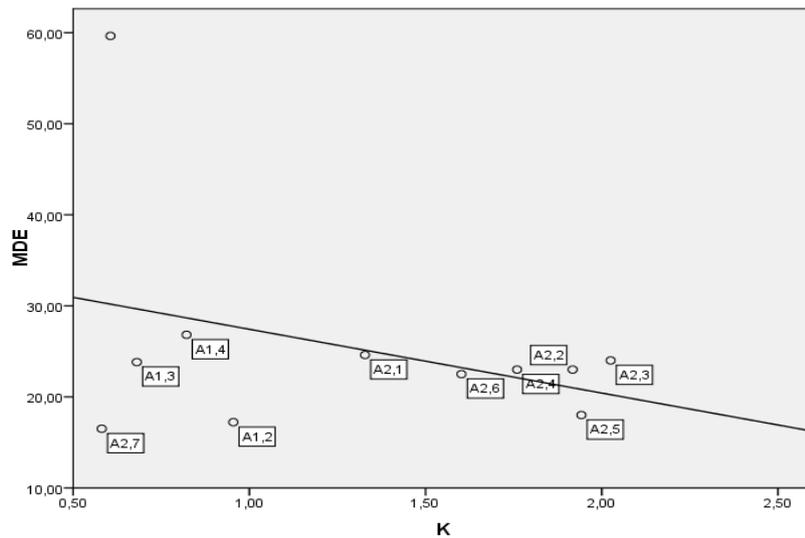
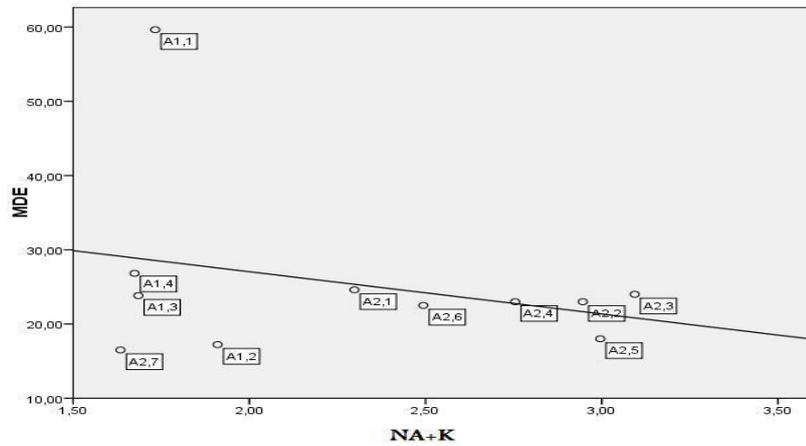


Figure 52 : MDE en fonction de K

➤ *MDE en fonction des alcalins*



**Figure 53 :** MDE en fonction des alcalins

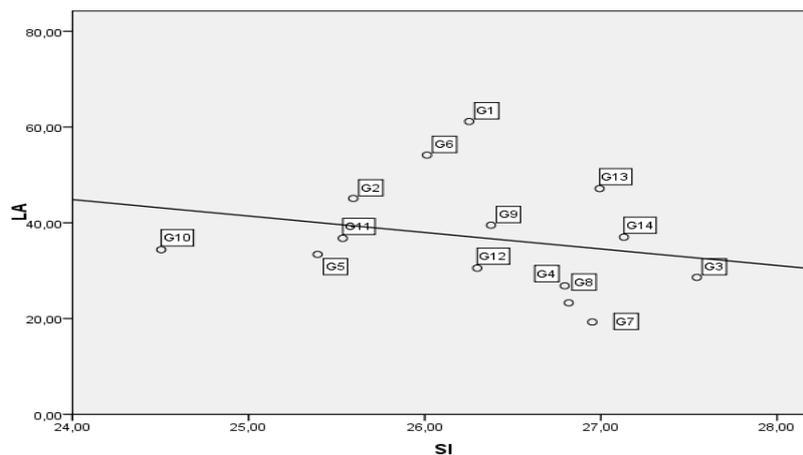
Pour les roches andésitiques on constate que les figures 46 à 53 montrent un MDE qui :

- augmente en fonction des valeurs élevées de Al, Fe, Mg et Na.
- diminue lorsque les teneurs en Si, Ca, K et Na+K croissent.

*b) Les échantillons de Granodiorite*

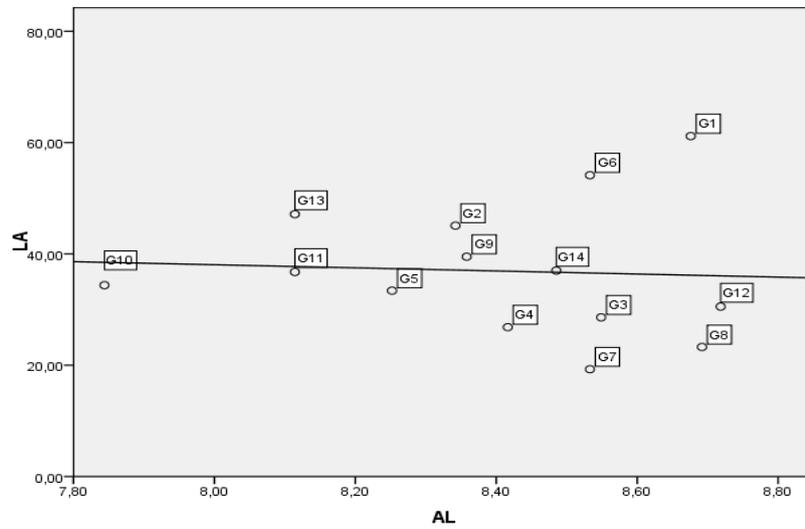
**b1) Les diagrammes de LA**

➤ *LA en fonction de Si*



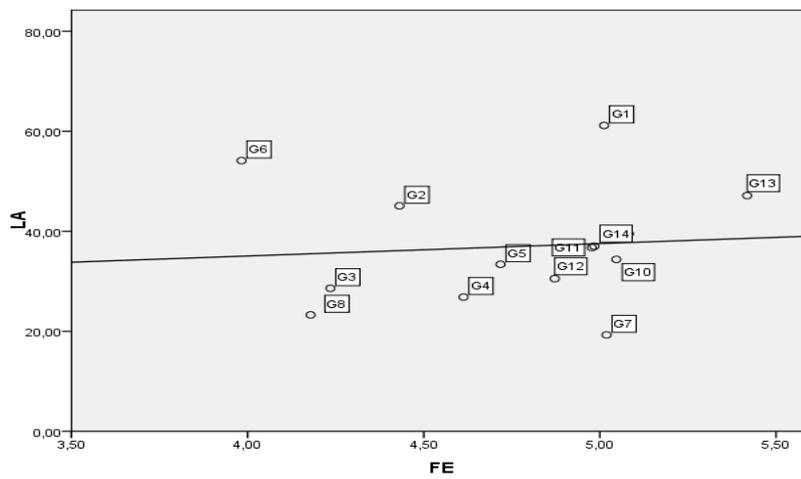
**Figure 54 :** LA en fonction de Si

➤ *LA en fonction de Al*



**Figure 55** : LA en fonction de Al

➤ *LA en fonction de Fe*



**Figure 56** : LA en fonction de Fe

➤ *LA en fonction de Mg*

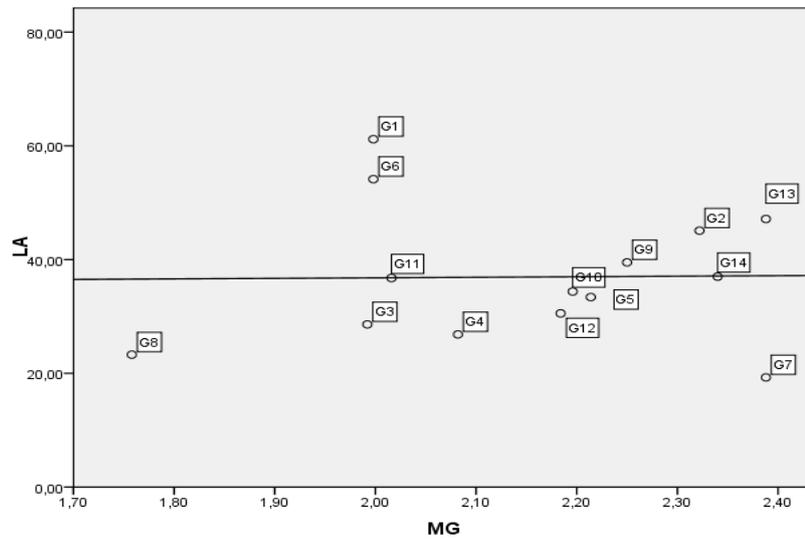


Figure 57 : LA en fonction de Mg

➤ *LA en fonction de Ca*

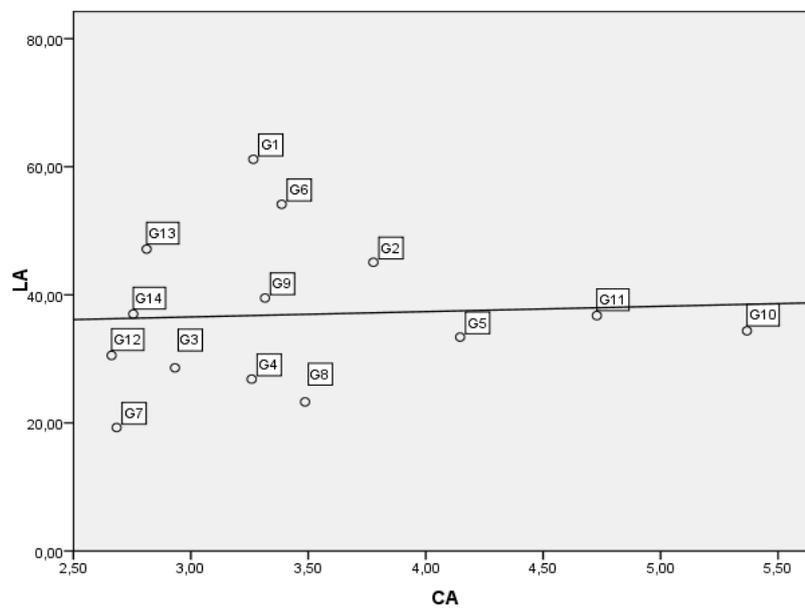


Figure 58 : LA en fonction de Ca

➤ *LA en fonction de Na*

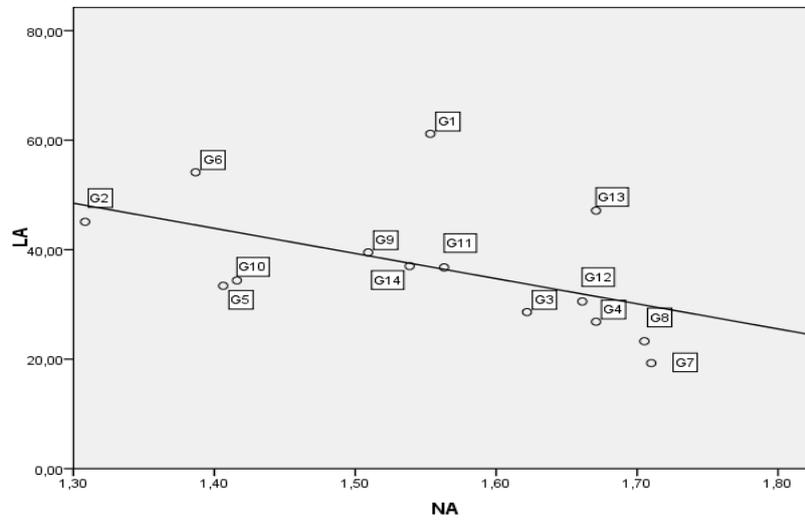


Figure 59 : LA en fonction de Na

➤ *LA en fonction de K*

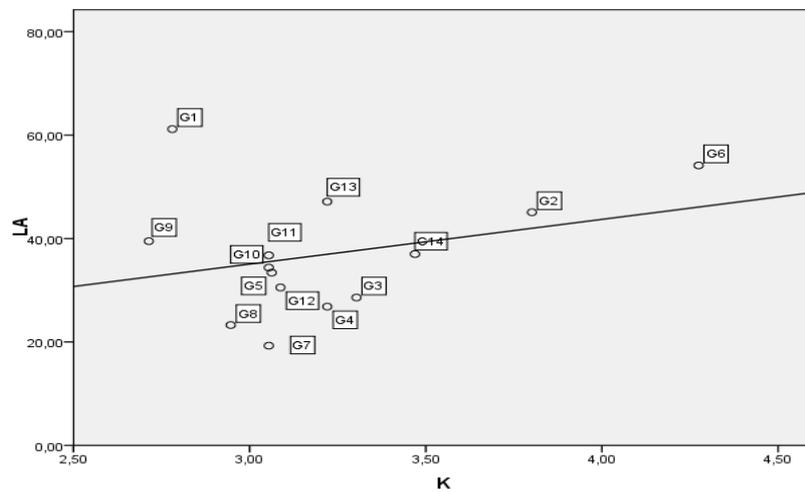
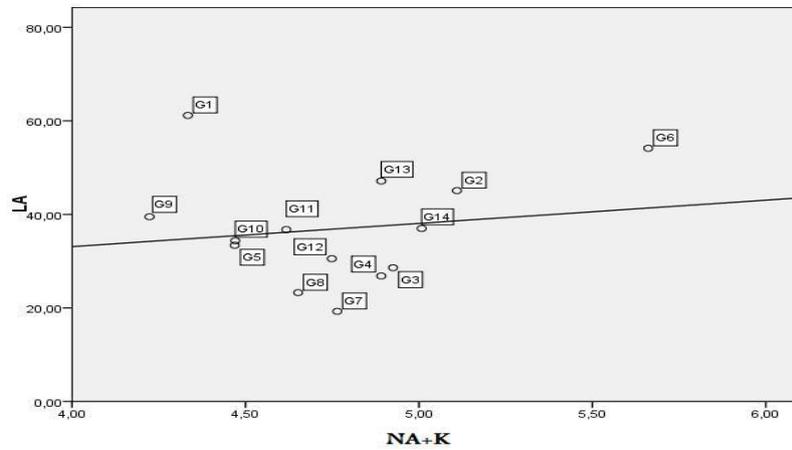


Figure 60 : LA en fonction de K

➤ *LA en fonction des alcalins*



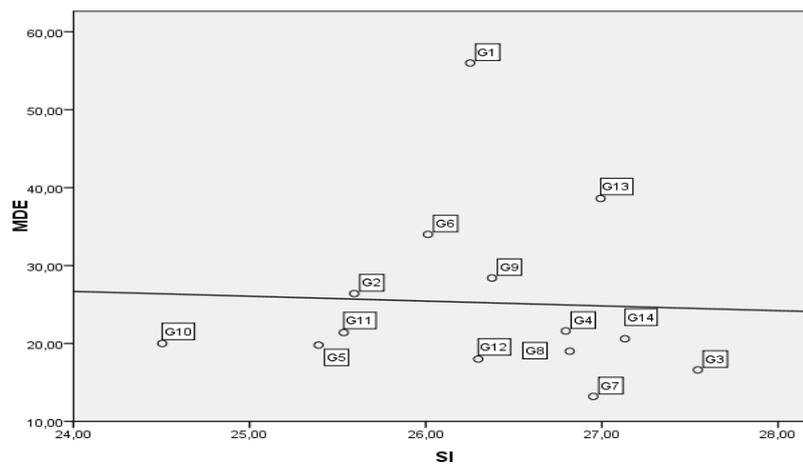
**Figure 61** : LA en fonction des alcalins

Pour les roches de granodiorite on constate que pour les figures 54 à 61, on à :

- LA augmente en fonction des valeurs élevées de Fe, Mg, Ca, K et Na+K.
- LA diminue lorsque les teneurs en Si, Al et Na croissent.

**b2) Les diagrammes de MDE**

➤ *MDE en fonction de Si*



**Figure 62** : MDE en fonction de Si

➤ *MDE en fonction de Al*

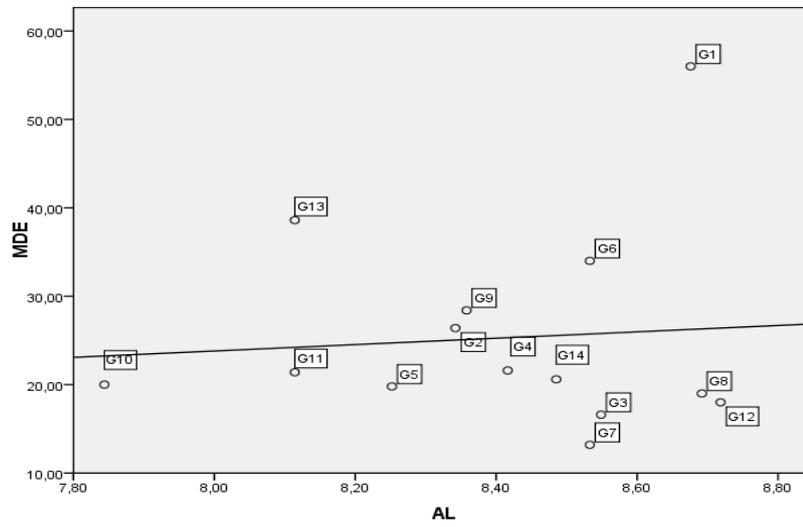


Figure 63 : MDE en fonction de Al

➤ *MDE en fonction de Fe*

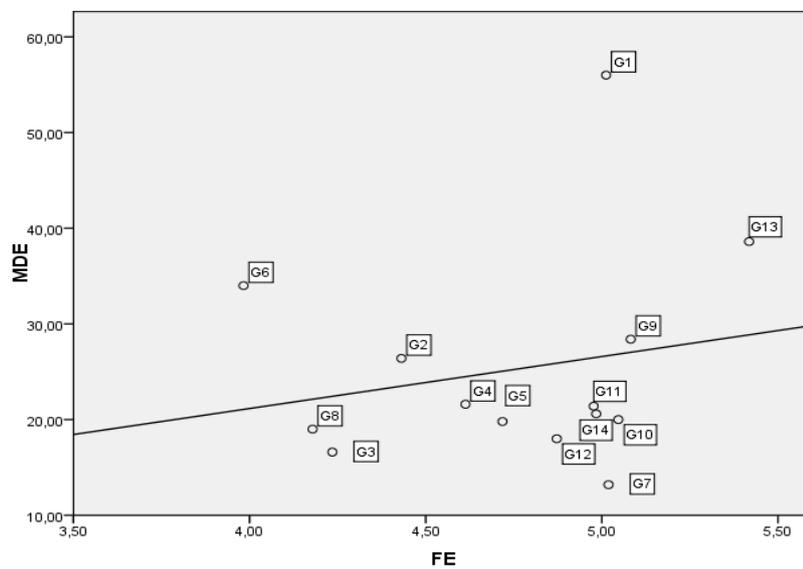


Figure 64 : MDE en fonction de Fe

➤ *MDE en fonction de Mg*

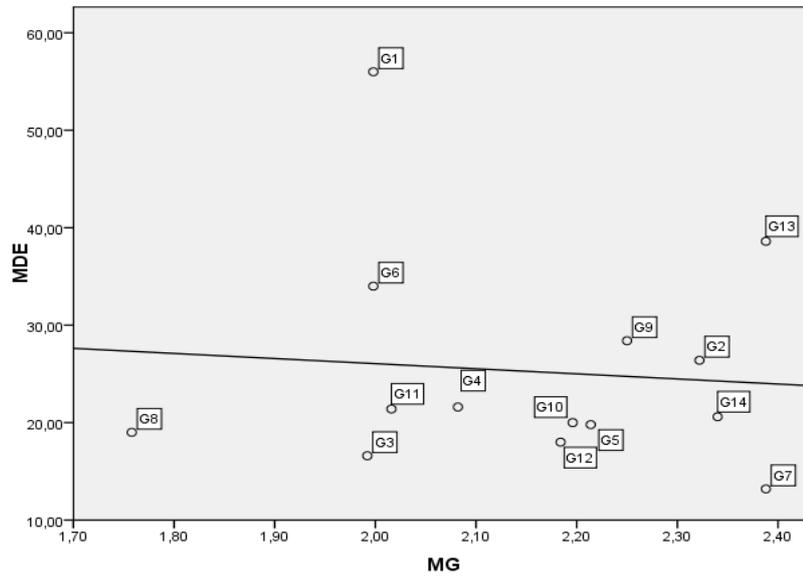


Figure 65 : MDE en fonction de Mg

➤ *MDE en fonction de Ca*

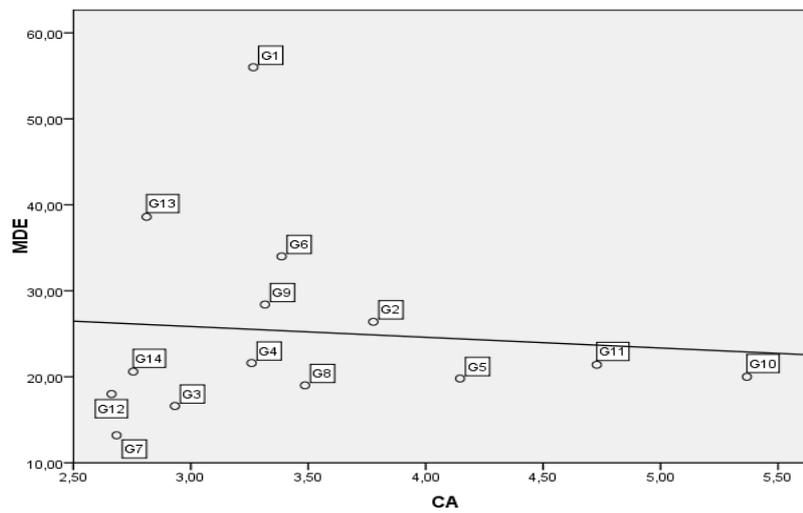


Figure 66 : MDE en fonction de Ca

➤ *MDE en fonction de Na*

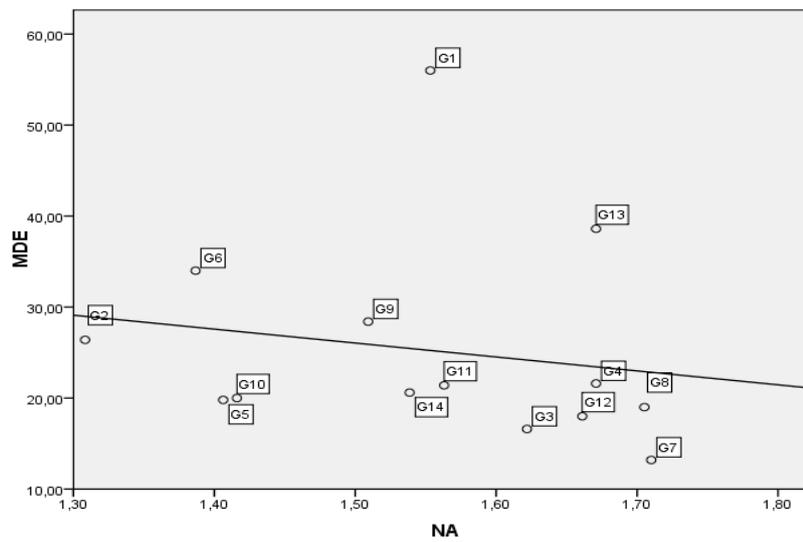


Figure 67 : MDE en fonction de Na

➤ *MDE en fonction de K*

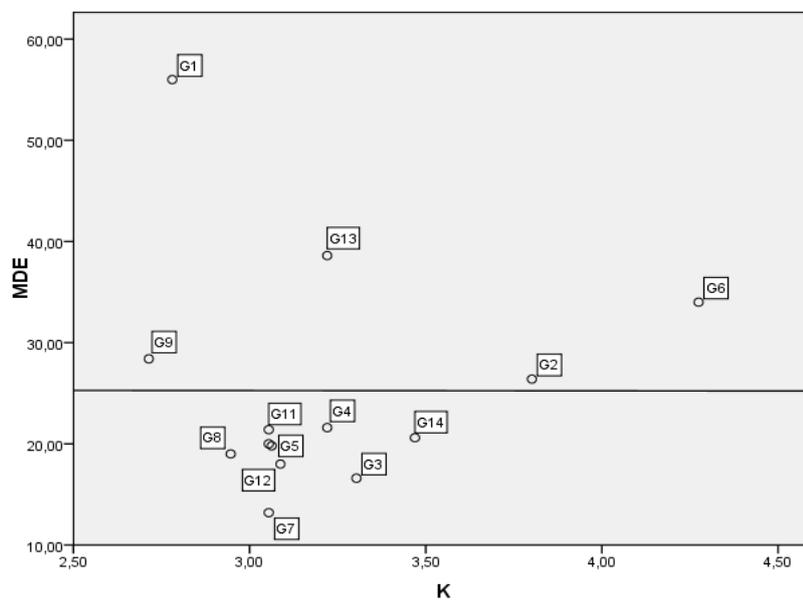
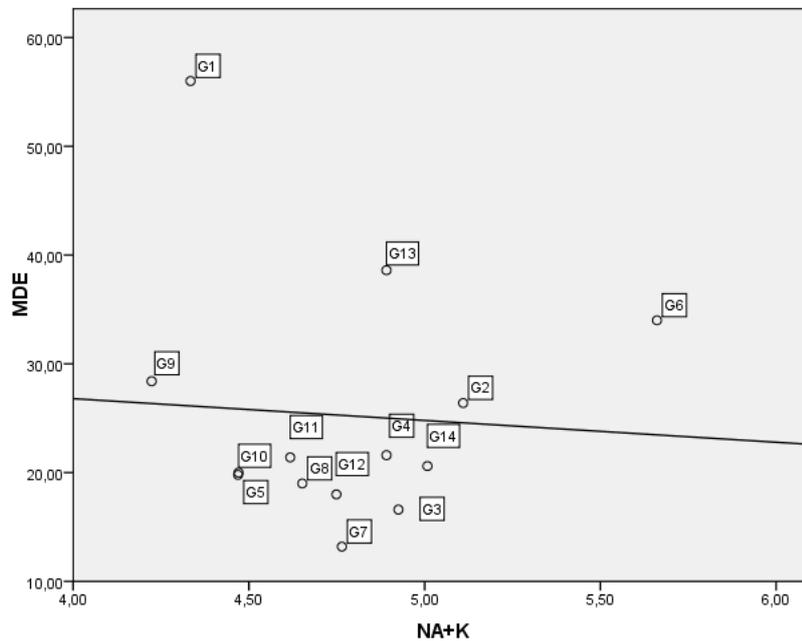


Figure 68 : MDE en fonction de K

➤ *MDE en fonction des alcalins*



**Figure 69 :** MDE en fonction des alcalins

Pour les roches de granodiorite on constate que pour les figures 62 à 69, on à :

- MDE augmente en fonction des valeurs élevées de Al et Fe.
- MDE diminue lorsque les teneurs en Si, Mg, Ca, Na et Na+K croissent.

Les résultats des tests géotechniques et des analyses géochimiques effectués sur les roches magmatiques intermédiaires des trois carrières échantillonnées (Ahmer el Ain, Sidi el Houari et Si Mustapha), ainsi que les diagrammes de corrélation nous permettent de faire les conclusions suivantes concernant :

### 1- Les essais géotechniques de l'andésite

- Les résultats du Los Angeles sont acceptables pour la totalité des échantillons traités (11 échantillons) par rapport à la norme algérienne et américaine (tableau 09).

**Tableau 10 : Normes admissibles (Chanane, 2008)**

<b>Pays</b>	<b>Los Angeles (%)</b>	<b>MDE (%)</b>	<b>DRG</b>
Algérie	< 40	< 30	> 12
France	< 25	< 20	> 14
USA	< 35	< 30	> 18

Alors que pour la norme française, on a deux roches qui sont hors norme.

- Le même constat peut être fait pour les valeurs du MDE de cette roche.
- Concernant la DRG, les résultats paraissent moins bons, puisqu'un seul échantillon (DRG =12) est proche de la valeur admise par la norme algérienne (tableau 09), alors que par rapport aux normes françaises et américaine, aucun échantillon n'a une DRG acceptable.

### 2- Les essais géotechniques de la granodiorite

Sur les quatorze (14) échantillons analysés, les valeurs admissibles par rapport aux normes algérienne, française et américaine correspondent respectivement à :

- 10, 2 et 7 roches pour le Los Angeles ;
- 11, 6 et 11 échantillons pour le MDE ;

- Pour la DRG, là aussi une seule roche a une valeur admissible par la norme algérienne qui est de 13 ; alors que pour les normes française et américaine, toutes nos roches sont hors norme.

### 3- Les diagrammes de corrélation

#### 3-1 Les essais géotechniques en fonction des analyses géochimiques :

Les diagrammes de corrélation des essais géotechniques LA et MDE en fonction de certains oxydes tels que SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO et les alcalins (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ont permis d'obtenir certaines relations entre les premiers paramètres et les seconds pour les deux types de roches, à savoir l'andésite et la granodiorite. Le tableau 10 reprend la synthèse de ces relations. Ainsi, on peut observer que pour :

**Tableau 11** : Récapitulation des résultats de la Granodiorite et des Andésites

Augmentation des Oxydes	EVOLUTION DE LA		EVOLUTION DE MDE	
	<i>Granodiorite</i>	<i>Andésite</i>	<i>Granodiorite</i>	<i>Andésite</i>
SiO <sub>2</sub> ↗	↘	↘	↘	↘
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↗	↘	↘	↗	↗
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↗	↗	↘	↗	↗
MgO ↗	~	↘	↘	↘
CaO ↗	↗	↗	↘	↘
Alcalins ↗	~	↗	↘	↘
PAF ↗	↗	↗	↗	↗

#### a) L'Andésite

- LA croit lorsque le CaO, les alcalins et la PAF augmentent et décroît lorsque SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, et MgO augmentent.

- MDE augmente quand  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et PAF évoluent positivement et diminue quand  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  et les alcalins évoluent positivement.

Ainsi, nous pouvons dire que LA et MDE ont la même évolution en fonction de  $\text{SiO}_2$  et  $\text{MgO}$  d'une part, et la PAF d'autre part ; c'est-à-dire qu'ils diminuent lorsque les deux premiers oxydes croissent, et inversement ils augmentent quand la PAF croit.

b) La Granodiorite :

- LA s'élève en fonction de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  et PAF, mais diminue en fonction de  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- MDE croit lorsque  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et PAF augmentent et décroît quand  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  et les alcalins augmentent.

Là aussi, on constate que LA et MDE s'élèvent et diminuent respectivement lorsque  $\text{SiO}_2$  et PAF augmentent.

### **3-2- Les essais géotechniques en fonction des éléments chimiques :**

Les diagrammes de corrélation des essais géotechniques LA et MDE en fonction de certains éléments chimiques tels que Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Na et les alcalins (K+Na) et cela après la conversion des oxydes présenté précédemment, nous ont permis d'obtenir certaines relations entre les premiers paramètres et les seconds pour les deux types de roches, à savoir l'andésite et la granodiorite. Le tableau 12 reprend la synthèse de ces relations. Ainsi, on peut observer que pour :

a) L'Andésite :

- LA croit lorsque le Ca et les alcalins augmentent et décroît lorsque Si, Al, Fe et Mg augmentent.
- MDE augmente quand Al, Fe, Mg et Na évoluent positivement et diminue quand Si, Ca, K et les alcalins évoluent positivement.

Ainsi, nous pouvons dire que LA et MDE ont la même évolution en fonction de Si et Na.

**Tableau 12** : Récapitulation des résultats de la Granodiorite et des Andésites

Augmentation des Eléments	EVOLUTION DE LA		EVOLUTION DE MDE	
	<i>Granodiorite</i>	<i>Andésite</i>	<i>Granodiorite</i>	<i>Andésite</i>
Si ↗	↘	↘	↘	↘
Al ↗	↘	↘	↗	↗
Fe ↗	↗	↘	↗	↗
Mg ↗	↗	↘	↘	↗
Ca ↗	↗	↗	↘	↘
Na ↗	↘	↗	↘	↗
K ↗	↗	↗	~	↘
Alcalins ↗	↗	↗	↘	↘

c) La Granodiorite :

- LA s'élève en fonction de Fe, Ca, Mg, K et les alcalins mais diminue en fonction de Si, Al et Na.
- MDE croit lorsque Al, Fe augmentent et décroît quand Si, Mg, Ca, Na et les alcalins augmentent.

Là aussi, on constate que LA et MDE ont la même évolution en fonction de Si d'une part, et Fe d'autre part ; c'est-à-dire qu'ils diminuent lorsque Si croit, et inversement ils augmentent quand Fe croit.

Enfin pour conclure, il apparaît :

➤ Qu'en tenant compte de la DRG des andésites et de la granodiorite des carrières étudiées par rapport aux normes internationales, ces roches sont de qualité médiocre pour leur utilisation en ballastage des voies ferrées. En fonction des normes nationales, certaines

valeurs restent admissibles pour l'instant en raison de l'intensité du trafic qui n'est pas très important et de la vitesse d'exploitation qui ne dépasse les 120 km/h. Cependant, dans le cas des lignes à grandes vitesses (entre 120 et 200 km/h et au-delà) et/ou de trafic intense, ce niveau de qualité de roche reste insuffisant et il serait indispensable de trouver des roches de même nature mais de meilleure qualité ou bien de rechercher d'autres types de roches.

➤ Que les paramètres géochimiques qui influent sur les essais géotechniques tels que LA et MDE sont :

✓ Le  $\text{SiO}_2$  qui renforce la dureté aussi bien de l'andésite que celle de la granodiorite, et le MgO celle de l'andésite.

✓ La PAF affaiblit la cohérence aussi bien celle de l'andésite que la granodiorite. Ceci peut être expliqué par le fait qu'en général la PAF est en une relation avec l'altération, c'est-à-dire que dans la majorité des cas lorsque cette dernière est importante, la valeur de la PAF est élevée.

➤ Que les éléments chimiques qui influent sur les essais géotechniques tels que LA et MDE sont :

✓ Le Si qui renforce la dureté aussi bien de l'andésite que celle de la granodiorite.

✓ Le Na qui affaiblit la cohérence dans le cas de l'andésite et le Fe celle de la granodiorite.

## BIBLIOGRAPHIE

**ALIAS J.**, 1984 : La voie ferrée, Edition *Eyrolles*.

**ALIEV M. et AIT LAOUSSINE N.**, 1971 : Structures géologiques et Perspectives en pétrole et en gaz des Atlas Algériens (Tome 1 et 2). *Atlanira-Rotopress, Madrid*.

**AIT HAMOU F.**, 1987 : Etude pétrographique et géochimique du volcanisme d'âge Miocène de la région de Hadjout. *Thèse de Magister à USTHB*.

**ASKRI et al.**, 1995 : Géologie de l'Algérie. *Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement*.

**BITAM L. et FABRE J.**, 1996 : Géodynamique du Craton Ouest africain central : héritage et évolution post-panafricains. *Mémoires du Service Géologique de l'Algérie, n°8, Boumerdes*.

**BOUJEMAA A.**, 1987 : Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara nord oriental. *Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université de Paris*.

**BELANTEUR O.**, 1986 : Le magmatisme miocène de la marge algérienne, chronologie de mise en place. *Thèse de Magister en Sciences de la Terre, USTHB*.

**BEGIOVANNI A.**, 1978 : Les formations volcaniques du Cap Djenet. *Thèse de Doctorat, USTHB*.

**BELLAIR P. et POMEROL C.**, 1984 : Eléments de géologie. *Edition Armond Colin, Paris*.

**CABY R.**, 1970 : La Chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) : sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. *Thèse 3e cycle, Université Montpellier*.

**CAILLEUX A. et CHAVAN A.**, 1965 : Détermination pratique des roches. *Société d'édition d'enseignement supérieur, Place de la Sorbone, 5, Paris V<sup>e</sup>*.

**CHAOUCHE A.**, 2007-2008 : Rapport des travaux géologiques. *Permis de prospection de TAN CHAFFAO Ouest Hoggar, Algérie.*

**CHABOU M.**, 2008 : Datation  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  et Géochimie de la Province Magmatique de l'Atlantique Central dans le Sud-Ouest algérien. *Thèse de Doctorat, ENP.*

**CHANANE L.**, 2008 : Comportement et Influence des Qualités Du Ballast Sur La Circulation Des Trains. *Thèse Magister à l'Institut Supérieur De Formation Ferroviaire, ISFF.*

**CURIE et FLAMAND.**, 1890 : Etude succincte sur les roches éruptives de l'Algérie. *Pub. Serv. Géol Algérie, Alger.*

**DREG/SNMC.**, 1984 : Rapport géologique de gisement de granodiorite de Si Mustapha.

**FICHEUR E.**, 1894 : Notice explicative de la carte géologique de Menerville.

**FICHEUR E.**, 1890 : Description géologique de la Kabylie de Djurjura.

**FABRE J.**, 1976 : Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. *S.N.E.D Alger.*

**FILALI M.**, 2001 : Volcanisme de la province Triasique, Critères Pétrographiques et Géochimiques. *Thèse de Magister, ENP.*

**FOUCAULT A.**, 1984 : Dictionnaire de Géologie. *Edition Masson, Paris.*

**GLANGEAUD.**, : Notice explicative de la carte géologique des roches éruptives d'âge Secondaire. *Bulletin Service Carte Géologique, Algérie.*

**HARROUCHE N.**, 1987 : Etude des roches éruptives dans le district II (Illizi- El Biod). *Rapport interne SONATRACH.*

**JUNG J.**, 1977 : Précis de Pétrologie. *Edition MASSON.*

**RAYMOND J. et MAGNE D.**, 1969 : Découverte et signification chronologique d'un Oligocène et d'un Miocène marneux "anté-nappe" dans la région de Dellys

(Grande Kabylie, Algérie). *Extrait du C. R. sommaire des séances de la Société géologique de France, Fascicule 5.*

**SONAREM**, 1981 : Notice explicative de la carte d'extension des substances utiles de la Wilaya de Blida.

**SITE INTERNET** : <http://books.google.com>.

**SITE INTERNET** : [http://www.lave-volcans.com/fiches\\_science\\_2.html](http://www.lave-volcans.com/fiches_science_2.html).

**THEOBALD N., et GAMMA A.**, 1969 : Géologie générale et pétrologie. *Edition Doin-Deren et Cie, Paris.*

**THOMAS S.**, 2005: Geological Atlas of Africa. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg Printed in Germany, p31-38.*