

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE MINIER

PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté à
L'Ecole Nationale Polytechnique

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

THEME

*Compilation des caractéristiques géologique et
géomécanique par régression linéaire d'un
ensemble de sites d'affleurements magmatiques
basiques, pour la production de granulats, situés
au nord-centre et nord-ouest de l'Algérie*

Elaboré et présenté par :
Boubekeur MEROUANE

Proposé et Dirigé par :
Mr.L.CHANANE (MAA) ENP, Alger

Soutenu publiquement devant le jury composé de
Président : Dr.M OULD HAMOU MCA ENP, Alger
Examineur : Dr.R.AKKAL MCA ENP, Alger

ENP 2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE MINIER

PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté à
L'Ecole Nationale Polytechnique

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

THEME

*Compilation des caractéristiques géologique et
géomécanique par régression linéaire d'un
ensemble de sites d'affleurements magmatiques
basiques, pour la production de granulats, situés
au nord-centre et nord-ouest de l'Algérie*

Elaboré et présenté par :
Boubekeur MEROUANE

Proposé et Dirigé par :
Mr.L.CHANANE (MAA) ENP, Alger

Soutenu publiquement devant le jury composé de
Président : Dr.M OULD HAMOU MCA ENP, Alger
Examineur : Dr.R.AKKAL MCA ENP, Alger

ENP 2016

Résumé

ملخص

ان اختيار نوعية الحصى تمثل أطروحة جدية في الدراسات ومشاريع الهندسة المدنية. في الجزائر يتم استخراج الحصى في معظم الأحوال من الصخور الرسوبية الحيرية، التي أظهرت رداءة نوعيتها مقارنة بالمعايير القياسية المستخدمة في الدول المتقدمة.

لقد اثبتت كل التجارب التي أجريت في البحوث الأكاديمية ودراسة سوق الحصى الكلسية أنها تتميز بنوعية رديئة تتمثل في حساسية عالية فيزيوكيميائية وفيزوميكانية نتيجة تلوث المحيط ونتيجة قيود الضغوط والشد في هيكل المباني واعمال الهندسة المدنية، لذا فمن الضروري البحث على أنواع أخرى من الحصى المتمثلة في الصخور النارية التي تلبى متطلبات المعايير الدولية.

ان بحثنا هذا يهدف الى التحقق واثبات الارتباطات الخطية بين الخصائص البيتروجيوكيميائية والخصائص الجيوميكانيكية لصخور تم جمعها في التتوات البركانية القاعدية في شمال وسط وشمال غرب الجزائر، وذلك بجمع تلك الخائص المتواجدة في البحوث السابقة لمشاريع نهاية الدراسة.

الكلمات المفتاحية . الحصى ، الصخور النارية القاعدية، بيتروجيوكيمياء، جيوميكانيك ،الارتباطات الخطية، الانحدار الخطي.

Abstract

The choice of aggregate quality remains seriously posed in the studies and civil engineering projects. In Algeria, the aggregates are mostly extracted from calcareous sedimentary rocks which, for most cases, have shown their limits and checked their poor quality compared to international standards used in developed countries.

All the experiments conducted as part as academic research and market studies have proved and shown poor quality of the limestones aggregates which are characterized by a high physico-chemical and physico-mechanical sensitivity as a result of air pollution and compressive loads stress and tensile as well experienced by all the structures related to civil engineering works. So it is very imperative to seek other types of aggregates derived from the relevant magmatic rocks such as the basic type that have better quality meeting the requirements of international standards.

However, the work of our final project aims to verify and validate the correlations esta-

blished by linear regression between petrogeochemical characteristics and geomechanical parameters of rocks samples collected from basic igneous outcrops of the North-central and NW Algerian areas, signing up through a compilation of all geological and geomechanical characterization, carried out previously by the final projects studies related to the training of state engineer in mining engineering.

Keys words : granulates, igneous basic rocks, petrogeochemistry, geotechnics, linear regression, correlations.

Résumé

Le choix de la qualité des granulats reste sérieusement posé dans les études et les projets du Génie civil. En Algérie, les granulats sont en majorité extraits des roches sédimentaires calcaires qui, pour la plus part des cas, ont montré leur limites et vérifié leur qualité médiocre par rapport aux normes standard internationales utilisés dans les pays développés.

Toutes les expérimentations menées dans le cadre des recherches académiques et des études des marchés ont prouvé la qualité médiocre des granulats calcaires qui se caractérisent par une grande sensibilité physico-chimique et physico-mécanique sous l'effet de la pollution atmosphérique et les contraintes de charges de compression et traction subies par les structures des ouvrages de bâtiments et travaux publics. Donc, il est très impératif de rechercher d'autres types de granulats dérivant des roches magmatiques en l'occurrence basiques qui présentent de meilleure qualité répondant aux exigences des normes internationales.

Cependant, le travail de notre projet de fin d'étude vise à la vérification et validation des corrélations établies par régression linéaire entre les caractéristiques pétrogéochimiques et les paramètres géomécaniques des roches prélevées des affleurements magmatiques basiques du Nord-centre et NW Algérien, s'inscrivant dans le cadre d'une compilation de toutes les caractérisations géologique et géomécanique, réalisées précédemment dans la cadre des projets de fin d'études d'ingénieur d'Etat en génie minier.

Mots clés : Granulats, Roches volcaniques basiques, Pétrogéochimie, géomécanique, régression linéaire, corrélations.

Dédicace

*Je dédie ce projet à ma chère et adorable
maman...*

Remerciements

C'est avec Tout le bonheur et la joie qui sont en moi que je remercie avant tout le Bon Dieu qui m'a donné le courage et la patience d'achever mes études et d'accomplir ce modeste travail.

Ainsi que de leur précieuse aide et appuie des personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je commence vivement et chaleureusement de remercier mon promoteur Mr L.CHANANE dont l'appui, conseils, critiques m'ont été d'un apport précieux, et m'ont été d'une aide inestimable et qui ont largement contribué à ma formation d'ingénieur, je n'oublierais pas aussi ses encouragements qui m'ont donné la force d'avancer. Je tiens aussi à remercier les membres du jury qui ont accepté d'examiner ce modeste travail, je citerai le Président Dr M.OULD HAMOU et l'examineur Dr AKKAL

Je tiens à exprimer aussi mes vifs remerciements à tous les enseignants du département génie minier qui étaient à pied d'œuvre le long de ma formation, je citerai exclusivement :

— Mr M. OULD HAMOU, Professeur en traitement des minéraux et chef de notre département génie minier.

Je tiens aussi à remercier tout le personnel de l'ENP, surtout Mr TAHMI.

Table des matières

Liste des tableaux	IX
table des figures	XII
Introduction	XIII
1 Le cadre naturel et géologique	2
1.1 Introduction	2
1.2 Le cadre naturel de la région de cap Djinet ¹	2
1.2.1 Situation géographique et administrative	2
1.2.2 Contexte de géologie régionale	3
1.2.3 Geologie du site d'échantillonnage de la région de Cap-Djenet (fig 1.3	6
1.3 Cadre naturel de la région de Mont chenoua, Tipaza	9
1.3.1 Situation géographique et administrative	9
1.3.2 Relief et climat	9
1.3.3 Contexte de géologie régionale	9
1.3.4 Geologie du site d'échantillonnage de la region du mont chenoua . .	11
1.4 Cadre naturel de la région de Aïn-Temouchent ²	14
1.4.1 Situation géographique et administrative	14
1.4.2 Relief et Climat	14
1.4.3 Hydrogéologie de la région	15
1.4.4 Contexte de géologie régionale de la région de Aïn-Temouchent (Sites de Béni-Saf et la grande coulée basaltique de Aïn-Temouchent)	15
1.4.5 Géologie du site d'échantillonnage de la zone d'étude de Béni-Saf .	17

1. PFE I. N DADDI MOUSSA, M.F. SEMMACHE,2013

2. A. BEY, 1996 ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, 1996 ; PFE S. ALLOU et B. OTSMANE,2010 ; PFE M. MEHALIL et B.NASRI

1.4.6	Géologie du site d'échantillonnage de la coulée basaltique de Aïn-Temouchent	19
1.5	Cadre naturel de la région du mole de Tiffrit (w. Saïda) ³	22
1.5.1	Situation géographique et administrative	22
1.5.2	Relief et climat	22
1.5.3	Contexte de géologie régionale du mole Tiffrit dans la région de Saïda	23
1.5.4	Géologie du site d'échantillonnage – du Mole Tiffrit-saïda	29
	Introduction	33
2	Analyse pétrogéochimique	34
2.1	Introduction	34
2.2	Expression des résultats	34
2.3	Interprétation	34
2.4	Conclusion	39
3	Analyse géomécanique	41
3.1	Introduction	41
3.2	interprétation des résultats	43
3.2.1	Essai Los Angeles	43
3.2.2	Essai micro DEVAL à voie humide	43
3.2.3	Dureté Relative Globale	44
3.2.4	Conclusion	45
	Introduction	48
4	Construction des Diagrammes de Corrélations et interprétation	49
4.1	Diagrammes de corrélation de Perte au Feu PAF	51
4.2	Diagrammes de corrélation Los Angeles LA	57
4.3	Diagrammes de corrélation Micro Deval Humide MDE	64
4.4	Diagrammes de corrélation Dureté Relative Globale DRG	71
4.5	Conclusion	78
	Conclusion générale	80
	BIBLIOGRAPHIE	83

3. PFE S.ALLOU et B.OTSMANE ?2010

Liste des tableaux

2.1	Analyses géochimiques des éléments majeurs par fluorescence X des échantillons du Mont Chenoua (CHR.) et de Cap-Djenet (CD,CD/S et CD/M), de Ain timouchente (AT), et de béni saf (BS) qui se situe aussi à Ain Timouchente, et enfin de Tiffrit à Saida (TF)	35
3.1	ENG, Normes standards des essais géotechniques des granulats, 1993. . . .	41
3.2	:Résultats des essais géomécaniques des échantillons du Mont Chenoua (CHR.) et de Cap-Djenet (CD,CD/S et CD/M), de Aïn-Temouchent (AT), et de béni saf (BS) qui se situe aussi à Aïn-Temouchent, et enfin de Tiffrit à Saida (TF), avec A :Acceptable, nA : nonAcceptable,B :Bonne, et M :médiocre, enfin H.A :Hors Abaque.	42
4.1	Tableau des données géochimiques et géomécaniques	50

Table des figures

1.1	Cap Djinet [extrait de carte Nord d’Afrique Alger Echelle 1/250000 NJ 31-15,1952]	3
1.2	Coupe géologique des formations volcaniques de Cap Djinet [R.DEGIOVANNI ,1978]	7
1.3	Carte Géologique de Dellys/Tizi-Ouzou,Extraite de la feuille n ° 8/23-B2.3-C19, 1984, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d’Alger.	7
1.4	Légende stratigraphique et lithologique	8
1.5	Cap du Mont Chenoua [extrait de carte Nord d’Afrique Blida Echelle 1/250000 NJ 31-14,1952]	9
1.6	Carte Géologique de Cherchell Echelle :1/50 000e (1981) Extraite de la feuille n ° 39 - B4 / C14, 1981, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d’Alger.	12
1.7	Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 1.6	13
1.8	Beni Saf [extrait de carte Nord d’Afrique Oran Echelle 1/250000 NI 30-4,1952]	14
1.9	Carte géologique de la région de Aïn-Temouchent aux 1/500 000 2 eme éditions (1951-1952)	17
1.10	Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 1.9	18
1.11	Légende représentant les roches ignées extraite de la légende précédente	19
1.12	Extrait de la carte géologique d’Algérie, site de Béni Saf au 1/500 000 2ème édition (1951-1952)	20
1.13	Extrait de la carte géologique d’Algérie, site de coulée basaltique de Aïn-Temouchent au 1/500 000, 2ème édition (1951-1952)	21
1.14	Mole de Tiffrit [extrait de carte Nord d’Afrique Saida Echelle 1/250000 NI 31-5,1952]	22
1.15	carte géologique de la région d’Ain Balloul au 1/50 000 Feuille n °275 (2009)	29

1.16	coupe géologique construite à partir de la carte d'Ain Balloul	29
1.17	légende de la carte d'Ain Balloul	30
1.18	Carte géologique de la région de Tiffrit (Tirée de la carte de la région de Ain Balloul : 1/50 000, feuille n °275 (2009)	31
2.1	Classification des roches magmatiques selon le diagramme TAS	38
2.2	Diagramme de TAS sub-alkalin	39
3.1	Abaque Dureté Relative Globale	46
4.1	Diagramme de corrélation PAF/SiO ₂	51
4.2	Diagramme de corrélation PAF/Al ₂ O ₃	52
4.3	Diagramme de corrélation PAF/Fe ₂ O ₃	53
4.4	Diagramme de corrélation PAF/MgO	54
4.5	Diagramme de corrélation PAF/Na ₂ O+K ₂ O	55
4.6	Diagramme de corrélation PAF/TiO ₂	56
4.7	Diagramme de corrélation LA/SiO ₂	57
4.8	Diagramme de corrélation LA/Al ₂ O ₃	58
4.9	Diagramme de corrélation LA/Fe ₂ O ₃	59
4.10	Diagramme de corrélation LA/MgO	60
4.11	Diagramme de corrélation LA/CaO	61
4.12	Diagramme de corrélation LA/Na ₂ O+K ₂ O	62
4.13	Diagramme de corrélation LA/TiO ₂	63
4.14	Diagramme de corrélation MDE/SiO ₂	64
4.15	Diagramme de corrélation MDE/Al ₂ O ₃	65
4.16	Diagramme de corrélation MDE/Fe ₂ O ₃	66
4.17	Diagramme de corrélation MDE/MgO	67
4.18	Diagramme de corrélation MDE/CaO	68
4.19	Diagramme de corrélation MDE/Na ₂ O+K ₂ O	69
4.20	Diagramme de corrélation MDE/TiO ₂	70
4.21	Diagramme de corrélation DRG/SiO ₂	71
4.22	Diagramme de corrélation DRG/Al ₂ O ₃	72
4.23	Diagramme de corrélation DRG/Fe ₂ O ₃	73
4.24	Diagramme de corrélation DRG/MgO	74
4.25	Diagramme de corrélation DRG/CaO	75

4.26	Diagramme de corrélation DRG/Na ₂ O+K ₂ O	76
4.27	Diagramme de corrélation DRG/TiO ₂	77

Introduction

Le 20^{ème} et le 21^{ème} siècle ont fait l'objet de plusieurs bouleversements technologiques, notamment ceux relatifs aux infrastructures de base, ce qui incite les spécialistes et les utilisateurs du marché de granulats à développer davantage des études très pointues et de recherches très poussées dans le domaine du génie civil et les disciplines y afférentes, étayées par des modélisations mathématiques, travaux d'analyses expérimentales de laboratoires en vue non seulement de rechercher mais aussi de trouver la meilleure qualité possible des matériaux de granulats utilisés dans les différents secteurs du bâtiment et travaux publics et devant répondre aux exigences des normes internationales.

En Algérie, en raison de la nécessité de développer et moderniser les infrastructures de base face à aux exigences de la conjoncture, les conditions actuelles en termes de recherches dans le domaine du génie civil ne font guère exception et qui s'expriment par de nombreuses études qui se font sentir au niveau des différents projets de constructions aussi bien en cours de réalisation que ceux projetés dans un futur à différent terme.

Actuellement, les granulats les plus utilisés en Algérie sont ceux des roches sédimentaires dont tous les tests chimiques et physico-mécaniques ont prouvé qui sont de qualité médiocre comparativement aux normes standard internationales. A cet effet, nous envisageons dans le cadre de notre mémoire de fin d'études de rechercher d'autre type de matériaux de granulats dérivant des roches magmatiques basiques faisant l'objet d'une lithologie qui semblent présenter de meilleures qualités pétrogéomécaniques et géochimiques, d'où la nécessité de déterminer et vérifier leurs caractéristiques géologique et géomécanique pour qu'ils soient largement utilisés dans le domaine du génie civil conformément aux exigences des normes internationales en vigueur.

De ce fait, le travail de notre projet de fin d'étude fera l'objet de vérification et de validation des corrélations établies par régression linéaire entre les caractéristiques pétrogéochimiques et les paramètres géomécaniques, des affleurements magmatiques basiques du Nord Algérien, s'inscrivant dans le cadre d'une compilation de toutes les caractérisa-

tions géologique et géomécanique, réalisées précédemment dans la cadre des projets de fin d'études d'ingénieur d'Etat en génie minier, ayant consacré les recherches sur cinq sites d'affleurement magmatiques basiques, situés comme suit :

- La carrière de basalte exploitée par Sonatro à Cap-Djenet dans la wilaya de Boumerdes,
- deux sites vierges de coulée basaltique de Béni-Saf et Aïn-Temouchent dans la wilaya d'Aïn-Temouchent,
- le site vierge d'affleurement basique du môle de Tifrit dans la wilaya de Saïda,
- le site vierge de pointement de roches basiques du mont de Chenoua dans la wilaya de Tipaza.

Cependant, notre travail de recherche s'articulera autour de deux parties :

1. Partie théorique : consacrée à la présentation du contexte géologique (lithostratigraphie et géodynamique) de chaque site.
2. Partie expérimentale : consacrée au traitement informatique par compilation de tous les résultats pétrogéochimiques obtenus à partir des travaux d'analyses expérimentales réalisés dans différents laboratoires nationaux.

Partie Théorique

Chapitre 1

Le cadre naturel et géologique

1.1 Introduction

Le présent chapitre se réserve essentiellement à présenter le cadre naturel et le contexte géologique des cinq sites d'études et qui sont donnés comme suit :

1.2 Le cadre naturel de la région de cap Djinet ¹

1.2.1 Situation géographique et administrative

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

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

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

1. PFE I. N DADDI MOUSSA, M.F. SEMMACHE, 2013

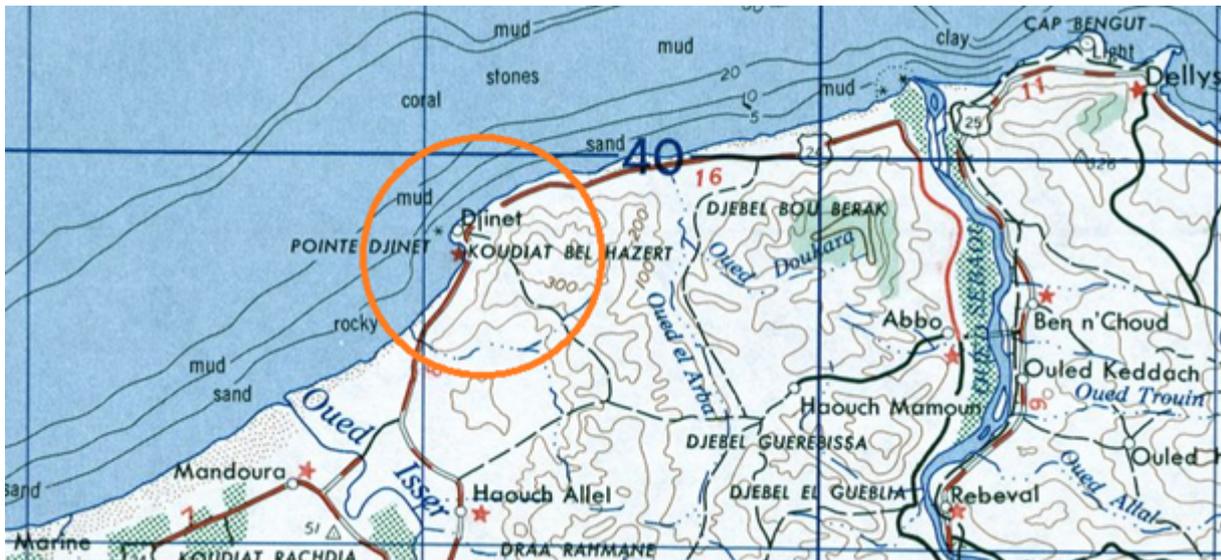


FIGURE 1.1 – Cap Djinet [extrait de carte Nord d’Afrique Alger Echelle 1/250000 NJ 31-15,1952]

1.2.2 Contexte de géologie régionale

Historique des travaux

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

- 1868, la notice minéralogique de la région de Delys et ses environs, réalisée par L.VILLE.
- 1889, Travaux de J. CURIE, G. FLAMAND.
- 1891, Travaux de J.FICHEUR.
- 1932 et 1954, Travaux de L. GLANGEAUD.
- 1992, R.YAKHLEF.

Géologie régionale de la région de Bumerdes

La région de Bumerdes est caractérisée essentiellement par des formations allant du jurassique au quaternaire (argile, grès, calcaires) et par quelques boutonnières de socle (calcaires marmorisés, marbres, quartzites, phyllithes) auxquelles s’associent des corps magmatiques (granite, rhyolite, andésite, basalte, dacite).

On signale ainsi des dépôts du jurassique, crétacé, paléogène, néogène et quaternaire.

Quaternaire (Holocène-pléistocène) : Ces formations sont situées à l’Est et au nord de la wilaya. Elles se traduisent par des éboulis, des alluvions et des sables.

Néogène (pliocène-Miocène) : les formations du miocène sont représentées par des

marnes, des grés et des argiles tandis que celles du Pliocène montrent des marnes grasses à intercalations grés-carbonatées.

Paléogène (Oligocène-Eocène) : il est largement répandu dans la région. Il forme une puissante série de flysch oligocène constituée par une alternance de grés et de marnes.

Crétacé (Albo-aptien et cénomanien) : Il est constitué de formations flyschoïdes représentées par une alternance de grés quartzeux et d'argiles.

Jurassique (Lias) : Il est représenté par des calcaires et des dolomies massives qui affleurent dans la région de KEDDARA.

Dans la région s'est mis en place un complexe volcanique « *post – nappes* » (*Rhyolites, Rhyodacites et Basaltes*) sur les versants Nord et Ouest de Djebel BOUBERAK. Plus à l'Ouest, affleure le complexe intrusif de Thénia constitué de granite, granito-gneiss et ortho-gneiss.

Géologie régionale de cap Djinet

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

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

1. Une série supérieure andésitique

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

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

— Les brèches andésitiques, elles constituent la base des coulées. Ce sont des brèches monogéniques, hétérométriques et non classées. La matrice qui cimente ces brèches est hyaline ou tuffacée. Ces brèches sont la conséquence des phases explosives avec projections aériennes de cendres et de blocs.

2. Une série inférieure basaltique

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

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

(a) Des faciès d'épanchement

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

- Basalte fin supérieur
- Basalte porphyrique
- Basalte fin inférieur

Les termes inférieur et supérieur sont par rapport à la couche porphyrique.

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

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

(b) Les produits de projection

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

(c) Les pointements intrusifs

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

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

Tectonique

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

1.2.3 Géologie du site d'échantillonnage de la région de Cap-Djenet (fig 1.3)

Le choix du site des points d'échantillonnages a été porté sur la région de Cap-Djenet, située à l'Est du littoral algérois à 95 Km à l'Est d'Alger.

Les points d'échantillonnage sont situés sur le versant Nord de la zone d'étude de cap-Djenet, directement exposés à la mer, d'où l'influence marine des vents humides sur les météorisations physique et chimique des roches.

Huit échantillons ont été prélevés dans deux carrières de basalte, faisant partie d'un petit massif volcanique formant un gisement basaltique. La 1ère carrière est de très grande taille, encore en exploitation, appartenant à l'entreprise SONATRO : la 2ème carrière, de taille moyenne, est à l'abandon, appartenait à la Compagnie Méditerranéenne des Travaux Maritimes (MEDITRAM). Les deux carrières sont situées à des niveaux hypsométriques allant de quelques mètres à 100m, entre les plages anciennes du Quaternaire (qm.1a) et les formations gréseuses post-nappes du Miocène dans l'étage du Burdigalien (mGII.1).

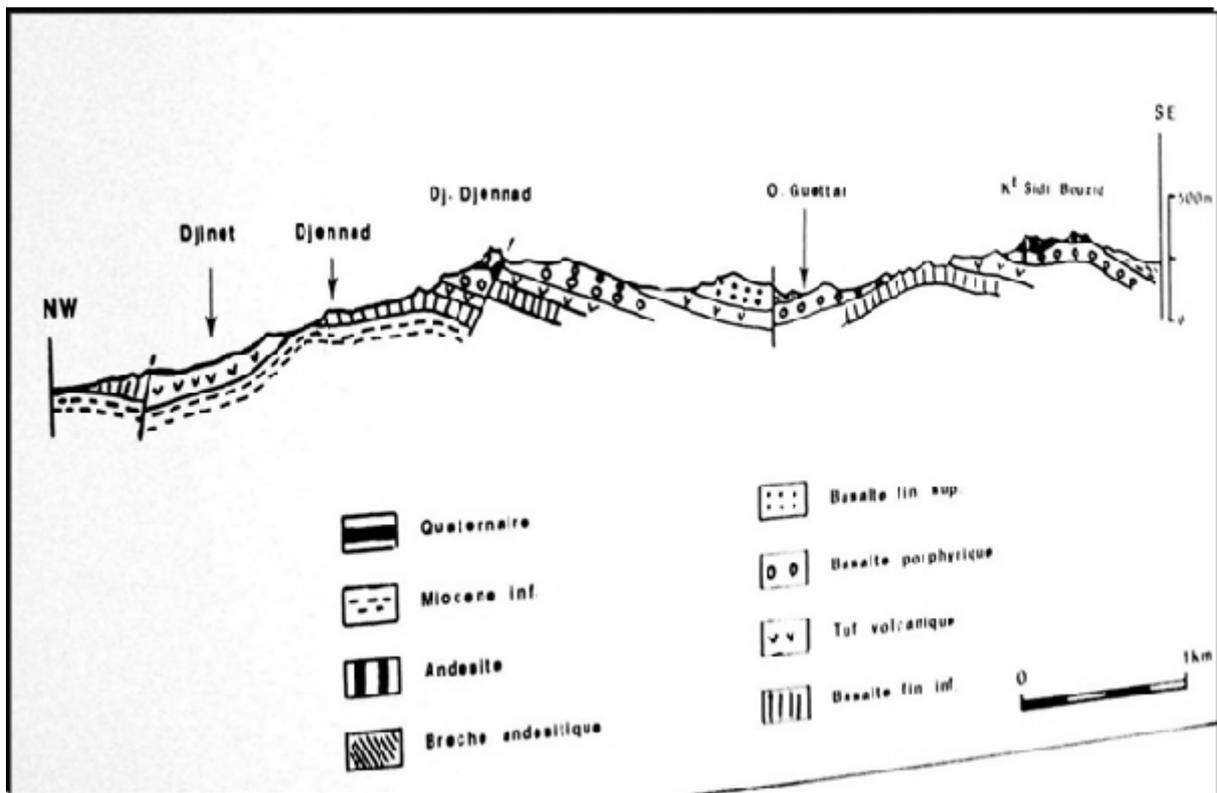


FIGURE 1.2 – Coupe géologique des formations volcaniques de Cap Djinet [R.DEGIOVANNI ,1978]

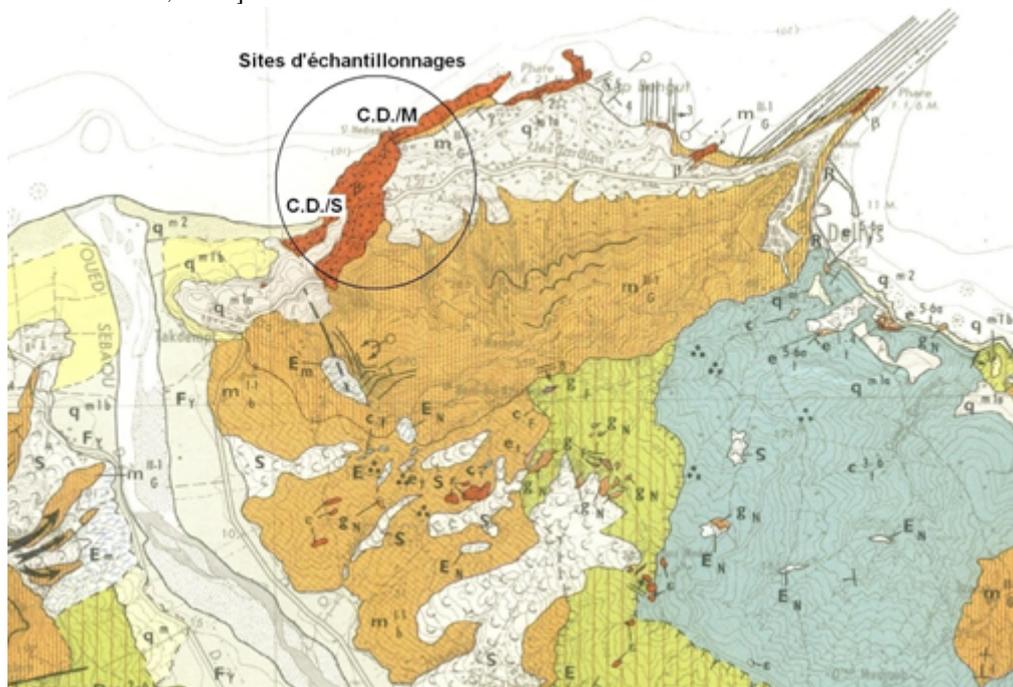


FIGURE 1.3 – Carte Géologique de Dellys/Tizi-Ouzou, Extraite de la feuille n° 8/23-B2.3-C19, 1984, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d'Alger.

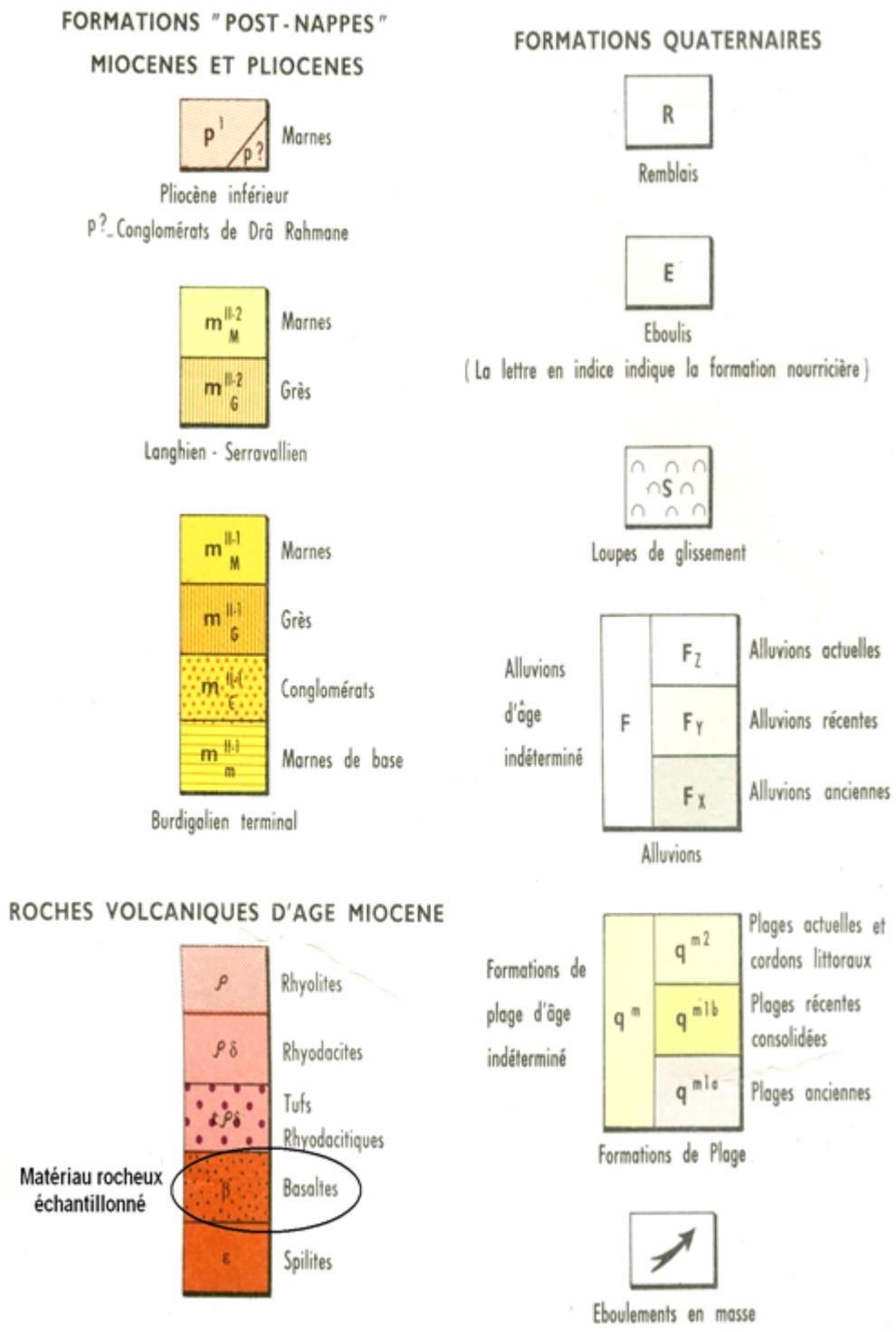


FIGURE 1.4 – Légende stratigraphique et lithologique

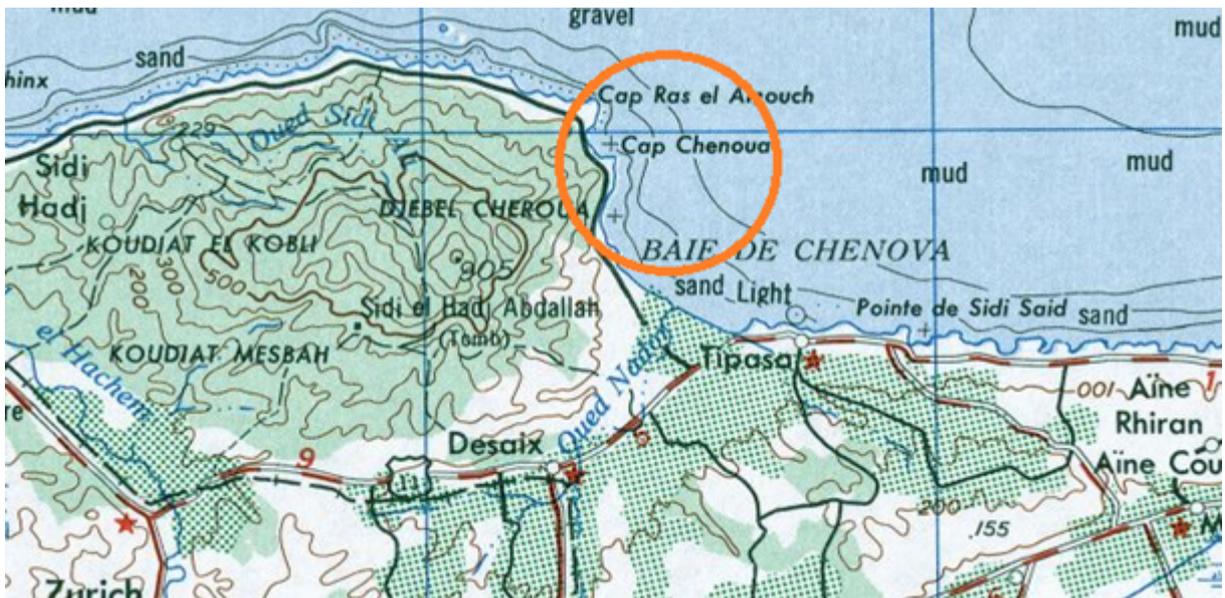


FIGURE 1.5 – Cap du Mont Chenoua [extrait de carte Nord d’Afrique Blida Echelle 1/250000 NJ 31-14,1952]

1.3 Cadre naturel de la région de Mont chenoua, Tipaza

1.3.1 Situation géographique et administrative

La zone d’étude de la région du Mont Chenoua est située sur la bande côtière Ouest de la wilaya de Tipaza, située à l’Ouest de la ville de Tipaza, chef-lieu de la wilaya, et à 75 Km environ à l’Ouest d’Alger. Les coordonnées géographiques de Tipaza, sont Latitude $36^{\circ} 35'$ et Nord Longitude $2^{\circ} 26'$.

1.3.2 Relief et climat

La région du Mont Chenoua constitue le prolongement vers le Nord du dédoublement de la chaîne tellienne et culmine à une altitude de 800 m environ. Sur le plan climatique, la région est située entièrement sous les influences marines, donc elle dispose d’un climat de type méditerranéen.

1.3.3 Contexte de géologie régionale

La lithostratigraphie de la région est structurée en fonction du cadre morphostructural suivant : un domaine interne, un domaine externe en relation avec une dynamique

magmatique développant des roches éruptives.

1. Domaine interne

Il est représenté par le massif cristallin affleurant au Nord, à la pointe BERIN-SHELL, et appartient au prolongement du domaine du massif ancien kabyle. Il est essentiellement constitué de formations métamorphiques : schistes cristallophylliens, marbres et métaquartzites.

- Le paléozoïque est composé de formations gréseuses et carbonatées, d'âge Dévonien inférieur à Carbonifère moyen, et affleure sur le flanc Nord du mont Chenoua.
- Une dorsale externe, constituée de calcaires et marnes d'âge triasique, affleurant le long de la marge méridionale de Chenoua, et de formations détritiques post-lutésiennes attribuées à l'Eocène-Oligocène, affleurant sur la bordure Sud de Chenoua. Cette dorsale assure, en discordance, le prolongement de la dorsale kabyle, qui est divisée en 3 unités (interne, médiane, externe) et constituée de formation calcaro-dolomitiques et marno-calcaires, d'âge Mésozoïque à Eocène.

2. Domaine externe

Il est essentiellement constitué de formations telliennes d'âge Crétacé, et se compose de 3 unités (inférieure, supérieure, et les Flyschs) :

- L'unité inférieure autochtone de Bou-Maad est formée de séries épimétamorphiques.
- L'unité supérieure allochtone des « 4Mamelons » est formée de séries grésos-quartziques et marno-calcaires.
- Les Flyschs sont essentiellement constitués de schistes quartzeux, marno-calcaires et d'argilites. Toutes les formations crétacées affleurent dans la partie Est de Tipaza.

Les formations néogènes « *Post – Nappes* » et les dépôts quaternaires sont largement développés dans la région et se présentent comme suit :

- Le Miocène est essentiellement constitué d'argiles et e marnes avec des passées de grès et e calcaires ; il se localise dans la région de Hadjout et dans le bassin de Menaceur.
- Le pliocène est représenté par des marnes, des argiles bleues avec des cailloutis à la base et des dépôts alluviaux du Quaternaire largement développés à l'Est de Tipaza.
- Le Quaternaire, largement développé à l'Est de Tipaza, est formé de dépôts

alluviaux.

3. Les Roche éruptives

Elles sont représentées par des andésites, basaltes, dacites et des rhyolites, d'âge Burdigalien-Tortonien, et des granites qui recourent la série miocène. Ces roches affleurent essentiellement à Menaceur et à Hadjeret-Enous et en pointement à Chenoua d'où le prélèvement d'échantillonnage.

1.3.4 Géologie du site d'échantillonnage de la région du mont chenoua

Le choix du site d'échantillonnage a été porté sur la région côtière du littoral Ouest algérois, à savoir le versant Nord du Mont Chenoua, directement exposé à la mer, d'où l'influence marine des vents humides sur les météorisations physique et chimique des roches. Quatre échantillons ont été prélevés sur un site vierge, à partir d'un essaim de filons doléritiques, situés à des niveaux hypsométriques allant de 100 à 250m dans le massif sédimentaire du Primaire (du Dévonien moyen à Carbonifère inférieur à moyen) formé de lydiennes noires (roches sédimentaires siliceuses à radiolaires et ciment calcédonieux).

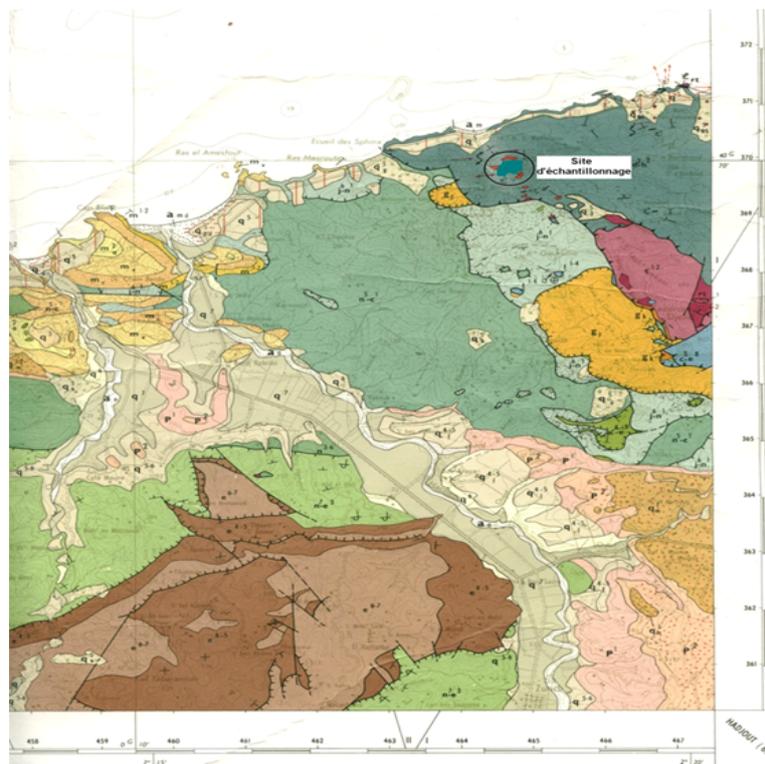


FIGURE 1.6 – Carte Géologique de Cherchell Echelle :1/50 000e (1981) Extraite de la feuille n° 39 - B4 / C14, 1981, Sous/Direction de la Géologie, Institut National de Cartographie d'Alger.

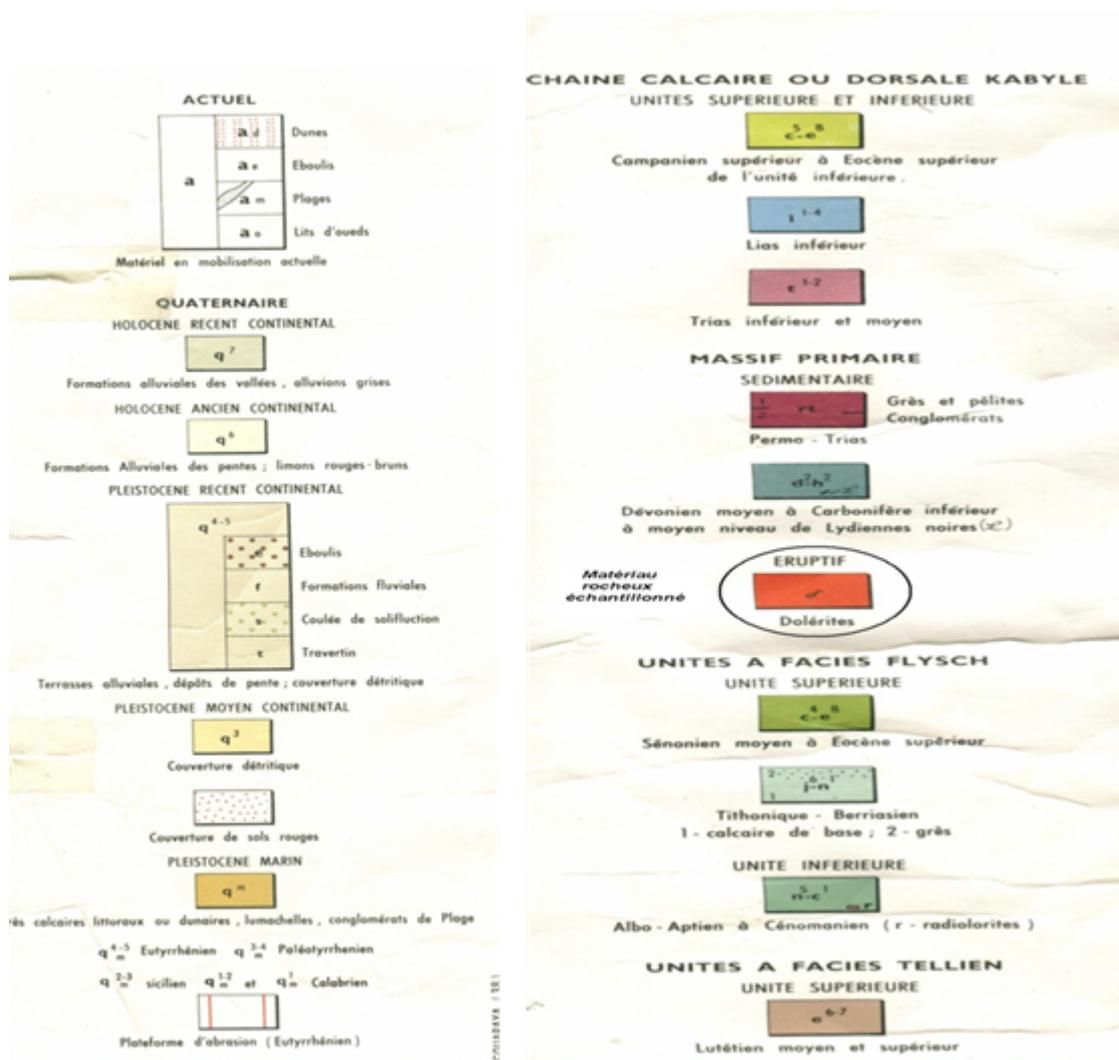


FIGURE 1.7 – Légende stratigraphique et lithologique relative à la figure 1.6

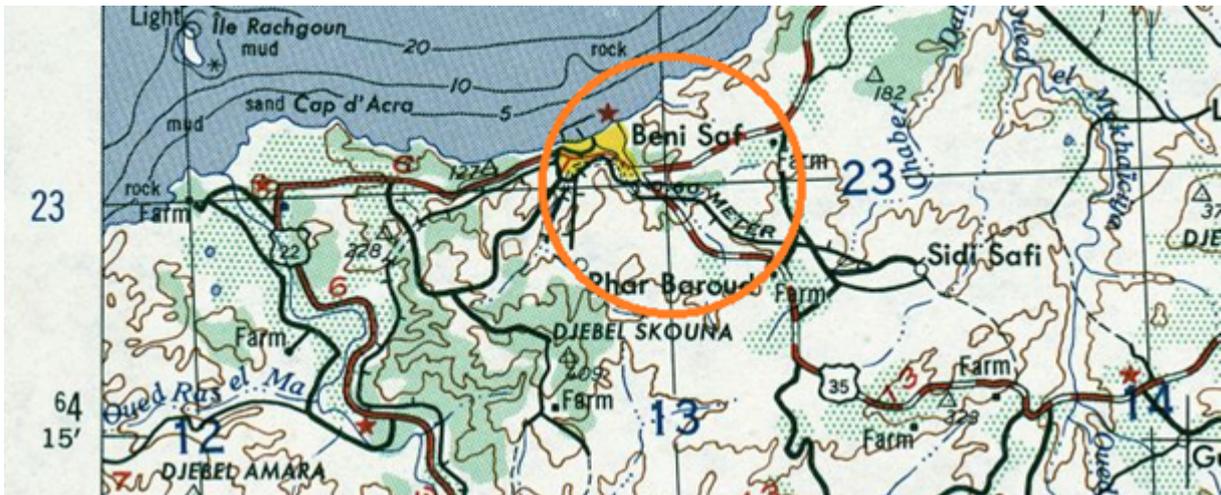


FIGURE 1.8 – Beni Saf [extrait de carte Nord d’Afrique Oran Echelle 1/250000 NI 30-4,1952]

1.4 Cadre naturel de la région de Aïn-Temouchent²

1.4.1 Situation géographique et administrative

La région de Aïn-Temouchent fait l’objet de deux (02) sites de zone d’étude d’où les affleurements magmatiques de Béni-Saf et la grande coulée basaltique de Aïn-Temouchent, situés dans le territoire de la wilaya de Aïn-Temouchent, sur la bande côtière Ouest du pays, est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, à l’Ouest par la wilaya de Tlemcen, au Sud par Sidi Bel Abbes et Oran à l’Est. Le chef-lieu de wilaya est distant de 540 km d’Alger.

Selon la carte géologique de Ain témouchent, 1/50 000 -1987, (Feuille 209/B : 11/C : 5), les coordonnées géographiques sont de 39 G 15’ N à 39 G 32’ N et de 03 G 70’ W à 03 G 90’ W.

1.4.2 Relief et Climat

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

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

2. A. BEY, 1996 ; K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, 1996 ; PFE S. ALLOU et B. OTSMANE, 2010 ; PFE M. MEHALIL et B. NASRI

plaines.

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

1.4.3 Hydrogéologie de la région

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

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

1.4.4 Contexte de géologie régionale de la région de Aïn-Temouchent (Sites de Béni-Saf et la grande coulée basaltique de Aïn-Temouchent)

Introduction

Deux unités géologiques peuvent être distinguées schématiquement.

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

A l'Ouest, un secteur rehaussé au cours du tertiaire et comportant des formations sédimentaires paléozoïques et mésozoïques, marquées surtout à l'Ouest, par d'importants phénomènes volcaniques tertiaires et quaternaires (basaltes). L'ensemble de ces formations peut être recouvert localement par des lambeaux de formations détritiques ou carbonatées tertiaires.

Lithostratigraphie

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

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

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

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

Tectonique

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

Il a été procédé à l'échantillonnage de roches basiques prélevées à partir de plusieurs points qu'on peut regrouper en deux sites :

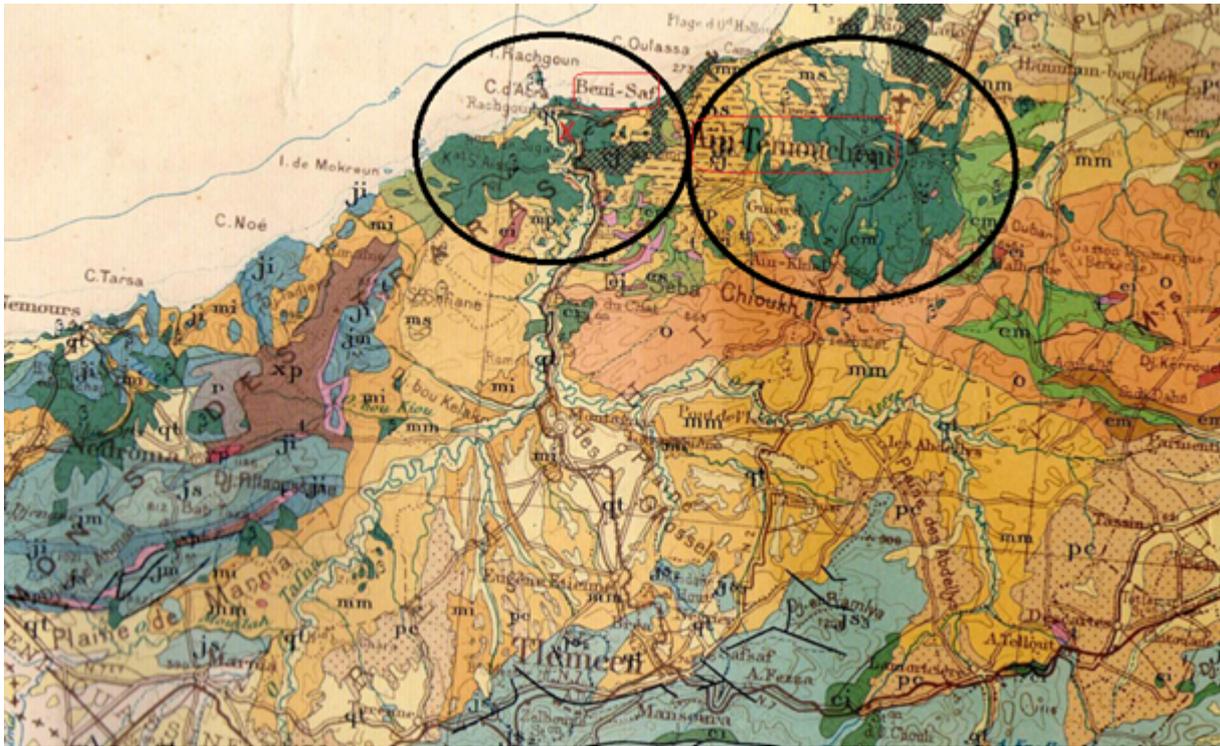


FIGURE 1.9 – Carte géologique de la région de Aïn-Temouchent aux 1/500 000 2 eme éditions (1951-1952)

1.4.5 Géologie du site d'échantillonnage de la zone d'étude de Béni-Saf

La zone d'étude de Béni Saf constitue l'un des deux (02) sites d'échantillonnage de la région de Aïn-Temouchent, situé juste au bord de la route nationale n°22, près de 30 km au NW du chef-lieu de la wilaya de Ain- Temouchent, où Quatre échantillons ont été prélevés d'un affleurement magmatique formant une coulée basaltique longeant la côte, qui selon la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000, donnée en figure 1.9, est situé, près de la côte sur les versants Nord, exposés directement à la mer, d'où l'influence des vents humides et leur effet sur la météorisation chimique des roches, à des niveaux hypsométriques allant de 0 à 100 m, entre les plages anciennes du Quaternaire (qm.la) et les formations gréseuses Post-nappes du Miocène dans l'étage du Burdigalien (mGII.1).

Cependant, la région de Béni- Saf, au même titre que la coulée basaltique de Aïn-Temouchent, est située dans les zones d'écrasement, proches de la ligne de faille et d'affrontement entre les 02 plaques lithosphériques/tectoniques. L'Eurasie au Nord et l'Afrique au Sud.

Les conditions géodynamiques alpines de ces zones d'écrasement et de fissuration sont responsables des remontées magmatiques basiques, intrusives à pétrologie doléritique et

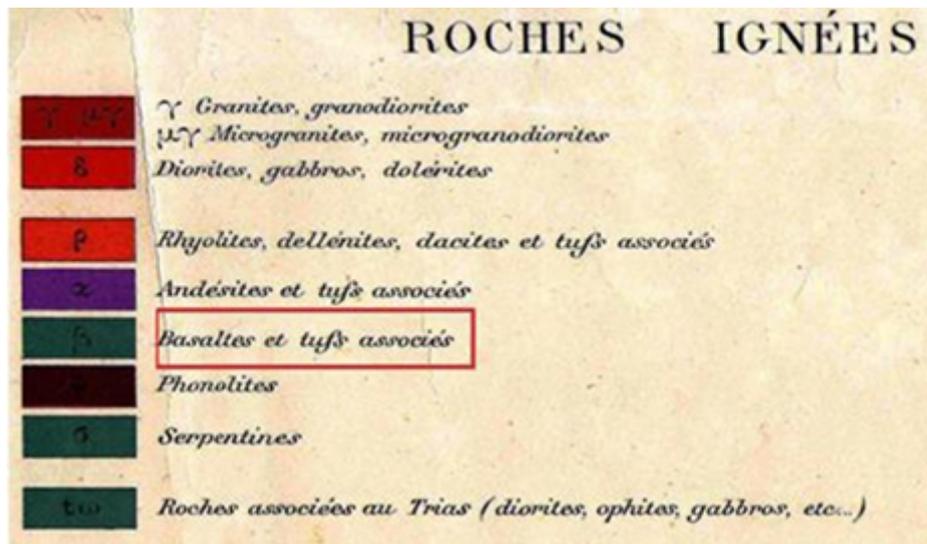


FIGURE 1.11 – Légende représentant les roches ignées extraite de la légende précédente

effusives à pétrologie volcanique (basaltique), traversant les failles profondes traduites par des lignes de fracturation constituant le siège des volcans fissuraux³ donnant naissances à la mise en place :

- Des filons sous forme de lentille de petite taille de type : filon annulaire très fréquents en région des plissements ou de type Dyke remplissant les vides des fissures et de diaclases recoupant et surimposant verticalement ou formant un angle sécant avec les différentes stratigraphies sédimentaires.
- Et des coulées de nappes basaltiques de taille moyenne de type coulées mise à nu par l'érosion ou sous forme d'épanchement en surface formant un petit Stock⁴. .

1.4.6 Géologie du site d'échantillonnage de la coulée basaltique de Aïn-Temouchent

Le choix des lieux d'échantillonnages est porté sur l'affleurement magmatique formant la coulée basaltique de Aïn Temouchent qui est de nature à pétrologie volcanique, d'âge stratigraphique, semble-t-il récent, et de conditions géodynamiques de mise en place appartenant à l'Ouest du domaine littoral, où cinq (05) échantillons ont été prélevés à partir de cet affleurement magmatique, qui est situé à une distance allant de 05 à 20 kilomètres de la mer, près de la côte de Aïn Temouchent, d'où l'influence des vents humides et leur effet sur la météorisation chimique des roches, à des niveaux hypsométriques allant de 200 à 600 m, entre les étages du miocène terminal marin et lagunaire (m.s) à base de marnes

3. MILNITHOUK, M.ABABADJI 1983 ; P.Bellair, Ch.Pomerol 1984

4. MILNITHOUK, M. ARABADJI 1983 ; P.Bellair, Ch.Pomerol 1984



FIGURE 1.12 – Extrait de la carte géologique d'Algérie, site de Béni Saf au 1/500 000 2ème édition (1951-1952)

et gypses, en passant par le miocène supérieur marin (m.m) à base de calcaires, grès et argiles, et les terrains de l'oligocène marin (o), et les couches du crétacé moyen (marin ou lagunaire, c .m).

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

- Deux (02) carrières
 - Une à l'abandon :
 - Echantillons N1, N2 : prélevés du site d'Oued Snoun, distant l'un de l'autre de 25 m environ.
 - Echantillons S1, S2 : prélevés du site d'El Hssasna, distant l'un de l'autre de 40m environ.
 - L'autre en exploitation :Echantillons C1, C2 : prélevés du site de Route Aghlal, distant l'un de l'autre de 25 m environ.
- Et de sites vierges
 - Echantillons E1, E2 : prélevés du site de Chaabat alham, distants l'un de l'autre de 30m environ.
 - Echantillon W : prélevé du site de Aïn Tolba, au bas-côté d'une route d'exploitation



FIGURE 1.13 – Extrait de la carte géologique d'Algérie, site de coulée basaltique de Aïn-Temouchent au 1/500 000, 2ème édition (1951-1952)

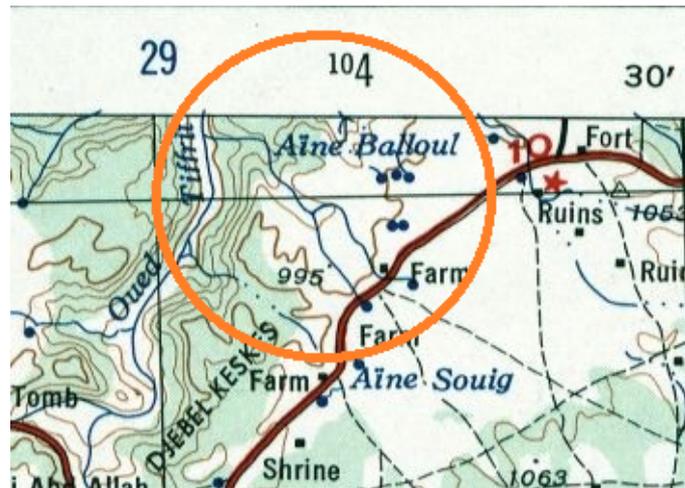


FIGURE 1.14 – Mole de Tiffrit [extrait de carte Nord d’Afrique Saïda Echelle 1/250000 NI 31-5,1952]

1.5 Cadre naturel de la région du mole de Tiffrit (w. Saïda)⁵

1.5.1 Situation géographique et administrative

Le mole de Tiffrit est situé au SW de la ville de Aïn-Balloul dans la wilaya de Saïda à la limite d’un craton épi-hercynien récent. La région de Saïda est limitée au NW par les monts de Saïda qui constituent l’extrémité Ouest de l’Atlas Tellien, au SE, la région est raccordée à la zone des hauts plateaux, Coincée entre l’atlas tellien et l’Atlas saharien, au Sud, l’Atlas Saharien s’érige en contreforts naturels et par le nord, la zone d’étude est limitée par les monts de Saïda. Selon les coordonnées géographiques, la zone d’étude est située autour de 34° 50’ 00" Nord et 0° 09’ 00" Est.

Le môle de Tiffrit constituant l’objet de notre site d’étude, est situé juste au bord de la route nationale n°94 près de 30 km au NE du chef-lieu de la wilaya de Saïda.

1.5.2 Relief et climat

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

La température moyenne annuelle est de 15,2°C, et la température moyenne mensuelle du mois le plus froid (janvier) est de 8°C, avec des gelées nocturnes, celle du mois le plus

5. PFE S.ALLOU et B.OTSMANE ?2010

chaud (juillet) est de 28 °C, les maximums journaliers atteignent parfois 46 °C, durant les mois d'été, les vents de sables chaud (sirocco) sont fréquents

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

1.5.3 Contexte de géologie régionale du mole Tiffrit dans la région de Saïda

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

1. Paléozoïque

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

Dans le Paléozoïque, on distingue les dépôts du Silurien, Dévonien et Carbonifère, qui selon leur position et composition lithologique, la faune et les restes de la flore sont facilement corrélables. La coupe géologique globale du Paléozoïque de la région, depuis le Silurien jusqu'au Carbonifère, est représentée principalement par un complexe de faciès schisto-gréseux, et ce n'est qu'au sommet du Carbonifère qu'apparaissent les formations magmatiques. L'épaisseur totale des dépôts dépasse 1400 m.

2. Mésozoïque

C'est un complexe de roches volcaniques et sédimentaires représenté par les étages suivants : Trias, Jurassique, Crétacé.

— Trias II est composé de trois (3) types de formations :

- Continentales reposant directement sur le primaire du Horst de Tiffrit (Conglomérats et grès rouges)
- Dépôts dans les zones de subsidence, constitués d'argiles bigarrées, violacées, gypseuses avec débris de roches anciennes et de basalte.
- Enfin les formations triasiques supérieures avec de haut en bas : des argiles intercalées par des dolomies, des calcaires et des brèches gypseuses, des roches effusives basiques (basalte-dolérite), alternances de grès, gypses et

calcaires.

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

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

- Dolomies marneuses, gris brunâtres contenant de rares fragments sub-arrondis de granites-porphyles de 2 à 3 cm de taille (1.0 m).
- Dolomies argilo-calcaires, brunâtres, détritiques à stratification horizontale contenant de rares grains de quartz blanc (1 à 3 mm) (0.4m).
- Dolomies micritiques, gris clair en grosses plaquettes (3.2 m). Dolomies micritiques grises, massives silicifiées. Le toit de 0.3 m d’épaisseur, contient des dolomies calcaires. La surface supérieure des dolomies est irrégulière et présente des cavernes et des traces d’organismes, des fissures de dessiccation comblées de quartz calcédonieux (2.8m).

Les faciès les plus répandues sont :

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

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

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

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

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

— Jurassique

- (a) Lias (jurassique inférieur) : Affleure sur la partie nord du Horst avec un faciès carbonaté et un faciès marneux.

Le premier faciès comporte des dolomies à passées de brèches sédimentaires, à ciment siliceux et des calcaires dolomitiques. Ces formations reposent en discordance sur celles du Trias ou directement sur celle du Primaire. Le faciès marneux est caractéristique d'un milieu profond.

- Toarcien(17) Les dépôts du Toarcien sont très largement développés dans la région et affleurent dans l'oued Rigou. Sur les photographies aériennes, les dépôts toarciens sont facilement déchiffrables sous forme de bandes étroites claires et sont de bons niveaux repères qui séparent deux assises d'âges différents du Jurassique inférieur et moyen.

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

- Sinémurien – Pliensbachien indifférencié (I3-6)

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

- Complexe de faciès de dolomies à bancs intercalés de calcaires

- Complexe de faciès de dolomies silicifiées à passés de calcaires

- (b) Dogger (jurassique moyen) Essentiellement dolomitique, il se subdivise en :

- Bajocien-Bathonien (J 1''-2) : Les calcaires et les dolomies sont recouverts de calcaires oncolithiques, surmontés par des calcaires organogènes.

Le sommet des bio-formes est localement transformé en roches fortement silicifiées jusqu'à des quartzites secondaires. Dans la plupart des coupes, les roches du Bajocien-Bathonien reposent en concordance sur les formations sous-jacentes bajociennes.

- Bajocien (J 1') : Le Bajocien est peu représenté sur la feuille, cependant il est un bon repère à l'intérieur de l'assise carbonatée du Dog-

ger séparant les dolomies inférieures de l'Aalénien-Bajocien des calcaires du Bajocien-Bathonien. Il est représenté par des roches bariolées parmi lesquelles on distingue les complexes de faciès carbonatés, argileux et gréseux. L'épaisseur de bajocien varie de 4 à 30 m.

- Aalénien – Bajocien (J1-2) : Dans la région, on trouve les complexes de faciès suivants :
 - Le complexe de faciès à dominante dolomitique
 - Le complexe de faciès des dolomies silicifiées
 - Le complexe de faciès des dolomies à bancs intercalés de calcaires
 - Le complexe de faciès des dolomies et des calcaires silicifiés

(c) Malm (Jurassique supérieur)

Occupe la plus grande partie du territoire avec des formations argileuses terrigènes au callovo-oxfordien, des formations terrigènes-carbonatées e l'oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur et enfin des formation franchement carbonatées du Kimméridgien-Portlandien.

- Oxfordien moyen et supérieur (j4b-4c) :

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

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

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

- Callovien-Oxfordien inférieur Indifférenciés (j3-4a) :

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

Les faciès restent réguliers sur de vastes surfaces et l'on observe qu'une faible variation de leur épaisseur. L'épaisseur de la coupe synthétique est de 290m. L'épaisseur totale des dépôts du Callovien-Oxfordien inférieur

liés aux dépressions profondes, atteint selon les données géophysiques 400 m.

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

—

— Crétacé

(a) Crétacé inférieur : peu développé dans la partie nord-ouest puissant d'environ 700 mètre avec un Valanginien marno-calcaires (10-30m), un Hauterivien marno gréseux (10 à 150m), un Barrémien à intercalations de grès quartzeux, calcaires et argiles(500m). L'Aptien est composé de dolomies (20m), de marnes (80m) et de calcaires (30m). L'Albien n'affleure que rarement sous forme e grès et d'argiles (20m).

(b) Crétacé supérieur : Sa présence est très réduite dans la région. Le Cénomaniens marneux repose en concordance sur l'Albien et sa puissance est très réduite (10 à 15m).

3. Pliocène-Quaternaire supérieur Correspond aux dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers ferrugineux, parfois calcaires pelitomorphiques et tufs calcaires.

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

En amont de l'oued Tiffrit, les dépôts du Pliocène sont représentés par des travertins mis en place grâce aux eaux courantes et aux sources. Ils représentent 40- 60 m d'épaisseur. Vu l'absence de fossiles, les dépôts sont attribués au Pliocène par analogie aux roches similaires rapportées aux conglomérats des hauts plateaux.

4. Quaternaire récent Correspond aux éluvions, délutions, sables et conglomérats visibles surtout le long des oueds. Les roches du Quaternaire sont délimitées dans

les oueds formant des vallées développées dans le horst de Tiffrit, où on distingue :

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

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

Tectonique

La région de Saïda est localisée dans la zone des hauts plateaux (Meseta Oranaise) de l'Algérie occidentale. Ces derniers forment une grande unité morpho- tectonique, séparant l'Atlas Tellien central et occidental de l'Atlas Saharien. Il s'agit d'une jeune plate-forme avec un socle Hercynien relevé, et des épaisseurs réduites de la couverture méso-cénozoïque.

La région forme une large bande comprenant les monts des Traras au djebel Nador près de Tiaret passant par les monts de Ghar Roubane, le mont Daïa, les monts de Saïda et ceux de Frenda. La limite Nord-Est est constituée par l'Atlas Tellien, celle du Sud par les hautes plaines.

La région de Saïda se caractérise sur le plan tectonique par une structure compartimentée de horst et de grabens. La tectonique plicative est de moindre importance (pendage moyen des couches) et n'intervient qu'au voisinage des failles de ruptures importante et d'orientations diverses.

Les failles de directions Nord-Ouest Sud-Est prédominent et on rejoint à plusieurs reprises lors des différentes phases tectoniques. Ces failles ont donné naissance aux principales structures en Horst et grabens.

Des failles secondaires, sécantes aux premières, ont recoupé les structures donnant une forme en escaliers. Les rejets de ces dernières failles ne sont pas importants, mais ont joué un rôle lors de la mise en place des solutions minérales durant la diagenèse. La feuille 275 (fig.1.15) de la carte géologique de la région d'Ain Balloul, 1/50 000-(2009, montre la présence du socle hercynien affleurant en boutonnière, faisant partie de la grande structure du horst anticlinal de Saïda, il s'agit d'un bloc tectonique de 20 Km de large, étiré vers le Nord Est, limité au Nord et au Nord-Ouest par la grande faille de Tiffrit, en forme d'arc, dont le rejet vertical atteint 300 m

Le style tectonique est en général du type cassant, mais il est caractérisé également par

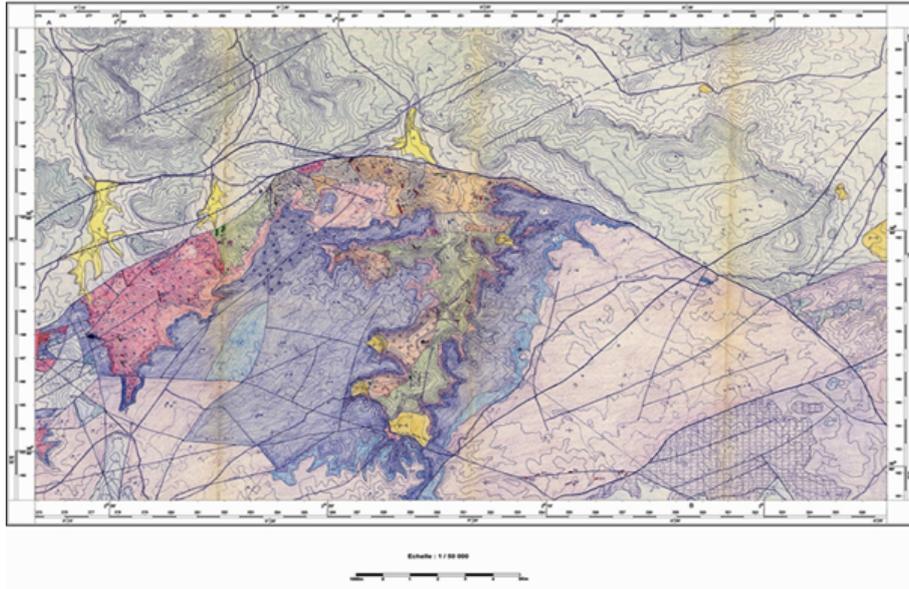


FIGURE 1.15 – carte géologique de la région d’Ain Balloul au 1/50 000 Feuille n°275 (2009)

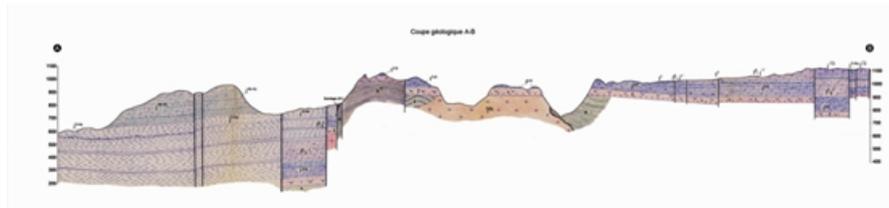


FIGURE 1.16 – coupe géologique construite à partir de la carte d’Ain Balloul

quelques déformations souples. Les failles sont Sub-verticales dans leur ensemble. La fragmentation de la région en horsts et grabens, est le résultat des rejeux sub-verticaux et dispersifs des accidents profonds qui affectent le socle hercynien.

Le horst est divisé par des failles de direction NE, rarement NW, en une série de petits blocs tectoniques. Dans le noyau de cette structure, affleure le socle paléozoïque. Le flanc SE s’enneie progressivement sous les dépôts du Néogène-Quaternaire de la dépression du Chott Chergui, tandis que le flanc NW à pendage plus raide est constitué de dépôts du Jurassique supérieur.

1.5.4 Géologie du site d’échantillonnage – du Mole Tiffrit-saïda

L’échantillonnage a porté sur des roches basiques prélevés à partir de site vierge, dont la nature pétrographique, l’âge stratigraphique et les conditions géodynamiques de mise en place sont très complexes. Cependant, le site d’échantillonnage est situé sur le Mole de Tiffrit, où deux échantillons ont été prélevés d’un essaim de filons Doléritiques (de type Dyke ou phacolithe), situé selon la carte géologique de Ain Balloul au 1/50 000 (feuille

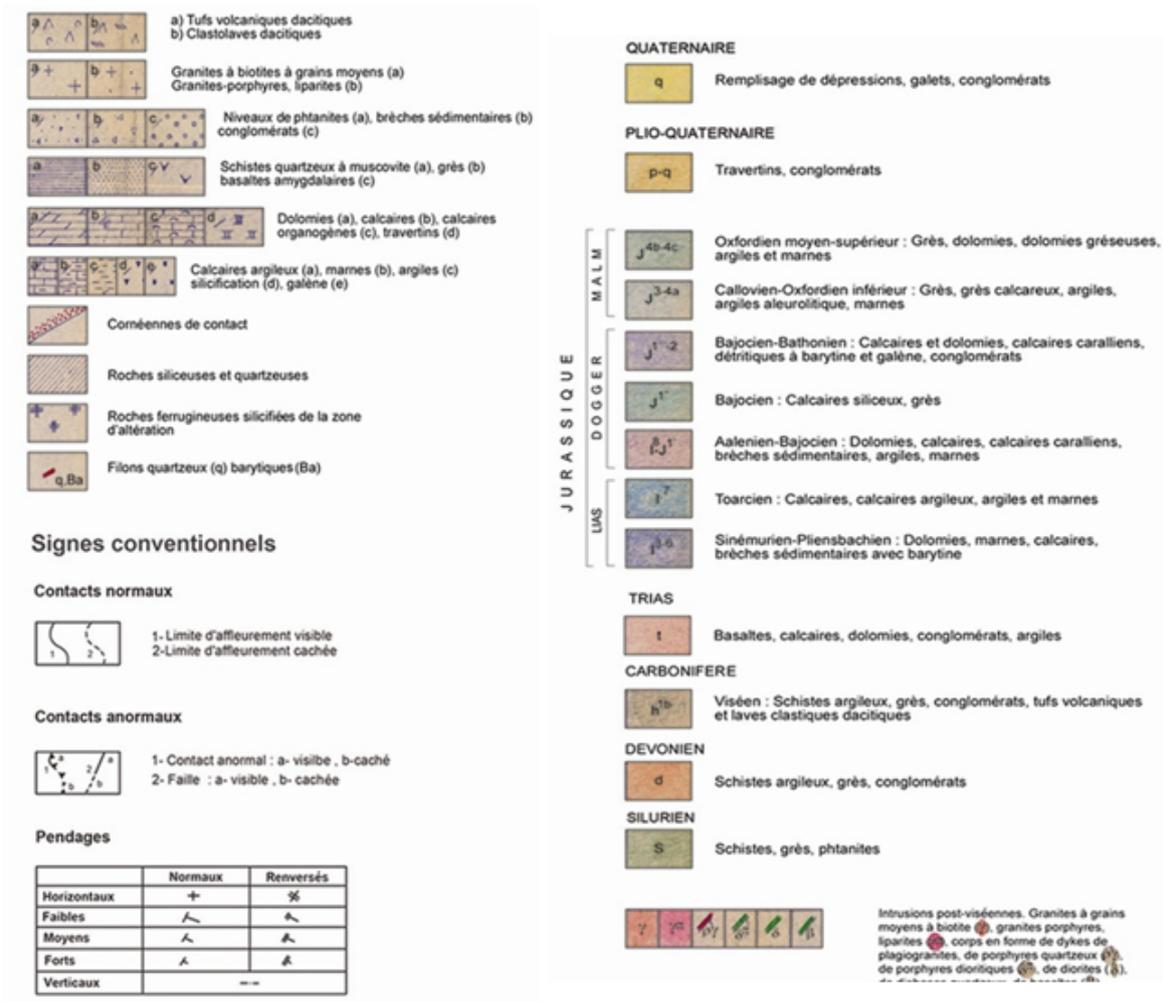


FIGURE 1.17 – légende de la carte d'Aïn Balloul

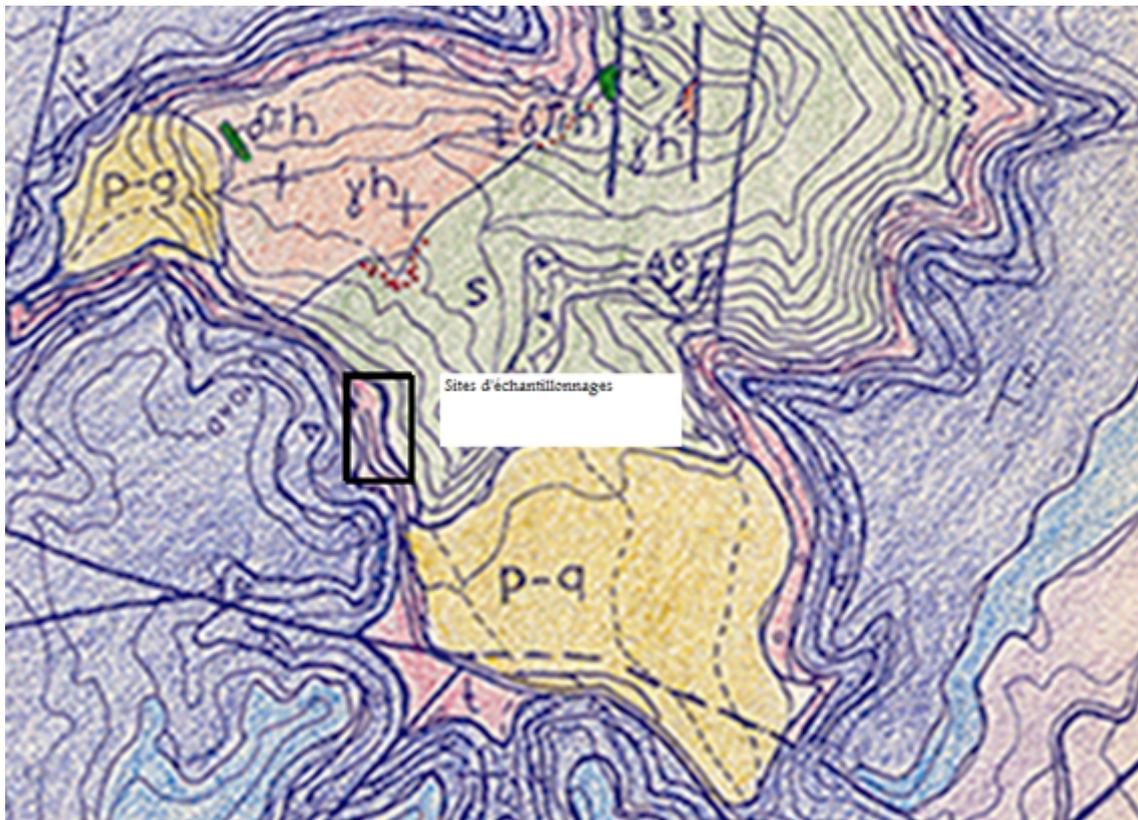


FIGURE 1.18 – Carte géologique de la région de Tiffrit (Tirée de la carte de la région de Ain Balloul : 1/50 000, feuille n°275 (2009)

n°257), à des niveaux hypsométriques allant de 800 à 850 m, mis en place aux contact aux terrains sédimentaires du primaire (silurien), formé de schistes, grès et phtanites, et par les formations de calcaires, calcaires argileux, argiles et marnes du lias dans l'étage du Toarcien(17).

Partie Expérimentale

Introduction

La partie expérimentale sera consacrée à l'étude de la compilation des caractérisations géologique et géomécanique par régression linéaire des cinq sites d'affleurement magmatiques de roches basiques, situés au Nord-centre et Nord-Ouest du pays, tout en se basant sur les résultats d'analyses pétrogéochimiques et tests géomécaniques obtenus dans différents laboratoires nationaux et internationaux, obtenus précédemment dans le cadre des de mémoire de Magister et projets de fin d'études d'ingénieur d'Etat réalisés par les étudiants du département génie minier de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

Cependant, l'objet d'étude de cette compilation se réserve à traiter dans le :

- Premier chapitre : analyse pétrogéochimique,
- Deuxième chapitre : analyse géomécanique,
- Troisième chapitre : Relation pétrogéochimique et géotechnique.

Chapitre 2

Analyse pétrogéochimique

2.1 Introduction

Les analyses géochimiques par fluorescence X des 32 échantillons prélevés à partir de cinq sites d’affleurement de roches basiques (carrières et sites vierges) dont le Mont Chenoua (04 échantillons de site vierge), où les analyses ont été réalisées au Laboratoire de l’Ecole Normale Supérieure de Lyon (France), celles des 28 échantillons, au Laboratoire des Minéraux, Matériaux et Composites (LMMC) de la Faculté des Sciences de l’Ingénieur de l’Université de Boumerdes, laboratoires de l’ORGM et SETIM de Boumerdes, laboratoire du département génie minier de l’ENP et aussi le laboratoire géotechnique de Hamr-El.Aïn, dépendant du Laboratoire Central des Travaux Publics de Hussein Dey, dont 17 échantillons ont été prélevés à partir des carrières de basalte de Cap Djenet, 05 échantillons de Aïn-Temouchent, 04 échantillons de Béni-Saf et 02 échantillons de Tiffrit à Saïda. Cependant, l’étude pétrographique a été effectuée à l’aide d’analyse au microscope polarisant des lames minces des échantillons prélevés dans les différents sites précités.

2.2 Expression des résultats

Les résultats d’analyses géochimiques obtenus sont exprimés en pourcentage-poids des éléments majeurs (oxydes), comme il est illustré dans le tableau suivant :

2.3 Interprétation

L’examen des résultats analytiques du tableau ci-dessus montre clairement que les échantillons des différents sites sont caractérisés par :

ECH	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O+K ₂ O	TiO ₂	P.A.F
TF1	57,33	21,69	8,66	1,91	0,34	0,49	3,89	4,38	1,31	4,29
TF2	56,58	21,97	8,18	1,67	0,66	0,77	3,14	3,91	1,38	5,1
BS1	47,12	17,09	8,88	6,11	8,38	4,45	1,17	5,62	2,16	4,05
BS2	47,15	17,14	9,23	5,49	8,76	4,34	1,49	5,83	2,24	3,55
BS3	46,68	17,16	8,83	6,08	8,63	4,46	1,22	5,68	2,14	4,22
BS4	46,87	17,04	9,21	5,43	9,06	4,58	1,52	6,1	2,22	3,44
AT1	44,57	15,21	10,37	8,44	11,65	2,94	0,81	3,75	2,59	2,79
AT2	44,59	17,05	10,52	4,44	10,48	5,86	1,16	7,02	2,36	2,77
AT3	43,93	12,58	10,38	12,66	11,4	2,81	0,72	3,53	2,6	2,34
AT4	44,17	17,39	11,47	4,53	11	4,56	0,66	5,22	2,85	2,49
AT5	45,99	17,34	9,41	4,81	9,96	5,74	1,19	6,93	2,35	2,64
CD1	47,73	16,47	8,02	11,14	9,42	0,41	0,95	1,36	0,99	4,73
CD2	48,38	19,28	9,94	6,24	9,89	2,78	0,51	3,29	0,98	1,82
CD3	48,64	16,72	8,27	9,03	10,47	0,41	0,72	1,13	1,04	4,58
CD4	47,81	18,61	9,91	6,14	8,67	3,39	0,9	4,29	0,99	3,39
CD5	47,62	18,71	9,47	6,06	9,53	3,56	1,02	4,58	1,03	2,84
CD6	48,11	18,92	9,54	6,19	8,85	3,7	0,91	4,61	0,99	2,61
CD7	47,23	18,34	9,52	5,89	9,11	3,57	0,85	4,42	0,98	4,32
CD8	48,07	18,54	9,52	5,45	8,61	3,67	1,12	4,79	1,05	3,75
CD9	48,65	16,58	8,15	10,08	8,74	0,47	1,44	1,91	1	4,53
CHR1	41,5	10,15	11,18	12,85	11,57	1,76	0,54	2,3	2	6,7
CHR2	41,83	11,61	12,21	12,85	8,96	2,04	0,74	2,78	2,19	5,9
CHR3	41,92	11,47	12,3	13,29	8,8	1,88	0,85	2,73	2,19	5,6
CHR4	44,84	12,13	10,78	9,12	12,64	2,49	0,3	2,79	2,95	3,7
CD/S1	47,04	16,92	9,08	6,37	10,17	3,01	0,8	3,81	0,91	5,16
CD/S2	47,03	16,82	9,85	6,67	8,95	2,7	0,97	3,67	0,93	5
CD/S3	47,21	17,56	9,37	6,73	9,17	2,47	0,49	2,96	0,83	4,75
CD/S4	45,15	16,75	10,07	7,89	8,5	3,29	0,87	4,16	0,91	5,82
CD/M1	41,06	17,09	9,93	4,37	12,02	2,82	1,09	3,91	0,82	9,94
CD/M2	43,97	16,31	11,32	4,84	12,07	2,92	1,3	4,22	1,07	5,35
CD/M3	45,99	16,98	11,64	4,83	8,78	3,71	1,17	4,88	1,13	4,62
CD/M4	47,68	17,54	11,64	5,18	6,59	3,29	1,48	4,77	1,06	4,08

TABLE 2.1 – Analyses géochimiques des éléments majeurs par fluorescence X des échantillons du Mont Chenoua (CHR.) et de Cap-Djenet (CD, CD/S et CD/M), de Ain timouchente (AT), et de béni saf (BS) qui se situe aussi à Ain Timouchente, et enfin de Tiffrit à Saida (TF)

- **Un taux de silice (SiO₂)** qui varie pour l'ensemble des échantillons entre un minimum de teneur sous saturées de 41.06 % dont l'échantillon du site de Cap-Djenet (CD/M1) et autour de 41.00 % pour les échantillons du site de Mont-Chenoua (CH1, CH2 et CH3), et un maximum de teneurs saturées de 57.33% accusé par l'échantillon du site du Mole de Tiffrit (TF1), ce qui confère un caractère de roches basiques à 75% de l'ensemble des échantillons analysés, et un caractère de roches intermédiaires à 06% du total des échantillons analysés, et aussi un caractère de roches Ultrabasiques à 15% de l'ensemble des échantillons qui sont concentrés essentiellement dans le site du Mont-Chenoua.
- **Une Perte au feu (PAF)** avec une faible valeur de 1.82% pour l'échantillon de Cap-Djenet (CD2) et de valeurs assez élevées à très élevées variant respectivement autour de 4%, 5% et 6% à 9,94% pour l'échantillon de Cap-Djenet (CD/M1), ce qui témoigne de la présence d'une importante altération accusée par un grand nombre d'échantillons de roches prélevés des cinq sites. Cette altération a été confirmée par l'analyse microscopique des lames minces, réalisée antérieurement dans le cadre des travaux de PFE, ce qui a témoigné encore une fois de la présence des minéraux secondaires tels que l'Iddingsite, serpentine, chlorite qui dérivent de la transformation des péridots et pyroxènes, et l'épidote et calcite qui dérivent aussi de la transformation des pyroxènes et plagioclases.
Cependant, cette altération fera l'objet de vérification et de confirmation dans le troisième chapitre relatif aux corrélations en vue de déterminer la nature du type d'oxyde pouvant déclencher cette altération à différentes teneurs.
- **Des teneurs en Alumine (Al₂O₃)** avec des valeurs plus ou moins homogènes propres aux roches intermédiaires et basiques variant entre un maximum de 21.97% et > 15%, et un minimum de 10.15 à 12.13% pour les échantillons du Mont-Chenoua qui ont développé un caractère de roches Ultrabasiques.
- **Des teneurs en Oxyde de fer (Fe₂O₃)** avec des valeurs plus ou moins homogènes variant entre un minimum autour de 08% et un maximum autour de 12%, ces teneurs sont propres aux roches basiques, ultrabasiques et certaines roches intermédiaires telles que l'andésite qui sont riches ferromagnésiens et en oxydes de fer tels que la magnétite et l'Ilménite.
- **Des teneurs en Magnésie (MgO)** donnant des valeurs très hétérogènes variant d'un site à un autre et aussi au sein du même site, entre un minimum < 2% pour les échantillons de Tiffrit (TF1, TF2) et un maximum de 12.85 à 13.29%

pour les échantillons du Mont Chenoua (CH1, CH2 et CH3), transitant par des valeurs $> 4\%$ et $< 12\%$ réparties entre les différents sites, ces faibles teneurs de magnésie semblent avoir une relation directe avec les valeurs élevées de PAF, ce rapprochement l'objet fera d'une confirmation dans le troisième chapitre prochain relatif aux corrélations .

- **Des teneurs en chaux (CaO)** donnant les mêmes caractéristiques que celles développées pour les teneurs de magnésie, en l'occurrence pour pour les deux (02) sites de Tiffrit qui ont enregistré de très faibles valeurs $< 1\%$, et des valeurs entre un minimum $> 6\%$ et un maximum $< 13\%$ pour les autres sites.
- **Des teneurs en alcalins (Na₂O + K₂O)** affichant des teneurs très hétérogènes évoluant entre un minimum de 1.13, 1.36 et 1.91% pour les échantillons de Cap-Djenet, respectivement CD3, CD1 et CD9, correspondant à d'importantes valeurs élevées de PAF, et un maximum de 7.02% pour l'échantillon AT2 de Aïn-Temouchent qui, correspond à une faible valeur de PAF de 2.77%, transitant entre des valeurs $> 2\%$ et $< 7\%$, ce qui indique le caractère alcalin d'un bon nombre d'échantillons de roches basaltiques avec $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, les alcalins sont souvent associés au cortèges minéraux des clinopyroxènes .
- **Des pourcentages en (TiO₂)** présentant aussi des teneurs très hétérogène variant des valeurs minimum $< 1\%$ pour la plus part des échantillons de Cap-Djenet, et des valeurs importantes $> 1\%$ à un maximum de 2.95% observé pour l'échantillon CH4 à Mont-Chenoua, témoignant probablement du type alcalin des certains échantillons de roches basaltiques riches en augite titanifère et en oxyde de fer de type Ilménite (FeTiO₃).

En fonction du diagramme TAS de la figure 1.2 (Taux des alcalins : $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ en fonction de SiO_2), la représentation de tous nos échantillons a donné différents caractères pétrographiques, rangés majoritairement dans les basaltes (CD1 à CD9, CD/S1-2-3-4, CD/M3-4) et basanites (AT1-2-3-4-5, CD/M1-2 et BS4), et secondairement répartis entre les trachy-basaltes (BS1-2-3), micro-basaltes (CHR1-2-3-4) et andésite basaltique (TF1-2) D'après le diagramme TAS Sub-Alcalin de la figure 1.3, la majeure partie de nos échantillons prélevés des sites de Cap-Djenet, Aïn-Temouchent et Béni-Saf ont donné un caractère alcalin, qui correspondent à des roches classées comme étant basiques à ultra-basiques avec des teneurs élevées en alcalins où $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, alors que ceux du site du mole-Tiffrit et Mont-Chenoua ont donné un caractère sub-Alcalin et qui correspondent à des roches basiques à ultra-basiques, soldées par des faibles pourcentages en alcalins.

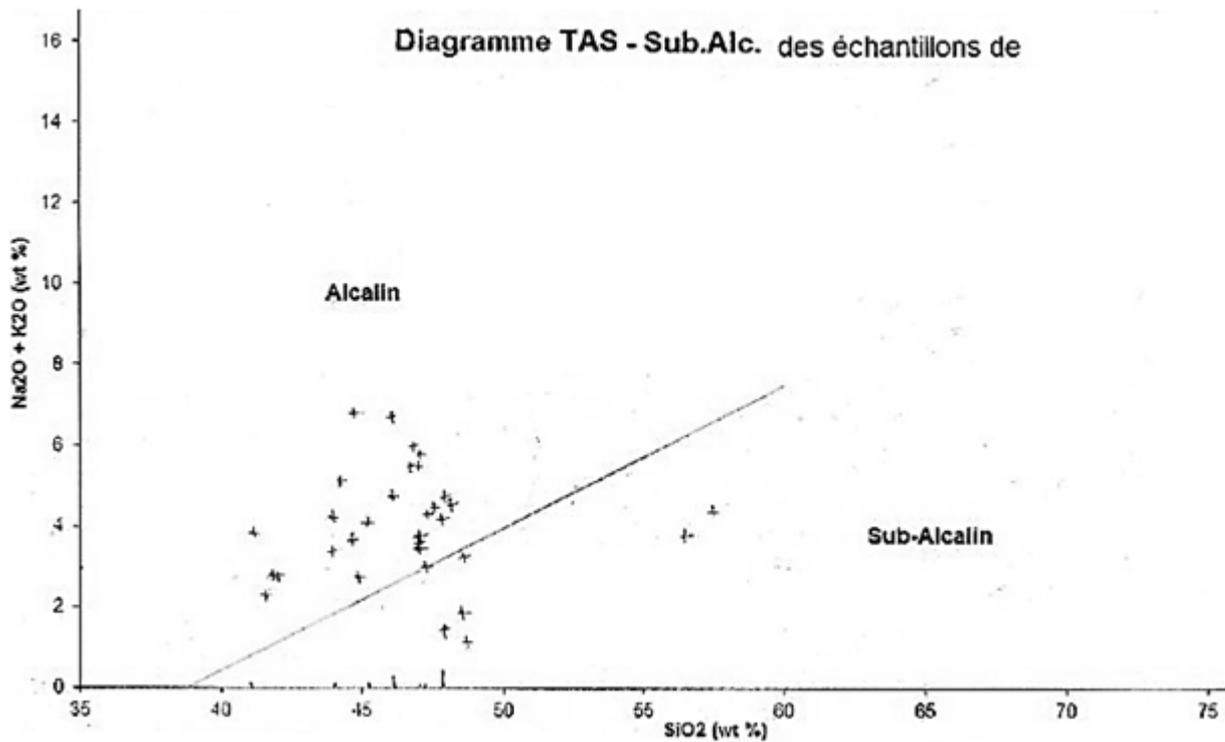


FIGURE 2.2 – Diagramme de TAS sub-alcalin

2.4 Conclusion

Les résultats d'analyses géochimiques, rangés dans le tableau 2.1 précédent, et les diagrammes TAS de la figure 2.1 et TAS Sub-Alcalin de la figure 2.2, ont vérifié et confirmé que tous nos échantillons sont de nature pétrologique magmatique :

- **basique** rapportant aux **basaltes alcalins** et **trachy-basaltes** pour la majorité des échantillons, il s'agit de roches sous saturées, à olivine abondante, labrador, augite peu calcique et titanifère, et sont plus riches que les tholéiites en alcalins, en général, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$; souvent ces roches sont celles des volcans continentaux. (FOUCAULT A. et al, 2010).
- à **forte tendance ultra-basique** rapportant aux **picro-basaltes** et **basanite** qui, correspond à des laves en coulées associées le plus souvent à des basaltes riches en olivines ($> 10\%$) propres aux zones orogéniques et constituent de petits massifs, des filons et filons couches, et surtout des coulées massives ou en coussins, il s'agit probablement du basalte altéré sous l'effet de l'humidité marine (reste à vérifier et valider par les diagrammes de corrélation entre certains oxydes et le pourcentage des pertes au feu), favorisant ainsi un début de spilitisation secondaire, témoignée par l'albitisation et la présence de chlorite et de calcite avec enrichissement en

Na₂O par le processus d'albitisation, ces spilites secondaires dérivant de roches basaltiques déjà cristallisées qui, en présence de vapeur d'eau, ont subi des phénomènes de transformation deutérique (autométamorphisme) avec enrichissement en Na₂O, H₂O, CO₂, et appauvrissement en Al₂O₃, K₂O. (FOUCAULT A. et al, 2010).

— et de moindre **tendance intermédiaire** se rapportant à l'andésite basaltique, qui constituent parfois de vastes épanchements sur les continents, et forment la partie supérieure des complexes ophiolitiques qui, par différenciation des magmas tholéiitiques conduisent à des andésites. (FOUCAULT A. et al, 2010).

Chapitre 3

Analyse géomécanique

3.1 Introduction

Pour la détermination de la qualité d'un granulat pour qu'il soit utilisé comme ballast ou matériau de construction dans le domaine du Génie Civil (béton), il est très impératif de procéder par la vérification et l'estimation des paramètres fondamentaux exprimés par les coefficients de Los Angeles noté LA, Micro-Deval Humide noté MDE et Dureté Relative Globale notée DRG. D'autant plus que ces paramètres, une fois vérifiés et confirmés, nécessitent qu'ils soient comparés aux différentes normes standard internationales comme il est illustré dans le tableau suivant :

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

Sur la base des essais Los Angeles (LA) et Micro-Deval (MDE) qui ont été effectués, dans différents laboratoires de recherches mentionnés précédemment, sur les 32 échantillons prélevés des cinq sites, les résultats des essais obtenus sont consignés dans le tableau de la figure suivante :

Pay	LA	MDE	DRG
USA**	<35	<30	>18
France*	<25	<20	>14
Algérie	<40	<35	>12

TABLE 3.1 – ENG, Normes standards des essais géotechniques des granulats, 1993.

ECH	LA			MDE			DRG					
	Valeur	N,Alg	N,Fr	N,Am	Valeur	N,Alg	N,Fr	N,Am	Valeur	N,Alg	N,Fr	N,Am
TF1	9,4	A	A	A	18,2	A	A	A	11	M	M	M
TF2	12,84	A	A	A	19,6	A	A	A	11	M	M	M
BS1	14,28	A	A	A	17,4	A	A	A	11	M	M	M
BS2	14,36	A	A	A	16,2	A	A	A	12	M	M	M
BS3	14,4	A	A	A	17,3	A	A	A	11	M	M	M
BS4	14,15	A	A	A	16,65	A	A	A	12	M	M	M
AT1	37,18	A	nA	nA	54	nA	nA	nA	H.A	H.A	H.A	H.A
AT2	18,54	A	A	A	37,6	nA	nA	nA	6	M	M	M
AT3	22,66	A	A	A	32,2	A	nA	nA	7	M	M	M
AT4	23,24	A	A	A	40,2	nA	nA	nA	H.A	H.A	H.A	H.A
AT5	18,62	A	A	A	40,8	nA	nA	nA	H.A	H.A	H.A	H.A
CD1	14,8	A	A	A	20,96	A	nA	A	10	M	M	M
CD2	20,6	A	A	A	46,6	nA	nA	nA	6	M	M	M
CD3	15,6	A	A	A	10,38	A	A	A	15	B	B	M
CD4	12,8	A	A	A	19,6	A	A	A	11	M	M	M
CD5	12,2	A	A	A	21,4	A	nA	A	10	M	M	M
CD6	13,7	A	A	A	25	A	nA	A	9	M	M	M
CD7	12	A	A	A	22	A	nA	A	10	M	M	M
CD8	11,8	A	A	A	9	A	A	A	16	B	B	M
CD9	12,6	A	A	A	23,4	A	nA	A	10	M	M	M
CHR1	32,54	A	nA	A	34,4	A	nA	nA	7	M	M	M
CHR2	22	A	A	A	22,8	A	nA	A	10	M	M	M
CHR3	21	A	A	A	20	A	nA	A	11	M	M	M
CHR4	15,2	A	A	A	14	A	A	A	13	B	M	M
CD/S1	16,67	A	A	A	16	A	A	A	12	M	M	M
CD/S2	17	A	A	A	18	A	A	A	11	M	M	M
CD/S3	20,84	A	A	A	17	A	A	A	11	M	M	M
CD/S4	16,26	A	A	A	21	A	nA	A	10	M	M	M
CD/M1	13,8	A	A	A	16	A	A	A	12	M	M	M
CD/M2	16,8	A	A	A	15	A	A	A	12	M	M	M
CD/M3	11	A	A	A	13	A	A	A	13	B	M	M
CD/M4	16,2	A	A	A	14	A	A	A	13	B	M	M

TABLE 3.2 – :Résultats des essais géomécaniques des échantillons du Mont Chenoua (CHR.) et de Cap-Djenet (CD,CD/S et CD/M), de Aïn-Temouchent (AT), et de beni saf (BS) qui se situe aussi à Aïn-Temouchent, et enfin de Tiffrit à Saida (TF), avec A :Acceptable, nA : nonAcceptable,B :Bonne, et M :médiocre, enfin H.A :Hors Abaque.

3.2 interprétation des résultats

Les résultats des essais géotechniques présentés dans le tableau ci-dessus ont donné des valeurs variées moyen à trop élevé jusqu'à hors limite surtout pour le MDE, ceci a été observé par comparaison aux normes géotechniques algériennes et étrangère donnés dans la fig 2.1.

3.2.1 Essai Los Angeles

En fonction du Tableau de la figure 2.1, on remarque pour les essais Los Angeles, vérifiant la résistance mécanique aux chocs, que la totalité de nos échantillons, soumis aux essais, ont donné de bonnes valeurs, variant globalement entre un minimum de 9.4 pour l'échantillon de TF1 (Saïda) et un maximum de 37.18 pour l'échantillon de AT1 (Aïn Temouchent), qui sont conformes aussi bien aux normes algériennes (<40) qu'aux normes standard internationales telles que françaises (<25) et américaines (<35), excepté deux échantillons seulement avec des valeurs de 37.18 pour le même échantillon de Aïn Temouchent (AT1) qui est hors normes françaises et américaines, et de 32.54 pour l'échantillon du Mont Chenoua (CHR1) qui est hors normes françaises.

Comparativement aux normes géotechniques algériennes et étrangères, illustrées dans le Tableau précédent, 94% l'équivalent de 30 de nos 32 échantillons ont donné de très bonnes valeurs de L.A. qui sont très loin des limites supérieures (exprimant le seuil de fragilité) exigées par les essais Los Angeles, ce qui implique que tous nos échantillons sont normatifs, acceptables et valident leur résistance à la fragmentation par chocs quant à leur utilisation comme matériaux de granulats dans les différents projets de construction du génie civil et dans différentes régions climatiques.

3.2.2 Essai micro DEVAL à voie humide

Pour les essais Micro-Deval, vérifiant la résistance mécanique à l'usure par frottements, on constate que tous les échantillons ont accusé des valeurs plus ou moins bonnes, oscillants entre un minimum de 9 pour l'échantillon de CD8 à Cap-Djenet, qui est conformes à toutes les normes standards algérienne et étrangère, et un maximum de 54 pour l'échantillon de AT1 à Aïn Temouchent, qui est hors normes standard aussi bien algériennes qu'étrangères.

Cependant, 84% l'équivalent de 27 de nos 32 échantillons sont conformes aux normes algé-

riennes (<35), affichant des valeurs qui sont nettement inférieures aux limites supérieures (exprimant le seuil de fragilité) exigées par les essais Micro-Deval, excepté les échantillons de Aïn-Temouchent (AT1, AT2, AT4 et AT5) et CD2 de Cap-Djenet.

D'autre part, comparativement aux normes étrangères, 59% l'équivalent de 19 de nos 32 échantillons sont hors normes françaises (<20), avec des valeurs allant de 20.96 à 54, accusés par les mêmes échantillons de Aïn-Temouchent, de Cap-Djenet (CD1, CD2, CD5, CD6, CD7 et CD9) et du Mont-Chenoua (CHR1, CHR2 et CHR3).

Toutefois, 78% l'équivalent de 25 de nos 32 échantillons sont conformes aux normes américaines (<30) avec un minimum de 9 (CD8) et un maximum de 25 (CD6) du même site de Cap-Djenet, excepté tous les échantillons de Aïn-Temouchent, CD2 de Cap-Djenet et CHR1 du Mont Chenoua.

Ce qui revient à dire que la majeure partie de nos échantillons sont conformes aux normes, aussi bien algériennes (< 35) qu'américaines (< 30), mais comparativement aux limites exigées par les normes européennes, on remarque que plus de la moitié des échantillons sont hors normes et accusent des valeurs supérieures à 20. A la lumière de ces considérations, on conclut que ces types d'échantillons normatifs font l'objet de matériaux de granulats dont l'utilisation est mieux recommandée dans des régions à climat sec.

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

3.2.3 Dureté Relative Globale

Pour l'appréciation de la qualité d'un granulat et son utilisation comme ballast ou matériau de construction en Génie Civil (béton), l'estimation des coefficients de LA et MDE nécessite un classement déterminé par la Dureté Relative Globale (DRG), qui exprime la dureté relative d'un granulat selon une échelle allant de 6 à 32 sur un abaque (figure). Dans le cas des graves et des ballasts, les valeurs obtenues sont déterminées par la projection du couplage des coefficients de LA et de MDE pour chaque échantillon¹

Pour la DRG, selon les résultats du tableau précédent, on constate que la plus part de nos échantillons (27/32) ont des valeurs inférieurs à 12, donc non conformes aux limites exigées par les normes standards aussi bien algériennes (>12) qu'étrangères, excepté les

1. M. CHANANE Larouci (2008) : Mémoire de magister

échantillons CD3 et CD8 (de Cap-Djenet) avec des valeurs respectives de 15 et 16 , qui sont de bonne qualité par rapport aux normes algériennes et européennes (>14) et non américaines (>18) qui semble être la plus exigeante au monde traduisant ainsi un très haut niveau de développement du génie civil.

Toutefois, trois (03) échantillons, respectivement AT1, AT4 et AT5, sont hors abaque, donc rejetés par toutes les normes standards, algériennes et étrangères, et de facto sont inutilisables.

Cependant, la quasi-totalité de nos 32 échantillons, malgré leur qualité médiocre, excepté 7 échantillons qui sont de bonne qualité, dont 5 selon les normes algériennes et 02 selon les normes européennes, sont jugés acceptables, donc utilisables comme matériaux de granulats dans les projets de construction du génie civil.

3.2.4 Conclusion

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

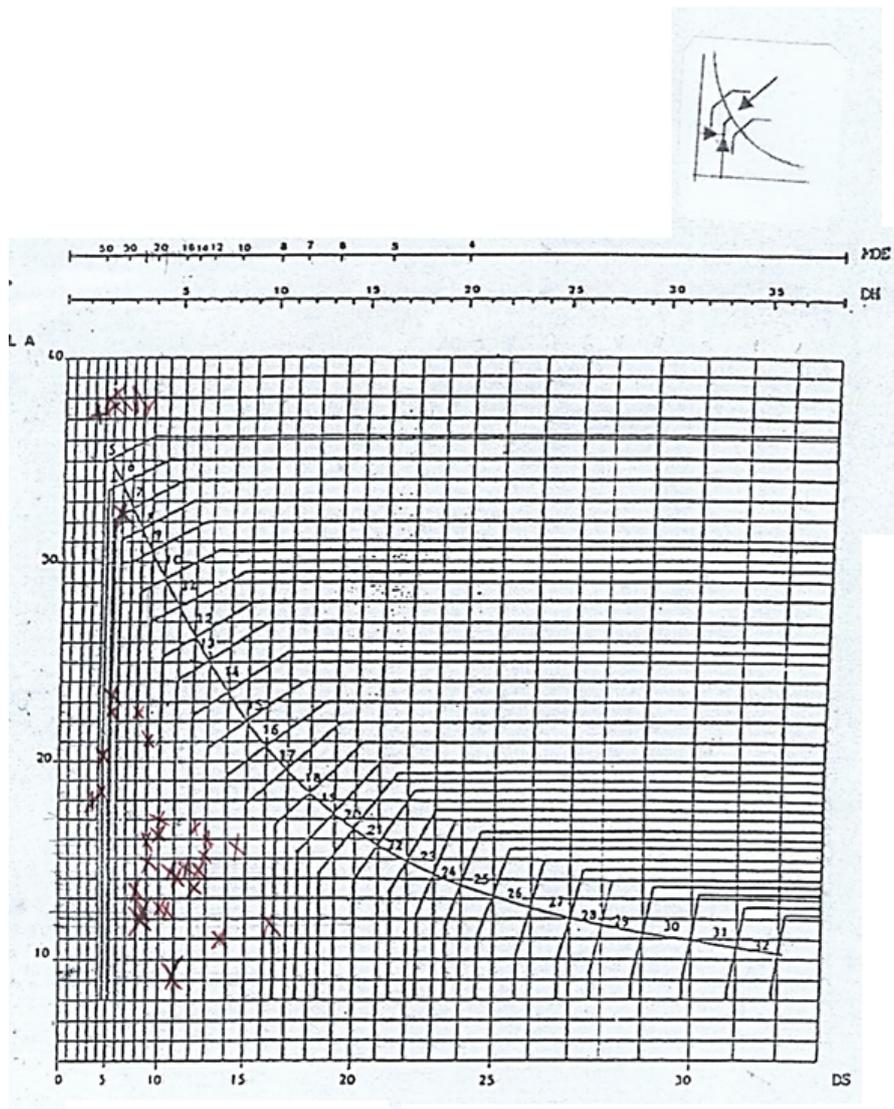


FIGURE 3.1 – Abaque Dureté Relative Globale

**RELATIONS PETROGEOCHIMIE-
GEOMECANIQUES**

Introduction

Les caractéristiques pétrogéochimiques ont un impact fondamental et déterminant sur les conditions physico-mécaniques de la roche, de telle manière à ce que la présence d'une certaine quantité en pourcentage poids de certains oxydes pétrogènes influe directement sur les propriétés intrinsèques de la roche (solidité et résistance aux contraintes de fluage et rupture par compression et traction ...) [L. CHANANE 2008]. D'où la nécessité de vérifier et prouver l'existence de cette relation, en d'autre terme, savoir quels sont les oxydes qui influent directement ou indirectement sur les propriétés géomécaniques.

Ce chapitre sera consacré au traitement informatique des résultats d'analyses pétrogéochimiques et tests géomécaniques, consignés dans le tableau 1 donné ci-dessous, à l'aide d'un outil statistique (**Logiciel SPSS, version 23**) qui nous a servi de base pour analyser, vérifier et prouver les relations établies et pouvant exister entre eux. Pour cela, on a procédé par la construction d'un tableau matriciel en fonction de trois types de corrélations à savoir : corrélations de **Kendall (rK)**, **Spearman (rS)** et **Pearson (rP)**, afin d'obtenir des diagrammes de corrélations en régression linéaire par le couplage de chaque paramètre géotechnique (**LA, MDE et DRG**) et les pertes au feu (P.A.F) avec chacun des huit oxydes (éléments majeurs) de tous les échantillons.

Chapitre 4

Construction des Diagrammes de Corrélations et interprétation

Dans le but d'expliquer et prouver les relations pouvant exister entre les caractéristiques pétrogéochimiques et les paramètres géomécaniques, on s'est basé sur les résultats obtenus et retenus par les deux types de corrélations, qualifiées par le logiciel de positives et/ou négatives aux niveaux : (voir x de corrélations en Annexe)

- de seuil alpha très significatif de $r^2 > \mathbf{0,1}$,
- de seuil alpha significatif de $\mathbf{0.05} < r^2 < \mathbf{0,1}$,
- et de seuil alpha non significatif de $< \mathbf{0.05}$ (absence de corrélation)

Ce qui implique que les diagrammes seront pris en considération dans leur totalité pour illustrer davantage l'interprétation des relations pétrogéochimie-géomécaniques, qui vont exprimer toutes les corrélations possibles établies et construites à partir des résultats analytiques compilés et consignés dans le tableau (figure 4.1) suivant :

ECH	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	Na2O+K2O	TiO2	P.A.F	LA	MDE	DRG
TF1	57,33	21,69	8,66	1,91	0,34	0,49	3,89	4,38	1,31	4,29	9,4	18,2	11
TF2	56,58	21,97	8,18	1,67	0,66	0,77	3,14	3,91	1,38	5,1	12,84	19,6	11
BS1	47,12	17,09	8,88	6,11	8,38	4,45	1,17	5,62	2,16	4,05	14,28	17,4	11
BS2	47,15	17,14	9,23	5,49	8,76	4,34	1,49	5,83	2,24	3,55	14,36	16,2	12
BS3	46,68	17,16	8,83	6,08	8,63	4,46	1,22	5,68	2,14	4,22	14,4	17,3	11
BS4	46,87	17,04	9,21	5,43	9,06	4,58	1,52	6,1	2,22	3,44	14,15	16,65	12
AT1	44,57	15,21	10,37	8,44	11,65	2,94	0,81	3,75	2,59	2,79	37,18	54	4
AT2	44,59	17,05	10,52	4,44	10,48	5,86	1,16	7,02	2,36	2,77	18,54	37,6	6
AT3	43,93	12,58	10,38	12,66	11,4	2,81	0,72	3,53	2,6	2,34	22,66	32,2	7
AT4	44,17	17,39	11,47	4,53	11	4,56	0,66	5,22	2,85	2,49	23,24	40,2	4
AT5	45,99	17,34	9,41	4,81	9,96	5,74	1,19	6,93	2,35	2,64	18,62	40,8	4
CD1	47,73	16,47	8,02	11,14	9,42	0,41	0,95	1,36	0,99	4,73	14,8	20,96	10
CD2	48,38	19,28	9,94	6,24	9,89	2,78	0,51	3,29	0,98	1,82	20,6	46,6	6
CD3	48,64	16,72	8,27	9,03	10,47	0,41	0,72	1,13	1,04	4,58	15,6	10,38	15
CD4	47,81	18,61	9,91	6,14	8,67	3,39	0,9	4,29	0,99	3,39	12,8	19,6	11
CD5	47,62	18,71	9,47	6,06	9,53	3,56	1,02	4,58	1,03	2,84	12,2	21,4	10
CD6	48,11	18,92	9,54	6,19	8,85	3,7	0,91	4,61	0,99	2,61	13,7	25	9
CD7	47,23	18,34	9,52	5,89	9,11	3,57	0,85	4,42	0,98	4,32	12	22	10
CD8	48,07	18,54	9,52	5,45	8,61	3,67	1,12	4,79	1,05	3,75	11,8	9	16
CD9	48,65	16,58	8,15	10,08	8,74	0,47	1,44	1,91	1	4,53	12,6	23,4	10
CHR1	41,5	10,15	11,18	12,85	11,57	1,76	0,54	2,3	2	6,7	32,54	34,4	7
CHR2	41,83	11,61	12,21	12,85	8,96	2,04	0,74	2,78	2,19	5,9	22	22,8	10
CHR3	41,92	11,47	12,3	13,29	8,8	1,88	0,85	2,73	2,19	5,6	21	20	11
CHR4	44,84	12,13	10,78	9,12	12,64	2,49	0,3	2,79	2,95	3,7	15,2	14	13
CD/S1	47,04	16,92	9,08	6,37	10,17	3,01	0,8	3,81	0,91	5,16	16,67	16	12
CD/S2	47,03	16,82	9,85	6,67	8,95	2,7	0,97	3,67	0,93	5	17	18	11
CD/S3	47,21	17,56	9,37	6,73	9,17	2,47	0,49	2,96	0,83	4,75	20,84	17	11
CD/S4	45,15	16,75	10,07	7,89	8,5	3,29	0,87	4,16	0,91	5,82	16,26	21	10
CD/M1	41,06	17,09	9,93	4,37	12,02	2,82	1,09	3,91	0,82	9,94	13,8	16	12
CD/M2	43,97	16,31	11,32	4,84	12,07	2,92	1,3	4,22	1,07	5,35	16,8	15	12
CD/M3	45,99	16,98	11,64	4,83	8,78	3,71	1,17	4,88	1,13	4,62	11	13	13
CD/M4	47,68	17,54	11,64	5,18	6,59	3,29	1,48	4,77	1,06	4,08	16,2	14	13

TABLE 4.1 – Tableau des données géochimiques et géomécaniques

4.1 Diagrammes de corrélation de Perte au Feu PAF

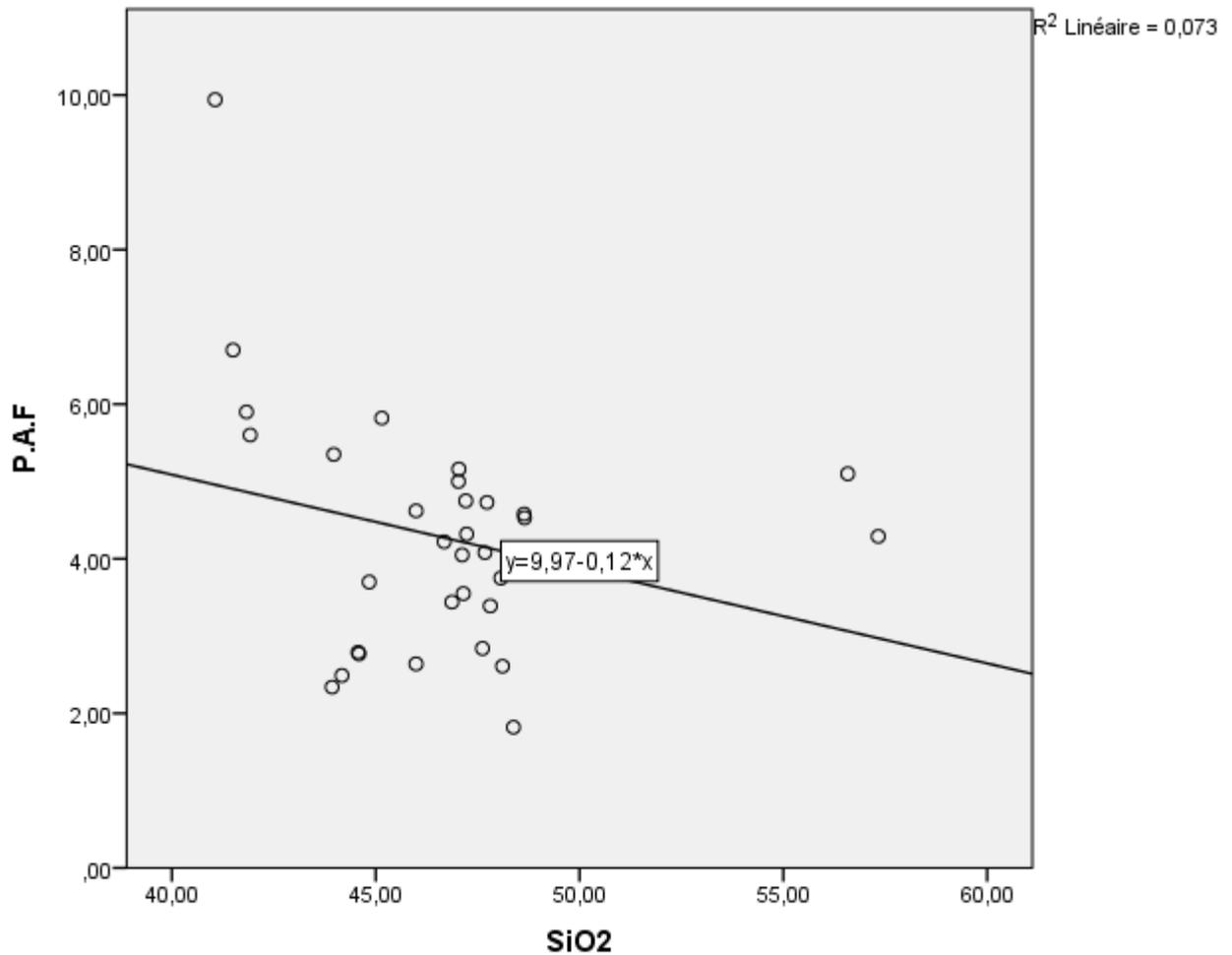


FIGURE 4.1 – Diagramme de corrélation PAF/SiO2

- **Diagramme de corrélation PAF/SiO2** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil significatif entre la perte au feu et la silice, et exprime une diminution de la Perte au feu (PAF) en fonction de l'augmentation des teneurs en silice, ce qui exprime que la silice résiste amplement à l'altération dans les échantillons.

- **Diagramme de corrélation PAF/Al₂O₃** : de même que la silice, dans ce diagramme la PAF diminue en rapport avec les hautes teneurs d'alumine, ce qui résulte que l'alumine résiste favorablement à l'altération dans les échantillons.

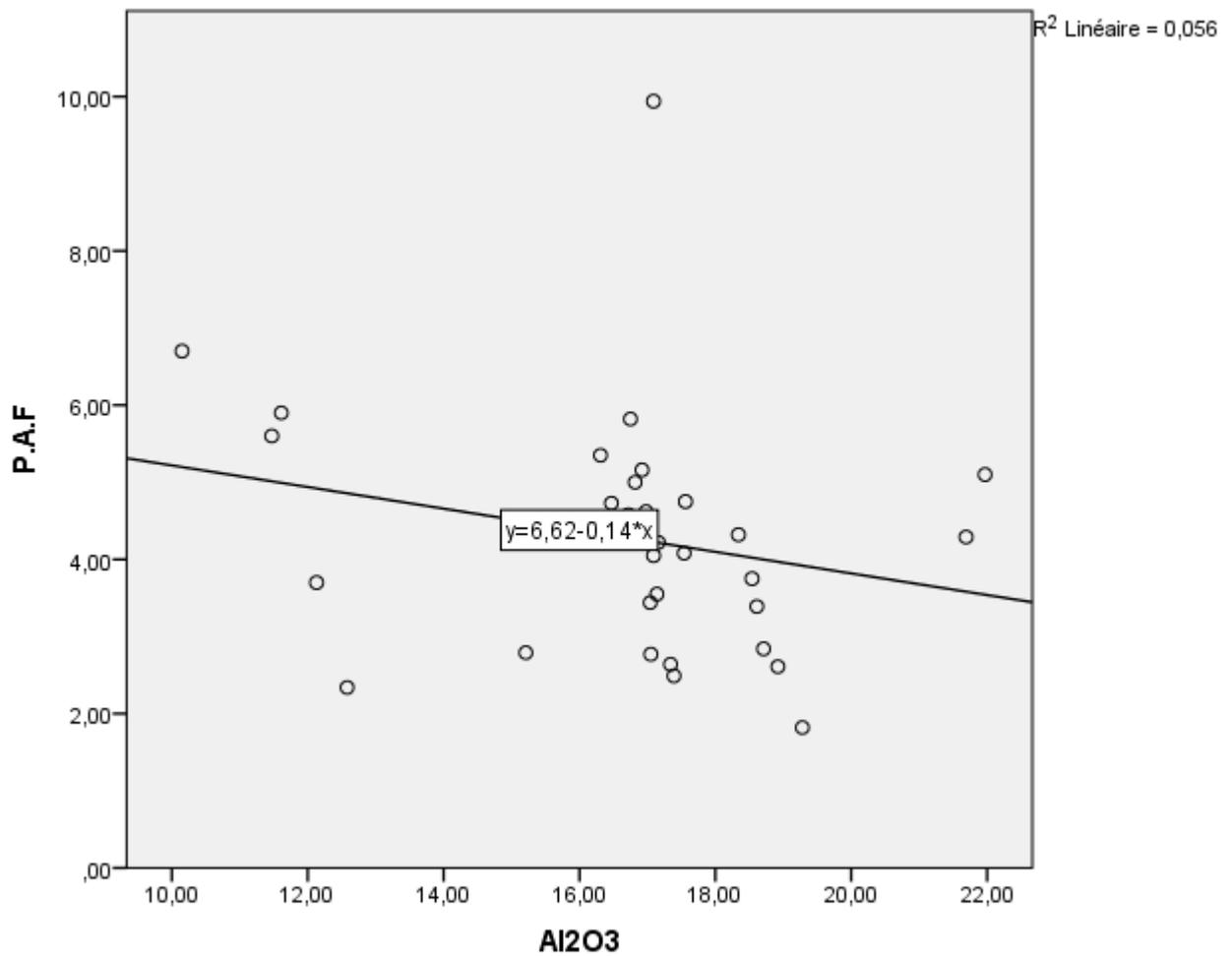


FIGURE 4.2 – Diagramme de corrélation PAF/Al₂O₃

- **Diagramme de corrélation PAF/Fe₂O₃** :contrairement aux diagrammes précédents, ce diagramme vérifie l'absence de corrélation à un niveau de seuil non significatif, et il montre en revanche une légère augmentation de la PAF en fonction des hautes teneurs d'oxyde de fer, ce qui laisse admettre que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

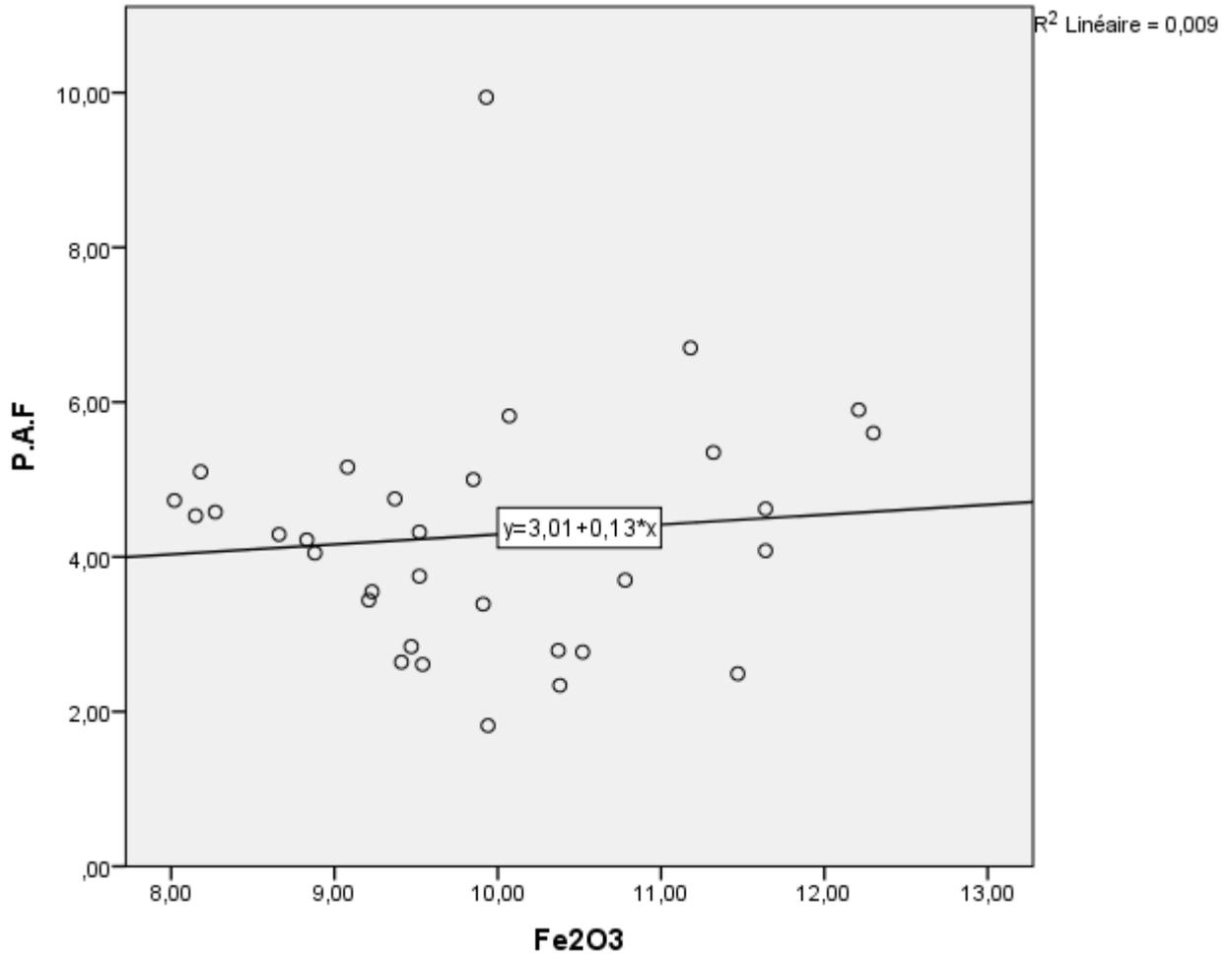


FIGURE 4.3 – Diagramme de corrélation PAF/Fe₂O₃

- **Diagramme de corrélation PAF/MgO** : comparativement au diagramme précédent, ce diagramme vérifie aussi l'absence de corrélation par un seuil non significatif, et montre aussi une légère augmentation de la PAF en fonction des hautes teneurs de magnésie, ce qui laisse entrevoir aussi que cet oxyde, au même titre que l'oxyde de fer, est sujet à une altération dans les échantillons.

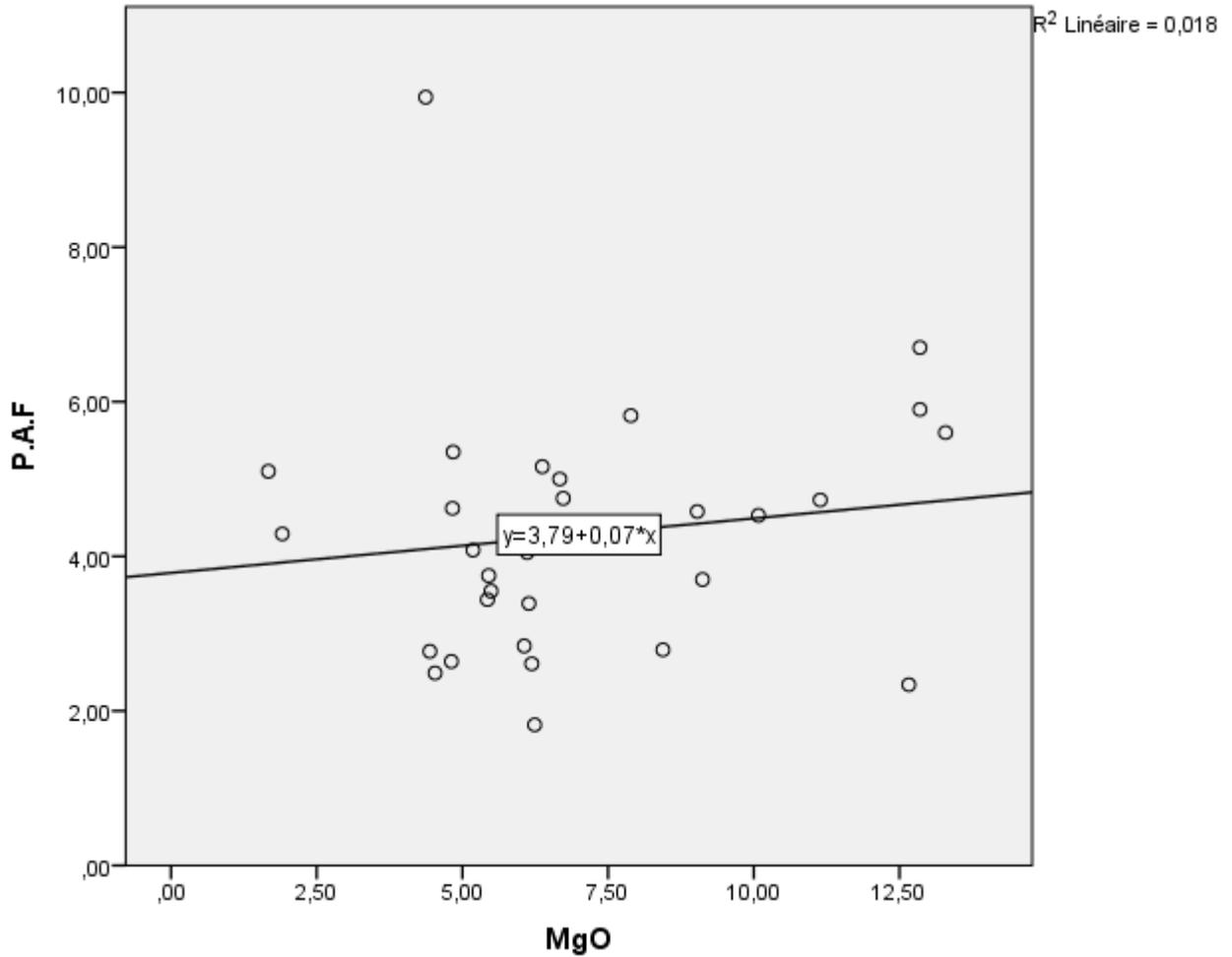


FIGURE 4.4 – Diagramme de corrélation PAF/MgO

- **Diagramme de corrélation PAF/Na₂O+K₂O** :ce diagramme vérifie la corrélation au niveau d'un seuil très significatif, et indique une diminution de la PAF face aux teneurs croissantes des alcalins, ce qui prouve que les alcalins résiste favorablement à l'altération dans les échantillons.

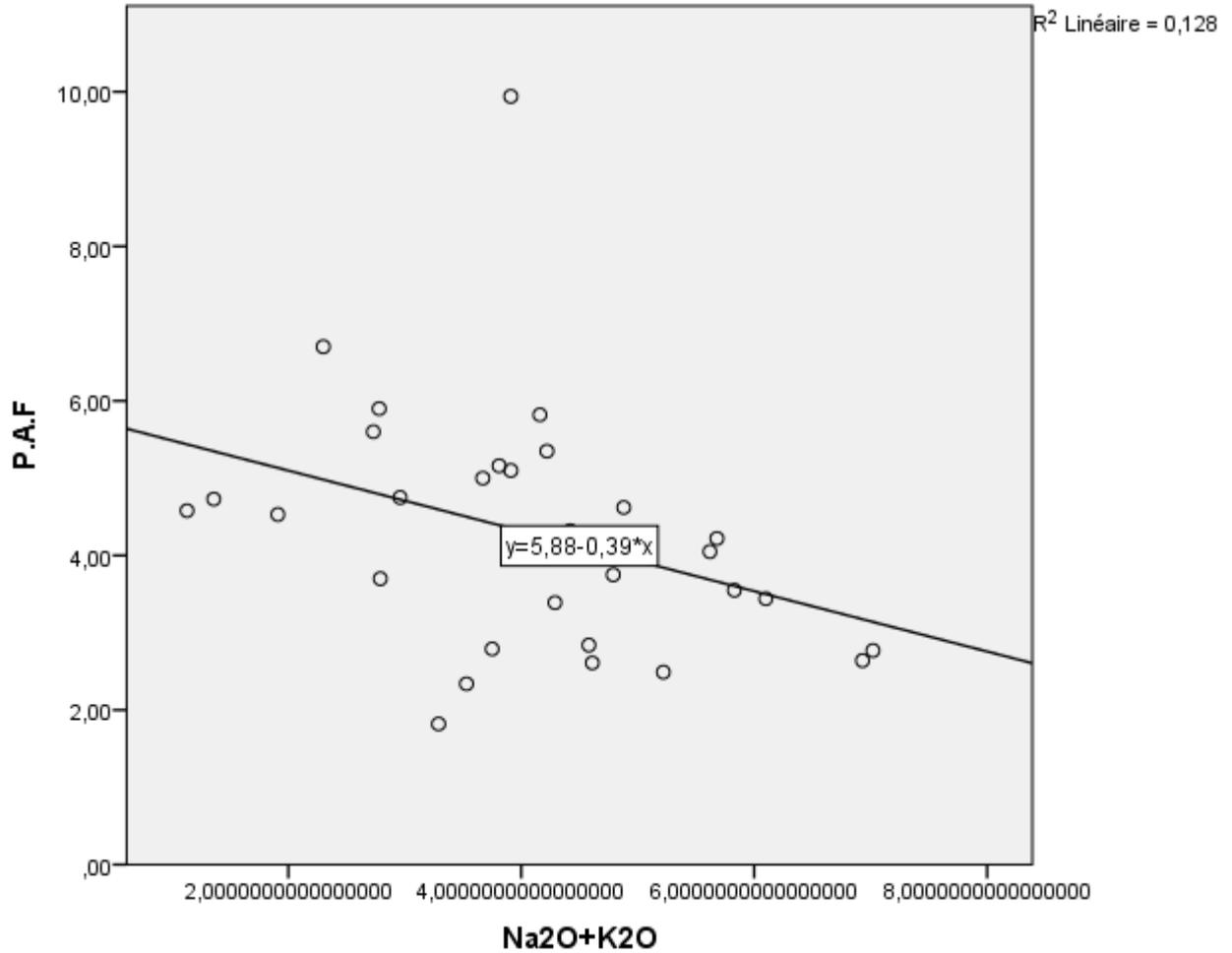


FIGURE 4.5 – Diagramme de corrélation PAF/Na₂O+K₂O

- **Diagramme de corrélation PAF/TiO₂** : ce diagramme vérifie encore une fois la corrélation au niveau d'un seuil très significatif, et présente une diminution de la PAF en fonction de l'élévation du pourcentage de TiO₂, ce qui vérifie que cet oxyde résiste amplement à l'altération dans les échantillons.

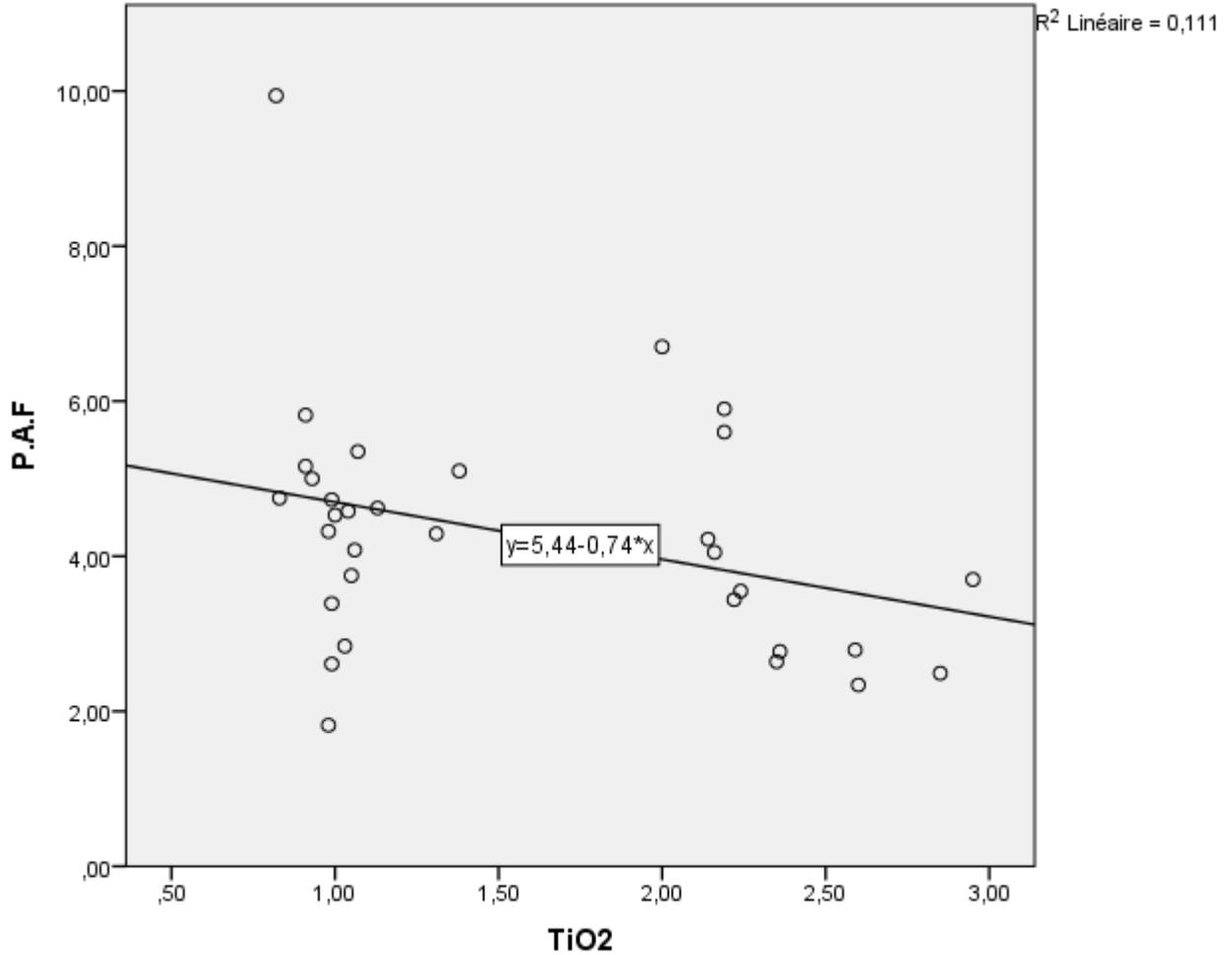


FIGURE 4.6 – Diagramme de corrélation PAF/TiO₂

4.2 Diagrammes de corrélation Los Angeles LA

- **Diagramme de corrélation LA/SiO₂** : ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et montre une augmentation substantielle de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs de la SiO₂, vérifiant ainsi que cet oxyde résiste amplement à l'altération dans les échantillons.

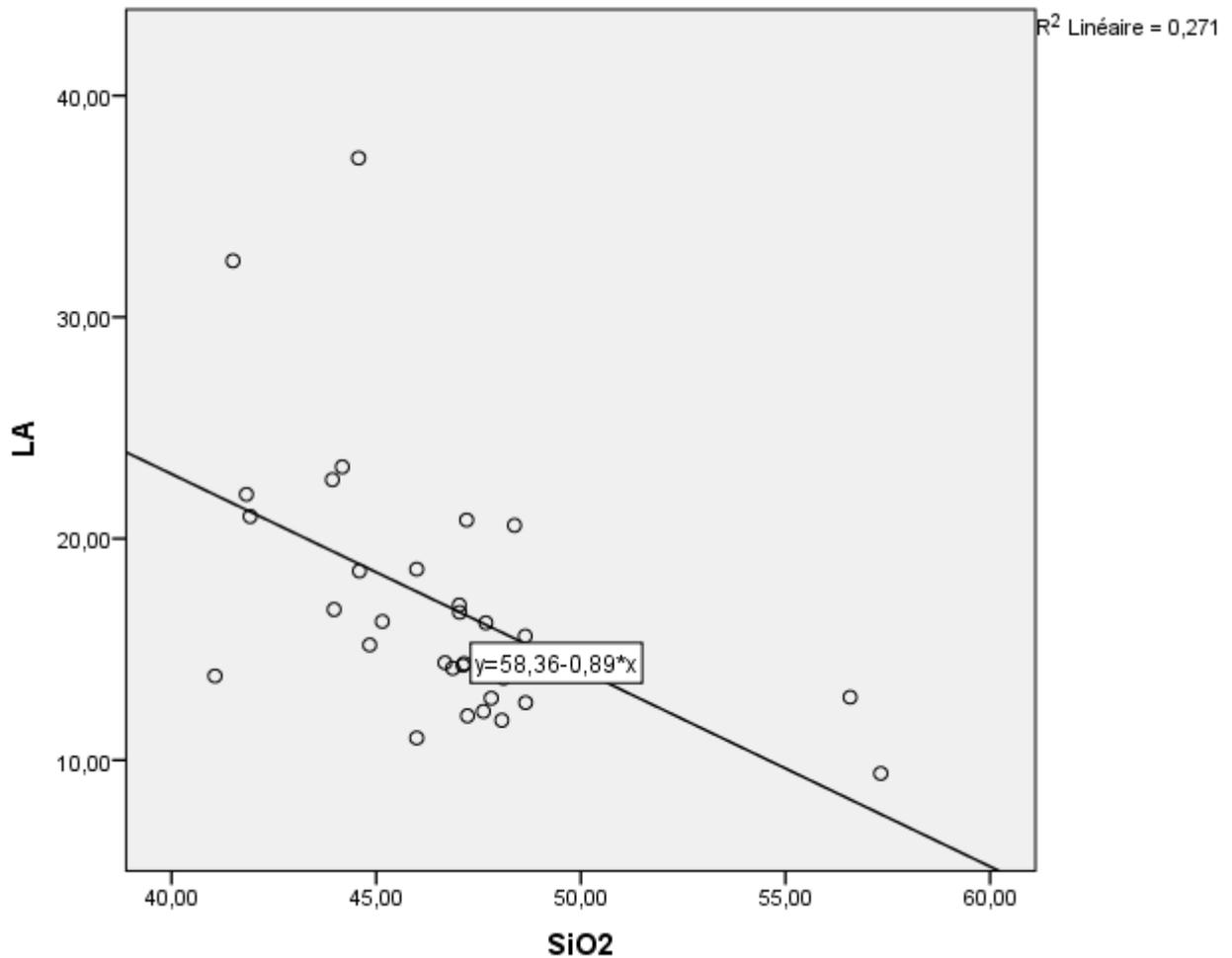


FIGURE 4.7 – Diagramme de corrélation LA/SiO₂

- **Diagramme de corrélation LA/Al₂O₃** : ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et affiche une importante augmentation de la résistance aux chocs en fonction des teneurs croissantes de l'alumine, vérifiant ainsi que cet oxyde résiste amplement à l'altération dans les échantillons.

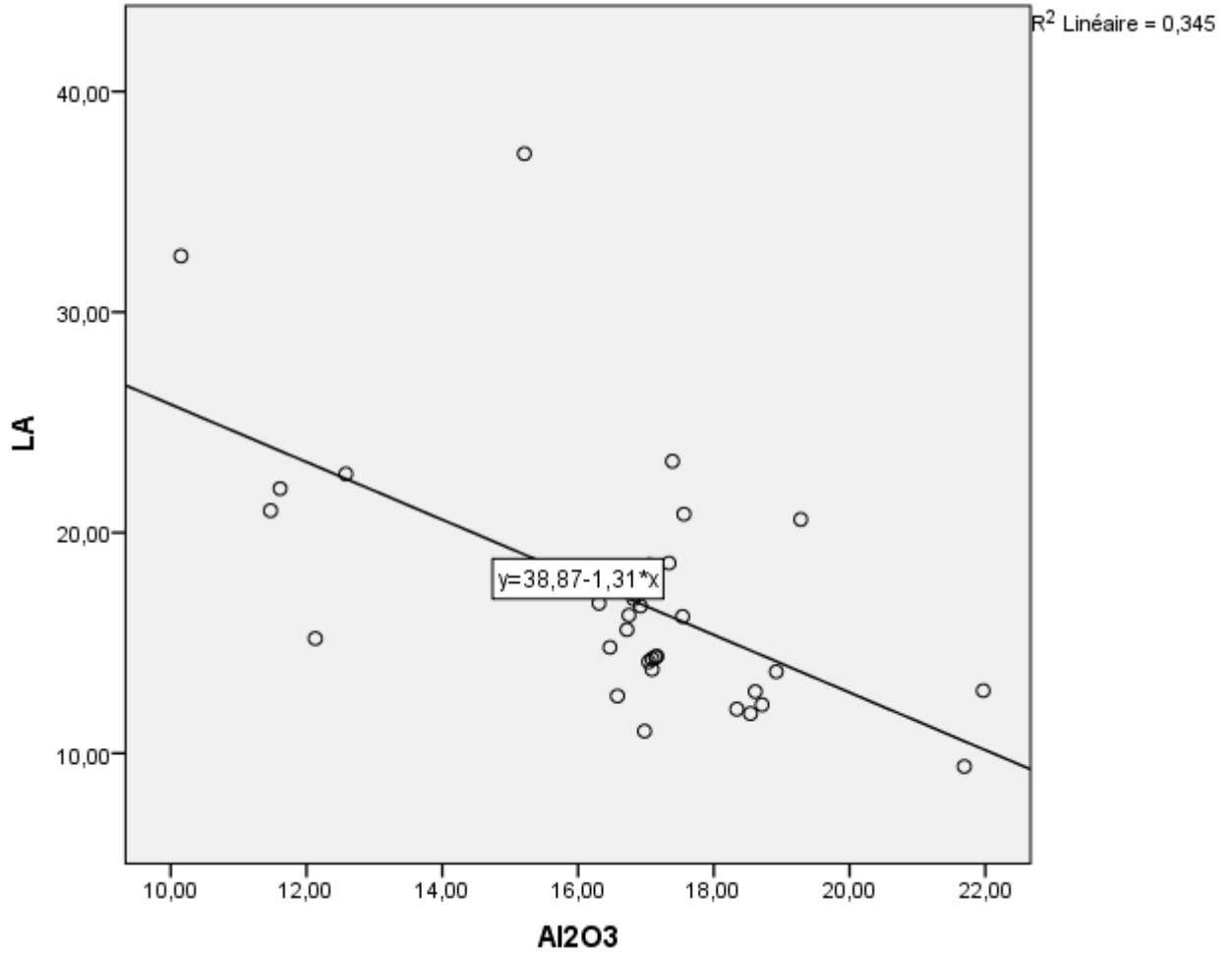


FIGURE 4.8 – Diagramme de corrélation LA/Al₂O₃

- **Diagramme de corrélation LA/Fe₂O₃** :ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et présente une diminution substantielle de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs des oxydes de fer, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à l'altération dans les échantillons.

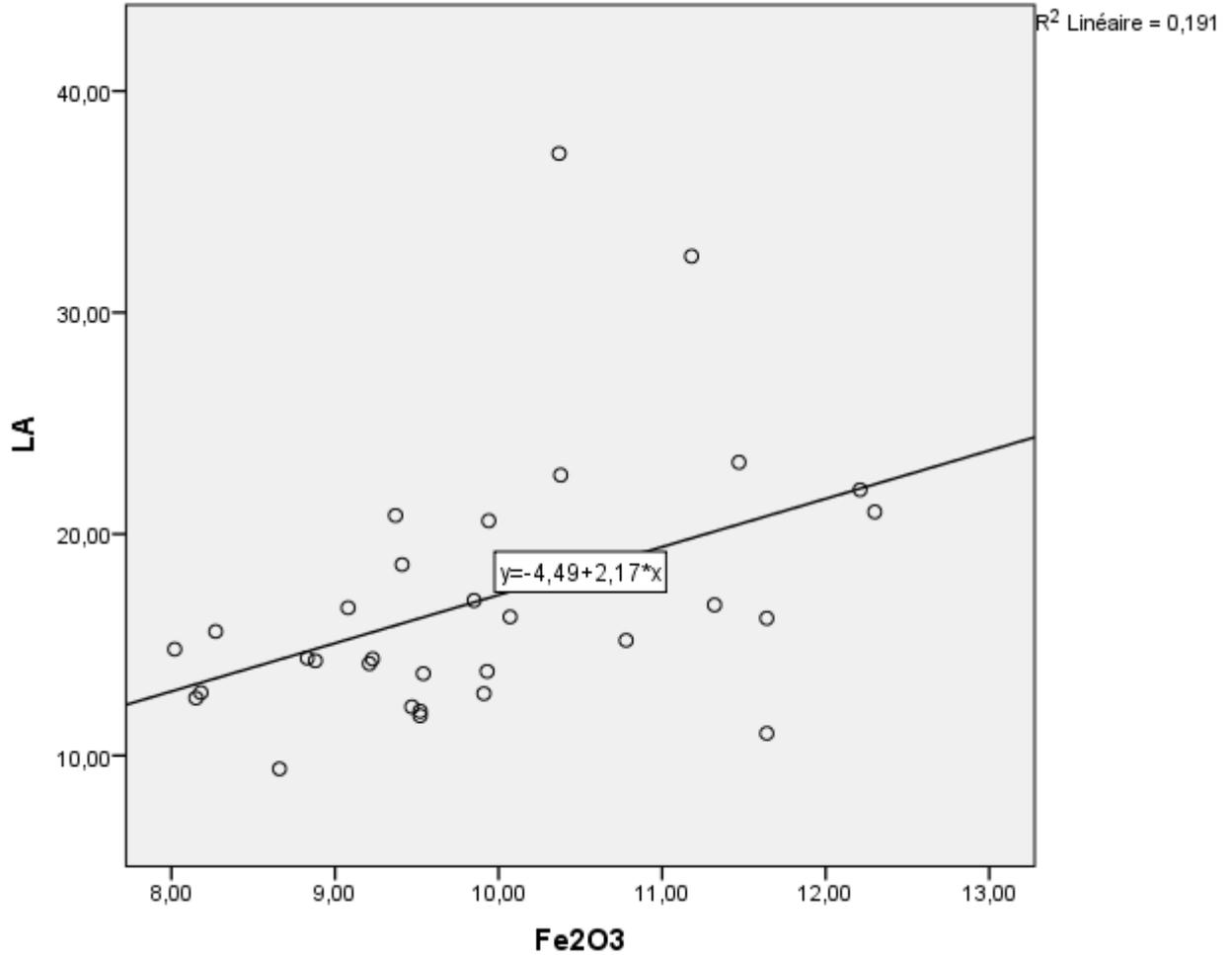


FIGURE 4.9 – Diagramme de corrélation LA/Fe₂O₃

- **Diagramme de corrélation LA/MgO** : ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et indique une importante diminution de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs de magnésie, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

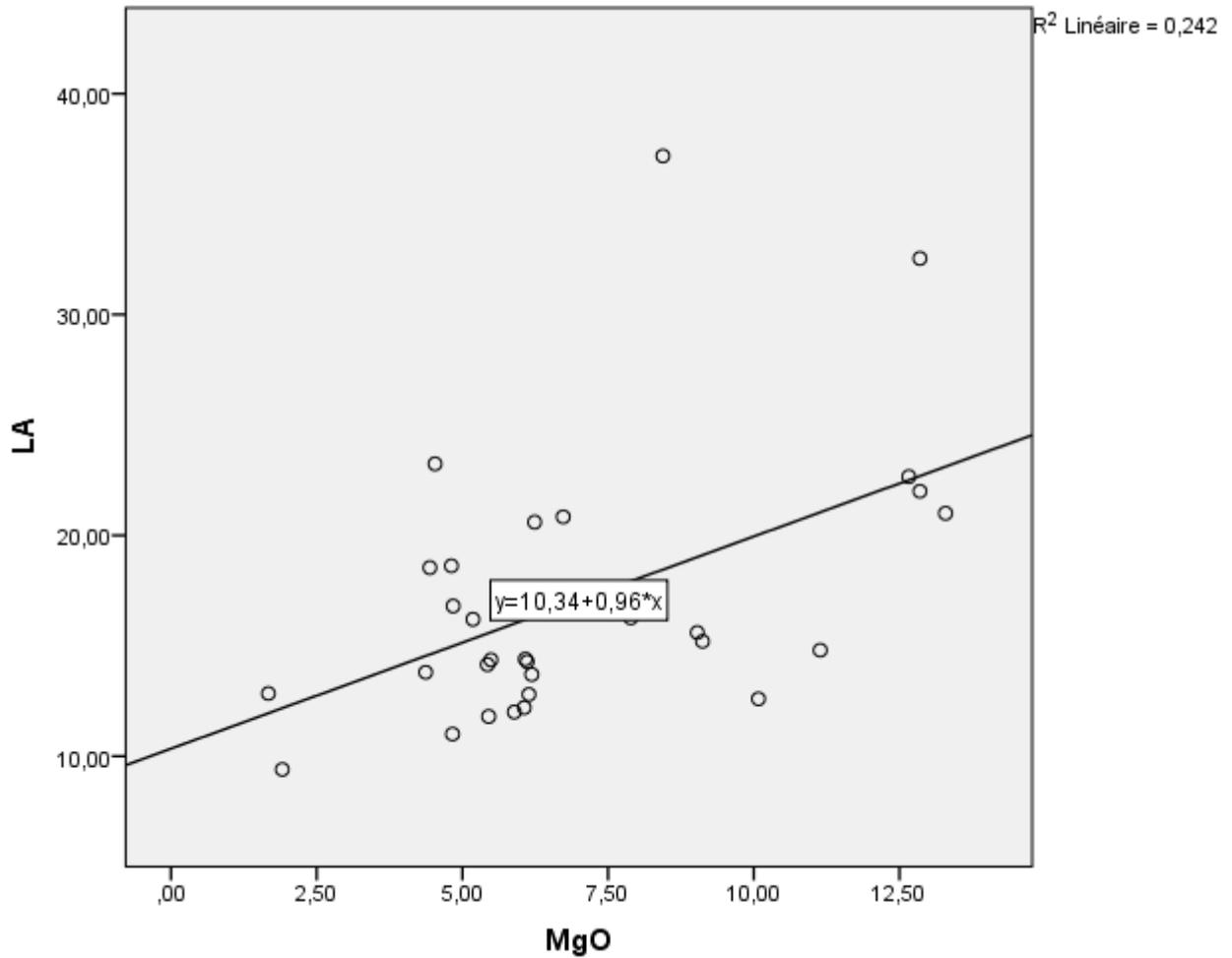


FIGURE 4.10 – Diagramme de corrélation LA/MgO

- **Diagramme de corrélation LA/CaO** : ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et montre une diminution substantielle de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs de la chaux, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

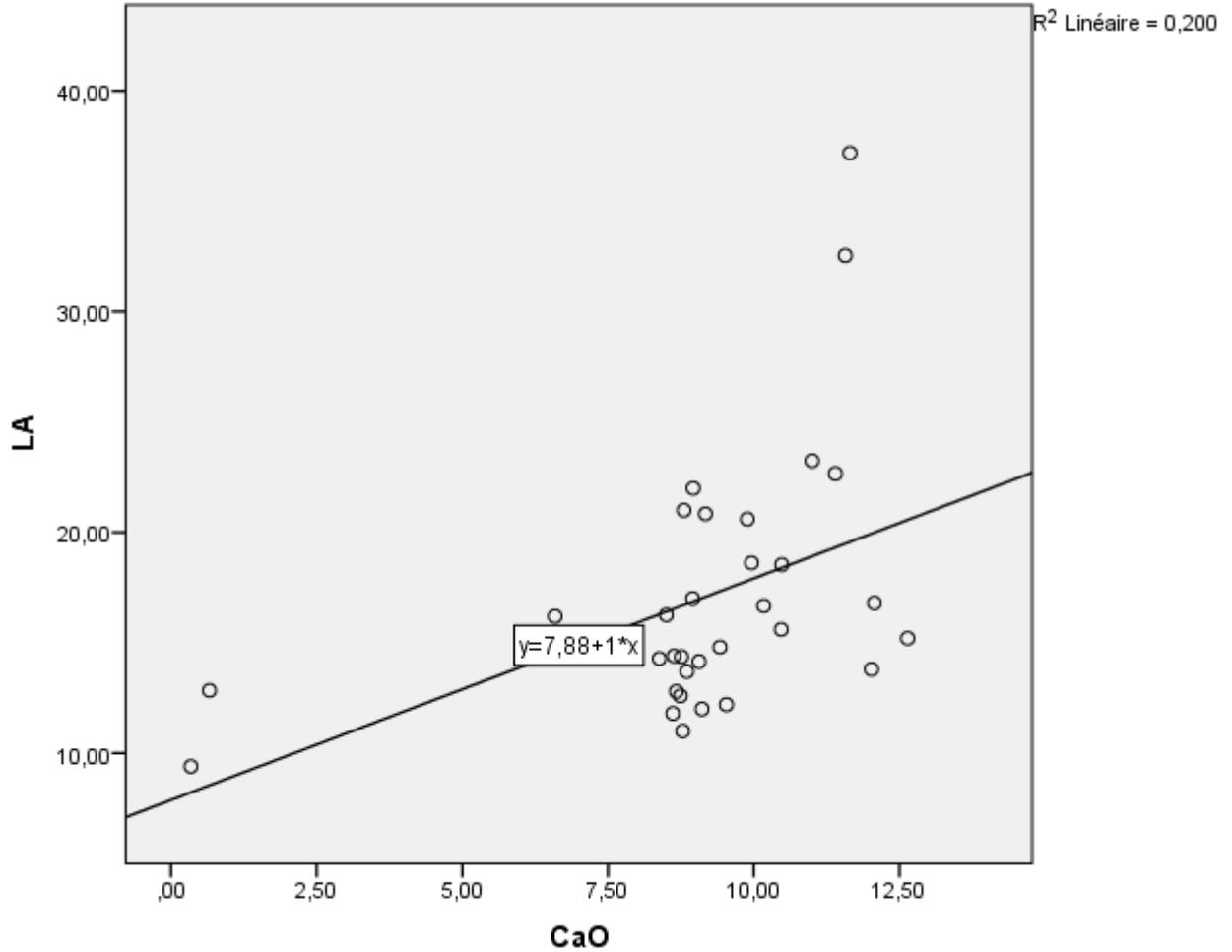


FIGURE 4.11 – Diagramme de corrélation LA/CaO

- **Diagramme de corrélation LA/Na₂O+K₂O** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et affiche une relative élévation de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs des alcalins, vérifiant ainsi que cet oxyde résiste favorablement à l'altération dans les échantillons.

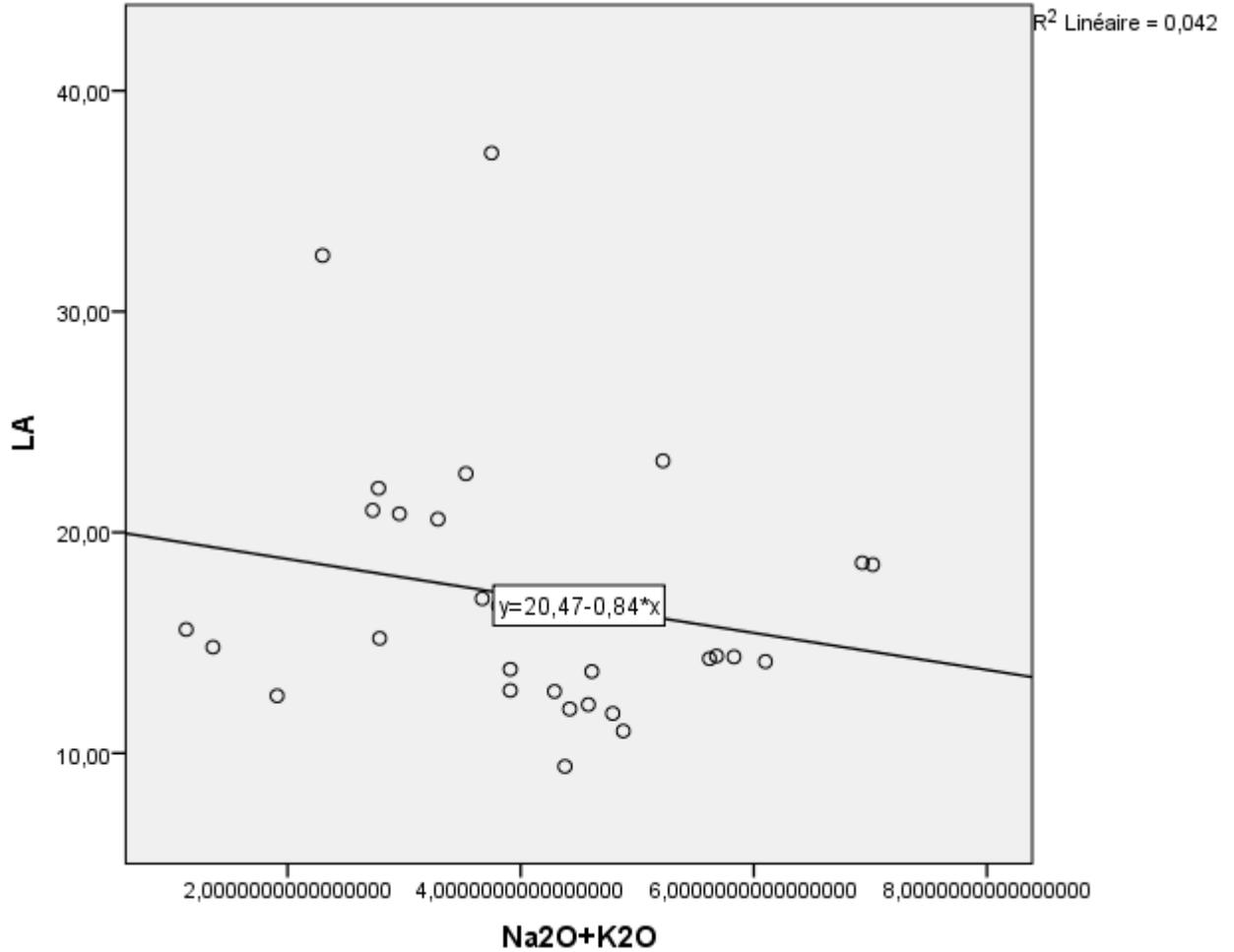


FIGURE 4.12 – Diagramme de corrélation LA/Na₂O+K₂O

- **Diagramme de corrélation LA/TiO2** : ce diagramme vérifie amplement le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et montre une baisse substantielle de la résistance aux chocs en fonction des hautes teneurs de TiO2, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

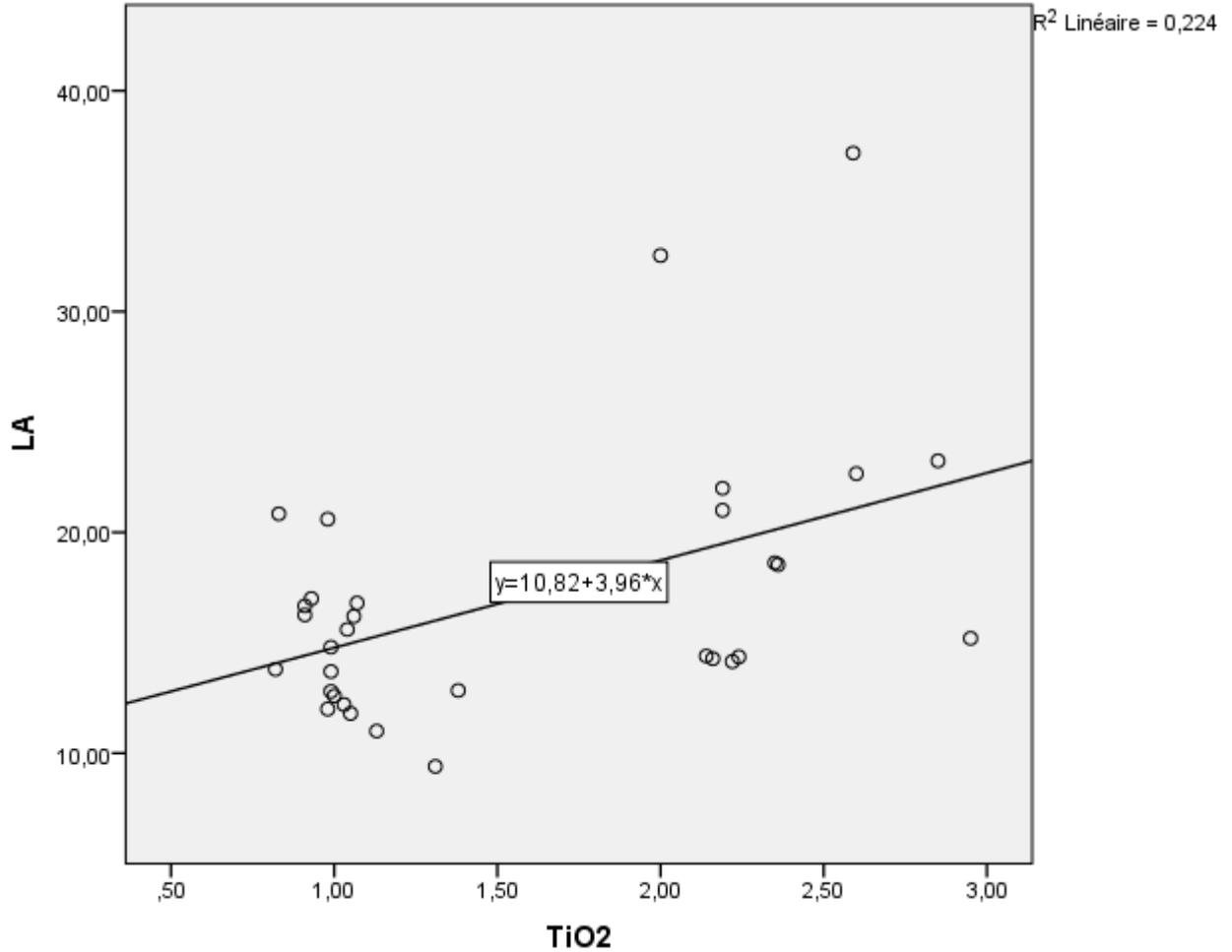
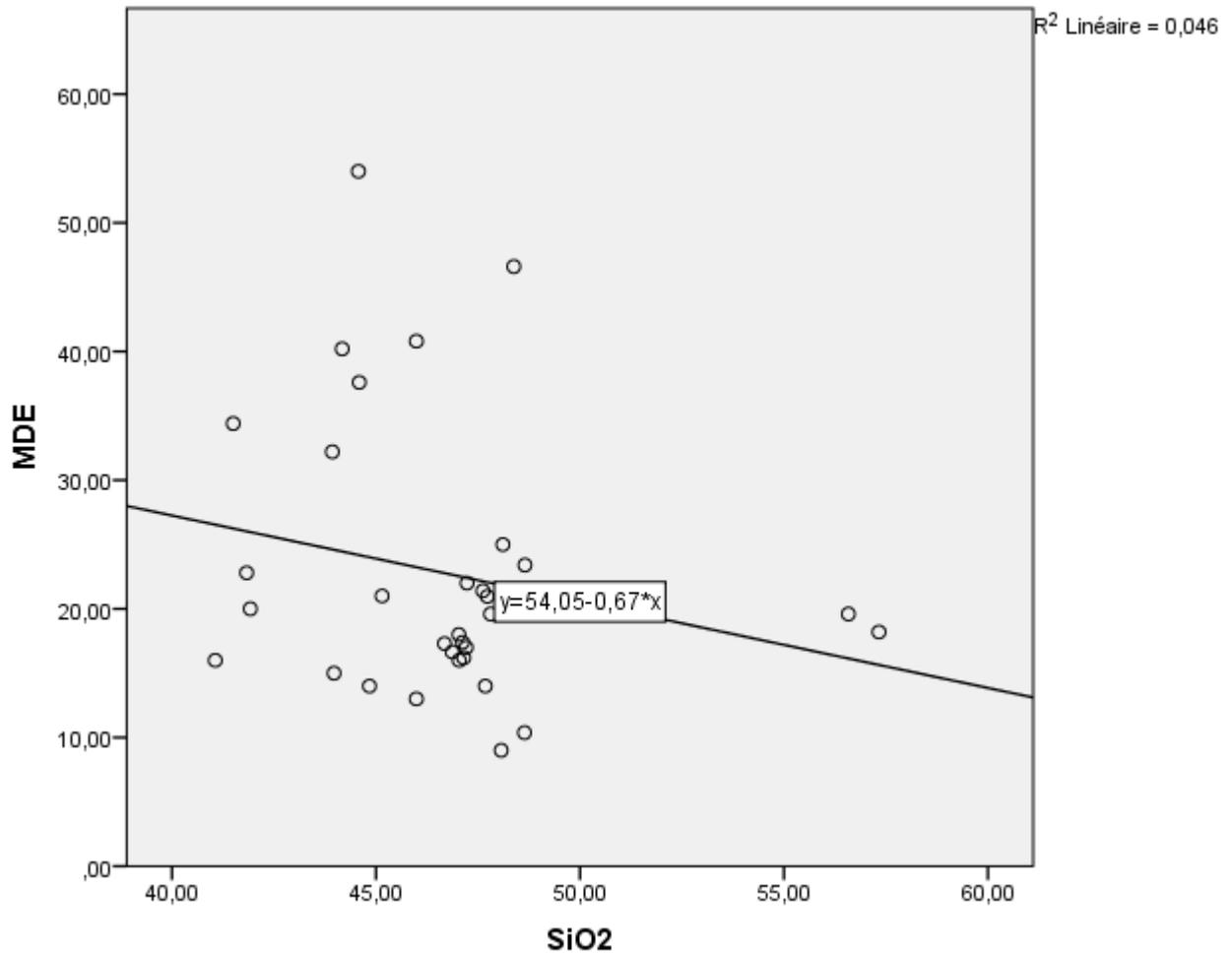


FIGURE 4.13 – Diagramme de corrélation LA/TiO2

4.3 Diagrammes de corrélation Micro Deval Humide MDE

- **Diagramme de corrélation MDE/SiO₂** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et affiche une importante élévation de la résistance à l'usure en rapport avec les valeurs croissantes de la silice, vérifiant ainsi que cet oxyde résiste amplement l'altération dans les échantillons.

FIGURE 4.14 – Diagramme de corrélation MDE/SiO₂

- **Diagramme de corrélation MDE/Al₂O₃** : au même titre que le précédent, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et affiche une relative élévation de la résistance à l'usure en fonction des hautes teneurs de l'alumine, vérifiant ainsi que cet oxyde résiste favorablement à l'altération dans les échantillons.

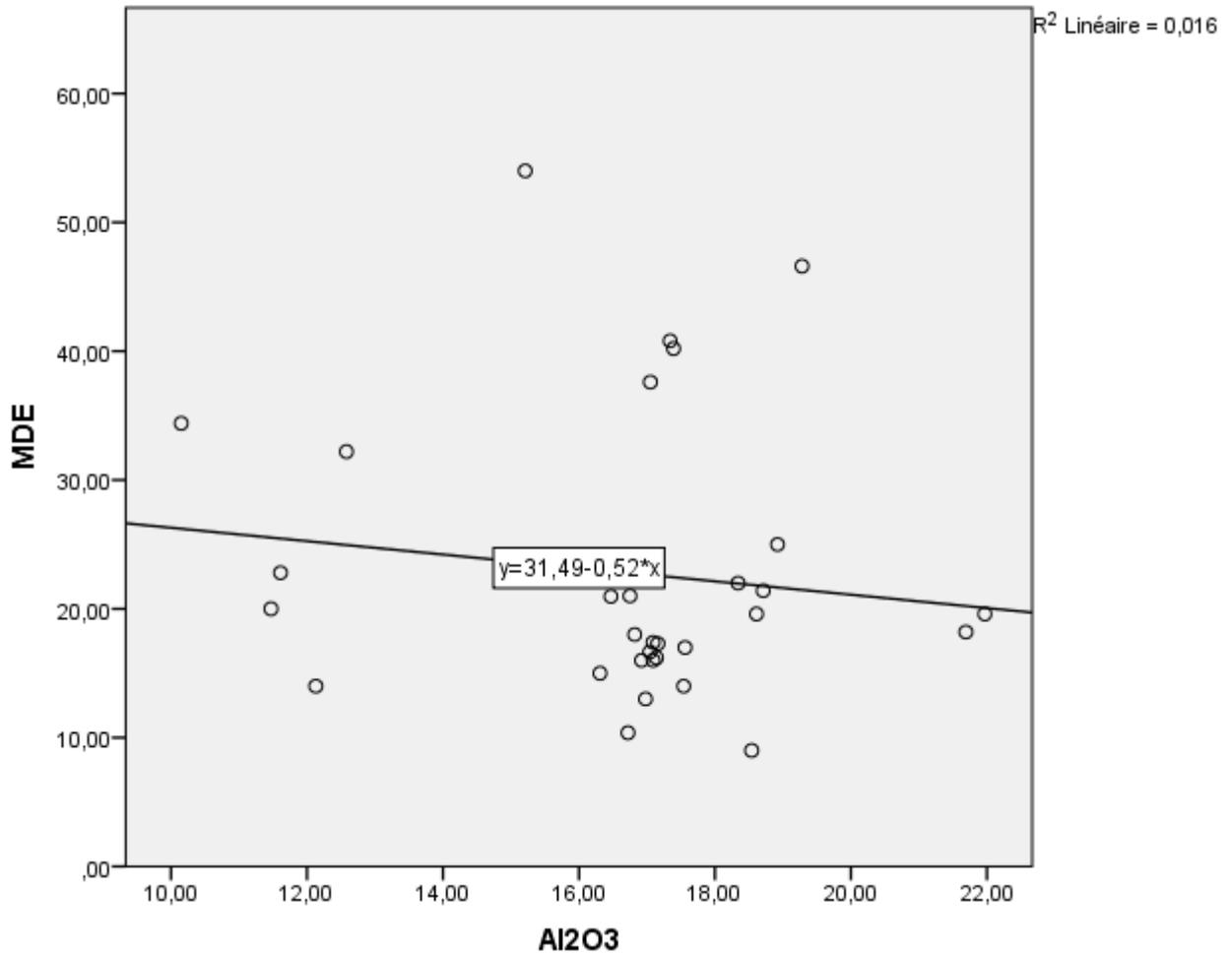


FIGURE 4.15 – Diagramme de corrélation MDE/Al₂O₃

- **Diagramme de corrélation MDE/Fe₂O₃** :ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et montre une baisse importante de la résistance à l'usure en fonction des hautes teneurs de Fe₂O₃, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

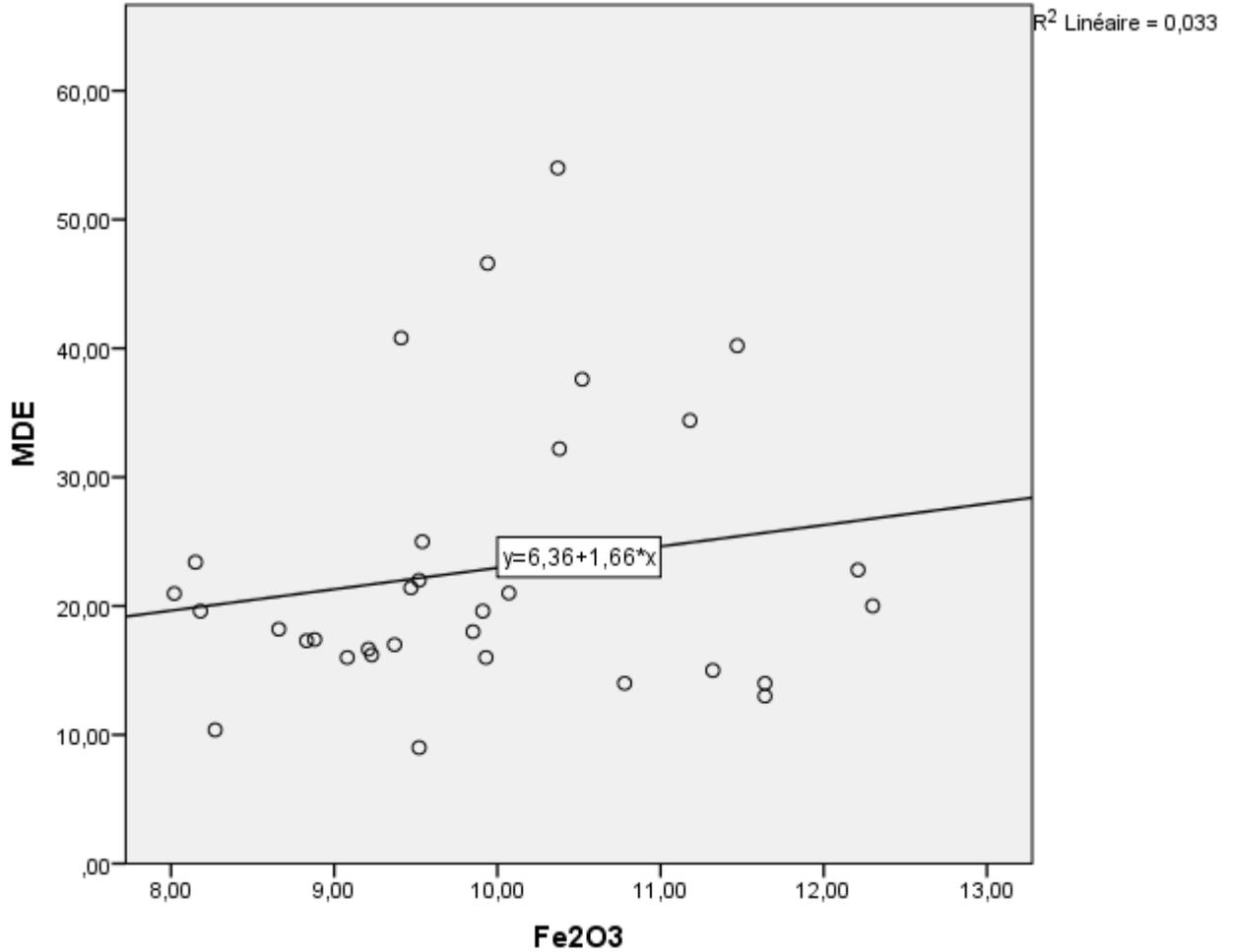


FIGURE 4.16 – Diagramme de corrélation MDE/Fe₂O₃

- **Diagramme de corrélation MDE/MgO** : au même titre que le précédent, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et affiche une diminution de la résistance à l'usure en rapport avec les hautes teneurs de MgO, vérifiant ainsi que cet oxyde est marqué par une altération dans les échantillons.

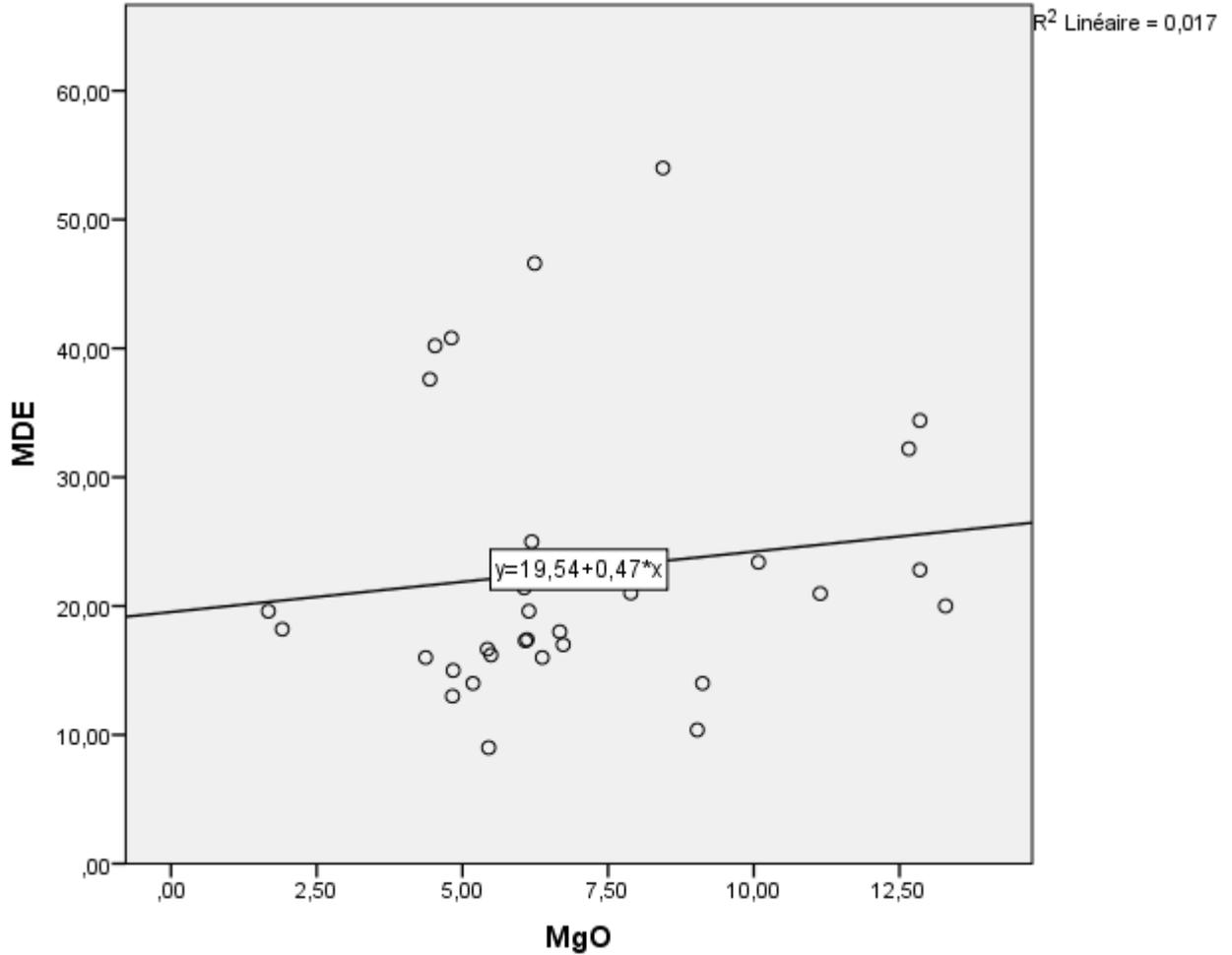


FIGURE 4.17 – Diagramme de corrélation MDE/MgO

- **Diagramme de corrélation MDE/CaO** : au même titre que le précédent, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil significatif, et montre une importante diminution de la résistance à l'usure en relation avec les teneurs croissantes de CaO, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

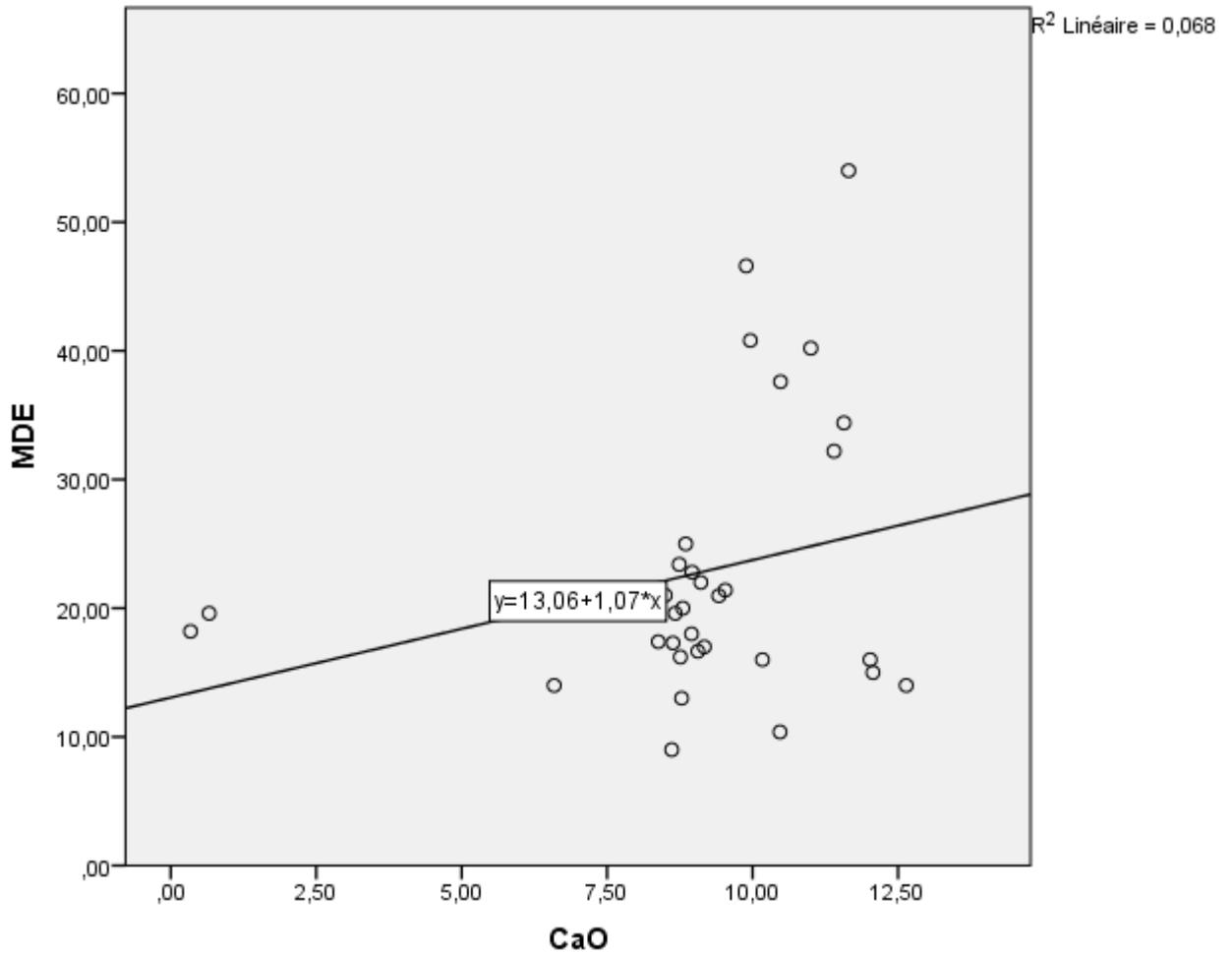


FIGURE 4.18 – Diagramme de corrélation MDE/CaO

- **Diagramme de corrélation MDE/Na₂O+K₂O** : au même titre que les précédents, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et développe une baisse de la résistance à l'usure en rapport avec les hautes teneurs des alcalins, vérifiant ainsi que ces oxydes sont marqués par une altération dans les échantillons.

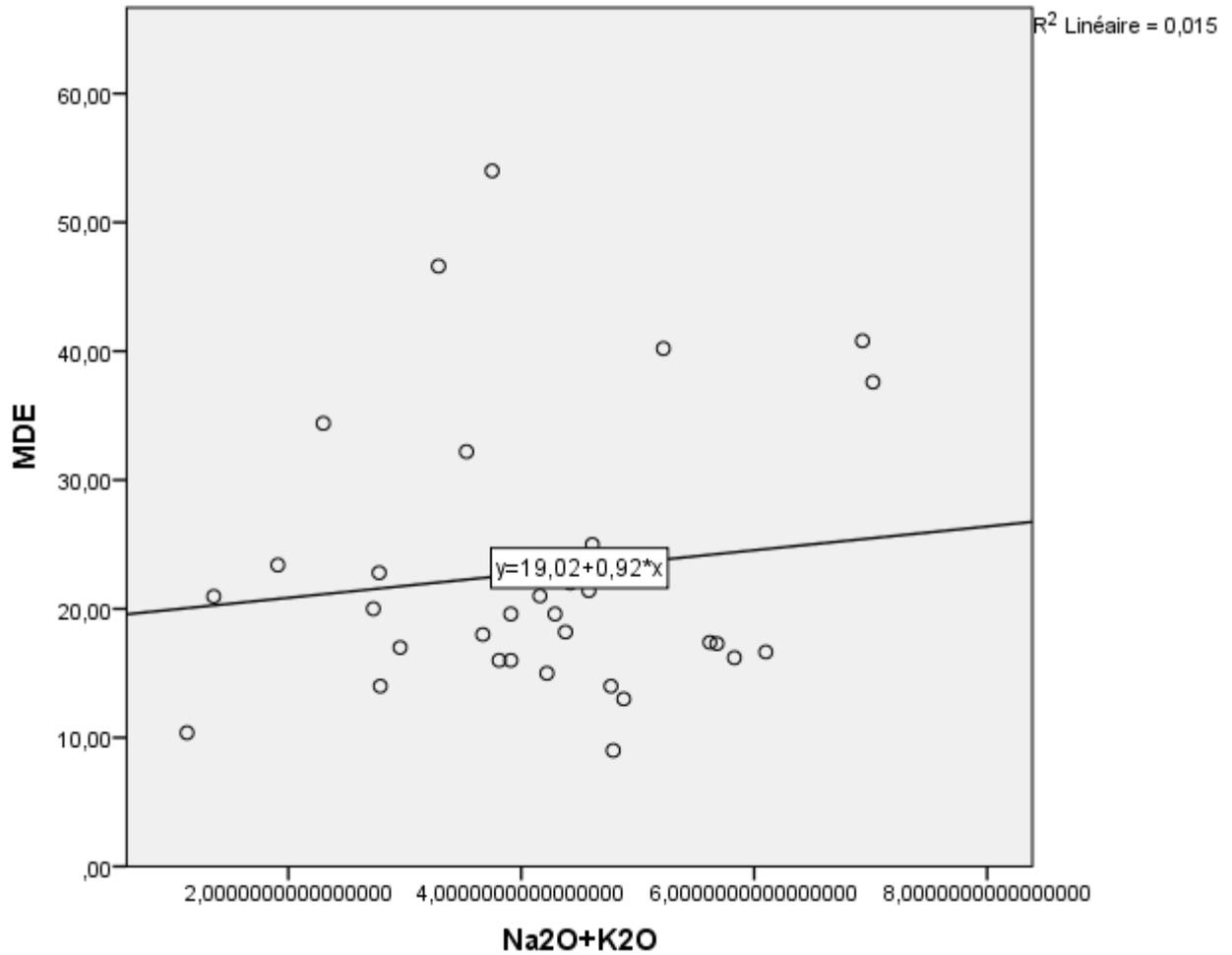


FIGURE 4.19 – Diagramme de corrélation MDE/Na₂O+K₂O

- **Diagramme de corrélation MDE/TiO2** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et montre une importante diminution de la résistance à l'usure en fonction des valeurs croissantes de TiO2, vérifiant ainsi que cet oxyde est sujet à une altération dans les échantillons.

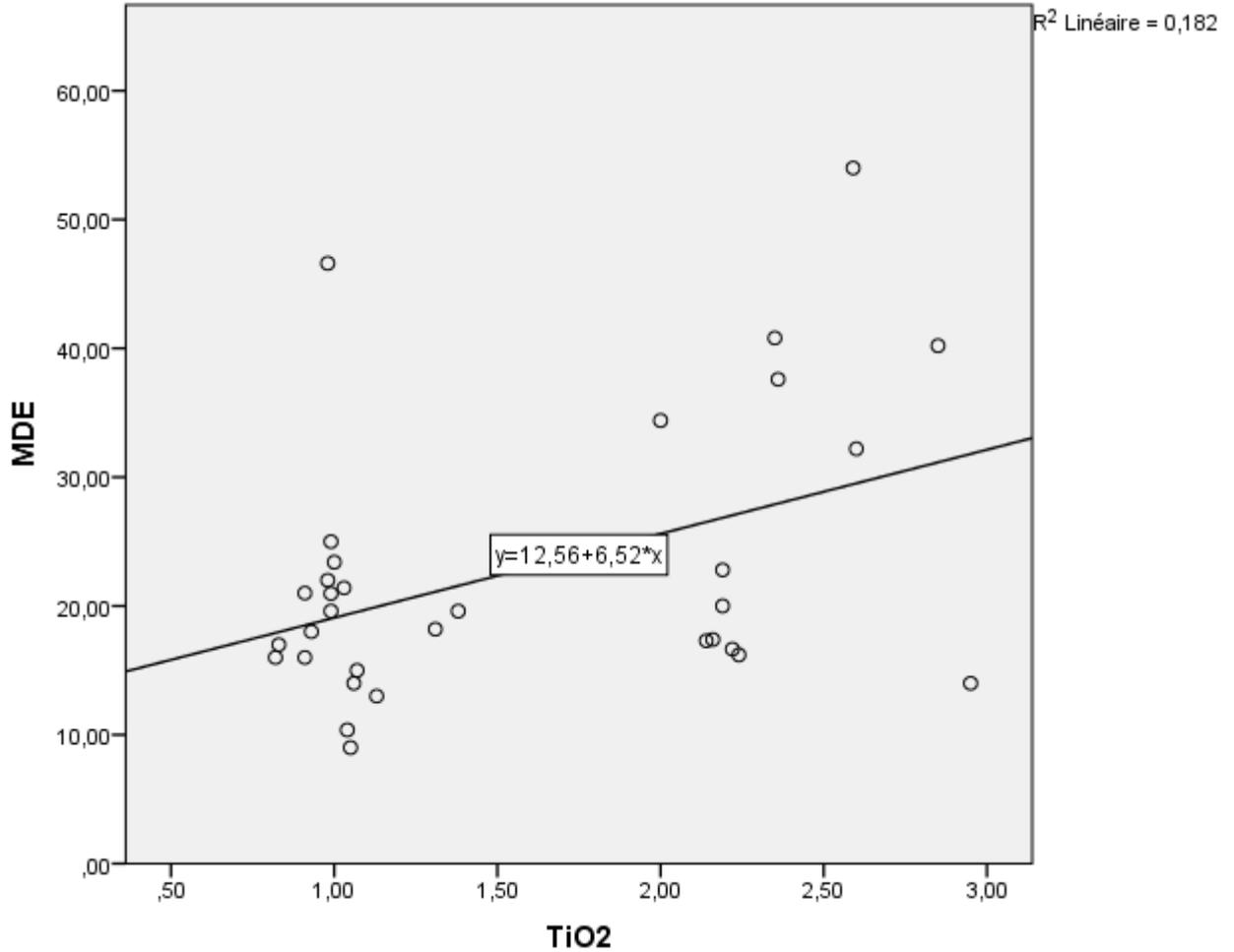


FIGURE 4.20 – Diagramme de corrélation MDE/TiO2

4.4 Diagrammes de corrélation Dureté Relative Globale DRG

- **Diagramme de corrélation DRG/SiO₂** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil significatif, et exprime une élévation substantielle de la dureté relative globale en rapport avec les teneurs croissantes de SiO₂, vérifiant ainsi que cet oxyde renforce le niveau de résistance physicomécanique dans les échantillons.

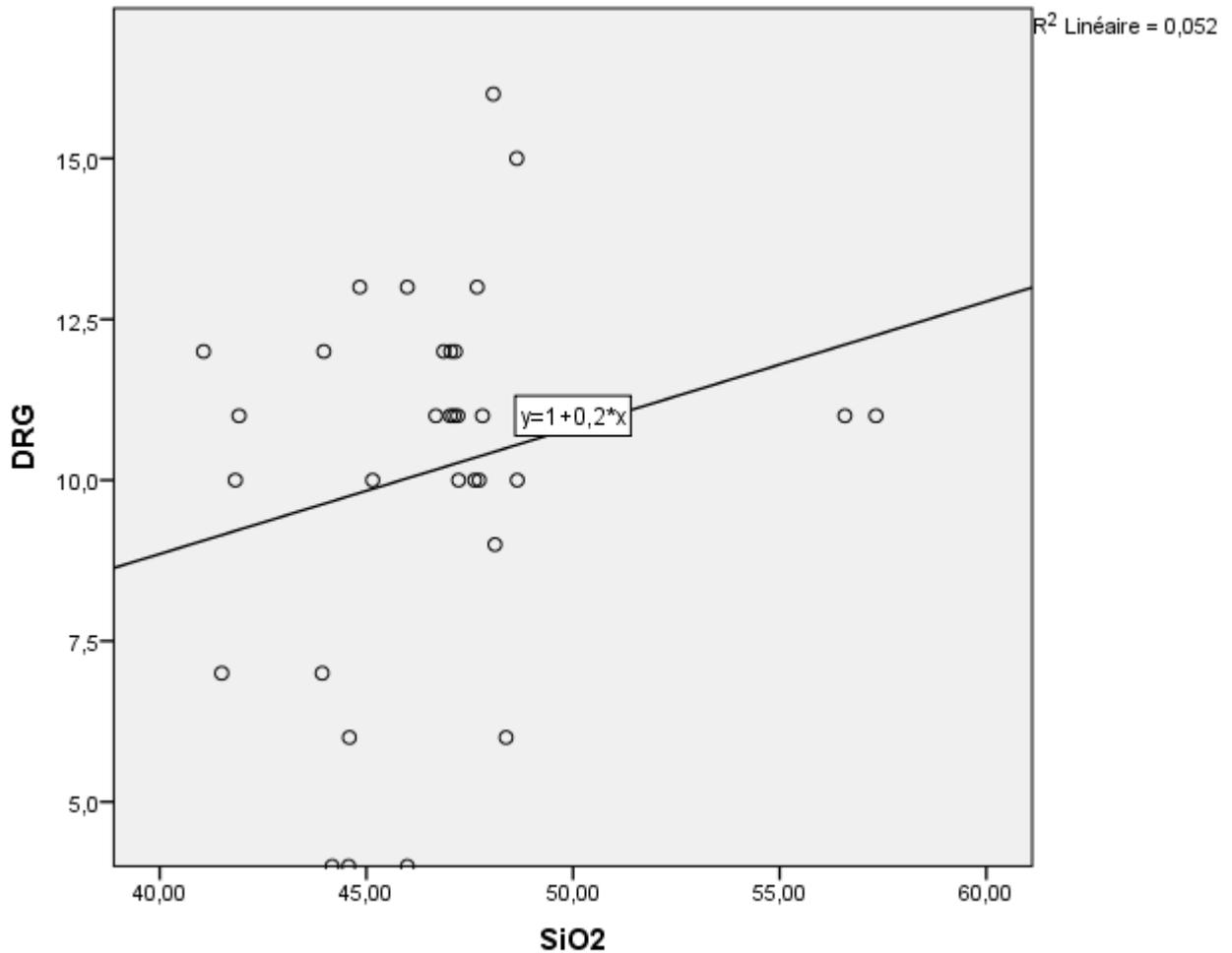


FIGURE 4.21 – Diagramme de corrélation DRG/SiO₂

- **Diagramme de corrélation DRG/Fe₂O₃** :contrairement au précédent, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et montre une diminution de la dureté relative globale en fonction des valeurs croissantes de Fe₂O₃, vérifiant ainsi que cet oxyde fragilise le niveau de résistance physicomécanique dans les échantillons.

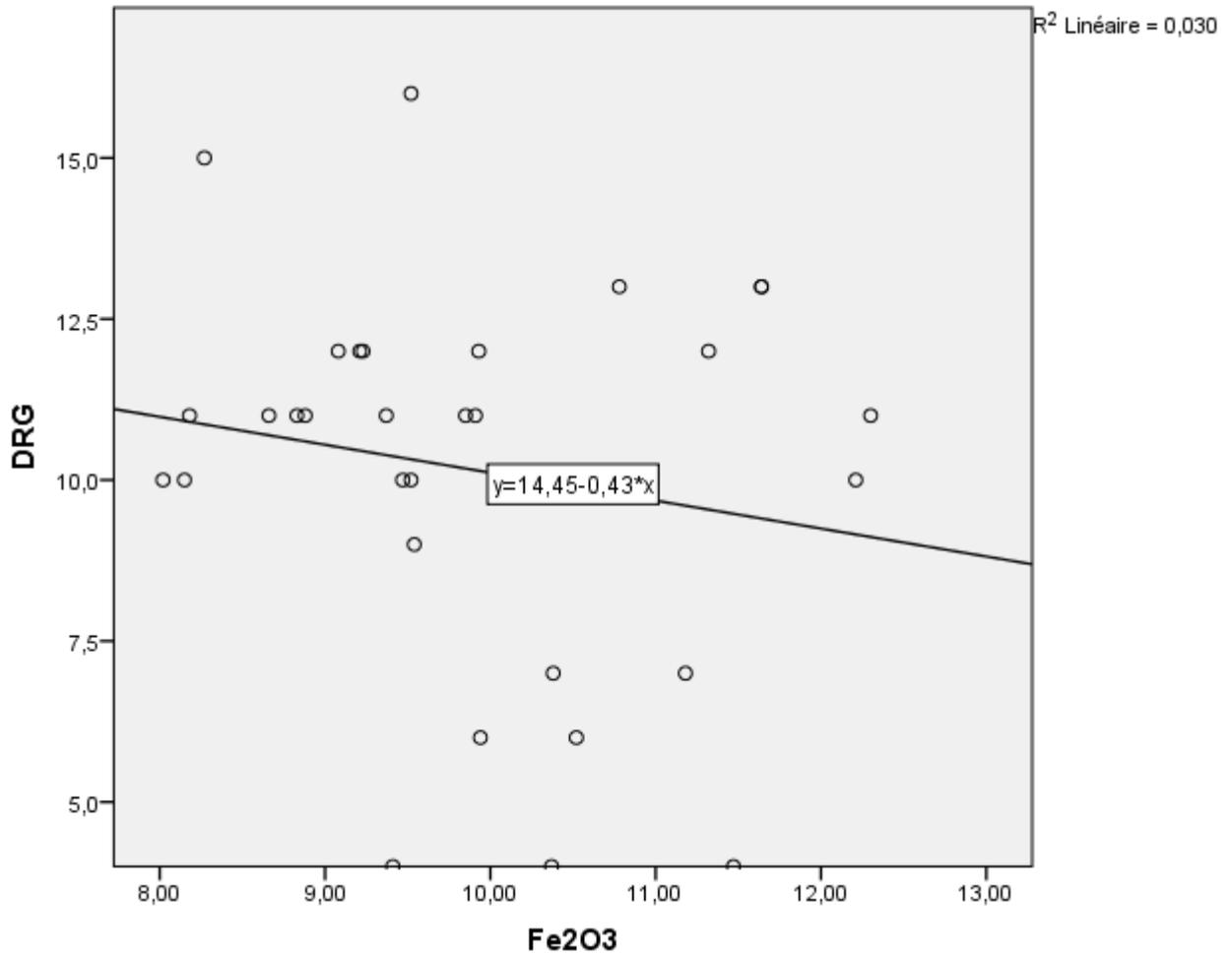


FIGURE 4.23 – Diagramme de corrélation DRG/Fe₂O₃

- **Diagramme de corrélation DRG/MgO** : par analogie au précédent, ce diagramme vérifie aussi le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et présente une diminution relative de la dureté relative globale en fonction des valeurs croissantes de MgO, vérifiant ainsi que cet oxyde fragilise le niveau de résistance physicomécanique dans les échantillons.

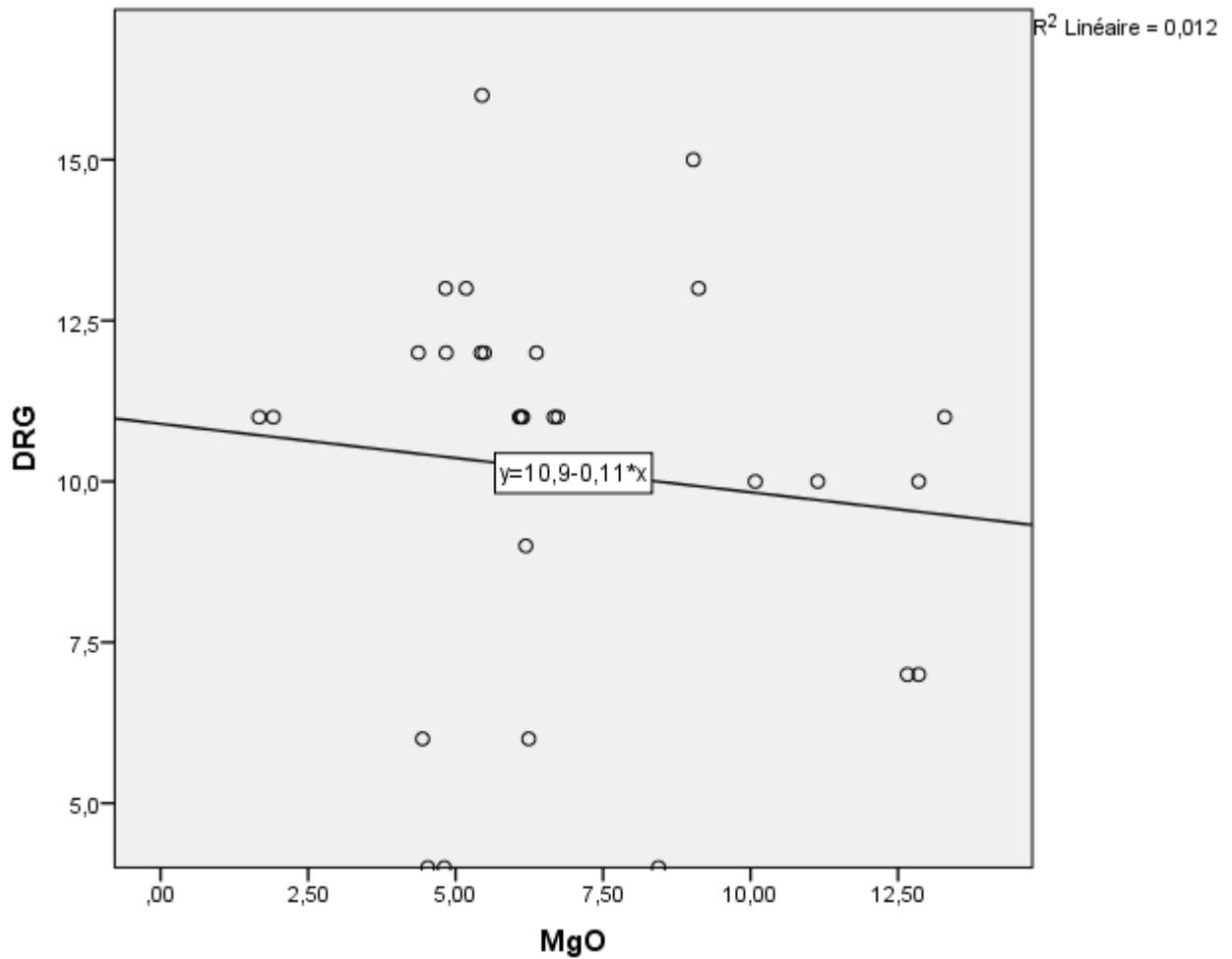


FIGURE 4.24 – Diagramme de corrélation DRG/MgO

- **Diagramme de corrélation DRG/Na₂O+K₂O** : au même titre que le précédent, ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil non significatif, et indique aussi une diminution de la dureté relative globale en fonction des valeurs croissantes des alcalins, vérifiant aussi que ces oxydes fragilisent le niveau de résistance physicomécanique dans les échantillons.

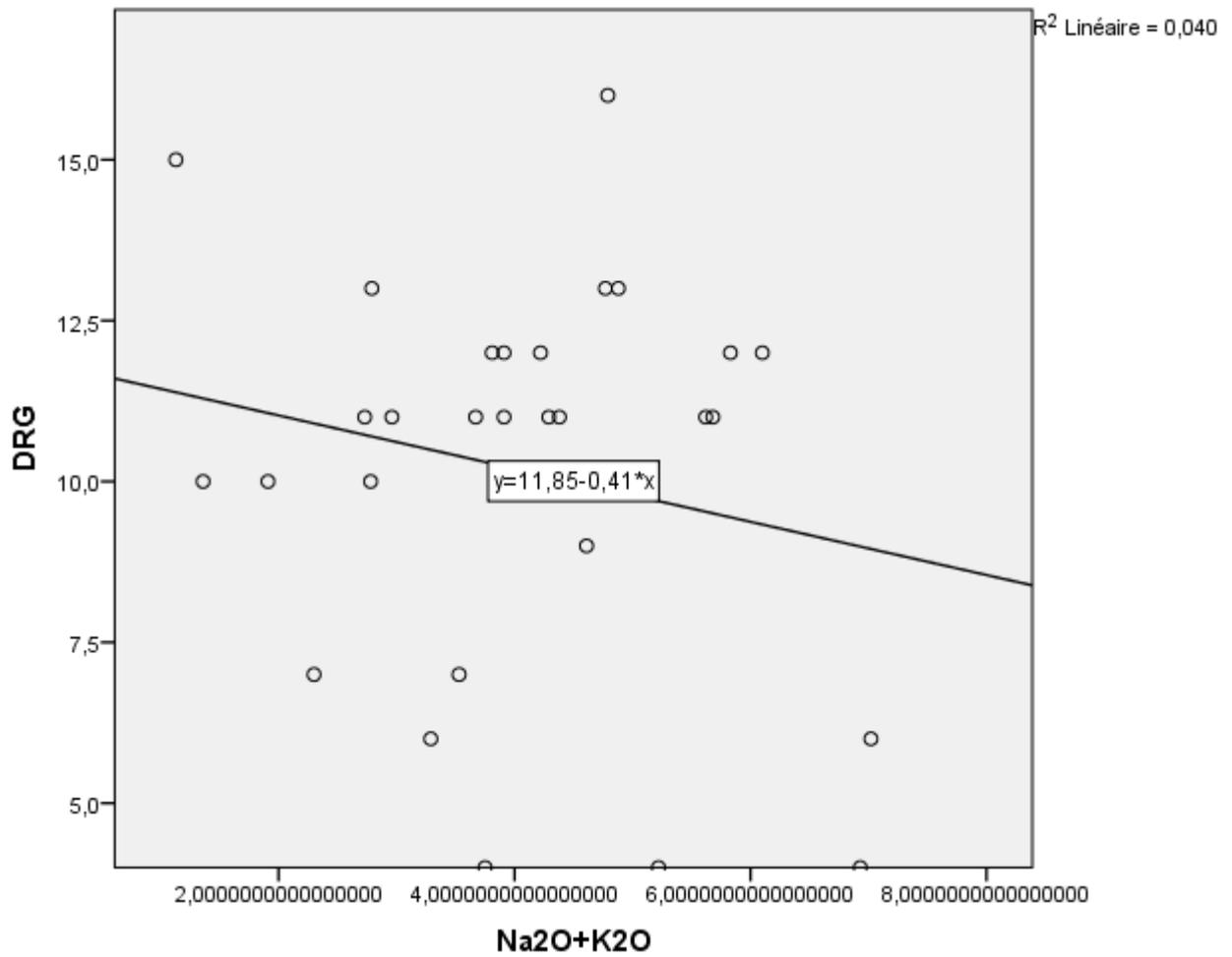


FIGURE 4.26 – Diagramme de corrélation DRG/Na₂O+K₂O

- **Diagramme de corrélation DRG/TiO2** : ce diagramme vérifie le niveau de corrélation à un seuil très significatif, et montre une importante diminution de la dureté relative globale en fonction des valeurs croissantes de TiO2, vérifiant aussi que cet oxyde fragilise le niveau de résistance physicomécanique dans les échantillons.

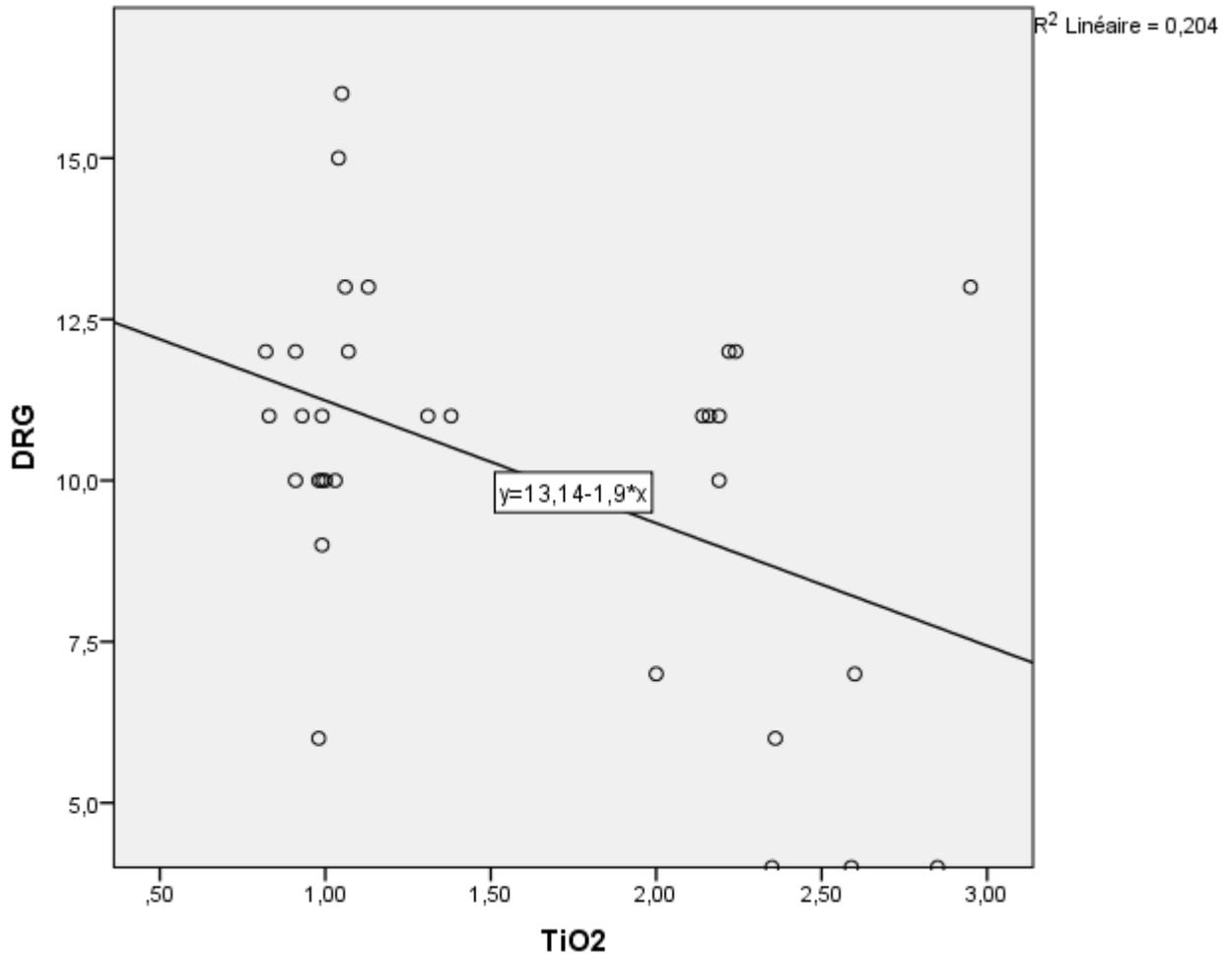


FIGURE 4.27 – Diagramme de corrélation DRG/TiO2

4.5 Conclusion

A la lumière des diagrammes de corrélations construits par régression linéaire à partir des résultats du tableau (figure 4.1) relatif aux analyses géochimiques et des essais géotechniques, on constate que :

Sur les 28 diagrammes de corrélations construits,

- seuls neuf (09) corrélations sont vérifiées à un niveau de seuil très significatif, réparties comme suit :
 - une (01) corrélation entre DRG/TiO₂,
 - une (01) corrélation entre MDE/SiO₂,
 - cinq (05) corrélations de LA en relation avec CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃ et SiO₂,
 - deux (02) corrélations de PAF en rapport avec TiO₂ et Na₂O+K₂O.
- Cinq (05) corrélations sont vérifiées à un niveau de seuil significatif, réparties comme suit :
 - Deux (02) corrélations de DRG avec CaO et SiO₂,
 - une (01) corrélation entre MDE/CaO,
 - deux (02) corrélations de PAF en rapport avec SiO₂ et Al₂O₃.
- Treize (12) corrélations sont vérifiées à un niveau de seuil non significatif (absence de corrélations) réparties comme suit :
 - Quatre (04) corrélations de DRG en rapport avec Na₂O+K₂O, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃,
 - Cinq (05) corrélations de MDE avec Na₂O+K₂O, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂,
 - Deux (02) corrélations de LA en relation avec TiO₂ et Na₂O+K₂O,
 - Deux (02) corrélations de PAF en rapport avec Fe₂O₃ et MgO.

En effet, en fonction de la PAF, de bonnes à très bonnes corrélations sont vérifiées en faveur de la diminution de Perte au feu avec les teneurs croissantes de SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ et Na₂O+K₂O, ce qui exprime que ces oxydes résistent favorablement à l'altération dans les échantillons, néanmoins l'absence de corrélation de la PAF est vérifiée avec l'augmentation des hautes teneurs de MgO, Fe₂O₃.

En fonction de Los-Angeles (LA), de bonnes à très bonnes corrélations sont vérifiées en faveur d'une hausse de résistance mécanique aux chocs est vérifiée en fonction des hautes teneurs de SiO₂ et Al₂O₃. Et une baisse de résistance mécanique aux chocs en rapport avec les valeurs croissantes de MgO, Fe₂O₃ et CaO, et aussi avec TiO₂ et Na₂O+K₂O mais en l'absence de corrélations significatives.

En fonction de Micro-Deval humide (MDE), de bonnes à très bonnes corrélations sont vérifiées en faveur d'une baisse de résistance mécanique à l'usure en relation avec les valeurs croissantes de TiO_2 , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ et CaO , aussi en l'absence de corrélations significatives avec MgO et Fe_2O_3 , Toutefois, une hausse de résistance mécanique à l'usure est vérifiée en fonction des hautes teneurs de SiO_2 et Al_2O_3 mais en l'absence de corrélations significatives.

En fonction de Dureté Relative Globale (DRG), de bonnes à très bonnes corrélations sont vérifiées en faveur d'une hausse de DRG en relation avec les valeurs croissantes de SiO_2 , et une diminution de DRG en rapport avec l'augmentation des valeurs de TiO_2 et CaO , aussi en l'absence de corrélations significatives avec Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 et $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$.

Conclusion générale

Au terme de ce travail portant sur la vérification et validation des corrélations établies par la régression linéaire entre les caractéristiques pétrogéochimiques et les paramètres géomécaniques, qui s'inscrivent dans la compilation des analyses géochimiques et essais géotechniques de 32 échantillons prélevés à partir des affleurements magmatiques basiques du Nord-centre et NW Algérien (à savoir Cap Djinet-W. de Boumerdes, Mont Chenoua-W. de Tipaza, Béni-Saf et Aïn-Temouchent- W. de Aïn Temouchent, Tiffrit-W. de Saïda) , à travers lesquelles on est parvenu à faire ressortir des corrélations à différents niveaux de seuil de confiance avec $R^2 > 0.05$, ce qui nous a amené à vérifier que :

- Du point de vue pétrogéochimique
 - **selon le diagramme TAS** Les analyses géochimiques au moyen de fluorescence X, ont permis de préciser le caractère pétrographique de ces roches qui, en général correspondent majoritairement (68.74%) à des roches basiques se rapportant à des basaltes et trachy-basalte avec une tendance vers le caractère ultra-basique à 15.63% se rapportant aux basanite et picro-basalte, et vers le caractère intermédiaire à 6.25% se rapportant aux andésites basaltiques. A la lumière de ces résultats, on note que cette hétérogénéité pétrographique revient probablement aux processus de volcanisme fissural épisodique relevant de différentes conditions géodynamiques.
 - Et d'après le **diagramme TAS Sub-Alcalin**, la majeure partie de nos échantillons prélevés des sites de Cap-Djenet, Aïn-Temouchent et Béni-Saf ont présenté un caractère alcalin, et correspondent à des roches classées comme étant de basiques à ultra-basiques avec des teneurs élevées en alcalins où les $Na_2O > K_2O$, se rapportant aux roches des volcans continentaux, alors que ceux du Mont-Chenoua et du site du mole-Tiffrit ont donné un caractère sub-Alcalin et correspondent respectivement à des roches ultrabasiques à intermédiaires, soldées par des faibles pourcentages en alcalins.

- Cependant, de bons à très bons niveaux de corrélations sont retenus pour les valeurs de la PAF qui diminuent manifestement avec les teneurs croissantes de SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ et TiO_2 , ce qui exprime que ces oxydes résistent favorablement à l'altération dans les échantillons traités. Notons par ailleurs que la silice est la substance de base de la structure cristalline de tous les minéraux silicatés avec l'alumine (excepté dans l'olivine) et les alcalins qui dominent aussi dans les pyroxènes, amphiboles et plagioclases, tandis que le Titane, domine essentiellement dans l'oxyde de fer d'ilménite.
- Sur le plan des essais géotechniques, les résultats obtenus, ont largement vérifié et confirmé que la qualité de nos échantillons testés au laboratoire reste médiocre à plus ou moins bonne qualité, donc acceptables quant à leur utilisation comme matériaux de granulats dans les différents projets de construction.
- Néanmoins, les tests de Los-Angeles (LA) sont favorables à une bonne résistance mécanique aux chocs en rapport avec les hautes valeurs de SiO_2 et Al_2O_3 , et défavorables avec les teneurs croissantes de CaO , MgO et Fe_2O_3 , vérifiant ainsi une diminution de résistance mécanique aux chocs.

Notons que les substances de CaO , MgO et Fe_2O_3 présentes essentiellement dans respectivement les plagioclases calciques, calcosodiques et dans les clinopyroxènes calco-ferromagnésiens et les amphiboles calciques formant ainsi la structure des cortèges minéraux dominant dans les roches volcaniques basique, ultrabasique et neutre, et aussi TiO_2 présent l'oxyde de fer d'ilménite

D'autant plus que ces oxydes de CaO , MgO et Fe_2O_3 sont, sous de l'effet de l'humidité marine, sujet à d'importantes altérations chimiques transformant ainsi les affleurements basaltiques situés dans les régions littorales en minéraux secondaires tels que la chlorite, serpentine et épidote qui dérivent de la transformation des ferromagnésiens et la calcite des plagioclases calciques et calcosodiques. Ces oxydes sont ainsi les premiers responsables de la fragilisation de toutes les roches volcaniques basique et ultrabasique.

- Les tests de Micro-Deval humide (MDE), ont donné une baisse de résistance mécanique à l'usure en relation avec les valeurs croissantes de TiO_2 , malgré sa résistance aux altérations chimiques, cet oxyde participant à la structure des cortèges minéraux des certains pyroxènes et des oxydes de fer tels que l'ilménite, semble être affecté par l'altération des ferromagnésiens présents dans les cortèges des mêmes minéraux.

- En fonction de Dureté Relative Globale (DRG), on remarque que la DRG augmente en fonction des valeurs croissantes de SiO₂ et diminue au contraire avec celles de CaO et TiO₂.

En conclusion, les résultats obtenus à partir des analyses pétrogéochimiques et des essais géotechniques, ont vérifié clairement que les 32 échantillons de roches prélevés au Nord-centre et NW Algérien Sud, malgré leur proximité de la mer et les influences de l'humidité marine, développent toujours, sur le plan géomécanique malgré leur qualité médiocre, une résistance physico-mécanique valable et acceptable par les normes standards nationale et internationale, permettant ainsi la production -à partir des carrières d'exploitation de gisements rocheux volcaniques basiques, ultrabasique et intermédiaire- et l'alimentation du marché national en matériaux de granulats pour être utilisés dans les projets et travaux du génie civil.

Bibliographie

- [1] R. DE GIOVANNI, "les formations volcaniques du Cap Djinet", thèse de doctorat, Université d'Alger, 1978.
- [2] V.MILNITCHOUK, M.ARABADJI, "Géologie Générale", Editions Moscou, 1983.
- [3] BELLAIR P, POMEROL C, "Elément de géologie ", 8ième édition, Collection U - Armand Colin, 495p, 1984.
- [4] ALIAS J., 1984, « La voie ferrée », Eyrolles.
- [5] KOVALENKO V., « Exploitation des carrières », OPU, 1986.
- [6] ENG, « Normes des essais géotechniques des granulats du ballast » 1993.
- [7] K. KHADRAOUI et N. CHERIFI, "Contribution à une étude d'impact préalable à l'ouverture d'une carrière de granulats calcaires située dans le *massif de D'HAR-EL-MENDJEL, wilaya d'Ain Témouchent ", Mémoire de fin d'études, USTHB, 1996.
- [8] A.BEY et all, "Station géante EL-MALAH, rapport d'étude géologique du gisement de d'HAR EL-MENDJEL :ENG", novembre 1996.
- [9] YIPING Wu & al, Frazier Parker Jr, Ken Kandhal, "Aggregate Toughness; Abrasion resistance and Durability; Soundness Tests related to asphalt concrete performance in pavements", Alabama/Georgia USA, pp. 1-21 ; Janvier 1998.
- [10] Elizabeth A. and Hunt, P. E., " MICRO-DEVAL COARSE AGGREGATES TESTS EVALUATION " , Oregon, pp. 1-13, 2001.
- [11] GABRYSIK F., « Matériaux, les granulats » Chapitre 2, pp. 1-35. , 2002.
- [12] J. F. Pasquet, « Synthèse de granulats, Bassin Parisien », (1ère partie), Rapport BRGM -52106 Fr., pp. 9-32, Janvier 2003.
- [13] L. CHANANE, "comportement et influence des qualités du ballast sur la circulation des trains", mémoire de magister, ISFF, 2008.

- [14] ALLOU Smail, OTSMANE Belkacem "Etude des caractéristiques géologiques et géotechniques des roches basiques pour la production des granulats" Dépt. Génie Minier - ENP, 2009/2010.
- [15] FOUCAULT A., RAOULT J. F., « Dictionnaire de géologie », Masson – Paris, 331 p. 2010.
- [16] MEHALIL Mohamed, NASRI Badis "Caractéristiques géotechniques et géochimiques des roches Basaltique de l’affleurement magmatique de Ain Témouchent", Dépt. Génie Minier-ENP, 2010/2011.
- [17] DADDIMOUSA Ider Nourddine, SEMMACHE Mohamed Fouad "Etude de caractérisation géologique et géomécanique de l’affleurement magmatique de Cap Djinet pour la production des granulats", Dépt. Génie Minier – ENP Septembre 2013.

Annexes

C'est avec l'aide du logiciel SPSS qu'on a établi trois types de corrélation regroupé dans des tableaux matriciels à savoir corrélations de Kendall (rK), Spearman (rS) et Pearson (rP), ainsi on peut vérifier et expliquer les relations pouvant exister entre les oxydes et les paramètres géotechniques. Pour cela on a procédé par sélection des corrélations dites très significatives au niveau de 0.01** et significative au niveau de 0.05*.

		Matrice de Corrélations Pearson										
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O+K2O	TiO2	P.A.F	LA	MDE	DRG
SiO2	Corrélation de Pearson	1	,786**	-,657**	-,556**	-,840**	,046	-,347	-,270	-,521**	-,215	,229
	Sig. (bilatérale)		,000	,000	,001	,000	,602	,051	,135	,002	,237	,208
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Al2O3	Corrélation de Pearson	,786**	1	-,580**	-,852**	-,607**	,371*	-,503**	-,237	-,587**	-,127	,125
	Sig. (bilatérale)	,000		,000	,000	,000	,037	,003	,192	,000	,487	,497
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Fe2O3	Corrélation de Pearson	-,657**	-,580**	1	,291	,353*	,052	,330	,097	,437*	,182	-,173
	Sig. (bilatérale)	,000	,000		,106	,048	,779	,065	,598	,012	,318	,344
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
MgO	Corrélation de Pearson	-,556**	-,852**	,291	1	,448*	-,643**	,241	,136	,492**	,131	-,108
	Sig. (bilatérale)	,001	,000	,106		,010	,000	,183	,458	,004	,474	,556
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
CaO	Corrélation de Pearson	-,840**	-,607**	,353*	,448*	1	-,111	,252	,005	,447*	,260	-,226
	Sig. (bilatérale)	,000	,000	,048	,010		,544	,164	,979	,010	,151	,214
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Na2O+K2O	Corrélation de Pearson	,046	,371*	,052	-,643**	-,111	1	,296	-,358*	-,204	,123	-,200
	Sig. (bilatérale)	,802	,037	,779	,000	,544		,100	,044	,262	,503	,272
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
TiO2	Corrélation de Pearson	-,347	-,503**	,330	,241	,252	,296	1	-,333	,474**	,426*	-,451**
	Sig. (bilatérale)	,051	,003	,065	,183	,164	,100		,063	,006	,015	,010
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
P.A.F	Corrélation de Pearson	-,270	-,237	,097	,136	,005	-,358*	-,333	1	-,056	-,433*	,393*
	Sig. (bilatérale)	,135	,192	,598	,458	,979	,044	,063		,761	,013	,026
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
LA	Corrélation de Pearson	-,521**	-,587**	,437*	,492**	,447*	-,204	,474**	-,056	1	,711**	-,635**
	Sig. (bilatérale)	,002	,000	,012	,004	,010	,262	,006	,761		,000	,000
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
MDE	Corrélation de Pearson	-,215	-,127	,182	,131	,260	,123	,426*	-,433*	,711**	1	-,954**
	Sig. (bilatérale)	,237	,487	,318	,474	,151	,503	,015	,013	,000		,000
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
DRG	Corrélation de Pearson	,229	,125	-,173	-,108	-,226	-,200	-,451**	,393*	-,635**	-,954**	1
	Sig. (bilatérale)	,208	,497	,344	,556	,214	,272	,010	,026	,000	,000	
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

			Matrice de Corrélations de Kendall										
			SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O+K2O	TiO2	P.A.F	LA	MDE	DRG
Tau-B de Kendall	SiO2	Coefficient de corrélation	1,000	,533 ^{**}	-,465 ^{**}	-,097	-,394 ^{**}	,004	-,234	-,159	-,442 ^{**}	-,093	,116
		Sig. (bilatéral)	.	,000	,000	,436	,002	,974	,062	,200	,000	,465	,374
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Al2O3	Coefficient de corrélation	,533 ^{**}	1,000	-,224	-,493 ^{**}	-,321 ^{**}	,307 [*]	-,193	-,801 ^{**}	-,349 ^{**}	,012	-,004
		Sig. (bilatéral)	,000	.	,072	,000	,010	,014	,123	,016	,005	,922	,974
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Fe2O3	Coefficient de corrélation	-,465 ^{**}	-,224	1,000	,111	,218	-,047	,191	-,028	,811 [*]	,079	-,082
		Sig. (bilatéral)	,000	,072	.	,372	,080	,709	,127	,820	,012	,527	,531
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	MgO	Coefficient de corrélation	-,097	-,493 ^{**}	,111	1,000	,151	-,558 ^{**}	-,091	,131	,818 [*]	,154	-,142
		Sig. (bilatéral)	,436	,000	,372	.	,224	,000	,465	,292	,012	,218	,277
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	CaO	Coefficient de corrélation	-,394 ^{**}	-,321 ^{**}	,218	,151	1,000	-,147	,134	-,069	,871 ^{**}	,160	-,213
		Sig. (bilatéral)	,002	,010	,080	,224	.	,236	,284	,581	,003	,200	,103
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Na2O+K2O	Coefficient de corrélation	,004	,307 [*]	-,047	-,558 ^{**}	-,147	1,000	,234	-,818 [*]	-,212	-,045	,017
		Sig. (bilatéral)	,974	,014	,709	,000	,236	.	,062	,012	,089	,721	,896
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	TiO2	Coefficient de corrélation	-,234	-,193	,191	-,091	,134	,234	1,000	-,804 ^{**}	,199	,165	-,154
		Sig. (bilatéral)	,062	,123	,127	,465	,284	,062	.	,015	,112	,188	,242
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	P.A.F	Coefficient de corrélation	-,159	-,301 [*]	-,028	,131	-,069	-,313 [*]	-,304 [*]	1,000	,036	-,233	,243
		Sig. (bilatéral)	,200	,016	,820	,292	,581	,012	,015	.	,770	,062	,063
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	LA	Coefficient de corrélation	-,442 ^{**}	-,349 ^{**}	,311 [*]	,313 [*]	,371 ^{**}	-,212	,199	,036	1,000	,301 [*]	-,334 [*]
		Sig. (bilatéral)	,000	,005	,012	,012	,003	,089	,112	,770	.	,016	,011
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	MDE	Coefficient de corrélation	-,093	,012	,079	,154	,160	-,045	,165	-,233	,301 [*]	1,000	-,931 ^{**}
		Sig. (bilatéral)	,465	,922	,527	,218	,200	,721	,188	,062	,016	.	,000
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	DRG	Coefficient de corrélation	,116	-,004	-,082	-,142	-,213	,017	-,154	,243	-,334 [*]	-,931 ^{**}	1,000
		Sig. (bilatéral)	,374	,974	,531	,277	,103	,895	,242	,063	,011	,000	.
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

Matrice de Corrélation Spearman

			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	TiO ₂	P.A.F	LA	MDE	DRG
Rho de Spearman	SiO ₂	Coefficient de corrélation	1,000	,656 ^{**}	-,679 ^{**}	-,178	-,562 ^{**}	,001	-,391 [*]	-,232	-,607 ^{**}	-,156	,189
		Sig. (bilatéral)	.	,000	,000	,329	,001	,994	,027	,201	,000	,393	,301
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Al ₂ O ₃	Coefficient de corrélation	,656 ^{**}	1,000	-,358 [*]	-,661 ^{**}	-,459 ^{**}	,503 ^{**}	-,300	-,397 [*]	-,627 ^{**}	-,008	,004
		Sig. (bilatéral)	,000	.	,044	,000	,008	,003	,095	,024	,002	,965	,983
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Fe ₂ O ₃	Coefficient de corrélation	-,679 ^{**}	-,358 [*]	1,000	,111	,324	-,009	,282	,029	,477 ^{**}	,135	-,117
		Sig. (bilatéral)	,000	,044	.	,547	,070	,960	,118	,876	,006	,461	,524
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	MgO	Coefficient de corrélation	-,178	-,661 ^{**}	,111	1,000	,193	-,748 ^{**}	-,044	,205	,441 [*]	,193	-,167
		Sig. (bilatéral)	,329	,000	,547	.	,289	,000	,813	,260	,011	,290	,362
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	CaO	Coefficient de corrélation	-,562 ^{**}	-,459 ^{**}	,324	,193	1,000	-,269	,188	-,092	,687 ^{**}	,214	-,249
		Sig. (bilatéral)	,001	,008	,070	,289	.	,137	,303	,618	,002	,239	,169
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Na ₂ O+K ₂ O	Coefficient de corrélation	,001	,503 ^{**}	-,009	-,748 ^{**}	-,269	1,000	,283	-,482 ^{**}	-,304	-,057	,021
		Sig. (bilatéral)	,994	,003	,960	,000	,137	.	,117	,008	,090	,755	,911
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	TiO ₂	Coefficient de corrélation	-,391 [*]	-,300	,282	-,044	,188	,283	1,000	-,416 [*]	,322	,219	-,196
		Sig. (bilatéral)	,027	,095	,118	,813	,303	,117	.	,018	,072	,228	,282
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	P.A.F	Coefficient de corrélation	-,232	-,397 [*]	,029	,205	-,092	-,462 ^{**}	-,416 [*]	1,000	-,006	-,381 [*]	,375 [*]
		Sig. (bilatéral)	,201	,024	,876	,260	,618	,008	,018	.	,975	,032	,034
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	LA	Coefficient de corrélation	-,607 ^{**}	-,527 ^{**}	,477 ^{**}	,441 [*]	,537 ^{**}	-,304	,322	-,006	1,000	,449 [*]	-,472 ^{**}
		Sig. (bilatéral)	,000	,002	,006	,011	,002	,090	,072	,975	.	,010	,006
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	MDE	Coefficient de corrélation	-,156	-,008	,135	,193	,214	-,057	,219	-,381 [*]	,449 [*]	1,000	-,985 ^{**}
		Sig. (bilatéral)	,393	,965	,461	,290	,239	,755	,228	,032	,010	.	,000
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	DRG	Coefficient de corrélation	,189	,004	-,117	-,167	-,249	,021	-,196	,375 [*]	-,472 ^{**}	-,985 ^{**}	1,000
		Sig. (bilatéral)	,301	,983	,524	,362	,169	,911	,282	,034	,006	,000	.
		N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32