



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI - OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.

Mémoire

**de fin d'études élaboré en vue de l'obtention du diplôme de
Master en sciences de la Terre et de l'univers.**

Option : Ressources Minérales et Environnement

Thème:



Présenté par : Mrs. *ABDI Madjid* et
AMARA Abdelhafidh

Soutenu publiquement le : 30/11/2017 Devant le jury composé :

Mr	Amrouche Farid	MAA	Président
Mr	Zeghouane H	MCB	Promoteur
Mme	Izri-Labchri D	MAA	Co-promotrice
Mr	Benabi Mohammed Said	MCA	Examineur
Mr	Hamis Ahmed	MAA	Examineur
Mr	Ziane Karim	Chef de Carrière (ENG)	Invité
Mr	Boutebba Abderrezzak	Directeur (CETIM)	Invité

Promotion 2016-2017



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI - OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.**

Mémoire

**de fin d'études élaboré en vue de l'obtention du diplôme de
Master en sciences de la Terre et de l'univers.**

Option : Ressources Minérales et Environnement

Thème

***ETUDE GEOLOGIQUE DE LA PARTIE NORD-
EST DU GISEMENT D'AGREGATS DE SI-
MUSTAPHA (W.BOUMERDES, ALGERIE) ;
IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT***

Présenté par :

Mrs. *ABDI Madjid* et *AMARA Abdelhafidh*

Soutenu publiquement le : 30/11/2017 Devant le jury composé :

Mr	Amrouche Farid	MAA	Président
Mr	Zeghouane H	MCB	Promoteur
Mme	Izri-Labchri D	MAA	Co-promotrice
Mr	Benabi Mohammed Said	MCA	Examineur
Mr	Hamis Ahmed	MAA	Examineur
Mr	Ziane Karim	Chef de Carrière (ENG)	Invité
Mr	Boutebba Abderrezzak	Directeur (CETIM)	Invité

Promotion 2016-2017

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir aidé et donné le courage et la volonté pour finaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr ZEGHOUANE.H notre encadreur qui nous a aidé par ses conseils, et sa grande expérience dans le domaine de prospection géologique à concrétiser ce projet.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Mme IZRI.D notre Co-promotrice qui nous a aidé par ses conseils pour finaliser le volet environnemental.

Nous tenons à remercier aussi Mr AMROUCHE.F d'avoir accepté de présider notre jury ainsi que les autres membres du jury, en l'occurrence Mr BENABI.M.S et Mr HAMIS.A pour le temps qui ont consacré à l'évaluation de ce travail.

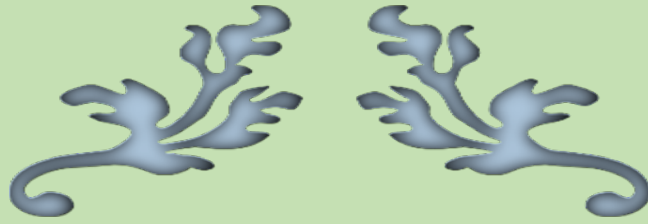
Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers le Directeur de l'entreprise nationale des granulats de l'unité Si-Mustapha Mr DAY.A qui nous a accordé un stage au sein de cette carrière, et pour son aide financière afin d'accomplir les analyses nécessaires.

Nos remerciements vont également à Mr BOUTEBBA.A Directeur au CETIM qui nous a ouvert les portes de son entreprise ainsi que Mr Bellal.A directeur du laboratoire (CETIM) qui nous a autorisé de faire un stage au sein de ce laboratoire et aussi pour réaliser l'ensemble des analyses requises pour cette étude.

Nos remerciements s'adressent aussi à Mr ZIANE.K et tout le personnel de l'unité des granulats de Si-Mustapha pour nous avoir accueillis et pour leur aide précieuse pendant le stage de terrain et pour le soutien moral.

Nous remercions aussi nos camarades Mr RAMDANE.A, Melle BOUDHAR.A et LASNI.A pour leur aide précieuse.

Enfin, on tient à remercier toute l'équipe pédagogique du département des sciences géologiques de l'UMMTO qui ont éclairé notre parcours scientifique et tous nos chères camarades étudiants.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :

*A la mémoire de mon défunt père, que Dieu tout puissant
lui accorde grâce et miséricorde ;*

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi
chère maman toutes mes joies, mon amour et ma
reconnaissance ;*

A mes chères frères et sœurs ;

A tous les miens et proches ;

Et surtout

A mes amis sincères.



Abdelhafidh.



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de
respect*

*A mon père, qui m'a donné force et courage afin de
concrétiser mes ambitions.*

*A ma mère qui m'a soutenu le long de mes années d'études,
et qui me disait souvent, que je ne rien valais sans savoir "le
savoir".*

*A mon frères et mes sœurs, que leur sacrifice envers moi soit
rendu le moment propice.*

A tous mes camarades géologues.

Et à toutes personnes chères à mon cœur.



Madjid.

Résumé :

Le secteur minier constitue un élément essentiel dans le développement économique et social d'un pays. Cependant un impact indésirable non négligeable sur l'environnement s'accompagne bien souvent.

Dans le présent mémoire nous avons effectué une étude géologique dans la partie Nord-Est de la carrière de Si Mustapha qui est actuellement en exploitation. Et ce, dans le but d'estimer la qualité de la matière première minérale destinée à la production d'agrégats.

Cette étude a été suivie par une évaluation des factures ayant un impact négatif sur l'environnement.

Lors de l'étude géologique on a réalisé une reconnaissance géologique suivi d'un échantillonnage adéquat le long de deux profils NW et NNE qui ayant permis de réaliser toute une série d'analyse de laboratoire.

Le volet environnement a vu sur le terrain la collecte des échantillons de poussière.

La comparaison des résultats d'analyse de nos échantillons avec les exigences industrielles en l'occurrence les normes AFNOR ont induit que cette partie NE du gisement de granodiorite de Si Mustapha est constituée en général d'une matière première d'une qualité supérieure pour les agrégats et particulièrement dans sa partie SW.

L'analyse des facteurs d'impact sur l'environnement révèle que cette carrière engendre un impact négatif sur l'environnement. Néanmoins la plupart de ces factures peuvent être réduits en adoptant des mesures correctives recommandées.

Mots clés: Si Mustapha, gisement d'agrégat, étude géologique, impact sur l'environnement.

Abstract:

The sector of mines is a very important element in the economic and social development of a country. However, it always followed by an undesirable impacts on environment.

In this memoire we have dealt with a geological in North East of Si Mustafa quarry which is actually in exploitation. The study is under the goal of estimating the quality of the mining raw material which is designated to the production of aggregates.

This study follows another study which aimed for the evaluation of the negative aspects on environment.

While the geological study, we realized a geological acknowledgment followed by an adequate sampling at the length of the two profiles NW and NNE which allows a series of laboratory analysis.

The environmental component has seen the collection of samples of dusts.

The comparison of the analysis results of our samples and the industrial requirement on the occurrence the norms AFNOR induces that this part NE of the granodiorite deposit of Si Mustafa in general consists in general of high quality of raw materials for the aggregates and in particular in its SW part.

The impact factor analysis revealed that this quarry has a negative impact on the environment. But, most of these factors can be reduced and minimized with the adoption of corrective measures.

Key words: Si Mustapha, aggregate deposit, geological study, impact on environment.

TABLE DES MATIERES

Résumé :	I
Abstract :	II
Table des matières :	III

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

Chapitre I: Généralités

I.1. Historique	3
I.2. Présentation de la région d'étude	3
I.2.1 Situation géographique.....	3
I.2.2 Topographie du gisement.....	4
I.2.3 Hydrogéologie.....	5
I.2.4 Infrastructures	5
I.2.5 Géomorphologie.....	5
I.2.6 Climat	6
a) Température de l'air	6
b) Pluviométrie	6
I.2.7 Réseaux hydrographique	6

Chapitre II : Géologie régionale

II.1. La chaîne des Maghrébides.....	8
II.1.1 Le domaine interne.....	10
II.1.2 Le domaine des flyschs.....	11
II.1.3 Le domaine externe	12
II.2. Les hauts plateaux (ou hautes plaines).....	13
II.3. L'atlas saharien.....	13
II.4. Evolution géodynamique des Maghrébides.....	14
II.4.1 Tectonique	14
II.4.2 Magmatisme.....	16

Chapitre III : Géologie locale

III.1. Aspect géologique	17
III.1.1 Le socle métamorphique.....	18
III.1.2 Les sédiments mio-plio-quaternaires	18
III.1.2.1 Le Miocène	18
III.1.2.2 Le Pliocène	19
III.1.2.3 Le Quaternaire	19
III.1.3 Les roches magmatiques	19
III.2. Aspect tectonique	21

Chapitre IV : Géologie du gisement

IV.A. Situation géographique du gisement	22
IV.B. Les structures géologiques du gisement	23
IV.B.1 Stratigraphie.....	23
a) Le Quaternaire.....	23
b) Le Miocène.....	24
IV. B.2 Magmatisme	26
a) Roches effusives.....	26
b) Roches intrusives.....	27
IV. B.3 Tectonique	27
IV. B.4 Lithologie.....	29
IV.C. Carte géologique du secteur d'étude.....	30

Chapitre V : Matériels et méthodes

V.A. Travaux de reconnaissance	31
V.B. Etude géologique.....	31
V.B.1 Echantillonnage.....	31
V.B.2 Analyses de laboratoire	31
V.B.2.1 Analyses physico-mécaniques	31
a) Essai Micro-Deval	31
b) Essai Deval	32
c) Essai Los Angles	33
d) Résistance à la compression.....	34
e) Masse volumique	35
f) Humidité.....	37
V.B.2.2 Analyses chimiques.....	37
V.B.2.3 Analyses pétrographiques	39
V.C. Etude environnemental.....	39
V.C.1 Echantillonnage.....	39
V.C.2 Analyses de laboratoire	39
V.C.2.1 Analyse des retombées atmosphériques.....	39
V.C.2.2 Analyse granulométriques.....	40
V.D. Interprétation des résultats.....	40

Chapitre VI : Travaux réalisés, résultats et interprétations

VI.A. Travaux réalisés.....	41
VI.A.1 Travaux de terrain	41
a) Observations géologiques.....	41
b) Travaux d'échantillonnages.....	45
VI.A.2 Travaux de laboratoire	47
VI.B. Résultats obtenus, Normes et interprétation	47
VI. B.1 Résultats des essais de laboratoire.....	47
VI. B.1.1 Essais physico-mécaniques.....	47
VI. B.1.1.1 Essais Los-Angeles.....	47

VI. B.1.1.2 Essais Deval	48
VI. B.1.1.3 Essais Micro-Deval.....	48
VI. B.1.1.4 Resistance a la compression.....	49
VI. B.1.1.5 Masse volumique	50
VI. B.1.1.6 Humidité naturelle.....	50
VI. B.1.2 Essais chimiques	51
VI. B.1.2.1 Détermination des oxydes majeurs.....	51
VI.1.3 Analyses pétrographiques (au microscope polarisant)	52
VI.1.3.1 Facies de bordure (rhyolites).....	52
VI.1.3.2 Facies plutoniques (granodiorite et diorite quartzique)	54
a) Les minéraux cardinaux.....	54
b) Les minéraux accessoires	57
VI.B.2 Interprétation	59
VI. B.2.1 Exigences industrielles pour agrégats.....	59
VI. B.2.2 Comparaison avec les valeurs normatives	59
VI. B.2.2.1 Essais Los-Angeles.....	59
VI. B.2.2.2 Essais Deval	60
VI. B.2.2.3 Essais Micro-Deval.....	61
VI. B.2.2.4 Résistance à la compression.....	62
VI. B.2.2.5 Masse volumique	62
VI. B.2.2.6 Teneur en eau.....	63
VI.C. Conclusion	64

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

VII.1. Description du site et de son environnement	69
VII.1.1 Situation géographique	69
VII.1.2 Le climat Fidèle	69
VII.1.3 Les forêts	71
VII.1.4 L'Agriculture	71
VII.2. Evaluation des impacts	72
VII.2.1 Impact sur l'eau	72
VII.2.2 Impact sur l'air	72
VII.2.3 Impact sur les sols	74
VII.2.4 Impact sur la santé	75
VII.2.5 Impact sur la faune et la flore	76
VII.2.6 Impact sur le paysage	77
VII.2.7 Impact sonore	78
VII.2.8 Impact lies aux vibrations	79
VII.2.9 Impact liés aux tirs des mines	79
VII.2.10 Impact sur les infrastructures	80
VII.2.11 Impact liée aux matériaux divers	80
VII.2.12 Hygiène et sécurité.....	81
VII.3. La pollution de l'atmosphère	82
VII.3.1 Définitions	82
VII.3.1.1 Définition de la pollution atmosphérique	82
VII.3.1.2 Les polluants atmosphériques	82
VII.3.1.3 Echelles spatiales et temporelles des phénomènes de pollution atmosphérique	83

VII.3.1.4 Les paramètres influençant la pollution de l'atmosphère.....	84
VII.3.2 Etude de la pollution par les poussières générées par l'exploitation de la carrière de SI MUSTAPHA	86
VII.3.3 Résultats et interprétations	89
VII.3.3.1 Analyse des retombées atmosphériques	89
VII.3.3.2. Analyse granulométrique	91
VII.4. Les mesures de protection de l'environnement.....	94
VII.4.1 Réduction de l'impact lié aux poussières	94
VII.4.2 Protection des eaux.....	95
VII.4.3 Réduction des bruits	95
VII.4.4 Réduction de l'impact visuel	96
VII.4.5 Mesures de protections liées à la sécurité.....	96
VII.4.6 Mesures de protection liée aux activités socio-économiques.....	96
VII.4.7 Autres recommandations	97
VII.4.8 Tableau récapitulatif des effets et des mesures proposées	98
Conclusion.....	99

Chapitre VIII : Plan de remise en état

VIII.1. La remise en état	100
VIII.2. Réaménagement de la carrière	102
VIII.2.1 Réaménagement en terrain agricole et boisements forestiers.....	102
VIII.2.2 Les opérations à suivre pour l'aménagement	103
VIII.3. Le coût de la remise en état.....	104
VIII.3.1 Réaménagement des talus et plates-formes	104
VIII.3.2 Correction des plates-formes	105
VIII.3.3 Travaux de remblayage avec terre végétale	105
VIII.3.4 Achats de plantes et semis	105
a) Achats des plantes	105
b) Achats des semis	106
VIII.4. Conclusion.....	106

Conclusion générale	107
----------------------------------	-----

Références bibliographiques	110
--	-----

Appendices :

- Appendice 1 : Liste des figures.
- Appendice 2 : Liste des tableaux.
- Appendice 3 : Liste des abréviations.

INTRODUCTION

Introduction :

Les roches magmatiques miocènes de la marge nord algérienne affleurent le long d'une mince bande côtière, allant de la frontière avec la Tunisie jusqu'à la frontière marocaine. Dans les parties Est et Centre de l'Algérie affleurent beaucoup plus de roches plutoniques (granites, monzonites, granodiorites, diorites, etc.) que volcaniques (rhyolites, dacites, andésites, et basaltes) alors que vers l'Ouest, seules les roches volcaniques y affleurent.

Dans l'Algérois et plus exactement dans la wilaya de Boumerdès, le magmatisme miocène représente un potentiel économique très important, soit en substances métalliques et non métalliques et surtout en substances utiles utilisées comme matériaux de carrière. L'activité minière, assez développée dans cette région, est particulièrement représentée par les nombreuses carrières d'argiles, de tufs et d'agrégats employées pour les besoins des unités industrielles de production de produits rouges (briques et tuiles), de céramique, ainsi que dans le secteur du bâtiment et le revêtement des routes.

Le secteur minier constitue un composant essentiel dans le développement économique et social d'un pays. Malheureusement, les intérêts économiques liés à l'exploitation minière s'accompagnent bien souvent d'impacts indésirables non négligeables sur l'environnement. Exploitées à ciel ouvert, les carrières subissent préalablement un décapage des couches de couverture pour accéder aux matériaux utiles résultant en la modification topographique des terrains exploités, l'érosion et l'augmentation des risques de glissement de terrains ainsi que la contamination des eaux (de surface, et souterraines), des sols, et des sédiments, ou encore l'émission de poussières, de bruits et de vibrations, la dégradation de la végétation et des habitats faunique que l'environnement abrite, en plus des impacts socio-économiques et sur la santé publique. Et pour faire face à une telle situation un plan de remise en état des lieux est plus qu'indispensable.

But et objectifs de l'étude :

Dans le cadre du développement économique notamment dans les infrastructures (construction, routes chemins de fer...etc.), l'homme prélève dans son environnement immédiat des matériaux utiles et nécessaires. Ces ressources minérales contenues dans le sous-sol sont utilisées soit sous forme brutes ou après transformations. Elles sont issues d'un processus de

formation très long, qui s'étale pour certains sur des centaines de millions d'années. Leur utilisation et leur exploitation doivent être gérées correctement afin de préserver l'environnement et d'assurer aux générations futures des ressources en quantité suffisante.

Afin de répondre à une problématique qui réside dans la demande incessante et croissante en granulats, l'entreprise ENG (Entreprise Nationale des Granulats) avait projeté de réaliser une étude géologique sur la partie Nord-Est de la carrière d'agrégat de Si Mustapha (Thénia, Boumerdès) et ce, en vue d'ouvrir un nouveau front d'exploitation. Dans le but de prendre en charge ce thème de recherche, le département des sciences géologiques de l'UMMTO nous a désigné pour faire cette étude et une convention entre l'UMMTO et l'ENG a été signée en Mars 2017.

Le thème d'étude a été intitulé « Etude géologique de la partie Nord-Est du gisement d'agrégat de Si Mustapha; impact sur l'environnement ».

Le présent travail a pour but essentiel d'étudier la partie Nord-Est de la carrière de Si Mustapha qui est actuellement en exploitation pour son éventuelle extension. L'objectif principal de l'étude est de confirmer ou d'infirmer la bonne qualité de la matière première à exploiter de cette partie du gisement.

Quant au second objectif, il réside dans l'étude sommaire de l'impact de l'activité de cette carrière sur l'environnement.

Le présent mémoire serait divisé en deux grandes parties.

La première partie est réservée à l'étude géologique qui comprendra six chapitres (Généralités, géologie régionale, géologie locale, géologie du gisement, matériels et méthodes, travaux réalisés et interprétation).

La seconde partie est consacrée à l'étude d'impacts sur l'environnement qui comprend deux chapitres : Impacts sur l'environnement et un plan de remise en état.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale sur la méthodologie de prospection géologique des gisements des substances utiles utilisées et des recommandations sur les moyens à utiliser pour réduire l'impact sur l'environnement et la proposition d'un plan de la remise en état de la carrière.

CHAPITRE I :

GENERALITES

Chapitre I : Généralités

I.1. Historique :

L'Entreprise Nationale des Granulats «ENG» est une société étatique par action (SPA) qui fait partie du groupe industriel Manadjam El-Djazair (MANAL). Elle est dotée d'un capital social de trois milliards de dinars. Son patrimoine est constitué de : **(Fig. 1)**

- Neuf (9) carrières des granulats réparties sur le territoire national.
- Une usine de carbonate de calcium à El-khroub (wilaya de Constantine).
- Trois carrières pour la production des pierres ornementales.
- Un laboratoire central pour le contrôle de la qualité des produits de l'entreprise.



Fig. 1: Localisation géographique du patrimoine minier de l'ENG
(Extrait du rapport géologique du gisement de Si Mustapha., 2015).

I.2. Présentation de la région d'étude :

I.2.1 Situation géographique :

La zone d'étude fait partie de la Wilaya de Boumerdès qui se situe dans la partie Nord de l'Algérie. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la wilaya de Tizi-Ouzou, au Sud par celle de Bouira, et à l'Ouest par celle d'Alger et Blida.

Dans cette région, une carrière d'agrégat dénommée « Carrière de Si Mustapha » est actuellement en activité. Elle fait partie de Djebel Boukhnafer qui se trouve à environ 3 Km au Nord-Est du chef-lieu de la commune de Thénia et à 5 km au Nord-Ouest de celle de Si Mustapha.

De point de vue administratif le gisement est rattaché à la Commune de Si Mustapha, Daïra d'Isser, wilaya de Boumerdès (**Fig. 2**).



Fig. 2 : Situation géographique de la zone d'étude.

1.2.2 Topographie du gisement

Le gisement de granodiorites de Si Mustapha est situé dans la partie centrale du massif plutonique d'Ouled Ben Melah. Il est représenté par une élévation ovale de direction Nord-Ouest dominant le paysage environnant avec une cote absolue de 440m.

Les versants Sud-ouest et Nord-Est ont des pentes abruptes couvertes de broussailles et d'arbres isolés.

Le versant Sud descend en pente douce jusqu'à la vallée d'Oued Isser. Sa superficie est occupée par des plantations fruitières des oliviers, des potagers et des pâturages. Vers le Nord-Ouest, il est relié par un petit col à une autre élévation culminant à 426 m (Bou khanfar) où se trouve le nouveau gisement.

1.2.3 Hydrogéologie :

La haute perméabilité des granodiorites fissurées favorise l'infiltration des eaux atmosphériques.

La topographie fortement disséquée de la région du gisement facilite l'émergence des eaux souterraines dont la quantité est en fonction des précipitations annuelles qui peuvent atteindre 600 à 700mm.

Les sources d'eau, dont le débit généralement de 1 à 3l/s, servent à alimenter la ville de Thénia à l'exception d'une petite source (0,02 l/s) jaillissant dans la partie Nord-est du site, de l'unité de concassage, qui semble être liée aux accidents tectoniques d'extension Nord-Ouest.

A l'exception des sources précitées, aucune résurgence d'eaux souterraines ne se manifeste dans le périmètre du gisement.

1.2.4 Infrastructures :

Les infrastructures de la région d'étude sont favorables. Les routes nationales N° 5 et 12 passent à 2 km au Sud de gisement.

Le gisement est relié à la RN N°12 par la route goudronnée Thénia-Zemmouri et une piste passant sur le versant ouest du massif de Si Mustapha. La région est par ailleurs desservie par un réseau dense de routes locales très dense.

1.2.5 Géomorphologie :

Les granodiorites de Si Mustapha constituent un des sommets du massif montagneux de djebel Bou-Arous (cote 411,2m), qui s'allonge dans la direction Nord-Ouest.

Dans la partie Sud et Sud-Ouest du massif de granodiorite de Si Mustapha, la « SONATRACH » et la « SONATRO » (Société Nationale de Grands Travaux Routiers) ont ouvert deux carrières.

La carrière de la SONATRACH est équipée d'une installation mobile de concassage et de classement « DRAGON » et produit des agrégats fins et de sable concassé.

CHAPITRE II :
GEOLOGIE REGIONALE

Chapitre II : Géologie régionale

L'Algérie fait partie de l'ensemble Nord-Ouest Africain, son histoire géologique s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le Précambrien à l'actuel.

Du point de vue géologique, l'Algérie est subdivisée en deux domaines qui s'opposent par leur histoire et leur structure géologique :

- **Un domaine septentrional ou Algérie du Nord**, la géologie de cette partie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines tellien et atlasique), édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui.
- **L'Algérie saharienne**, domaine relativement stable depuis la fin du Précambrien, constitué d'un socle déformé par les orogénèses éburnéenne et panafricaine, d'une couverture paléozoïque généralement tabulaire affectée localement de plis hercyniens et d'une couverture méso-cénozoïque tabulaire.

Le linéament majeur entre ces deux domaines correspond à l'accident sud-atlasique qui suit le revers sud de l'Atlas saharien.

La région étudiée, qui englobe le gisement de granodiorite de Si Mustapha et faisant partie du massif de Thénia, appartient au premier domaine. Elle fait partie de l'Atlas tellien qui est une chaîne téthysienne formée au Tertiaire, (**Fig. 4**).

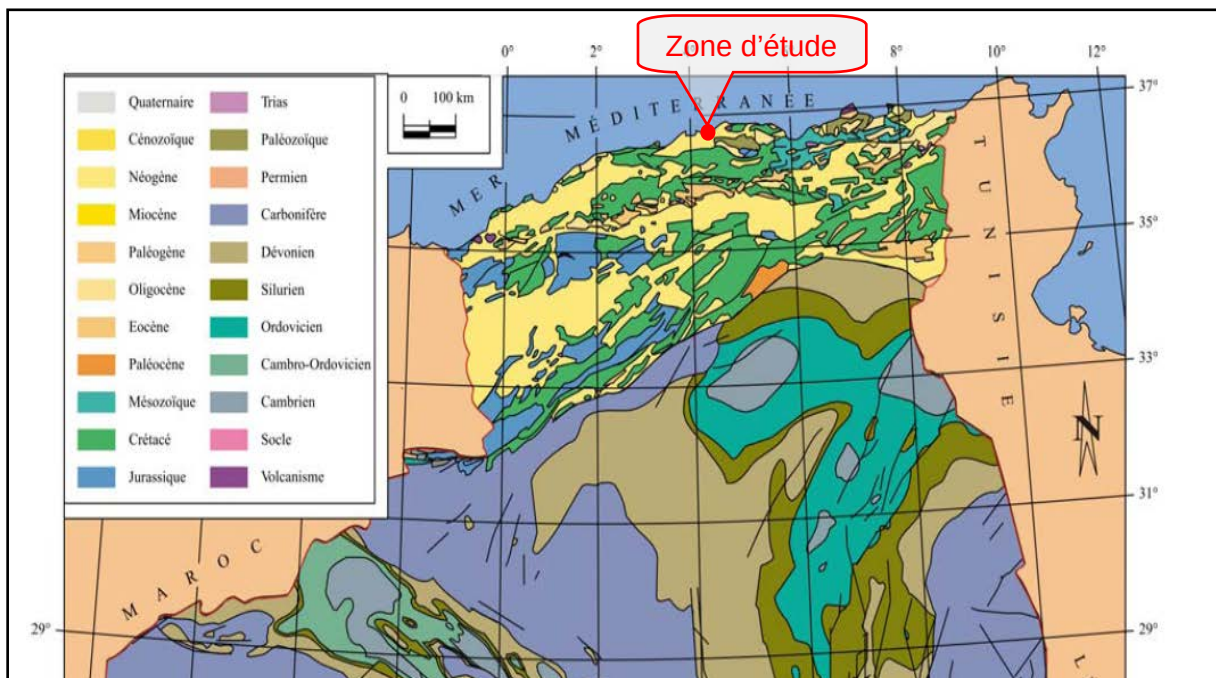


Fig. 4 : Carte géologique de l'Algérie (Askri H. & al., 2009).

L'Algérie du Nord est constituée d'ensembles structuraux et sédimentaires portant l'empreinte de la tectonique alpine. On peut distinguer du Nord vers le Sud, de la mer Méditerranée jusqu'à la flexure Sud-Atlasique, les ensembles géologiques suivants (Wildi 1983) :

- **La chaîne des Maghrébides** ou **chaîne alpine d'Afrique du Nord**, constituée d'unités allochtones charriées sur la marge africaine.
- **Les Hauts Plateaux**, constitués de terrains méso-cénozoïques tabulaires qui reposent sur un socle paléozoïque plissé et métamorphisé durant l'orogénèse hercynienne.
- **L'Atlas saharien**, Formé surtout des terrains paléozoïques.

II.1. La chaîne des Maghrébides :

Le terme «Maghrébides» a été utilisé pour la première fois par Durand-Delga (1971) pour définir une partie de la méditerranée occidentale touchée par l'orogénèse alpine et qui va de Gibraltar à la Calabre en passant par l'Algérie du nord (**Fig. 5 et 6**). Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne, la zone des flysch et les zones externes situées à sa périphérie.

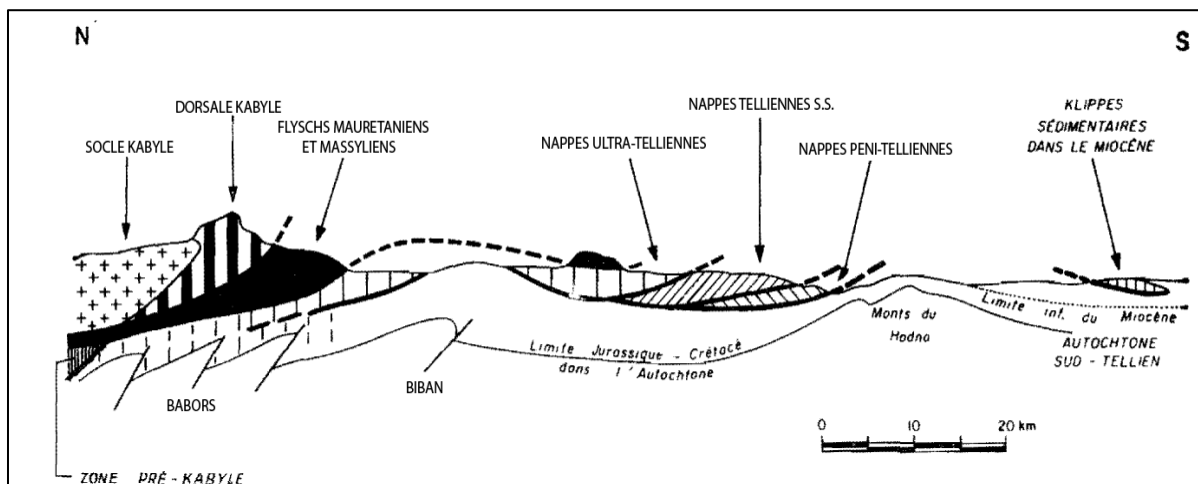


Fig. 5 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides et position structurale des différentes unités telliennes (Durand-Delga, 1969).

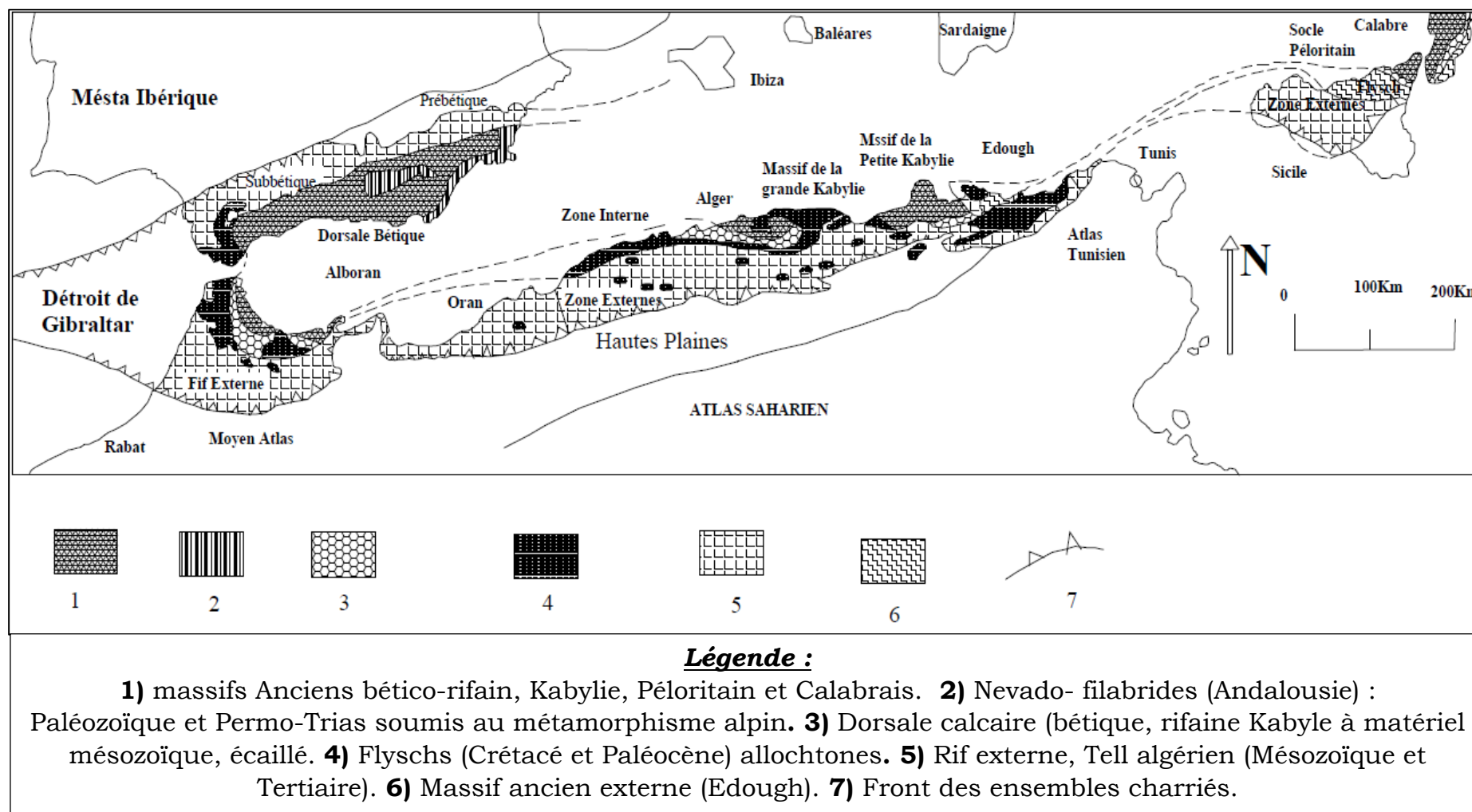


Fig. 6 : Schéma structural de l'édifice alpin dans le cadre méditerranéen occidentale (Durand Delga, 1980).

II.1.1 Le domaine interne :

Il est représenté par des « massifs anciens » littoraux, bordés au Sud par une « chaîne calcaire » ou « Dorsale ». En Algérie, les socles de Grande et de Petite Kabylie constituent l'essentiel des zones internes. Ces zones comportent un socle gneissique surmonté par une formation de phyllades et un Paléozoïque schisteux allant du Cambrien au Carbonifère inférieur.

La couverture mésozoïque et paléogène, localisée à la marge Sud de ces massifs anciens, constitue la Dorsale kabyle ou Chaîne calcaire. Elle est vivement plissée et écaillée. Au cours de l'orogénèse alpine, les zones internes ont été largement charriées vers le Sud.

II.1.1.1 Le socle métamorphique kabyle :

Il est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Ce socle affleure d'Ouest en Est dans les massifs du Chenoua (à l'Ouest d'Alger), de Grande Kabylie et de Petite Kabylie (entre Jijel et Skikda). Ce dernier, avec 120 km de long et 30 km de large, constitue le plus large affleurement du socle kabyle en Algérie. Ce socle est par endroits recouvert en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'âge Oligocène supérieur–Miocène inférieur, appelés Oligo-Miocène Kabyle. Les massifs internes des Maghrébides ont donc constitué une zone haute de la fin du Paléozoïque à l'Oligocène supérieur. Le socle kabyle est bordé au Sud par les unités mésozoïques et cénozoïques de la Dorsale Kabyle.

II.1.1.2 La Dorsale Kabyle :

Appelée parfois « chaîne calcaire » à cause de l'importance du Jurassique inférieur calcaire. Ce domaine est exceptionnellement étroit et ne dépasse jamais quelques km de largeur. Le premier affleurement de la dorsale kabyle en Algérie est situé au cap Ténès. On la retrouve ensuite dans le massif du Chenoua puis au Sud-Est d'Alger où elle constitue d'importants reliefs sur plus de 125 km de long (massifs de Larba, du Bou Zegza et du Djurdjura). Elle apparaît ensuite au Nord de Constantine (Dj. Sidi Dris) et on la suit sur 90 km jusqu'au Sud d'Annaba (Zit Emba). La dorsale kabyle se présente sous forme d'écaillés d'âge permo-triasiques à Eocène moyen (Lutétien). Du point de vue lithologique, ces formations comprennent des calcaires du Lias et de l'Eocène, des dolomies du Trias au Lias inférieur et des grès du Permo-Trias. La dorsale kabyle a été subdivisée du Nord au Sud

en trois unités qui se différencient par le faciès et l'épaisseur des calcaires : dorsale interne, médiane et externe. En général, les faciès traduisent des conditions de sédimentation de plus en plus profondes lorsque l'on passe des formations de la dorsale interne (dépôts littoraux ou épicontinentaux) à celles de la dorsale médiane (dépôts marneux et plus profonds du Crétacé à l'Eocène) puis aux formations de la dorsale externe (qui montrent souvent des radiolarites au Dogger-Malm) (Bouillin, 1986). Du côté sud, un contact anormal sépare la Dorsale kabyle du domaine des flyschs. Les formations du domaine interne chevauchent le domaine des flyschs et le domaine externe tellien.

II.1.2 Le domaine des flyschs :

Il est constitué par des nappes de flyschs crétacés-paléogènes qui affleurent dans les zones littorales sur 800 km de long, entre Mostaganem et Bizerte (Tunisie). Il s'agit essentiellement de dépôts de mer profonde mis en place par des courants de turbidités (**Fig. 7**). Ces flyschs se présentent de trois manières : (1) en position interne, superposés aux massifs kabyles, c'est-à-dire rétro-charriés sur les zones internes, et appelés flyschs nord-kabyles ; (2) en position relativement externe à la bordure sud de la Dorsale kabyle (flyschs sud-kabyle) et enfin (3) en position très externe, sous forme de masse isolées flottant sur le Tell charriées jusqu'à une centaine de kilomètres au sud.

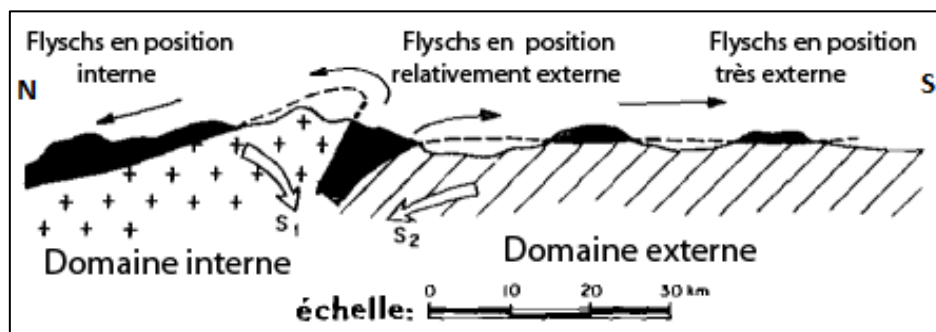


Fig. 7 : Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides.

On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs, les flyschs maurétaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs numidiens d'âge Oligocène supérieur – Burdigalien inférieur.

II.1.2.1 Les flyschs maurétaniens : sont relativement épais et occupent une position interne dans le domaine des flyschs. Ils sont composés d'alternances de bancs argileux, calcaires et gréseux. La série débute par des radiolarites rouges du Dogger-Malm et se termine par des niveaux conglomératiques du Paléocène.

II.1.2.2 Les flyschs massyliens : occupent une position externe dans le domaine des flyschs et comportent une série pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur surmontée par une série pélito-micro-bréchique d'âge Crétacé supérieur.

II.1.2.3 Les flyschs numidiens : constitués de niveaux gréseux d'âge Oligocène terminal-Aquitainien épais de plusieurs centaines de mètres qui reposent sur des argilites versicolores oligocènes. Ces flyschs reposent anormalement à la fois sur les zones internes et sur les zones externes.

II.1.3 Le domaine externe :

Ou domaine tellien constitué par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de km vers le Sud. On distingue du Nord au Sud :

II.1.3.1 Les nappes ultra-telliennes : aux formations bathyales du Crétacé et de l'Eocène et une série plus détritique au Sénonien et à l'Eocène, ne sont connues que dans l'Est algérien et en Tunisie. Elles présentent des caractères proches de ceux du flysch massylien.

II.1.3.2 Les nappes telliennes : sensu-stricto formées de Lias de plate-forme surmonté de Jurassique plus marneux, puis par le Crétacé qui est détritique, devient marneux à argilo-calcaire et enfin, l'Eocène aux marnes épaisses.

II.1.3.3 Les nappes péri-telliennes : dont les séries néritiques du Crétacé à l'Oligocène sont carbonatées et marneuses. Les nappes péri-telliennes, définies dans l'Est algérien, présentent des caractères proches de ceux du néritique constantinois. Dans le domaine externe existe des unités encore plus externes et d'allochtonie notable, mais moindre, structurées au Miocène moyen qu'on appelle séries de l'avant-pays allochtone ou tellien et se placent entre les nappes telliennes au Nord et l'autochtone ou para-autochtone atlasique au Sud. On distingue ainsi d'ouest en est :

II.1.3.3.1 L'ensemble allochtone sud-sétifien : (séries des Djebels Guergour, Anini, Zdimm, Youssef, Braou, Tnoutit, Sékirine, Tafourer, Agmérrouel, Zana, Azraouat, Hammam, Ain el Ahdjar, Koudiat Tella et série supérieure du Jebel Kalaoun) à matériel carbonaté et marneux du Jurassique au Miocène, et qui apparaît plus à l'ouest dans la fenêtre des Azerou dans la région des Biban. Il se présente sous la forme d'un vaste empilement d'écailles limité par des accidents cisailant.

II.1.3.3.2 Nappe nérétique constantinoise : à matériel carbonaté épais et massif du Jurassique–Crétacé, et, plus au sud.

II.1.3.3.3 L'unité des écailles des Sellaoua : dont le Crétacé possède des faciès de bassin.

II.2. Les hauts plateaux (ou hautes plaines) :

C'est une zone autochtone qui comprend d'Ouest en Est : la Meseta oranaise, les Hautes Plainnes algéroises et les Hauts Plateaux constantinois, qui se terminent en pointe à l'Est de Constantine. A l'exception des anticlinaux du Jebel Nador et du Jebel Telagh (région de Tiaret), c'est une zone tabulaire.

Les sédiments mésozoïques (Jurassique calcaro-dolomitique et détritique au Crétacé) sont transgressifs sur un socle primaire qui affleure dans les monts de Saïda et la région de Tiaret (Dj. Bechtout). D'une manière générale, la série sédimentaire est plus complète dans les Hautes Plainnes constantinoises que dans les Hautes plainnes oranaises. Des failles verticales de direction ENE-WSW, ont joué pendant tout le Jurassique et le Crétacé, délimitant des horsts et des grabens et contrôlant la sédimentation.

II.3. L'atlas saharien :

Qu'il s'agisse de l'Atlas saharien ou des Hautes Plainnes, ces domaines correspondent à la marge africaine partiellement engagée dans l'histoire de la chaîne alpine. L'Atlas saharien se développe au Nord de la plate-forme saharienne. Il est limité au Nord par l'accident sud Mesetien et au Sud par l'accident sud atlasique. Et composé par les monts des Ksour, le Jebel Amour et les monts des Ouled Nail à l'Ouest, par les Zibans au centre et les Aurès à l'Est.

Les plus anciens terrains affleurant sont postérieurs au Trias. Vers la fin du Crétacé, des mouvements épirogéniques provoquent un enfoncement progressif de l'Atlas saharien et une lente surélévation des Hautes Plainnes et

de la frange méridionale du Sillon atlasique. Les formations mésozoïques de l'Atlas saharien ont été plissées au cours du Tertiaire en anticlinaux de style coffré dû au décollement de la couverture sédimentaire au niveau du Trias marno-gypsifère.

II.4. Evolution géodynamique des Maghrébides

II.4.1 Tectonique

L'histoire de l'évolution géodynamique débute dès le Crétacé voire même avant et continue à nos jours. Dans cet aperçu réservé à l'évolution géodynamique de la marge algérienne, nous nous contenons d'exposer ici les reconstitutions les plus admises aujourd'hui.

D'après certains auteurs (Gueguen et *al.*, 1998 et Gelabert et *al.*, 2002), l'évolution géodynamique du bassin algérien actuel commence à s'ouvrir, probablement entre 23 et 15 Ma, alors que les nappes telliennes se mettent en place. La Téthys maghrébine est subductée à la fin de l'Oligocène, ou début du Miocène, et un prisme d'accrétion est formé entre les Kabyliques et la marge africaine). Cette ouverture se termine bien avant le Tortonien, alors que les Kabyliques sont totalement accrétées à la plaque africaine (Roca et *al.*, 2004).

D'autres scientifiques, proposent une ouverture entre 13 et 18 Ma (Alvarez et *al.*, 1974, Verges et Sabat, 1999, Frizon de Lamotte et *al.*, 2000, Rosenbaum et *al.*, 2002, Mauffret et *al.*, 2004) et c'est à cette même période, après la collision, que de probables grands mouvements en décrochement ont entraîné le bloc d'Alboran vers l'Ouest, mais avec une ampleur variable (MICHARD et *al.*, 2002) (**Fig. 8**).

A la fin de la phase de subduction (avant 16 Ma), la plaque plongeante commence à se détacher progressivement d'Ouest en Est selon certains (SPAKMAN et WORTEL, 2004).

Entre 28 et 11 Ma, les bassins côtiers se forment au fur et à mesure que le détachement de la plaque plongeante ou "slab" progresse. Le Miocène inférieur est marqué par l'approfondissement progressif du bassin kabyle. Pendant le Messinien, le roll-back de la subduction vers l'Ouest conduit à la séparation de la Méditerranée et de l'Atlantique ainsi qu'aucune forte diminution du niveau de la mer. A ce niveau, s'opère le remodelage de la morphologie des marges méditerranéennes (Clauzon et Rubino, 1988) matérialisé par la mise en place de niveaux évaporitiques et le creusement de nombreux canyons.

Cependant, la marge algérienne subit toujours la compression découlant de la convergence Afrique-Europe, et des plis globalement SO-NE se forment dans le Tell. Pendant ce temps, au Pléistocène, une seconde phase tectonique affecte l'Atlas (Frizon de Lamotte et *al.*, 2000).

Au Quaternaire, les chevauchements et les plis de rampe se localisent dans une zone où se concentre la sismicité actuelle le long d'une bande E-O traversant la mer d'Alboran et les zones externes maghrébides. Ainsi, la marge est aujourd'hui toujours affectée par cette convergence comme en atteste l'activité sismique.

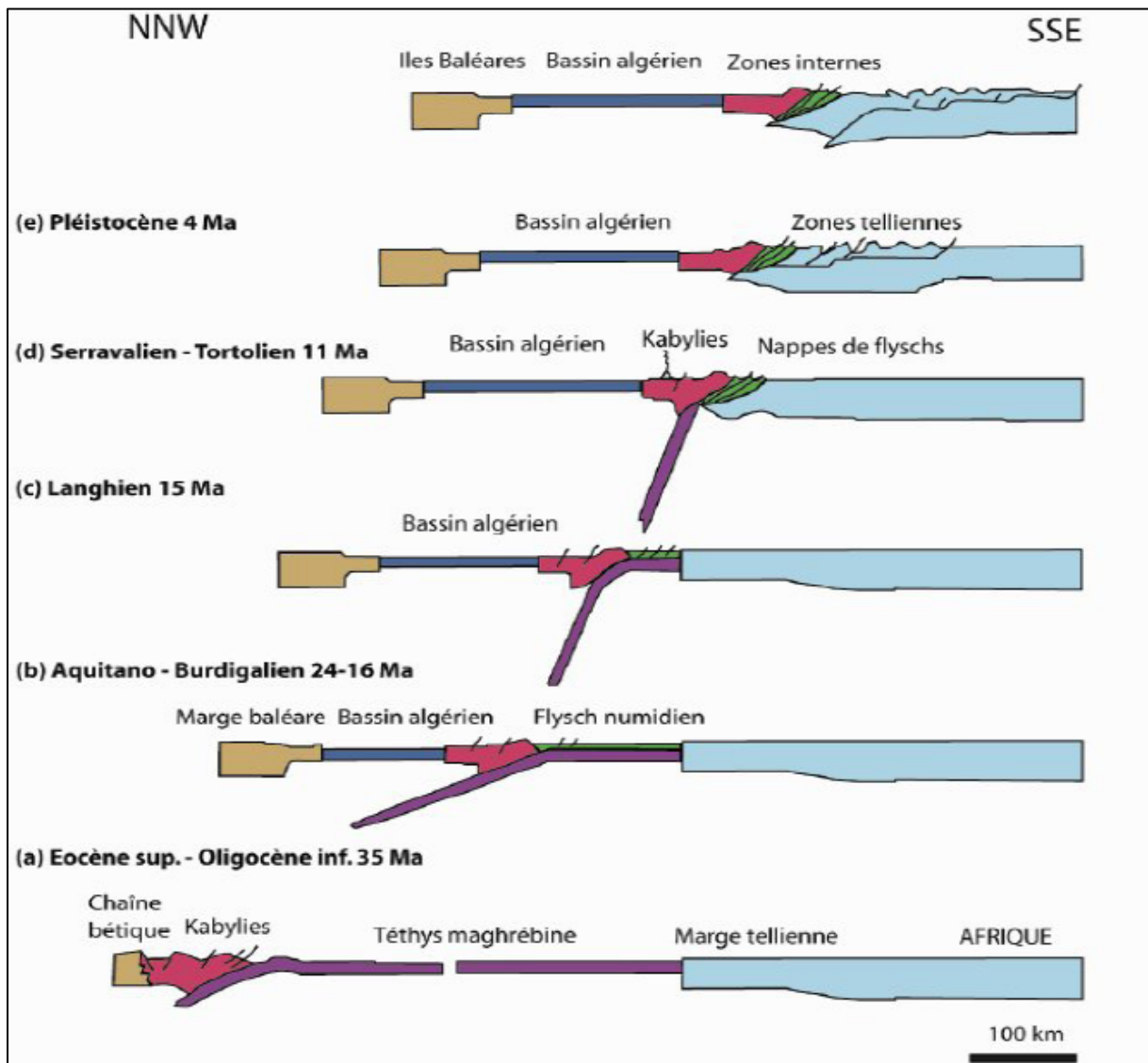


Fig. 8 : Scénario d'évolution de la Méditerranée Occidentale sur un transect NNO/SSE allant des Baléares à la plate-forme saharienne (FRIZON DE LAMOTTE et *al.*, 2000).

II.4.2 Magmatisme

L'évolution géodynamique du Nord-Africain est en étroite relation avec la mise en place d'un magmatisme essentiellement calco-alcalin d'âge Néogène (**Fig. 9**) caractérisé par des granitoïdes métalumineux et paralumineux (andésites et dacites associées), d'âge Langhien. Puis au Serravallien ce magmatisme migre vers l'Oranie et la Tunisie.

Il devient alcalin dès le Tortonien en Algérie centrale et plus jeune en se dirigeant vers l'Est en Tunisie et vers l'Ouest en Oranie et au Maroc (Maury et al, 2000).

Dans les régions de Grande Kabylie, l'activité volcanique se manifeste dans diverses régions à savoir : Dellys, Zemmouri et Thenia mais les plus importants sont :

- Complexe volcanique de Cap Djinet.
- Complexe volcanique d'Oued Amizour

Les formations volcaniques se sont mises en place suite à l'activité volcanique Miocène qu'a connu le littoral Algérien au cours de l'orogénèse Alpine du Burdigalien jusqu' au Serravallien. Elles sont représentées par des basaltes alumineux et par des andésites basiques appartenant à une série calco-alcaline.

Les facies intrusifs et sub-volcaniques affleurent dans la région de Thénia sous forme de granodiorites et de dykes acides et intermédiaires.

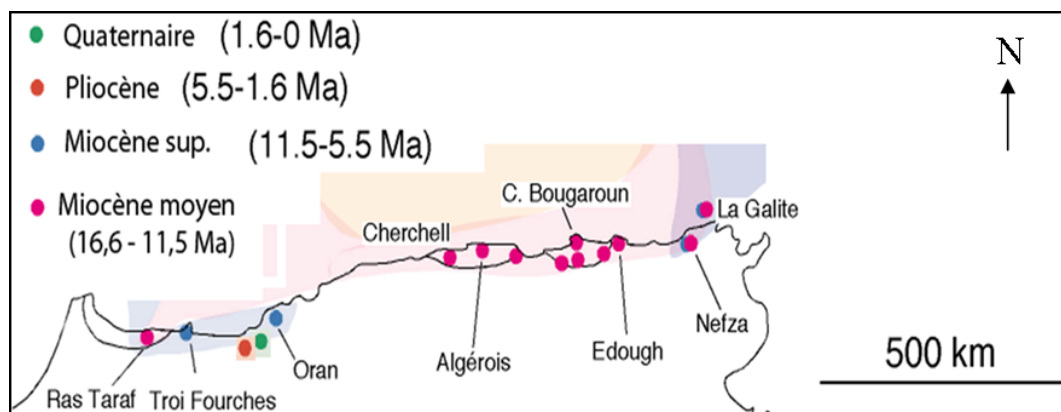


Fig. 9 : Position et âge des formations magmatiques récentes du littoral Algérien (Rosenbaum et al., 2002).

CHAPITRE III :
GEOLOGIE LOCALE

Chapitre III : Géologie locale

Du point de vue géologique la zone d'étude fait partie du Tell septentrional, et plus exactement dans le domaine interne, du socle métamorphique de grande Kabylie, il s'agit du massif granitique de Thénia.

III.1. Aspect géologique :

Dans la région de Thénia affleurent trois entités géologiques : le socle métamorphique, les sédiments mio-plio-quaternaires et les roches magmatiques (**Fig.10**).

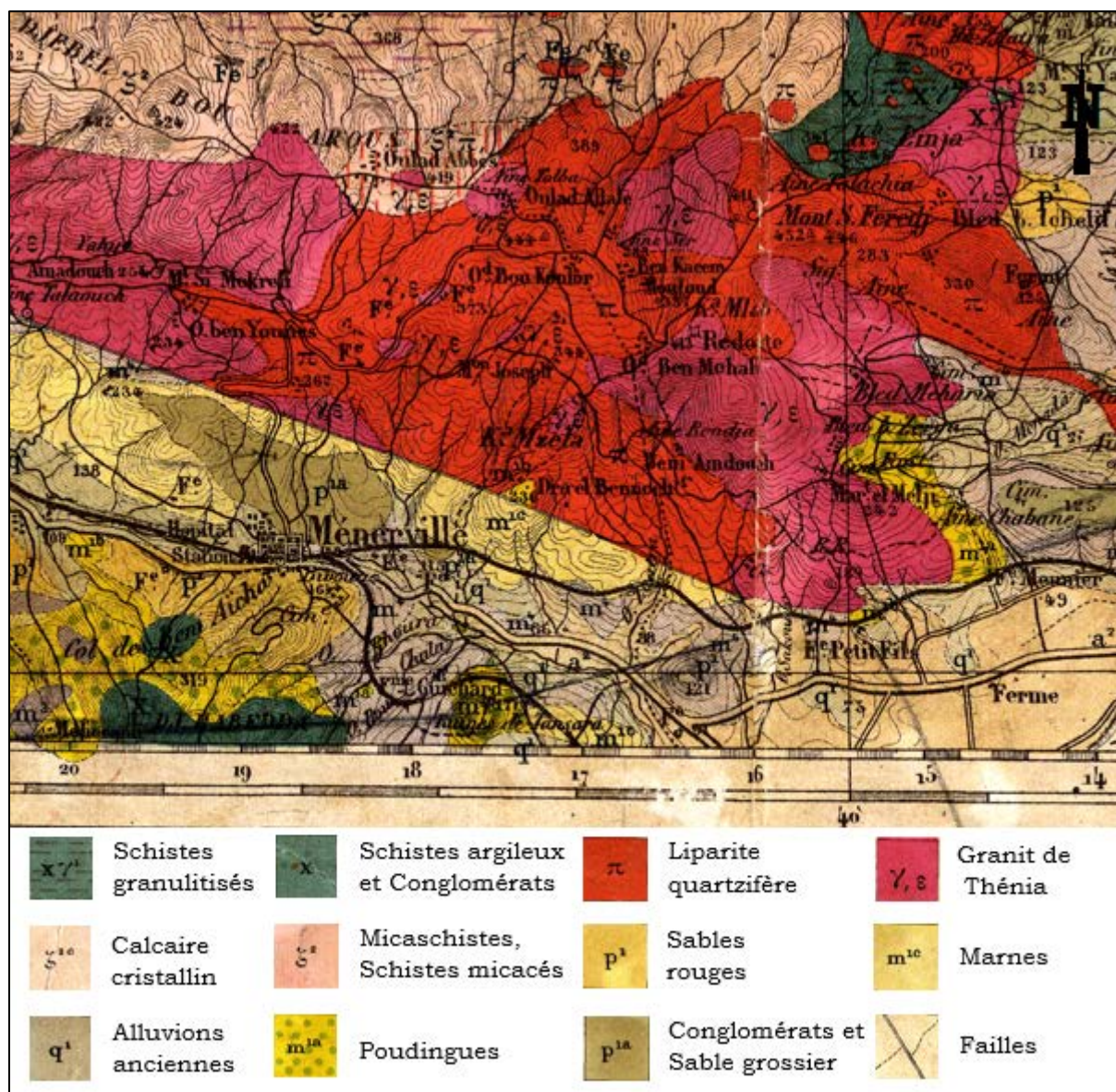


Fig.10 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la région de Thénia (Ménerville) n° 22 (Ficheur 1895).

III.1.1 Le socle métamorphique :

Le socle cristallophyllien, qui constitue les massifs anciens littoraux de la grande et petite Kabylie, forment également des pointements de dimensions réduites à Thénia, Bordj El Bahri, Alger et à Chenoua.

D'après Belanteur, le socle métamorphique qui affleure au Nord du massif granodioritique de Thénia est représenté par :

1. Une unité inférieure schisteuse, qui apparaît dans les flancs Nord et Sud du Djebel Bou Arous en formant un synclinal de direction E-O. Elle est constituée essentiellement par les schistes satinés, schistes à biotite et de lentilles de calcaires cristallins.

2. Une unité supérieure de phyllades gris sombre ou gris verdâtre à bleuâtre, avec des bancs de quartzites.

3. Des lentilles de calcaires cristallins encaissées dans les phyllades.

III.1.2 Les sédiments mio-plio-quaternaires :

Dans cet ensemble, nous regrouperons toutes les formations dites "post-nappes" du Miocène ainsi que les sédiments pliocènes et quaternaires qui résultent du remplissage du tell septentrional.

III.1.2.1 Le Miocène :

Le miocène comprend les dépôts burdigaliens et langhiens.

a) Les sédiments burdigaliens : Ils débutent par des formations détritiques (conglomérats rougeâtres à éléments grossiers et passées gréseuses) et se poursuit par des dépôts marneux et argileux à passées gypseuse. La série se termine par des grès carbonatés clairs très riches en faune littorale.

b) Le Langhien (Hélvétien) : est largement développé dans la région et comprend de bas en haut des formations volcano-sédimentaires et des marnes argileuses.

➤ La série volcano-sédimentaire qui affleure en discordance sur les différentes formations géologiques a fait l'objet de nombreuses controverses : Ficheur (1906) décrivait ces roches pour la première fois dans la région de Dellys et leur attribuait un âge oligocène alors que Flandrin (1938) et par la

suite Muraour (1956) rattachaient la base de cette formation au Miocène inférieur.

L'ensemble volcano-sédimentaire qui affleure au contact de la granodiorite de Thénia, présente à sa base des conglomérats à éléments grossiers de composition essentiellement granodioritique et un ciment arkosique.

➤ Les marnes argileuses de couleur grise à gris bleuté sont caractérisées par la présence quasi-constante de passées gréseuses ou carbonatées. Une étude micropaléontologique de ces marnes effectuée en 1969 par Vesnine (rapport inédit SONAREM) sur les fossiles récoltés sur la rive gauche de l'Oued Isser (*Aequipecten*, *Pecten*...) donne un âge Langhien (Helvétien). Par ailleurs, Degiovanni (1978) attribue un âge Burdigalien supérieur à Helvétien inférieur à la microfaune rencontrée dans les marnes grise du Cap Djinet.

III.1.2.2 Le Pliocène :

Le pliocène est représenté principalement par des sédiments d'âge Plaisantien et Astien.

a) Le Plaisantien : Il se présente en discordance sur les différentes formations qui affleurent dans la région. Les sédiments du Plaisantien sont essentiellement constitués de marnes argileuses et d'argiles carbonatées trop riches en fossiles où plus de 50 espèces ont pu être déterminées par différents auteurs dont Fischer (1906) et Muraour (1956).

b) L'Astien : Il ne présente que quelques rares affleurements sur la rive gauche de l'Oued Corso et dans la région de Zaatra. Ce sont des marnes gréseuses gris bleutées à passées de grès carbonatées jaunâtres.

III.1.2.3 Le Quaternaire :

Les formations du Quaternaire sont représentées par les dépôts alluvionnaires récents et anciens des lits d'oueds, des terrasses fluviales anciennes et ceux des plages qui se localisent le long de la bande littorale. Elles sont constituées par les sables de plage et des dunes littorales, des graviers, des cailloux, des tufs et des limons.

III.1.3 Les roches magmatiques :

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

- Les granites leucocrates et les pegmatites.
- Les roches d'épanchement.
- Les granodiorites de Thénia.

III.1.3.1 Les granites leucocrates et les pegmatites :

Ils affleurent surtout au Sud-Est de Bordj Menaël où ils forment un petit massif de 8km². Ce sont des roches à texture grenue, très altérées et fortement cataclasées, de teinte gris claire à gris jaunâtre. On reconnaît dans ces roches les constituants suivants : le quartz 40 à 50%, le feldspath potassique 37 à 45%, représenté par le microcline souvent perthétique, les plagioclases fortement séricitisés, et des minéraux ferro-magnésiens (biotite et muscovite).

Dans la région de Thénia, de nombreuses roches pegmatitiques affleurent sur le flanc Nord de Djebel Bou Arous. Ce sont des roches claires à gros grains, composées de muscovite, microcline et tourmaline qui dépasse les 10%.

III.1.3.2 Les roches d'épanchement :

D'après Ficheur (1894), Glangeaud (1933) et Degeovanni (1978), ces roches sont liées au volcanisme helvétique caractérisé par deux phases distinctes :

- a)** La phase rhyolitique : qui se localise surtout au Nord et Nord-Est de Thénia en recoupant le massif granodioritique et les sédiments miocènes. Ces roches sont de teinte gris clair à gris verdâtre.
- b)** La phase andésitique tardive: qui se trouve exclusivement au Nord et Nord- Est de Thénia, en bordure de la côte, et qu'on peut suivre depuis Boumerdès jusqu'à Cap Djinet.

III.1.3.3 Le granodiorite de Thénia :

Le massif de granodiorite de Thénia occupe une superficie de 8 km² sur le flanc Sud du Djebel Arous, dont il forme l'un des sommets orienté selon une direction Est-Ouest.

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

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

III.2. Aspect tectonique :

D'après Ficheur (1894), la dépression de Thénia correspond à un synclinal limité au Nord par une grande faille ONO, qui met en contact les terrains miocènes et le massif éruptif. A l'Ouest et au Nord, les couches pliocènes plongent faiblement et régulièrement vers le rivage.

A l'Est, plusieurs plis synclinaux dirigés sensiblement de l'Ouest à l'Est, font affleurer le Cartennien, dont les marnes paraissent avoir recouvert le petit chaînon ancien du Sud de Bordj-Menaïel. Ces plissements affectent les marnes sahéliennes, mais paraissent antérieurs au Pliocène supérieur.

Des formations stratigraphiques, difficiles à préciser, ont suivi les dépôts oligocènes et la formation du miocène inférieur, démantelés avant la période suivante. La stratigraphie de cette région se relie à celle de toute la Kabylie.

CHAPITRE IV :
GEOLOGIE
DU GISEMENT

Chapitre IV : Géologie du gisement

Ce chapitre a pour but de localiser le secteur d'étude et l'identifier d'une manière géologique du point de vue stratigraphique et tectonique, enfin en conclure par une carte géologique de cette zone.

IV.A. Situation géographique du gisement :

Le secteur d'étude est situé au côté Nord-Est de la carrière de Si-Mustapha. il se trouve à environ de 03 Km au Nord-Est de la commune de Thénia.

De point de vue administratif, le gisement est rattaché à la daïra de Si-Mustapha, wilaya de Boumerdès. La superficie du périmètre est de 50 hectares.

Les coordonnées des sommets du périmètre délimitant le gisement sont les suivants :

Tableau n° 01 : les coordonnées UTM fuseau des périmètres de gisement (extrait de plan de calcul de réserves ,2009)		
points	x	Y
A	552 800	4066 300
B	553 300	4065 300
C	553 300	4066 200
D	553 700	4066 200
E	553 700	4065 700
F	552 800	4065 700

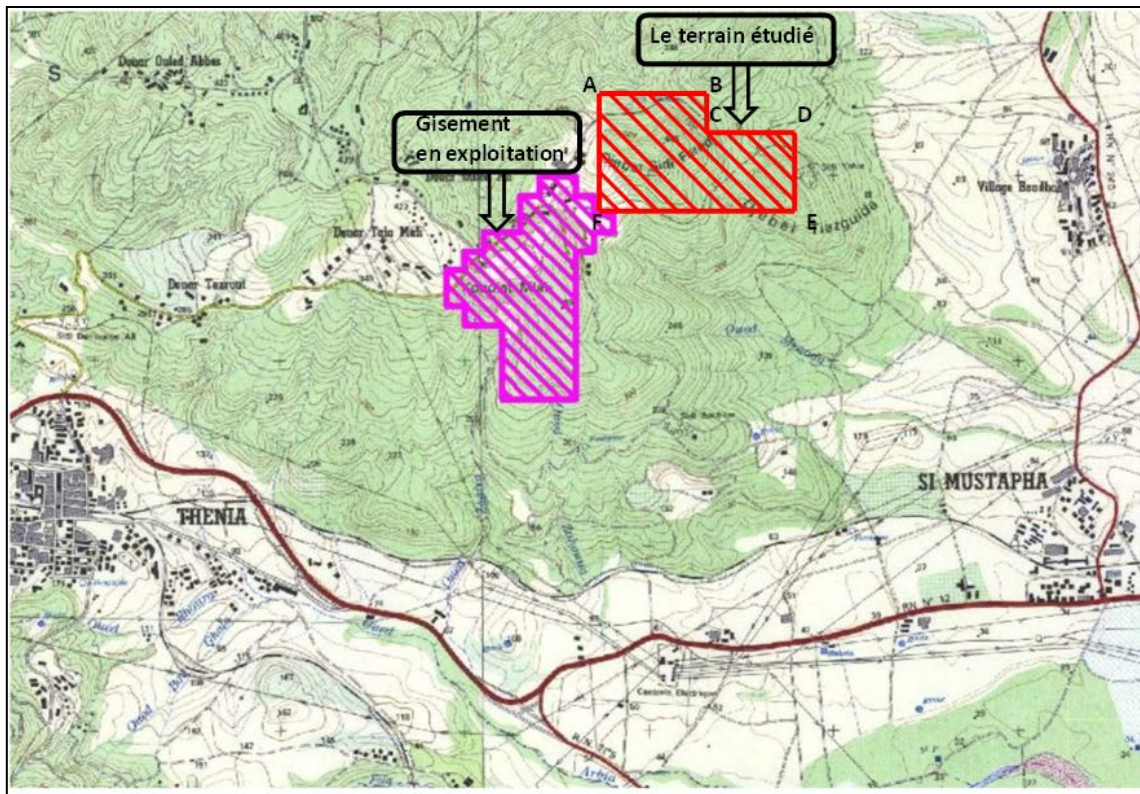


Fig. 11 : Situation géographique du gisement d'agrégat de Si-Mustapha (Extrait de la carte topographique de la feuille de Bordj Menaiel NJ-31.IV.41Ouest à l'échelle 1/ 25 000, INC).

IV.B. Les structures géologiques du gisement :

IV.C.1 Stratigraphie :

a) le Quaternaire

Les roches meubles du Quaternaire sont représentées par des sédiments marins alluviaux et éoliens, des sables grossiers, des grès, des cailloutis et des tufs (BELANTEUR., 1989).

Ces roches occupent le flanc Sud-ouest du gisement où elles peuvent constituer une couche de plus de 20m d'épaisseur. (**Fig. 12**)



Fig. 12 : Photos montrant l'importance des dépôts quaternaires.

b) Le Miocène

Les dépôts du Miocène et le quaternaire se trouvent en discordance (**Fig. 13**). Les Miocène représenté essentiellement par des roches d'âge Helvétique inférieur.

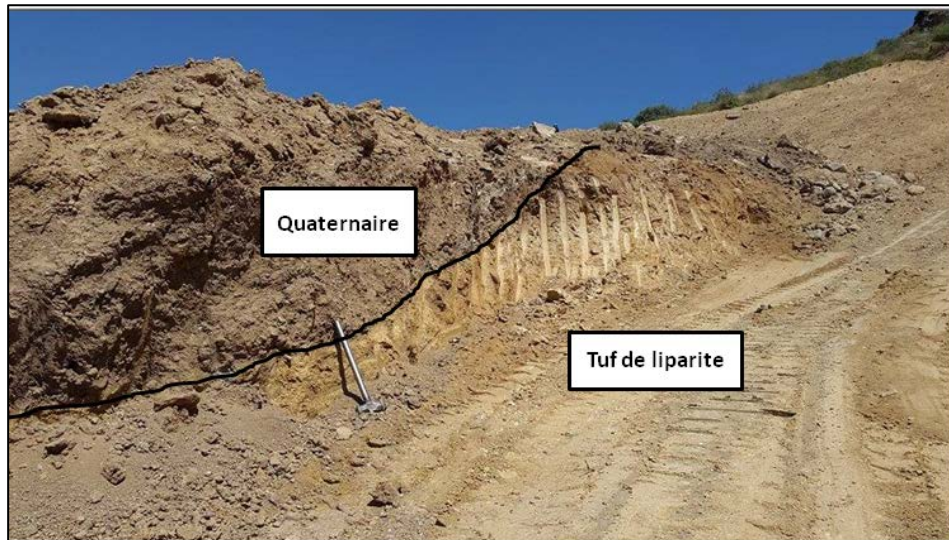


Fig. 13 : Photo montrant la discordance Quaternaire sur les tufs miocènes

Cet étage est constitué principalement par des brèches, tufs liparitique (roches compactes à pâte verte ou violette avec des cristaux de quartz et lamelles de mica noir), conglomérats avec quelques horizons de laves dacitiques et formations volcano-sédimentaires (SEBA. A., 2006). (**Fig. 14**)



Fig. 14 : Photo montrant la formation volcano- sédimentaire et les brèches du Miocène de secteur d'étude

Les dacites sont en contact concordant avec les tufs liparitiques (Fig. 15).



Fig. 15 : Contact normal des tufs avec les dacites de la formation volcano-sédimentaire.

Les travaux de découverte sur le côté Sud de Djebel Sidi-Ferredj (extraction des tufs qui se dépose sur les granodiorites) fait apparaître l'helvétien inférieur à la surface.

Le fluide magmatique ayant pénétré dans les joints de stratification des couches sédimentaires forment des « sills » (Fig. 16).



Fig. 16 : Photo montrant des sills dans la formation volcano-sédimentaire

IV.B.2 Magmatisme

Le magmatisme plutonique et volcanique, qui assez bien connu dans cette région, est attribué au complexe magmatique tertiaire dont la mise en place est étroitement liée à la phase orogénique alpine. Sur le territoire de secteur d'étude on distingue des affleurements de roches intrusives (granodiorites et diorite) et des roches volcaniques rhyolite (SEBA.A., 2006)

a) Roches effusives

Ces roches, étroitement associées au complexe volcanique helvétique, sont caractérisé par deux phases bien distinctes (BELANTEUR., 1989) :

- Première phase rhyolitique qui marque le début de l'Helvétien.
- Deuxième phase, la plus tardive est andésitique et andésito-basaltique

Les extrusions rhyolitiques recoupent les formations du socle et les sédiments miocènes. Les plus importants affleurements de rhyolites sont représentés par le stock de Sidi-Ferredj qui se prolongent jusqu'au NE de Si-Mustapha (**fig. 17**), il est bien visible sur les images Google Earth (**Fig. 18**).



Fig. 17 : Extrusions rhyolitiques dans le secteur d'étude.



Fig. 18 : Vue aérienne du l'extrusion rhyolitique (image Google Earth)

b) Les roches intrusives :

Les granodiorites dite « de Thénia » :

Il s'agit d'une roche massive, bien cristallisée, de couleur grise à gris verdâtre en général fortement altérée (**Fig. 19**). Ces roches affleurent surtout dans le coté SO de secteur d'étude.

L'âge des granodiorites a fait l'objet de nombreuses controverses. En effet les observations de terrain nous ont permis d'affirmer que le massif granodioritique est postérieur aux formations cristallophylliennes (le socle métamorphique constitue les massifs anciens littoraux de grande et petite Kabylie, forme également des pointements réduites dans la région de Thénia) Ces roches sont par contre antérieures aux sédiments helvétiques (Belanteur., 1989).

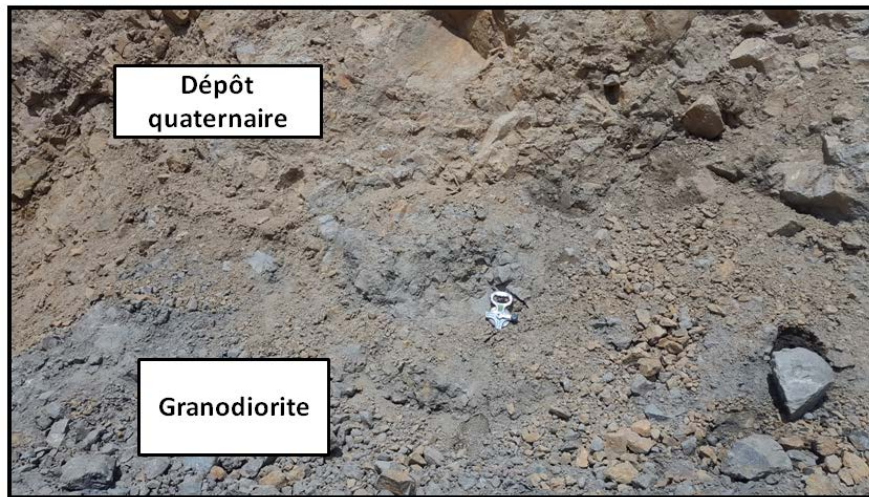


Fig. 19 : Affleurement des granodiorites dans le secteur d'étude

IV.B.3 Tectonique :

Au sud du flanc Est de Djebel Sidi-Ferredj on note la présence d'un accident tectonique représentant une faille principale décrochante de direction SO-NE. Cette dernière est recoupée par une faille secondaire de direction SSO-NNE (**Fig. 20**).



Fig. 20 : Photo montrant deux systèmes de fractures

Sur le flanc sud de Djebel Sidi-Ferredj, on observe une faille sub-verticale d'une direction NE-SO (**Fig. 21**).

Les phénomènes tectoniques (zones de broyage, bréchification, fissuration intense) favorisent le processus d'altération dans ce secteur.



Fig. 21 : Photo montrant la présence d'une faille sub-verticale dans les formations volcano-sédimentaire.

La région de djebel Sidi-Ferredj est caractérisée par une tectonique assez complexe. Ces failles sont classées comme failles secondaires par rapport à la grande faille de Thénia de direction SE-NO. Notre secteur d'étude est situé à une distance d'environ 2 km au NE de cette faille.

La mise en place de l'édifice tectonique et géomorphologique actuel des terrains de la région résulte essentiellement des mouvements tectoniques correspondants à la phase post-burdigalienne du cycle alpin (Seba.A., 2006)

IV.B.4 Lithologie :

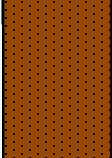
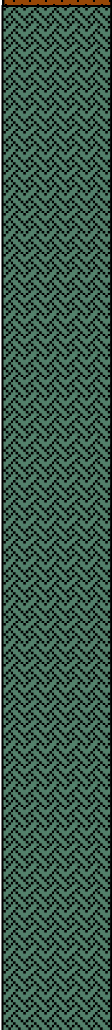
Le seul sondage de recherche, effectué au centre du gisement par l'ENG et le bureau d'étude « Bay Aliouat » a une profondeur de 40m et un diamètre de 65mm. Les coordonnées UTM de sondage sont les suivantes :

X= 552 892 m

Y= 4065 881 m

Z= 327 m

Les résultats du log de ce sondage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau n° 02 : Lithologie du gisement (Extrait du rapport géologiques de B.Aliouet., 2009)			
Profondeur (m)	Diamètre (mm)	Lithologie	Description
0.3	65		couvet végétale
4.2			Sable brun jaunâtre à grains moyens argileux avec des débris de diorite altérés.
40			Granodiorite gris foncé, à teinte verdâtre, massive à cristallisation fine, à microfissuration.

IV.C. Carte géologique du secteur d'étude :

En se basant sur les travaux de reconnaissance réalisés sur le terrain une carte géologique de secteur d'étude a été élaborée (**Fig. 22**).

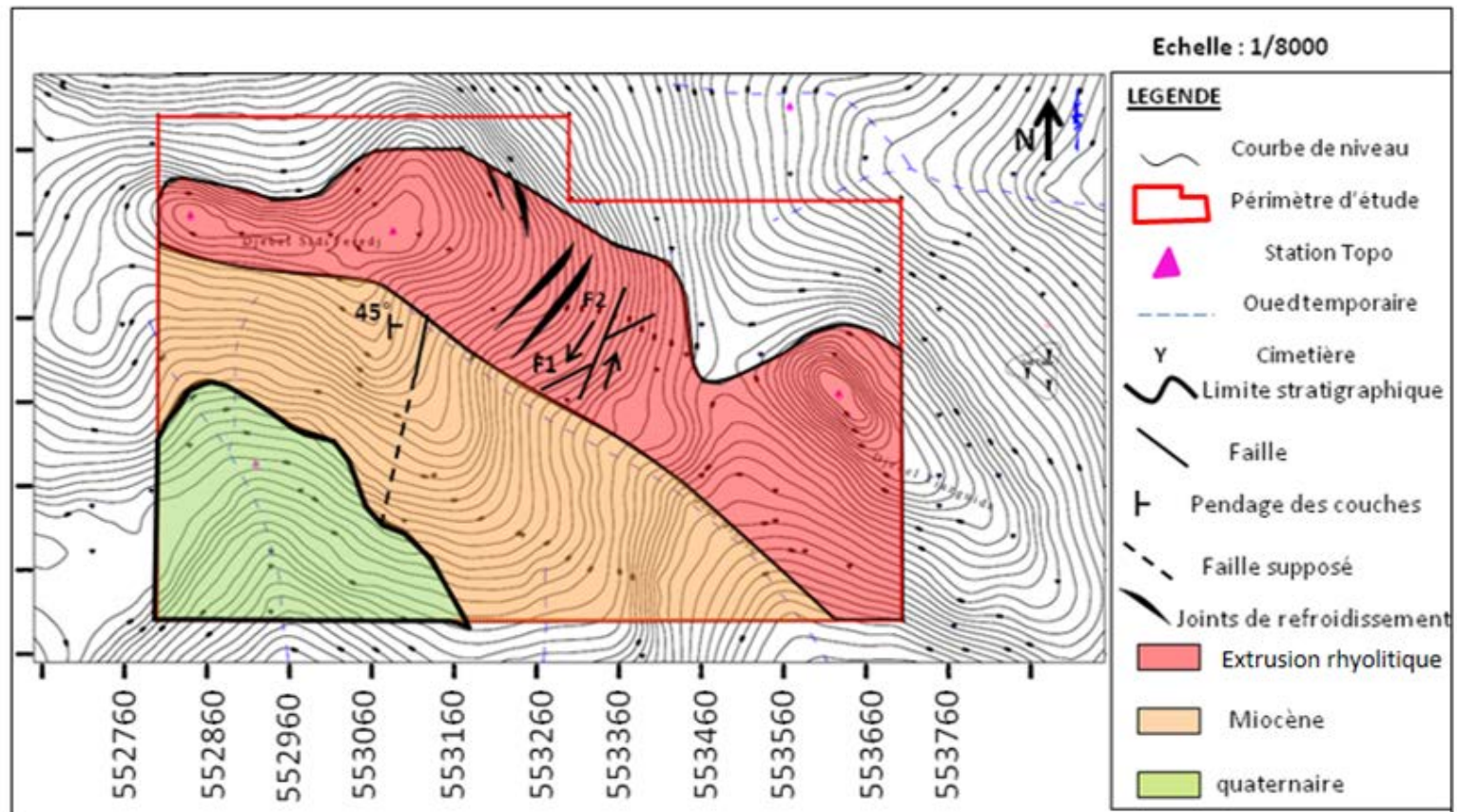


Fig. 22 : Carte géologique du secteur d'étude

CHAPITRE V :
MATERIELS
ET METHODES

Chapitre V : Matériels et méthodes

Cette partie reprend toutes les techniques utilisées dans ce travail. Des travaux de reconnaissance suivie par des travaux d'échantillonnage, analyses de laboratoire et l'interprétation des résultats pour l'étude géologique et l'étude environnementale.

V.A. Travaux de reconnaissance :

Au cours de cette période on a procédé à un inventaire des données bibliographiques sur le thème et la région de notre étude (thèses, cartes, rapports, documents techniques...etc.)

V.B. Etude géologique :

V.B.1 Echantillonnage :

Ce travail consiste à prélever 06 échantillons de 50 kg environ chacun, à des endroits différents suivant deux profils : le premier est d'une orientation NW-SE et le deuxième NNE-SSW, en utilisant un appareil GPS (**Fig. 23**), un marteau de 10 kg (**Fig. 24**), une boussole et un burin.



Fig. 23 : Le GPS utilisé.



Fig. 24 : Une masse de 10Kg.

V.B.2 Analyses de laboratoire

V.B.2.1 Analyses physico-mécaniques :

a) Essai Micro-Deval :

L'analyse Micro-Deval est une méthode qui permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements réciproques en présence d'eau ou à sec, des granulats naturels ou artificiels utilisés dans le bâtiment et les travaux publics.

Pour cet essai, on a utilisé un appareil (**Fig. 25**) ainsi que deux éprouvettes de 500 g avec une fraction de 10-14 mm pour chaque échantillon.

L'essai détermine le coefficient Micro-Deval (M_{DE}), qui est le pourcentage de l'échantillon initial réduit à une taille inférieure à 1.6 mm au cours de la rotation. On le calcule en utilisant l'équation suivante :

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{500} \times 100$$

Où :

M_{DE} : est le coefficient Micro-Deval (à l'état humide).

m : est la masse de la fraction refusée au tamis de 1,6 mm, en gramme.



Fig. 25 : Appareil permettant de mesurer le Micro-Deval.

b) Essai Deval :

L'analyse Deval est un test qui permet de mesurer la résistance à l'usure des gravillons et des cailloux par frottement mutuel dans un cylindre à sec ou en présence d'eau.

Cette méthode s'applique à tous les granulats de classe granulaire (25-50 mm), d'origine naturelle ou artificielle (à l'exclusion des granulats légers), utilisées pour le ballast des voies ferrées.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits dans la machine Deval (**Fig. 26**) par frottement réciproques et les chocs modérés des éléments d'un échantillon pour un poids de 7 kg.

La résistance à l'usure de l'échantillon est exprimée par un coefficient dit « coefficient Deval », déterminé en utilisant l'équation suivante :

$$D_H = \frac{2800}{m}$$

Où :

D_H : est coefficient Deval (à l'état humide).

m : est la masse en gramme des éléments inférieure à 1.6 mm créés dans la machine Deval.



Fig. 26 : Appareil permettant de mesurer le Deval.

c) Essai Los Angeles :

L'analyse Los Angeles est un test qui permet de déterminer la résistance à la fragmentation d'un gravillon et des granulats. Cette méthode s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, d'une fraction (10-25 mm), utilisées dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits en soumettant 5 kg de matériau aux chocs de bolets dans la machine Los Angeles (**Fig. 27**) pendant 15 min.

La résistance à la fragmentation de l'échantillon est exprimée par un pourcentage dit « coefficient Los Angeles », calculé au moyen de l'équation suivante :

$$L_A = \frac{5000 - m}{5000} \times 100$$

Où :

L_A : est le coefficient Los Angeles.

m : est la masse de la fraction refusée au tamis de 1,6 mm, en gramme.



Fig. 27 : Un appareil Los Angeles.

d) Résistance à la compression :

L'essai de la résistance à la compression est un test qui permet déterminer la contrainte maximale admissible par un matériau soumis à une charge d'écrasement. Cette méthode s'applique à des matériaux d'origine naturelle ou artificielle.

Durant cet essai, on a utilisé 3 éprouvettes sous forme de cubes de 5x5x5 cm (**Fig. 28**) pour chaque échantillon. Ensuite on les introduit dans la machine (**Fig. 29**) un par un en notant les résultats qui sont affichés sur l'écran de la machine.



Fig. 28 : Eprouvettes d'essai.



Fig. 29 : Appareil de compression.

e) Masse volumique :

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. On distingue la masse volumique absolue et la masse volumique réelle.

➤ Masse volumique absolue :

La détermination de la masse volumique absolue est réalisée en suivant les étapes suivantes :

- Préparer une poudre (<100 μ) de chaque échantillon.
- Remplir le voluménomètre d'eau (**Fig. 30**) jusqu'à ce que le niveau de graduation zéro.
- Introduire 55g de poudre dans le voluménomètre, en évitant de laisser la poudre se dépose sur les parois.
- Une fois la totalité de la poudre est introduite, faire rouler le voluménomètre par un mouvement de va-et-vient pour chasser l'air.
- Laisser reposer le voluménomètre verticalement dans le bain-marie (**Fig. 30**) pendant 2 h à une température définie et noter le niveau final.

La masse volumique absolue est calculée par l'usage de l'équation suivante :

$$p = \frac{m}{V} (\text{g/cm}^3)$$

Où

P : est la masse volumique en (g/cm^3).

m : est la masse de la poudre utilisé en (g).

V : est le volume indiqué sur le voluménomètre (cm^3).



Fig. 30 : Un Bain-marie « Memmert » et un voluménomètre « Le Chatelier ».

➤ Masse volumique réelle :

La détermination de la masse volumique réelle est réalisée en utilisant le principe d'Archimède (Tout objet plongé dans un liquide subit une poussée verticale de bas en haut égale au poids du liquide déplacé).

Pour l'essai, on utilise un petit bloc de chaque échantillon, une balance hydrostatique spéciale (**Fig. 31**) et de l'eau.

On pèse nos échantillons à des différents états :

- Initial humide (m_h).
- Séché dans une étuve pendant 24 h (m_s).
- Immergé dans l'eau pendant 24 h (m_a).
- Dans l'eau ($m_{a'}$).

Ensuite, on calcule la masse volumique réelle en utilisant l'équation suivante :

$$P_R = \frac{m_s}{m_a - m_{a'}}$$

Où :

P_R : est la masse volumique réelle en (g/cm^3).

m_s : est la masse de l'échantillon sec en (g).

m_a : est la masse de l'échantillon Imbibé d'eau en (g).

$m_{a'}$: est la masse de l'échantillon dans l'eau en (g).



Fig. 31 : Une balance hydrostatique.

f) Humidité :

L'humidité est la teneur en eau d'un matériau ou de l'atmosphère.

Pour calculer le taux d'humidité de nos échantillons on commence par :

- Une pesée à l'état initial humide (m_h) (**Fig. 32**).
- Une mise dans l'étuve de séchage pendant 24h (**Fig. 33**).
- Une pesée à l'état sec (m_s).

Ensuite, on calcule le pourcentage d'humidité par l'équation suivante :

$$W = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Où :

W : est le pourcentage d'humidité (%).

m_h : est la masse de l'échantillon à l'état initial humide en (g).

m_s : est la masse de l'échantillon sec en (g).



Fig. 32 : Une balance.



Fig. 33 : Une étuve de séchage.

V.B.2.2 Analyses chimiques :

La spectrométrie de fluorescence des rayons X est une technique d'analyse chimique utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X.

Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autre, de rayons X ; c'est la fluorescence X (**Fig. 34**).

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire qui permet de :

- Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon.
- Quantifier les éléments présents dans l'échantillon.

Cette technique permet de mesurer des échantillons très variés : minéraux, métaux, huiles, eau, ciments, polymères, verres...



Fig. 34 : Un spectromètre de fluorescence X.

V.B.2.3 Analyses pétrographiques :

Notre analyse pétrographique a consisté à confectionner une lame mince pour chaque échantillon et faire ensuite une description macroscopique et microscopique à l'aide d'un microscope polarisant (**Fig. 35**).



Fig. 35 : Un microscope polarisant

V.C. Etude environnementale :

V.C.1 Echantillonnage :

Pour le prélèvement des échantillons on a planté des récipients à des différents endroits dans la carrière (la station de concassage, au site de stockage, à l'entrée de la carrière et à l'accès principal entre la carrière et le concasseur), après 20 jours, on les a récupérés avec une accumulation de poussière à l'intérieur.

V.C.2 Analyses de laboratoire

V.C.2.1 Analyse des retombées atmosphériques :

Les mesures ont été réalisées selon la norme NFX 43-007, intitulée « Détermination de la masse des retombées atmosphérique sèches ».

Des récipients offrant une surface d'exposition de 50 cm² à la place des plaquettes métalliques décrite dans la norme, ont été installés à des différents endroits de la carrière pendant 20 jours.

Après la durée d'exposition, il a été possible de déterminer une teneur moyenne en poussière exprimée en mg/m²/jour à partir de la formule ci-dessous, indiquée dans la norme NFX 43-007.

$$P = M/(S \times T)$$

Où :

P : la teneur majeure des poussières.

M : la masse en grammes des particules.

T : la durée d'exposition en jours.

S : la surface d'exposition de la plaquette en m², ici c'est celle de récipient qui est de 0,005 m².

V.C.2.2 Analyse granulométriques :

L'analyse granulométrique a consisté à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,045 et 125mm.

Dans notre étude, nos échantillons sont de la poussière alors on a utilisé des tamis de dimensions comprises entre 0,045 et 1mm.

Ensuite on fait passer chaque échantillon à travers la série de tamis d'une tamiseuse électrique (**Fig. 36**), puis on récupère et on pèse séparément les différentes fractions retenues par ces tamis à l'aide d'une balance (**Fig. 37**).

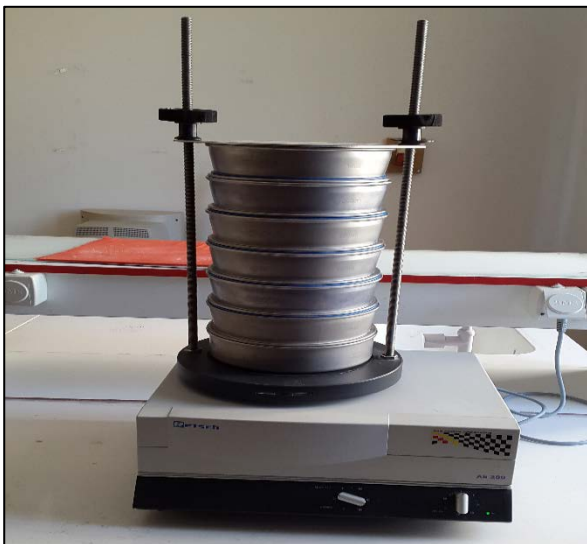


Fig. 36 : Une tamiseuse électrique.



Fig. 37 : Une balance.

V.D. Interprétation des résultats :

L'interprétation des résultats est effectuée en comparant les résultats obtenues dans l'étude géologique et l'étude environnementale avec les normes AFNOR.

CHAPITRE VI :
TRAVAUX REALISES ;
RESULTATS ET
INTERPRETATION

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Ce chapitre sera particulièrement consacré à la description des travaux de terrain réalisés pendant la période du stage pratique au niveau de l'entreprise «ENG», expliciter les différentes exigences industrielles des agrégats, et enfin comparer les résultats obtenus avec les valeurs normatives.

VI.A. Travaux réalisés

VI. A.1. Travaux de terrain

Pendant la période des travaux de terrain réalisée au mois de mars 2017, on a réalisé tout d'abord une reconnaissance géologique globale de notre terrain d'étude. Pour ce, on a suivi deux profils géologiques. Le premier profil, situé à l'Est de notre région d'étude, est orienté NO-SE. Le second est de direction NNE-SSO (**Fig. 38**). Les deux profils nous ont permis de réaliser un grand nombre d'observations géologiques ainsi qu'un échantillonnage adéquat.



Fig. 38 : Profils d'observations géologiques et d'échantillonnage

a) Observations géologiques :

Les observations visuelles (couleur, densité, composition minéralogique ...etc.), réalisées sur les différents faciès magmatiques rencontrés et complétées par la suite par l'étude au microscope polarisant (voir Analyses pétrographiques au microscope polarisant), nous a permis de subdiviser le secteur d'étude en deux faciès magmatiques bien distincts :

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

✓ **Premier faciès** : Ce faciès occupe généralement la bordure Nord Est du pluton. Il est représenté par des roches volcaniques à texture microlitique dont le verre volcanique est plus ou moins abondant. Ces roches sont souvent de teinte rougeâtre (roches volcaniques) mais parfois elles passent au gris clair à gris verdâtre. Les phénocristaux sont plus ou moins abondants (**Fig. 39**). On observe également des tablettes de feldspaths alcalins blanc-rosâtres (sanidine), de plagioclases, des cristaux vitreux de quartz, dont l'aspect parfois assombri par la couleur du verre qui les entoure, et des minéraux sombres (biotite, amphiboles) par endroit altérés en chlorite. Ces roches représentent donc un faciès *rhyolitique*.

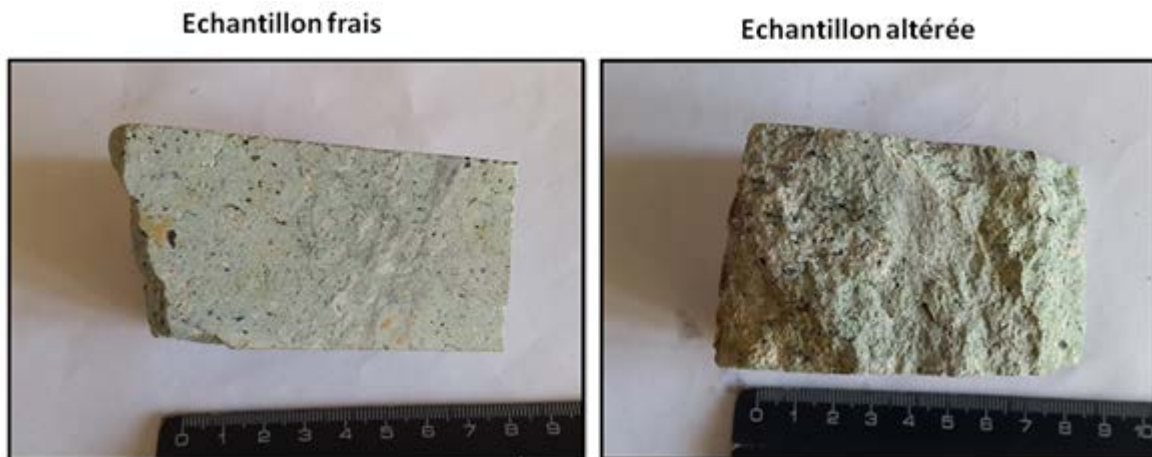


Fig.39: Photos montrant une vue macroscopique des roches volcaniques

✓ **Deuxième faciès** : Ce faciès occupe principalement le côté Sud Ouest du secteur d'étude. Il est représenté par deux types des roches plutoniques à texture grenue, il s'agit de :

1. Des roches à texture grenue ; L'observation à l'œil nu fait apparaître des cristaux de feldspaths potassiques blancs rosâtres et des cristaux de quartz transparents (**Fig. 40**). Les minéraux sombres sont de couleur noire à vert foncé. Ce sont le plus souvent des amphiboles en prismes trapus et des biotites, en lamelles brillantes. L'ensemble de ces cristaux donne à la roche un aspect légèrement foncé. Ce sont donc des *granodiorites* qui font partie d'un pluton de granitoïdes.

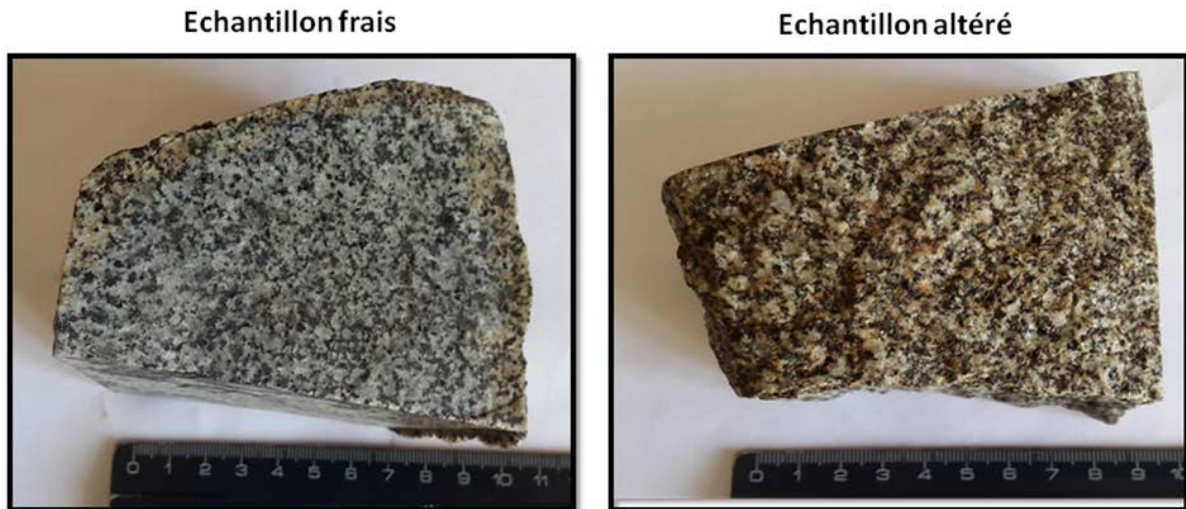


Fig. 40 : Photos montrant la structure macroscopique de la granodiorite

2. Des roches à teinte verdâtre, d'aspect massif et finement grenu, est caractérisé par l'abondance des feldspaths et des plagioclases ainsi que de ferromagnésiens (biotite et amphibole). Ce sont des roches mésocrates, avec une structure massive et une texture grenue à grain moyens à fins d'apparence mouchetée (**Fig. 41**). La rareté de quartz indique qu'il s'agit d'un *granodiorite* ou d'une *diorite quartzique*.

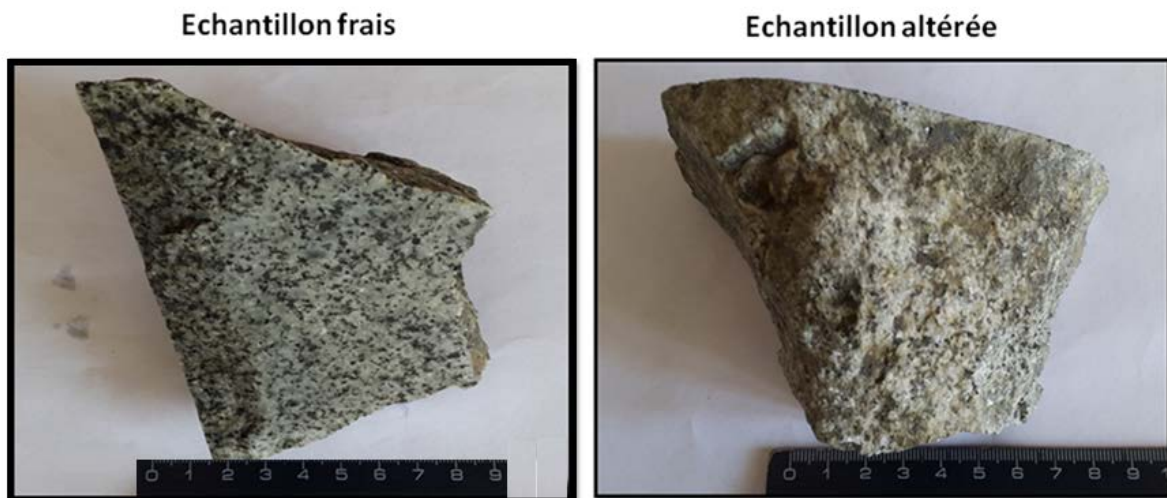


Fig. 41 : Photos montrant une vue macroscopique de la diorite quartzique

Le faciès volcanique affleure et se prolonge de côté SE vers le côté NO de secteur étudié, par contre le faciès plutonique se trouve sous les dépôts quaternaires et miocène.

En se basant sur une description sommaire des roches magmatiques rencontrées, une carte de faciès magmatique de notre région d'étude a été élaborée (**Fig. 42**).

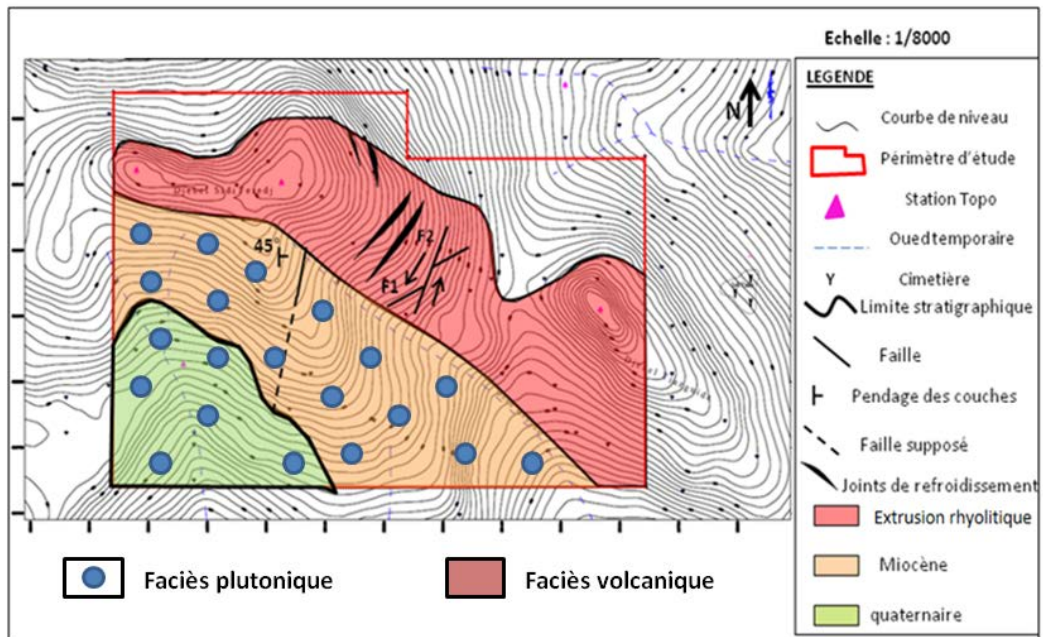


Fig. 42 : Carte des faciès magmatiques du secteur d'étude

Au cours des observations géologiques, nous avons également procédé aux mesures des éléments de gisement des accidents tectoniques et des fractures rencontrées sur le terrain (**Fig. 43**).



Fig. 43 : Photos montrant des accidents tectoniques

Les petites failles observées à la bordure NE du pluton représentent surtout des joints de refroidissement qui se présentent en général sous forme de gradins successifs (**Fig. 44**).

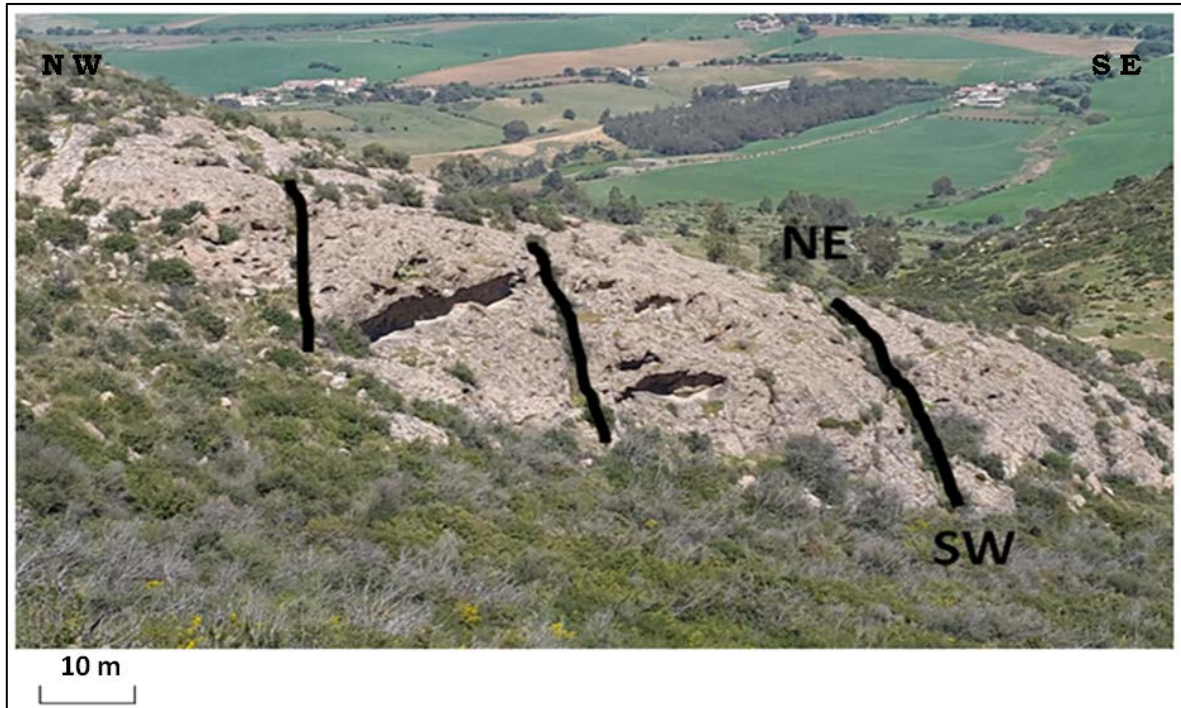


Fig. 44: Photo montrant les joints de refroidissement au NE du pluton

b) Travaux d'échantillonnages :

Parallèlement aux observations géologiques, nous avons également procédé à des travaux d'échantillonnage. Ce travail qui a été réalisé le long des deux profils géologiques consistait à prélever des échantillons frais de monolithes. Au total, il a été prélevé six (06) monolithes. Soit trois échantillons par profil, Ce prélèvement est destiné à effectuer une série d'analyses de laboratoire indispensables pour l'appréciation de nos roches plutoniques et volcaniques à produire des agrégats. Le poids de chaque échantillon qui varie de 40 à 50 Kg, permet d'effectuer un ensemble complet d'essais (pétrographiques et physico-chimiques).

Le lieu de prélèvement des monolithes est représenté sur une image Google Earth ainsi que sur la carte topographique ci-après:



Fig.45 : Image Google Earth avec lieux d'échantillonnages des monolithes.

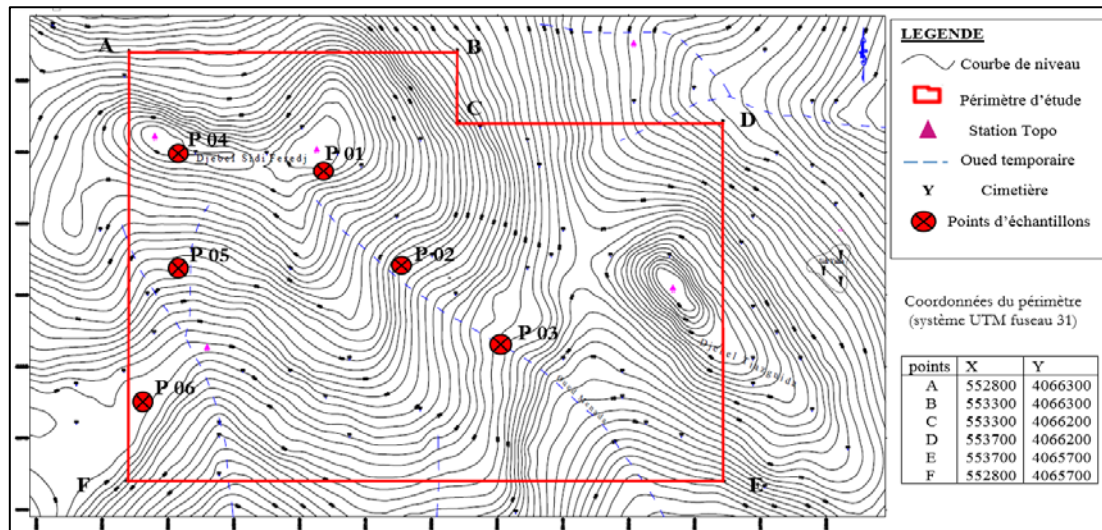


Fig.46 : Carte topographique de la zone d'étude avec points d'échantillonnages.

L'opération de prélèvement des échantillons de monolithes a été accompagnée par la prise des coordonnées à l'aide d'un GPS. Les coordonnées UTM des points de prélèvement des monolithes sont synthétisées dans le tableau suivant :

Coordonnée N° Echantillon	x	y	Z (m)
SM 01	0553023	4066470	446
SM 02	0553147	4066348	377
SM 03	0553240	4066277	324
SM 04	0552794	4066456	446
SM 05	0552784	4066376	368
SM 06	0552850	4065822	366

Tableau n° 03 : Coordonnées UTM des points de prélèvement échantillons.

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

VI.A.2. Travaux de laboratoire :

Après le travail de terrain, les échantillons prélevés ont été remis pour analyse de laboratoire du *CETIM (Centre d'Etude et des Services Technologiques de l'industrie de Matériaux de construction)* sise à Boumerdès. Dans le but de tester l'aptitude des roches magmatiques étudiées à produire des agrégats, différents essais physiques, chimiques et pétrographiques ont été élaborés sur ces échantillons. Il s'agit principalement de :

- Essais Los-Angeles.
- Essais Deval.
- Essais Micro-Deval.
- Résistance à la compression.
- Masse volumique.
- Essais chimiques.
- Etude pétrographique.
- Teneur en eau.

VI.B. Résultats obtenus, Normes et interprétation.

VI.B.1. Résultats des essais de laboratoire

Les résultats des essais de laboratoire sont souvent exprimés sous forme de tableaux montrant à chaque fois les différentes caractéristiques mesurées.

VI.B.1.1. Essais physico-mécaniques

Ce type de tests a été réalisé sur plusieurs éprouvettes à partir d'un même échantillon. Une valeur moyenne est ensuite calculée pour chaque échantillon.

VI.B.1.1.1 Essais Los-Angeles

Ce test a été élaboré pour mesurer la résistance à la fragmentation de chaque faciès rocheux (**Tableau n° 04**).

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Tableau n° 04 : Résultats des essais los-angles

Code échantillon	Fraction utilisée (mm)	Masse initiale(g)	Masse finale(g)	Coef.Los-Angeles(%)	Moyenne (%)
Sm 01	10/25	5000	3342	33	31
			3516	30	
Sm 02	10/25	5000	3430	31	31
			3579	28	
Sm 03	10/25	5000	3891	22	23
			3764	25	
Sm 04	10/25	5000	3635	27	27
			-	-	
Sm 05	10/25	5000	3815	23.7	24
			-	-	
Sm 06	10/25	5000	3794	24.12	24
			-	-	

VI.B.1.1.2 Essais Deval

Ce test a été élaboré pour mesurer la résistance à l'usure de chaque faciès rocheux (**Tableau n° 05**).

Tableau n° 05 : Résultats d'essai Deval

Code échantillon	Fraction utilisée (mm)	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	Coef.Deval DH	Moyenne
Sm 01	25/50	7000	6000	2,8	3
			5941	2,6	
Sm 02	25/50	7000	6511	5,73	5
			6430	4,92	
Sm 03	25/50	7000	6624	7,4	8
			6680	8,8	
Sm 04	25/50	7000	6563	6,40	6
			6548	6,2	
Sm 05	25/50	7000	6667	8,40	8
			6641	7,80	
Sm 06	25/50	7000	6794	12	11
			6739	10,7	

VI.B.1.1.3 Essais Micro-Deval

Ce test a été élaboré pour mesurer la résistance à l'usure de chaque faciès rocheux (**Tableau n° 06**). La différence avec le Deval réside dans la taille de l'éprouvette.

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Tableau n° 06 : Résultats d'essai micro- Deval

Code échantillon	La fraction utilisée (mm)	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	MDE (%)	Moyenne (%)
Sm 01	10/14	500	370	26	26
			375	25	
Sm 02	10/14	500	346	30.8	30
			353	29.4	
Sm 03	10/14	500	446	10.8	12
			439	12.2	
Sm 04	10/14	500	393	21.4	22
			385	23	
Sm 05	10/14	500	447	10.6	11
			445	11	
Sm 06	10/14	500	419	16.2	16
			421	15.8	

VI.B.1.1.4 Résistance a la compression

Ce test a été prévu pour la mesure la contrainte maximale admissible par un matériau soumis à une charge d'écrasement (**Tableau n° 07**).

Tableau n° 07 : Résultats de la résistance à la compression

Echantillon	La masse (g)	La force (KN)	Contrainte Ω (MPa)	Contrainte moyenne (MPa)
SM 01	264.1	141	56.4	64.8
	262.7	186.9	74.8	
	268.8	158.2	63.3	
SM 02	251.5	83.8	33.5	47.2
	209.9	190.9	76.4	
	226.7	79.6	31.8	
SM 03	283.5	383.3	125.3	129.8
	278	356.6	142.6	
	296.6	303.3	121.3	
SM 04	252	173,5	69,4	52,86
	241	108,3	43,3	
	259	114,7	45,9	
SM 05	353	330,4	132,2	147,5
	378	347	138,7	
	392	429,1	171,6	
SM 06	354	278,8	111,5	104,46
	344	257,1	102,8	
	333	247,7	99,1	

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

VI.B.1.1.5 Masse volumique

Les résultats de la masse volumique des échantillons sont montrés dans le tableau au-dessous (**Tableau n° 08**).

Tableau n° 08 : Résultats de la masse volumique	
Code échantillon	La masse volumique réelle MV_R (t/m³)
Sm 01	1.96
Sm 02	1.89
Sm 03	2.33
Sm 04	1.9
Sm 05	2.58
Sm 06	2.61

VI.B.1.1.6 Humidité naturelle

Le tableau au-dessous (**Tableau n° 09**) montre les résultats de l'humidité de différents échantillons :

Tableau n° 09 : Résultats d'analyses d'humidité	
Echantillon	Teneur en eau (%)
Sm 01	2.86
Sm 02	1.94
Sm 03	0.49
Sm 04	2.62
Sm 05	0.51
Sm 06	0.40

VI.B.1.2 Essais chimiques

VI. B.1.2.1 Détermination des oxydes majeurs

Analyses élémentaires par spectrométrie de fluorescence x :

Tableau n° 10 : Résultats d'analyses chimiques														
Echant	Teneur (%)													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	BaO	Rb ₂ O	MnO	PF
SM 01	72.40	13.76	1.19	3.09	0.22	0.20	3.01	1.06	0.04	0.11	<0.01	<0.01	-	4.90
SM 02	78.25	12.18	0.97	1.23	<0.01	0.06	3.58	1.29	<0.01	<0.01	-	-	-	2.40
SM 03	79.93	12.24	0.97	0.79	<0.01	<0.01	3.87	1.41	<0.01	-	-	0.15	-	0.78
SM 04	74,15	13.80	1,05	2,95	0,20	0,23	3,05	1,10	0,06	0,09	<0,01	<0,01	0,1	3,25
SM 05	67,30	15,64	3,99	3,51	1,81	-	2,26	4,23	0,18	0,57	-	-	0,05	0,92
SM 06	66.68	14,96	3,93	3,83	2,60	-	3,13	3,70	0,13	0,50	-	-	0,06	0,59

VI.B.1.3 Analyses pétrographiques (au microscope polarisant)

VI.B.1.3.1 Facies de bordure (rhyolites) :

L'échantillon étudié est défini comme étant une roche magmatique, leucocrate et felsique, d'un vert assez foncé, très dure, parsemé de taches noirâtre représentées par des minéraux ferromagnésiens (biotite) et d'autre plus claire et limpides, représentées par des cristaux de quartz et de feldspaths localement. Celle-ci montre un début d'altération avec l'apparition de zones blanchâtre témoignant du passage de fluides postérieurs.

- **Mésostase** : Composant plus de 70% de la roche, cette mésostase se présente avec une structure vitreuse très sombre qui reflète des teintes verdâtres, ce qui rend impossible la quantification des minéraux qui s'y trouve et se compose principalement de quartz, de plagioclase, d'orthose, de paillettes de biotite, de chlorite et de minéraux phylliteux auxquels s'ajoutent quelque oxydes métalliques opaques et des zéolites (**Fig. 47**).

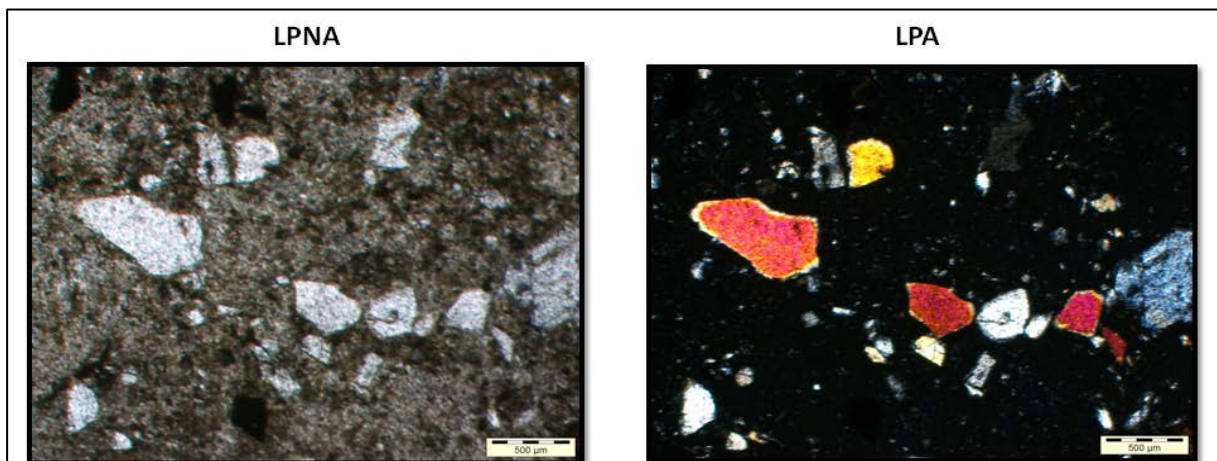


Fig.47 : photos montrent la mésostase en LPA et en LPNA

- **Le quartz** : Se présente sous forme de phénocristaux d'une dimension moyenne d'un millimètre, avec un habitus rhyolitiques caractéristique. Il est également souligné par des golfs de corrosion (**Fig. 48**).

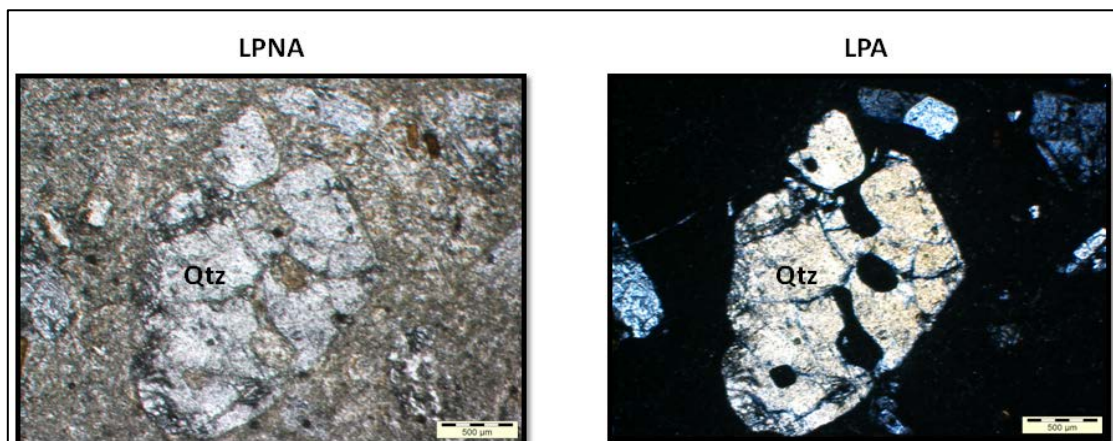


Fig.48 : Photo montrant un phénocristal de quartz en LPA et LPNA

- **Les plagioclases** : Ils sont représentés par des phénocristaux allongés aux contours fourchus laissant apparaître une zonation concentrique. Parfois, ces derniers sont squelettiques, (**Fig. 49**).

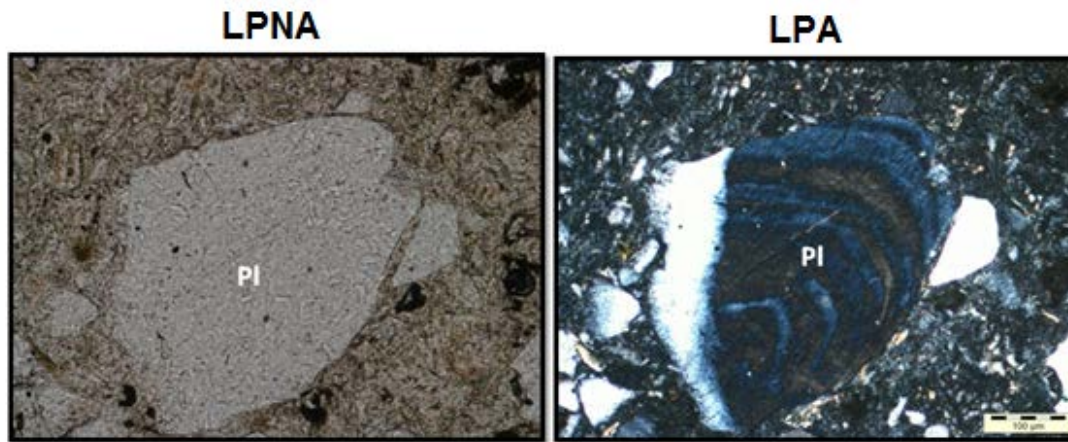


Fig.49 : Photo montrant un Plagioclase zoné en LPA et en LPNA

- **L'orthose** : Moins abondante que les plagioclases et rarement observée en phénocristaux, l'orthose se présente sous une forme sub-automorphe parfois squelettique d'une dimension moyenne d'un millimètre (**Fig. 50**).

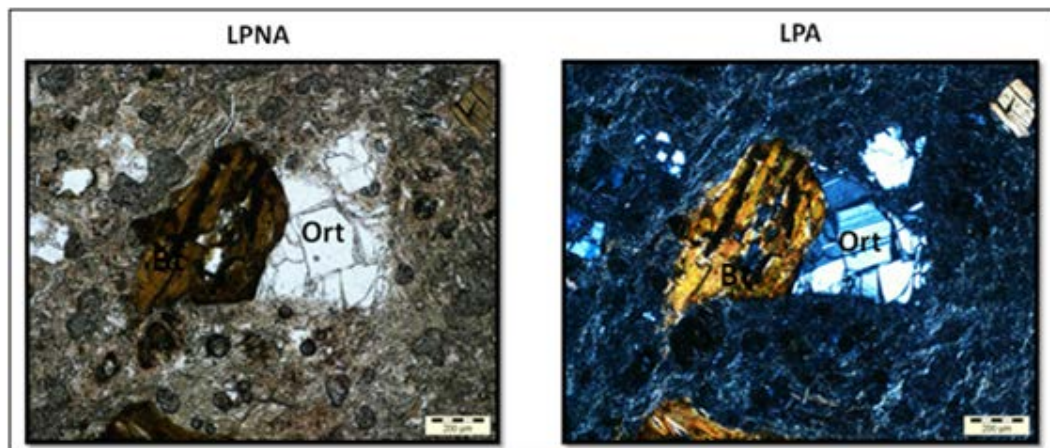


Fig.50 : Photo montrant un feldspath potassique associé à une biotite.

- **La biotite** : Elle se présente en lamelles isolées présente en quantité considérable identifiées dans la mésostase grâce à un fort pléochroïsme et sur la section sous leur forme allongée avec des contours lessivés montrant un début de l'altération (**Fig. 51**).

Elle se rencontre habituellement sous forme de cristaux isolés, automorphe à sub-automorphes et en amas poly-cristallins (**Fig. 52**).

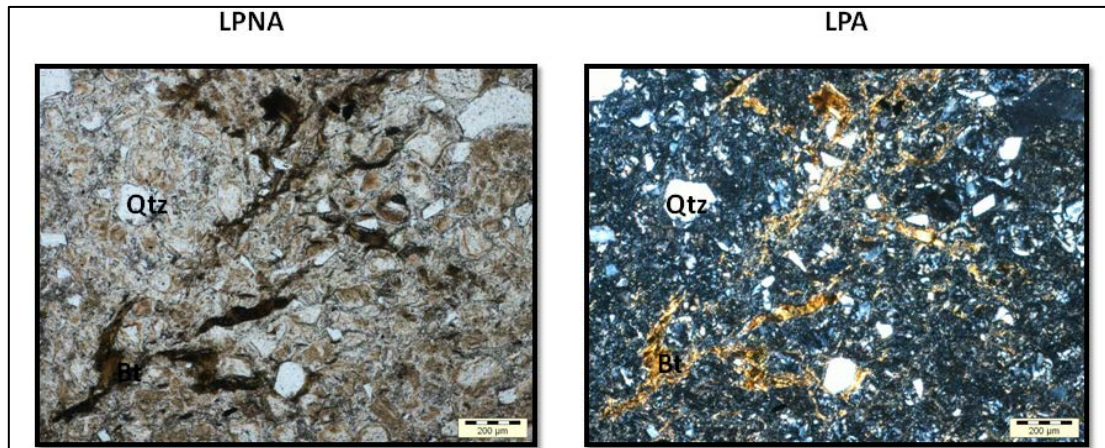


Fig.51 : Photos montrant une biotite très altérée.

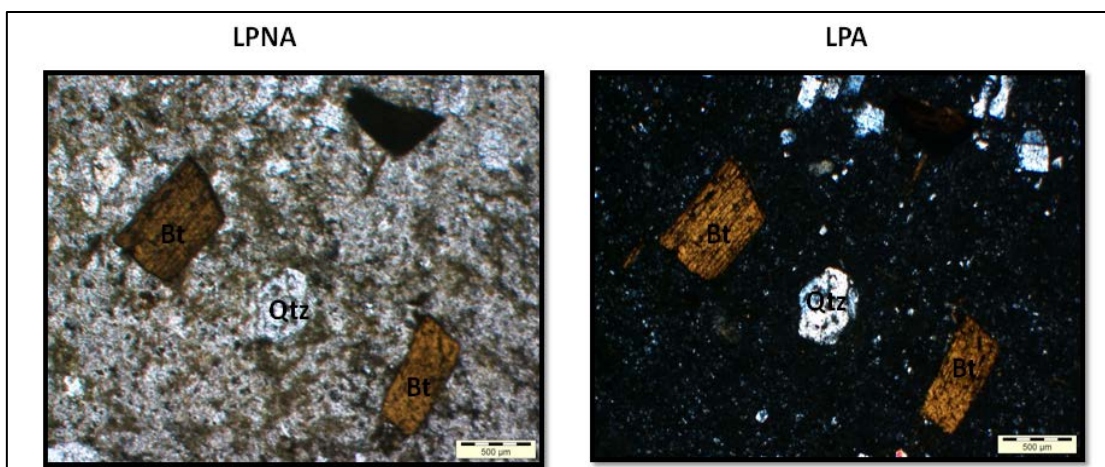


Fig.52 : Photos montrant des cristaux de biotites isolées.

VI.B.1.3.2 Facies plutoniques (granodiorite et diorite quartzique) :

Au microscope la texture est grenue à grain moyen. La composition minéralogique est la suivante :

a) Les minéraux cardinaux :

- **Le plagioclase** : De loin, le minéral le plus abondant (plus de 40% de volume total de la roche). toujours automorphe. Il est souvent reconnu par ses macles polysynthétiques (**Fig. 53**) comme il peut se présenter aussi en aspect zoné (**Fig. 54**).

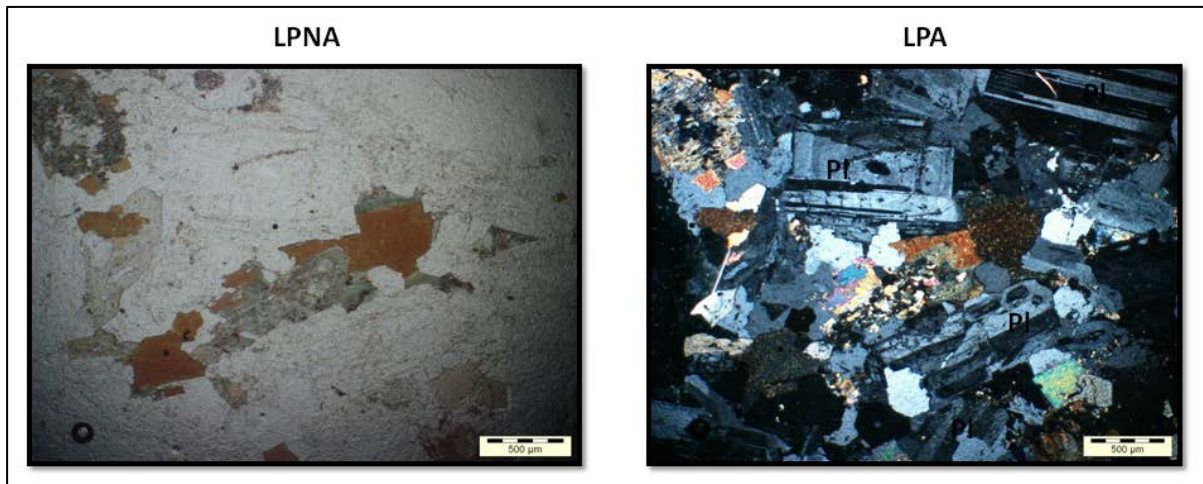


Fig.53 : Photo montrant l'abondance des plagioclases.

Les plagioclases peuvent renfermer de petites inclusions de minéraux accessoires (minéraux opaques) mais aussi de petites baguettes et prismes d'amphibole et de biotite. Ces inclusions se rencontrent aussi bien en bordure qu'au cœur minéral. (**Fig.55**)

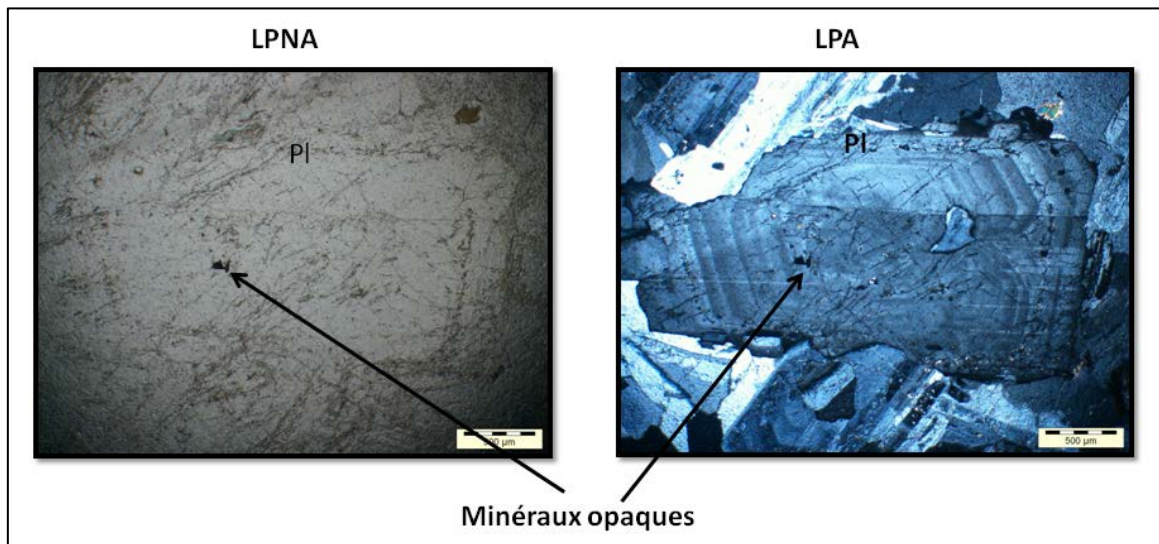


Fig.54 : Photo montrant des inclusions des minéraux opaques au centre d'un plagioclase zoné

- **Le quartz** : il est largement représenté (15- 20% de volume total de la roche). Il joue souvent le rôle de « ciment » vis-à-vis des autres minéraux constitutifs des roches. Il en épouse les formes et se montre par conséquent toujours xénomorphe, sauf le long des contacts avec le feldspath potassique (**Fig. 55**).



Fig.55: Photo montrant un quartz « cimentant » tous les minéraux

- **Orthose** : Est toujours xénomorphe, il épouse les formes de tous les minéraux à l'exception du quartz avec lequel il présente parfois des contacts réguliers. rarement maclé Carlsbad, c'est un orthose à pérthite rares et très discrètes (**Fig. 56**).

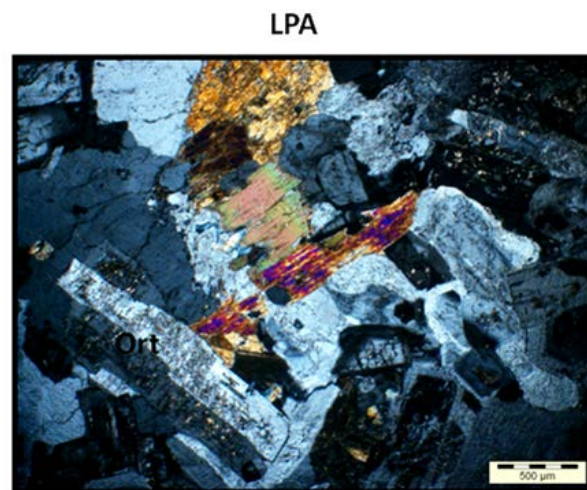


Fig.56 : Photo montrant une macle de Carlsbad d'un orthose

- **L'amphibole** : Elle se présente en général en cristaux automorphe parfois fibreux à macle fréquente parfois polysynthétique. Sa taille varie entre 2 mm et 4 mm. Dans l'ensemble c'est une hornblende peu colorée de brun à vert-pale (**Fig. 57**).

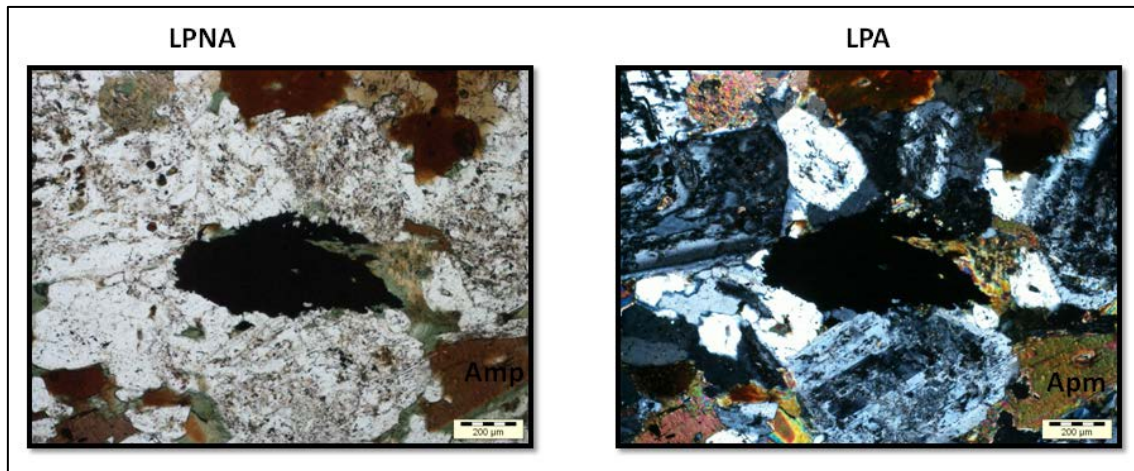


Fig.57 : Photo montrant une section losangique d'une amphibole.

b) Les minéraux accessoires :

- **Le zircon** : se présente toujours en petites inclusions dans la biotite déterminant des halos pléochroïques. Ce minéral constitue rarement des individus bien cristallisés (**Fig. 58**).

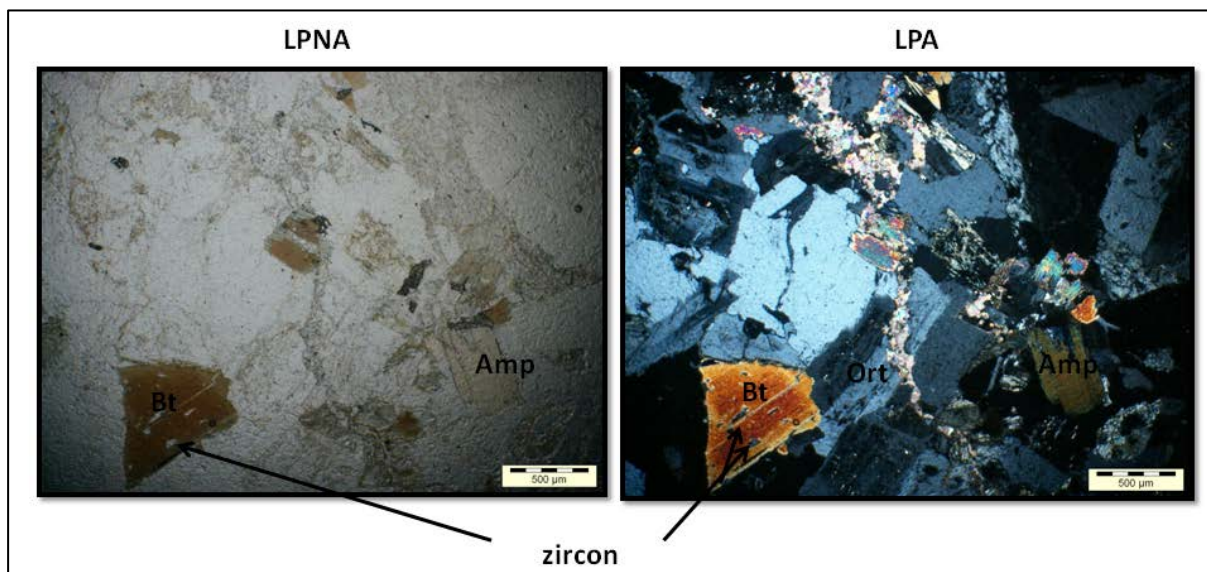


Fig.58 : Photo montrant une inclusion de zircon dans la biotite

- **Le sphène** : est un minéral peu courant dans cette roche. Il se rencontre en rares cristaux automorphes d'une taille généralement assez grande (**Fig. 59**).

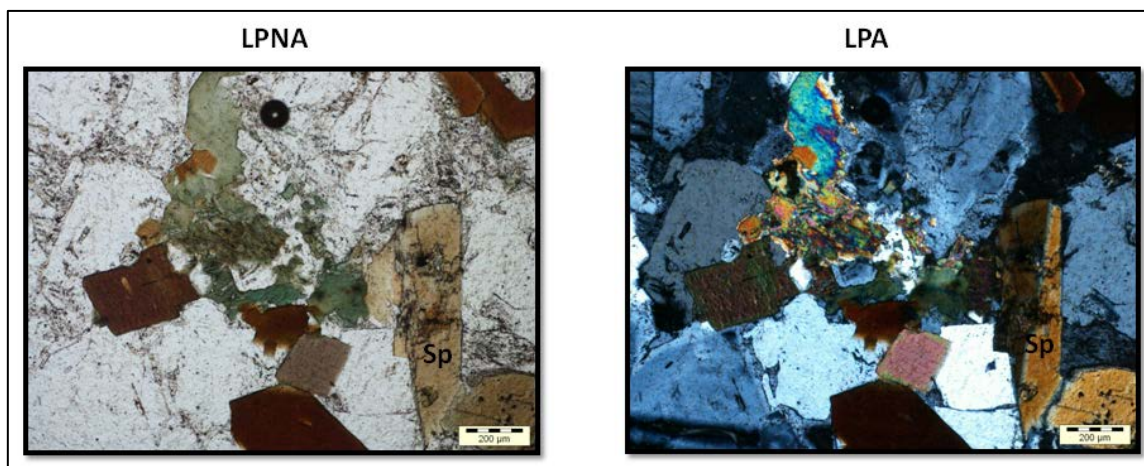


Fig.59 : Photo montrant un cristal de sphène

Les résultats de détermination quantitative sommaire des minéraux constituant les faciès pétrographiques étudiés sont synthétisés sur le tableau suivant (**Tableau n° 11**).

Tableau n° 11 : Résultats de l'étude pétrographique des échantillons						
Composition minéralogique	Teneurs %					
	Sm 01	Sm 02	Sm 03	Sm 04	Sm 05	Sm 06
Mésostase	65	70	35	66	-	-
Quartz	11	08	18	10	13	14
Feldspaths (plagioclase sodique)	10	07	05	08	50	49
Feldspaths potassique (orthose)	01	03	02	02	26	25
Micas noirs (biotite)	11	10	14	11	09	10
Oxydes de fer et autre	02	02	01	02	01	01

VI.B.2 Interprétation:

Afin d'établir une interprétation qualitative des différents résultats d'analyse obtenus, le recours à leur comparaison aux valeurs normatives (exigences industrielles) est indispensable.

VI.B.2.1 Exigences industrielles pour agrégats :

Pour produire des granulats, il faut transformer une matière première brute hétérogène en un produit fini de qualité avec des caractéristiques qualitatives précises selon l'usage que l'on va en faire.

Les granulats sont principalement utilisés pour la production de béton ou d'enrobés pour les routes. Ils peuvent aussi être utilisés pour la filtration des eaux usées, pour le ballast des voies ferrées.... A chaque usage correspond des qualités et des normes (exigences) très précises car les produits doivent garantir la pérennité des ouvrages (ponts, hôpitaux, logements, chaussées,...).

Selon la norme (XP P 18-540) utilisée par le **CETIM** Le tableau ci-dessous montre les valeurs normalisées pour la production des agrégats :

Tableau n° 12 : les exigences industrielles pour agrégats (Extrait de la norme XP P 18-540)	
Essais	Exigence normative
Absorption d'eau	$\leq 5\%$
Porosité	$<10\%$
Poids volumique	$\geq 1,8 \text{ g/cm}^3$
Résistance à la compression	$\geq 20\text{Mpa}$
Coefficient Los Angeles	$<40\%$
Micro Deval Humide	$<35\%$
Deval	>5

VI.B.2.2 Comparaison avec les valeurs normatives

Les exigences industrielles essentielles pour les agrégats résident surtout dans leur évaluation à résister aux tests physico-mécaniques. Pour ce, leur utilisation dans l'analyse de la matière première minérale est indispensable pour le choix de la qualité des agrégats. Les autres essais sont en général secondaires.

VI.B.2.2.1 Essais Los-Angeles

Selon les normes utilisées pour classer la qualité des granulats, plus la valeur des résultats d'essai Los-Angles est petite, plus la roche est bonne pour agrégats.

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Le tableau ci-dessous (**Tableau n° 13**) montre que le faciès volcanique est moins résistant à l'abrasion à l'exception de l'échantillon 03, qui est apparemment une roche volcanique qui n'est pas touchée par l'altération et située très proche du pluton. Par contre les roches du faciès plutonique sont plus résistantes à la fragmentation. Ce qui est confirmé par des valeurs basses. Les analyses montrent que les valeurs du coefficient Los Angeles des roches du faciès volcanique (23%et 29%) et plutonique (24%) sont nettement inférieures à celles de la norme (<40%). Par conséquent, l'ensemble des faciès étudiés sont susceptibles de fournir de meilleurs agrégats.

Tableau n°13 : Résultats des essais los-angles selon les faciès

	Tableau n°13 : Résultats des essais los-angles selon les faciès				
	Echant	Masse finale(g)	Coef.Los-Angeles(%)	Moyenne (%)	Norme
Facies volcaniques	Sm 01	3342	33	31	<40%
		3516	30		
	Sm 02	3430	31	31	
		3579	28		
	Sm 03	3891	22	23	
		3764	25		
	Sm 04	3635	27.3	27	
		-	-		
Facies plutoniques	Sm 05	3815	23.7	24	
		-	-		
	Sm 06	3794	24.12	24	
		-	-		

VI.B.2.2.2 Essais Deval

Le tableau suivant (**Tableau n° 14**) montre que les valeurs du coefficient Deval des roches du faciès volcanique qui varié entre 3et 8 avec une moyenne de 4,66 sont inferieures a la norme (>5) ce qui rendre ce faciès est moins bon de le destiné pour agrégats, mais c'est une qualité très bonne pour le revêtement des routes.par contre les valeurs de coefficient Deval de faciès plutonique (8) sont nettement supérieure à celles de la norme (>5), ce qui permet de calasse ce faciès comme une très bonne qualité pour agrégats.

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Tableau n° 14 : Résultats d'essai Deval selon les faciès

	Tableau n° 14 : Résultats d'essai Deval selon les faciès					
	Echant	Masse finale (g)	Perte de masse (%)	Coef.Deval	Moyenne Coef.Dev	Norme
Roches volcaniques	Sm 01	6000	14,28	2,8	3	>5
		5941	15.12	2,6		
	Sm 02	6511	6.98	5,73	5	
		6430	8.14	4.92		
	Sm 03	6739	3.72	7,4	8	
		6680	4.57	8,8		
	Sm 04	6624	5.38	6.40	6	
		6548	6.45	6,2		
Roches plutonique	Sm 05	6667	4.75	8,40	8	
		6641	5.12	7.80		
	Sm 06	6794	2.94	12	11	
		6563	6.24	10,7		

VI.B.2.2.3 Essais Micro-Deval

Les analyses de l'essai Micro-Deval (**Tableau n° 15**) montrent que les valeurs du coefficient MDE des roches du faciès volcanique (26%et 12%) et plutonique (13,5%) sont nettement inférieures à celles de la norme (<35%). Par conséquent, l'ensemble des faciès étudiés sont susceptibles de fournir de meilleurs agrégats.

Tableau n° 15 : Résultats d'essai micro- Deval selon les faciès

	Tableau n° 15 : Résultats d'essai micro- Deval selon les faciès				
	Echant	Masse finale	MDE (%)	Moyenne (%)	Norme
Roches volcaniques	Sm 01	370	26	26	<35%
		375	25		
	Sm 02	346	30.8	30	
		353	29.4		
	Sm 03	393	21.4	22	
		385	23		
	Sm 04	446	10.8	12	
		439	12.2		
Roches plutonique	Sm 05	447	10.6	11	
		445	11		
	Sm 06	419	16.2	16	
		421	15.8		

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

VI.B.2.2.4 Résistance à la compression

Les analyses de l'essai Résistance à la compression (**Tableau n° 16**) montrent que les valeurs de la contrainte des roches du faciès volcanique (54.95 Mpa et 129.8 Mpa) et plutonique (125.98 Mpa) sont nettement supérieures à celles de la norme (≥ 20 Mpa). Par conséquent, l'ensemble des faciès étudiés sont susceptibles de fournir de meilleurs agrégats.

Tableau n° 16 : Résultats de la résistance à la compression selon les faciès

	<i>Echant</i>	<i>Masse (g)</i>	<i>Force (Kn)</i>	<i>Contrainte Ω (MPa)</i>	<i>Norme</i>
<i>Facies volcanique</i>	SM 01	141	56.4	64.8	$\geq 20\text{Mpa}$
		186.9	74.8		
		158.2	63.3		
	SM 02	83.8	33.5	47.2	
		190.9	76.4		
		79.6	31.8		
	SM 03	383.3	125.3	129.8	
		356.6	142.6		
		303.3	121.3		
	SM 04	173,5	69,4	52,86	
		108,3	43,3		
		114,7	45,9		
<i>Facies plutonique</i>	SM 05	330,4	132,2	147,5	
		347	138,7		
		429,1	171,6		
	SM 06	278,8	111,5	104,46	
		257,1	102,8		
		247,7	99,1		

VI.B.2.2.5 Masse volumique :

Les analyses de la masse volumique réelle (**Tableau n° 17**) montrent que les résultats des roches du faciès volcanique (1,91 et 2,33 g/cm³) et plutonique (2,59 g/cm³) sont en moyenne supérieures à celles de la norme ($\geq 1,8$ g/cm³). Par conséquent, l'ensemble des faciès étudiés sont susceptibles de fournir de meilleurs agrégats.

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Tableau n° 17 : Résultats de la masse volumique selon les faciès			
	Code échantillon	La masse volumique réelle MV_R (g/cm³)	Norme
Faciès volcanique	Sm 01	1.96	$\geq 1,8 \text{ g/cm}^3$
	Sm 02	1.89	
	Sm 03	2.33	
	Sm 04	1.9	
Faciès plutonique	Sm 05	2.58	
	Sm 06	2.61	

VI.B.2.2.6 Teneur en eau :

Résultats d'analyses d'humidité (**Tableau n° 18**) montrent que les valeurs des roches du faciès volcanique (1.76 et 2.62 %) et plutonique (0.45%) sont en moyenne inférieures à celles de la norme ($\leq 5\%$). Par conséquent, l'ensemble des faciès étudiés sont susceptibles de fournir de meilleurs agrégats.

Tableau n° 18 : Résultats d'analyses d'humidité selon les faciès			
	Echantillon	Norme	Teneur en eau (%)
Faciès volcanique	Sm 01	$\leq 5\%$	2.86
	Sm 02		1.94
	Sm 03		2.62
	Sm 04		0.49
Faciès plutonique	Sm 05		0.51
	Sm 06		0.40

VI.C. Conclusion :

Les essais effectués sur les échantillons de faciès plutoniques ont montré une homogénéité satisfaisante et leur aptitude à la production des agrégats de très bonne qualité. Concernant les échantillons prévenus de faciès volcanique et à cause de l'altération sont moins durs se sont de qualité moyenne pour agrégats.

Selon les deux faciès (plutonique et volcanique) rencontré sur le terrain on comparant les résultats obtenus avec les exigences industrielles utilisés par le *CETIM* selon la norme (XP P 18- 540), des différents essais avec les exigences industrielles seraient résumées dans le tableau récapitulatif suivant :

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Tableau n° 19 : Résultats des analyses et exigences industrielles pour les agrégats

		<i>Essais</i>	<i>Los Angles</i>	<i>Deval</i>	<i>MDE</i>	<i>Résistance à la compression</i>	<i>Masse volumique</i>	<i>Teneur en eau hum</i>	<i>Porosité</i>	<i>Absorption d'eau</i>
Exigences industrielles			<40%	>5	<35%	≥ 20 MPa	≥ 1,8 g/cm³	<5%	<10%	<5%
Facies volcanique	Sm 01		31	3	26	64.8	1.96	2.86	13.25	7.52
	Sm 02		31	5	30	47.2	1.89	1.94	14.68	7.61
	Sm 04		27	6	22	52,86	1.9	2.62	18.05	9.49
	Sm 03		23	8	12	129.8	2.33	0.49	3.54	2.62
Facies plutonique	Sm 05		24	8	11	147,5	2.58	0.51	1.94	0.75
	Sm 06		24	11	16	104,46	2.61	0.40	1.98	0.76

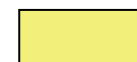
Légende :



Très bonne qualité



Bonne qualité



Qualité moyenne

Chapitre VI : Travaux réalisés, Résultats et interprétations

Le profil de direction NNE-SSO recoupe le faciès de bordure (faciès rhyolitique) et le faciès plutonique (granodiorite), ce qui nous a permis de distinguer deux faciès des roches magmatiques.

Les roches ont été étudiées dans le but de leur utilisation en tant qu'agrégats. En se basant sur les résultats des essais physico-mécaniques une carte de différentes qualités d'agrégats de secteur d'étude a été élaborée :

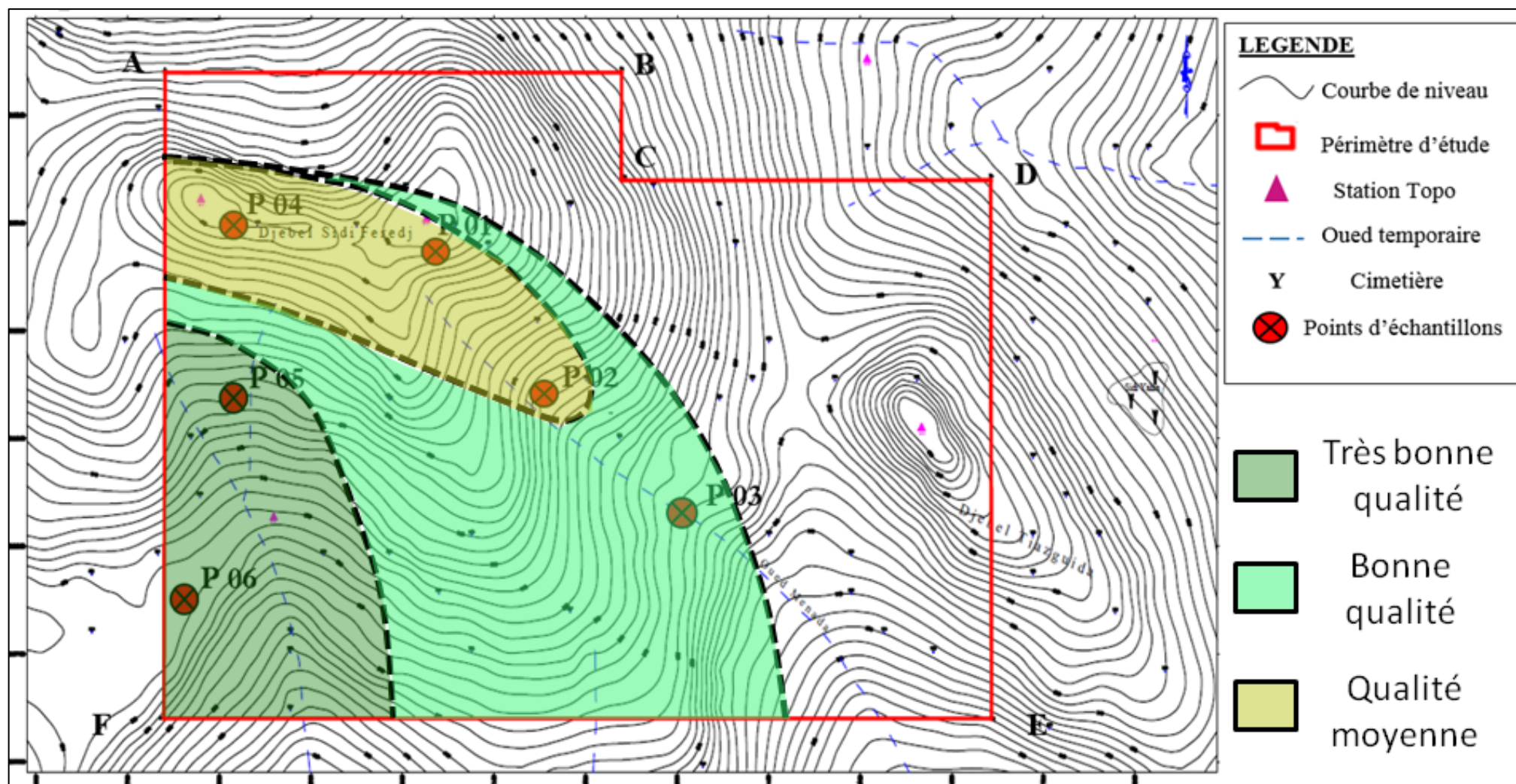


Fig.60 : Carte des différentes qualités des agrégats de secteur d'étude

CHAPITRE VII :
IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

Introduction

La mise en place d'un projet minier à ciel ouvert est susceptible d'engendrer de nombreux impacts directs sur l'environnement, et ce quel que soit le minerai exploité. De plus, lors de la fermeture d'un site, plusieurs impacts indirects peuvent être occasionnés si des mesures préventives n'ont pas été prévues.

L'exploitation de granodiorite comme toute activité de l'industrie extractive engendre des nuisances (bruits, vibration, poussières, rejets etc...) qui peuvent avoir des effets sur le voisinage et sur les milieux naturels (végétation, eaux, sol, sous-sol etc....).

C'est pourquoi la loi minière n° 14-05 du 24/02/2014 relative aux activités minières met l'accent sur la Protection de l'environnement.

Ainsi les dispositions de la loi stipulent dans son Article 126 que :

"Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières, doit joindre à sa demande les études d'impact et de danger de l'activité minière sur l'environnement, accompagnées du plan de gestion de l'environnement et du plan de restauration et de remise en état des lieux.

Ces études sont soumises à l'examen et à l'approbation de l'Agence Nationale des Activités Minières conformément à la réglementation en vigueur."

VII.1. Description du site et de son environnement

VII.1.1 Situation géographique

La Carrière de Si-Mustapha est située à 53 km à l'Est d'Alger et à 3 km au Nord-Est de la ville de Thénia. Administrativement, elle est rattachée au territoire de la commune de Si Mustapha. La route nationale N°5 passe à 2 km au Sud du gisement, ce dernier est relié à cette route nationale par une route goudronnée Thénia-Zemmouri.

VII.1.2 Le climat Fidèle

VII.1.2.1 Les précipitations

Les statistiques de l'Office National de la Météorologie (station d'ALGER DAR-EL-BEIDA) durant la période 1996 à 2016 montrent que la pluviométrie de la région de Thénia est en moyenne de 625.3 mm/ans.

Le tableau ci-après montre les moyennes annuelle et mensuelle des précipitations de la période 1996 - 2016.

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	76.9	83.5	57.7	56.8	45.6	7.5	1.8	12.2	25.3	54.1	108.2	95.6	625.3

Tableau n° 20 : Moyennes mensuelles des précipitations (en mm) pendant la période (1996-2016)

VII.1.2.2 Les températures

Les statistiques des 20 dernières années (1996 – 2016) montrent dans les tableaux ci-après que :

Durant la saison froide (3 à 4 mois) des minimums absolus enregistrés sont compris entre 5.6°C en février et 6.9°C en décembre. Tandis que les maximums absolus sont compris entre 29.2°C en Juin et 32.7°C en Aout pendant la saison sèche.

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	11.6	11.4	13.6	15.8	18.9	22.8	25.6	26.4	23.8	20.7	15.6	12.5	18.3

Tableau n° 21: Moyennes mensuelles des températures moyennes (en °C) pendant la période (1996-2016)

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	5.8	5.6	7.3	9.5	12.7	16.3	19.3	20.2	17.9	14.5	10.1	6.9	12.2

**Tableau n° 22: Moyennes mensuelles des températures minimales (en °C)
pendant la période (1996-2016)**

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	17.3	17.3	19.8	22.1	25.1	29.2	32.0	32.7	29.7	26.9	21.1	18.1	24.3

**Tableau n° 23: Moyennes mensuelles des températures maximales (en °C)
pendant la période (1996-2016)**

VII.1.2.3 Humidité de l'air

Dans la région de Thénia l'humidité est maximale en hiver (80% en janvier et décembre) et minimale en été (70% en juillet et aout), comme le montre le tableau suivant :

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	80	79	77	76	76	71	70	70	72	74	78	80	75

Tableau n° 24: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air (en %) pendant la période (1996-2016)

VII.1.2.4 Les vents

Le vent exerce une influence importante sur le transport de la poussière qui sera produite éventuellement pendant l'exploitation de la carrière.

La connaissance de l'intensité et de la fréquence du vent permet de prévoir les zones d'accumulation de la poussière.

Fréquence et force des vents :

Les vents dominants soufflent de direction Est-nord-est et Nord-est, par contre les vents forts sont de direction Ouest-sud-ouest et Ouest.

La vitesse moyenne mensuelle des vents oscille entre 2.1m/sec et 2.8 m/sec. Les maximums sont enregistrés dans le mois d'Avril, Juin et Juillet et les minimums sont enregistrés dans le mois d'octobre, comme le montre le tableau suivant :

Mois	Janv	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Déce	Annuel
Moyen	2.4	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.5	2.1	2.4	2.3	2.6

**Tableau n° 25: Moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen (en m/s)
pendant la période (1996-2016)**

VII.1.3 Les forêts

Il est composé de forêts denses, sous-bois et maquis véritable tapis végétal constitué de différentes essences. Il existe 08 forêts au niveau de la wilaya qui totalisent une superficie de 22 951 ha soit 15,75% de la superficie de la wilaya.

Les Principales espèces de ces forêts sont :

- Le chêne liège.
- Le pin d'Alep.
- L'eucalyptus.
- Le thuya.
- Autres (Peupliers, Orme et frêne).

VII.1.4 L'Agriculture

La wilaya de Boumerdès dispose d'un potentiel agricole d'une grande valeur dont l'essentiel est situé dans la vallée du bas Isser, la plaine du Sabaou et le périmètre du Hamiz (plaine de la Mitidja Est). La wilaya est classée en zone une (1) à fortes potentialités agricoles. L'agriculture dispose d'une superficie agricole utile (SAU) de 65 738 ha sur une superficie agricole totale (SAT) de 99 592 ha. La superficie agricole irriguée est de l'ordre de 12 200 ha.

Les types des cultures prédominent sont :

- Les céréales : 7 526 ha.
- Les fourrages : 15 060 ha.
- L'arboriculture : 22 095 ha.
- Le maraîchage : 27 580 ha.

VII.2. Evaluation des impacts

VII.2.1. Impact sur l'eau

L'exploitation des granodiorites de la carrière de SI MUSTAPHA n'a pas d'impact en ce qui concerne :

- La modification de l'écoulement hydrique de surface.
- la déviation de cours d'eau.
- la modification du niveau piézométrique de la nappe.
- la productivité des captages.

Mais elle génère une pollution des eaux par les rejets des stations de lavage, de maintenance et des sites de stockage, comme :

- Les eaux utilisées pour le lavage des engins.
- la vidange des moteurs des engins.
- Les huiles usagées.
- Le carburant.



Fig. 61 : Carburant et des huiles usagés déversés sur le sol.

VII.2.2 Impact sur l'air

L'activité des carrières est une source d'émission de poussières qui proviennent généralement des opérations suivantes:

- les tirs à l'explosif.
- le chargement et le déchargement de matériau tout venant.
- la circulation des engins et camions dans la carrière.
- la station de concassage et notamment des opérations de concassage-broyage à sec et du criblage de la substance utile.
- le stockage des produits marchands fins.



Fig. 62 : Pollution atmosphérique générée par les tirs à l'explosif.



Fig. 63 : Pollution atmosphérique inhérente la circulation des camions.

Les pratiques d'exploitation et de transport sur une carrière conduisent à l'émission de nombreuses poussières dans l'atmosphère. L'utilisation de machineries et dans certains cas, la production d'énergie nécessaire au fonctionnement de l'usine de traitement, peuvent aussi être responsables d'importantes émissions de gaz à effet de serre.

De plus, la suppression de la couverture végétale pour permettre l'installation du site et du réseau routier ou encore l'accès au gisement engendre une perte significative de l'absorption du CO₂. Or la diminution de l'absorption du gaz carbonique combinée aux émissions GES (gaz à effet de serre).

En général, dans une exploitation classique à ciel ouvert, la production de poussières la plus importante est celle émise par les camions transporteur et la station de concassage (concassage primaire,

concassage secondaire, criblage, transport par convoyeurs à bande et mise en stocks).

Le reste des sources de poussières a peu d'impact sur l'environnement.

La production de poussières dans une station de concassage est estimée, selon des statistiques en France, entre 7 et 84 g/m²/mois, dans un rayon de 100 à 200 mètres.

Cependant, l'impact des poussières est étroitement lié au relief et aux conditions climatiques.

C'est ainsi que le vent, par son intensité et sa direction, est un élément essentiel dans la répartition des poussières dans la zone. Plus la vitesse des vents est faible, plus la concentration est importante à proximité de la source.

Comme la région de la zone d'étude est connue par la présence des vents forts (10 jours par an en moyenne), pendant la saison sèche, l'impact de l'action des vents devra être atténué par des mesures particulières, notamment l'arrosage fréquent des pistes d'accès et de la plateforme de la station de concassage.

Pendant la saison humide la présence de vapeur d'eau et la pluviométrie ont un effet positif sur le transport des poussières ; en effet

- la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère empêche la diffusion des poussières et favorise leur concentration, notamment, pendant la saison hivernale.
- La pluviométrie pour sa part joue un double rôle :
 - lessiver l'atmosphère et donc réduire la dispersion.
 - lessiver également la surface des feuilles végétales qui auraient retenu de la poussière.

Pour le personnel de la section concassage, qui est astreint à une présence dans une atmosphère poussiéreuse, des moyens de protection individuels doivent être envisagés.

VII.2.3 Impact sur les sols

L'impact sur les sols est aussi partiellement lié à l'impact sur l'eau et l'air. Par exemple, les huiles mobilisés et transportés dans les eaux de surfaces et souterraines finissent inévitablement par contaminer les sols par infiltration. Quant à l'érosion éolienne, celle-ci est susceptible de transporter des particules dans l'air qui pourront se déposer et contaminer des terres sur de longues distances. Or cette contamination indirecte du sol peut

comporter des risques pour la santé humaine et la qualité des habitats fauniques.

De plus, l'érosion éolienne et hydrique du sol implique la diffusion de composants pouvant affecter la fertilité et la capacité du sol à se revégétaliser naturellement.



Fig. 64 : Pollution de sol par des rejets divers (huiles et acier...).

VII.2.4 Impact sur la santé :

Au niveau de la carrière de granodiorite SI MUSTAPHA, l'impact des poussières sur la santé des travailleurs et de la population a laissé sans doute ses traces depuis son ouverture jusqu'à l'heure actuelle.

En général, quel que soient leurs origines, les poussières sont susceptibles de provoquer des irritations des yeux, de la peau et aussi du tractus respiratoire (cas des toxicités aiguës).

L'inhalation chronique de poussières silicatées peut par contre aboutir à l'apparition de pneumoconioses (silicose, pneumoconiose, schistose, talcose, graphitose et autres pneumoconioses provoquées par ces poussières). Les complications de ces affections peuvent se décrire de la manière suivante:

- complication cardiaque, insuffisance ventriculaire droite caractérisée.

- complications pleuropulmonaires: tuberculose ou autre mycobactériose surajoutée et caractérisée, nécrose caverneuse aseptique, aspergillose.
- complications non spécifiques: pneumothorax spontané, suppuration broncho-pulmonaire subaiguë ou chronique, insuffisance respiratoire grave.

Des enquêtes et études épidémiologiques pourraient être réalisées de façon à pouvoir établir des tableaux de correspondance entre les types de minerai extrait et leur potentiel de nocivité.

La voie essentielle de pénétration des poussières dans l'organisme est la voie pulmonaire.

Cependant la voie d'exposition par ingestion n'est pas inexistante même si en générale elle s'avère indirecte, par le biais de la consommation d'eaux ou de produits végétaux au préalable exposés (d'où la nécessité de laver les fruits et légumes avant leur consommation).

VII.2.5 Impact sur la faune et la flore :

La végétation située à proximité de la carrière est affectée par la poussière en causant un ralentissement de processus de photosynthèse qui induit à la diminution de sa durée de vie.

La destruction du couvert végétal et le déblaiement de la couche superficielle du sol affectent la faune et la flore locale de deux façons: par la perte de l'habitat et le morcellement de celui-ci.

La perte de l'habitat a surtout un effet sur les espèces à mobilité réduite ou sédentaires telles que certains invertébrés, rongeurs, reptiles et petits mammifères. La survie de certaines espèces à faible répartition et fortement spécialisées peut être particulièrement affectée par une réduction de leurs habitats. D'autres espèces plus mobiles peuvent aussi être impactées dans le cas où l'habitat correspond à une ère de reproduction ou joue un rôle de protection contre des prédateurs.

Quant au morcellement de l'habitat, celui-ci survient lorsqu'une superficie se retrouve scindée en plusieurs parcelles. Ceci affecte la dispersion des populations et mène à l'isolement, voir le déclin de celles-ci suite au manque d'espace et à l'homogénéisation du bagage génétique.



Fig. 65 : L'accumulation de la poussière sur la végétation.



Fig. 66 : Déboisement au niveau de la carrière.

VII.2.6 Impact sur le paysage

Il est évident que l'extraction de la carrière entraînerait une transformation de paysage et un impact négatif de la surélévation naturelle des reliefs (altération de la morphologie et l'apparition des surfaces dévastées), produisant les impacts visuels tel que :

- Le déboisement.
- La forme de l'excavation.
- L'aspect de front de taille.
- Les stockages de stérile sur la végétation.
- Le stockage anarchique des déchets.



Fig. 67 : Stockage de stérile sur la végétation.



Fig. 68 : Stockage anarchique des déchets.

VII.2.7 Impact sonore

Lors d'exploitation de la carrière de SI MUSTAPHA, les opérations faisant l'objet de sources de bruit sont les suivantes:

- La foration des trous.
- Le tir à l'explosif.
- La marche de compresseurs.
- La marche des marteaux piqueurs.
- Le concassage, broyage et criblage des matériaux.
- Le déplacement des engins de la carrière.

- La circulation des camions de transport de matériaux sur les chemins d'accès.

Il convient de souligner qu'à l'état neuf les engins de carrière ayant une puissance de 100 à 150 CV constituent des sources de bruit avec un niveau sonore inférieur à 70 dB. La station de concassage (avec les concasseurs primaire et secondaire, le crible vibrant) émet des bruits d'un niveau sonore compris entre 85 et 90 dB (sachant que le niveau sonore compris entre 85 et 90 dB est égale à un bruit d'une tronçonneuse).

Ces niveaux sonores iront en s'amenuisant s'atténuant au fur et à mesure que le point de perception s'éloigne de la source. Pour un niveau sonore de 90 dB émis par la station de concassage, à 1 Km de la station il sera que de 38 dB. (Le décibel (dB) est une unité de mesure de niveau sonore).

Il est indispensable de munir le personnel qui travaille dans la station de concassage de moyens de protection (stop-bruit).

VII.2.8 Impact lies aux vibrations

Dans une exploitation classique à ciel ouvert, les seules sources de vibrations qui nécessitent une attention particulière proviennent des tirs à l'explosif. Ces tirs provoquent un bruit instantané et de courte durée et engendrent des vibrations qui se propagent dans le sol.

Les nuisances induites dépendent pour une large part de la sensibilité intrinsèque des individus. Cette sensibilité s'avère d'ailleurs très subjective car les individus ont tendance à confondre bruit et vibration. En fait les effets induits par les vibrations sont fonction de leur vitesse particulière et de leur fréquence.

Certaines études montrent que l'homme est sensible à des vitesses particulières de l'ordre de 0,1 mm/s, valeur qui est bien inférieure à celle qui est susceptible de provoquer des dégâts.

Enfin, il existe des effets indirects concrétisés par les bruits induits de l'action des vibrations sur certains éléments plus résonnants de la structure (cloisons minces, vitrages) ou sur certains objets se trouvant dans les habitations (verrerie, bibeloterie).

VII.2.9 Impact liés aux tirs des mines

L'exploitation du gisement de granodiorite SI MUSTAPHA (roche massive) nécessite de recourir régulièrement à l'abattage des fronts en cours d'extraction.

L'évènement redouté concerne des projections de roches consécutives à un tir de mine. On rappellera que ces tirs sont destinés à ébranler un front rocheux et sont à l'origine d'une libération d'énergie en milieu de socle.

Ce type d'opération a pour conséquence des projections plus ou moins importantes selon les circonstances, mais pour lesquelles la zone potentielle de retombées peut être calculée par l'équation suivante :

$$D = 44 Q^{1/3}$$

Où: D = distance de sécurité, en mètre;

Q = charge explosive (charge instantanée), en kg.

La quantité de substance explosive utilisée est estimée à 11000 Kg par tir, la consommation par volée est de 1500 kg et la charge instantanée est de 120 kg.

Pour une telle charge explosive la distance de sécurité est à 217 m de point d'explosion.

VII.2.10 Impact sur les infrastructures

L'exploitation de la carrière entraîne à long terme l'effet d'usure permanent des infrastructures routières par l'usage des convois et le risque de dégâts aux constructions voisines par les vibrations introduites.

Le transport des matériaux endommage les voiries. La circulation des engins entraîne la dégradation des chaussées et aggrave les risques de dérapage sur les routes par suite de l'épandage des boues.

VII.2.11 Impact liée aux matériaux divers

Ces matériaux concernent généralement les produits accidentellement introduits lors de l'excavation ou à l'occasion de l'entretien et la réparation des engins de la carrière. On peut citer à titre d'exemple :

- Les huiles et les huiles de vidange.
- La ferraille provenant des réparations.
- Les pièces des engins utilisées, etc.

Les conséquences de ce type de polluants sur les aquifères et sur le paysage sont très importantes.



Fig. 69 : Déchets divers (des filtres à gasoil, des pneus...).

VII.2.12 Hygiène et sécurité

L'activité d'exploitation du gisement de granodiorite du SI MUSTAPHA peut être le siège de plusieurs risques d'accidents. Ces risques sont liés généralement à:

- La manipulation des explosifs.
- La hauteur des gradins et la cohésion des roches du front d'abattage.
- La circulation des engins.
- Les mouvements des personnes.
- Le stockage des carburants, etc.

Ainsi les causes des accidents sont nombreuses et l'on peut citer les plus importantes:

- Explosion due à une mauvaise manipulation des explosifs.
- Les chutes de blocs et chutes d'objets.
- Les glissades et chutes de personnes.
- Les heurts.
- L'électrocution.
- Les brûlures.
- L'incendie, etc.

VII.3. La pollution de l'atmosphère

VII.3.1 Définitions

VII.3.1.1 Définition de la pollution atmosphérique

➤ Pour l'O.M.S

La pollution de l'air est un problème important de l'hygiène du milieu.

Elle affecte aussi bien les pays développés que ceux en voie de développement car, des quantités croissantes de gaz et de particules, potentiellement nuisibles, sont émises dans l'atmosphère entraînant des dommages à la santé humaine et à l'environnement.

Elle endommage aussi à long terme, les ressources nécessaires au développement durable de la planète (O.M.S, 2000).

➤ Pour les scientifiques

La pollution de l'atmosphère est toute émission dans l'air, quelle qu'en soit la source, de substances gazeuses, liquides ou solides susceptibles de porter atteinte à la santé humaine, aux animaux et aux plantes.

La pollution de l'atmosphère, c'est l'échange entre l'atmosphère et les autres compartiments de l'environnement qui soit amènent des polluants (émissions), soit les consomment (déposition et transformation).

Les émissions font l'objet d'inventaires, ayant pour objet d'évaluer les rejets dans l'air de substances telles que le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les monoxydes et dioxyde de carbone, le méthane et les composés organiques volatils (hors méthane), l'ammoniac, les composés organiques persistants et les métaux lourds.

Pour chacun des polluants, les niveaux atteints sont comparés aux références disponibles. Celles-ci peuvent être des valeurs limites qui doivent obligatoirement être respectées, et dont le dépassement implique l'élaboration de plans de réduction visant à diminuer la pollution.

Il existe également des valeurs cibles aussi appelées valeurs guides qui sont indicatives, ainsi que des seuils d'alerte, seuils d'information, seuils de protection de la santé et seuils de protection de la végétation.

VII.3.1.2 Les polluants atmosphériques

Dans la littérature, on emploie bien souvent indistinctement différents termes pour définir ce type de pollution. Parmi eux :

VII.3.1.2.1 Les aérosols : Ils sont formés de particules solides ou liquides de dimension inférieure à 100 μm . La définition stricte est la suspension, dans un milieu gazeux, de particules solides ou liquides présentant une vitesse de chute négligeable. Les aérosols correspondent donc aux plus fines particules, ils sont des particules non sédimentables.

VII.3.1.2.2 Les fumées noires (Black Smoke) : Ce sont des particules carbonées noirâtres, présentant des dimensions suffisamment petites (de diamètre inférieur à 5 μm jusqu'à 0,1 μm environ). Pour demeurer en suspension dans l'air; ses composants sont principalement des produits de combustion.

VII.3.1.2.3 Les poussières : C'est une fine poudre de débris en suspension dans l'air. Elles sont faites de particules solides inférieures à 75 μm , les plus grosses retombant près de la source d'émission et les plus fines transportant dans l'air. Elles se produisent dans l'atmosphère de sources variées : les poussières du sol soulevées par le vent, les éruptions volcaniques et les poussières d'origine anthropique.

VII.3.1.3 Echelles spatiales et temporelles des phénomènes de pollution atmosphérique

Schématiquement, la pollution en un point donné est la résultante de phénomènes relatifs à trois échelles :

VII.3.1.3.1 L'échelle locale : Constituée des sources situées dans l'environnement immédiat (périmètre de quelques kilomètres), qui en fonction des circonstances météorologiques locales, influencent plus ou moins directement la qualité de l'air en ce point.

Ce sont les phénomènes relatifs à cette échelle qui sont le plus souvent responsables des variations rapides et de forte amplitude des concentrations en polluants.

VII.3.1.3.2 L'échelle régionale : Couvrant un périmètre de quelques dizaines de kilomètres autour du point. Les sources situées dans ce périmètre ont une influence relativement diffuse, qui se matérialise par des variations de concentrations en polluants généralement lentes et amorties.

VII.3.1.3.3 L'échelle continentale : S'étendant de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres. Ce qui s'appelle le transport à longue distance des polluants peut contribuer de manière sensible aux teneurs mesurées. Ceci explique que l'on puisse trouver une pollution en des

points éloignés de toutes sources même modestes. Cet apport contribue largement à ce que l'on appelle la pollution de fond (background).

VII.3.1.4 Les paramètres influençant la pollution de l'atmosphère

L'existence d'un polluant dans l'atmosphère est rythmée par cinq étapes :

- Son émission dans l'atmosphère.
- Sa dispersion et son transport par le vent.
- Ses interactions avec d'autres substances ou radiations et éventuelles transformations, avec production d'une pollution secondaire.
- Son interaction avec d'autres milieux, par dépôt ou immiscions.
- Ses effets sur les milieux récepteurs.

Il en résulte que les niveaux de pollution sont surtout fonction du volume des émissions et des conditions météorologiques.

VII.3.1.4.1 La topographie locale : d'un site peut influencer la circulation des masses d'air. Par exemple, les rues canyon, les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants.

VII.3.1.4.2. Conditions météorologiques : tiennent une part importante dans la dispersion des polluants atmosphériques.

a) Le vent : est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants.

Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluants. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent.

Un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants. La vitesse du vent augmente avec l'altitude

b) L'état thermique de l'atmosphère : est défini par rapport à une droite de variation de température théorique, celle d'un volume d'air qui s'élève dans l'atmosphère stable et se détend lentement (à cause de la diminution de pression) sans échange de chaleur avec le milieu avoisinant, c'est le gradient adiabatique sec, aussi appelé droite de neutralité thermique ou neutre.

La température de l'air décroît au fur et à mesure que l'altitude augmente, à raison de ± 10 degrés par km, à cause de la diminution de pression régnant dans l'air. Mais la variation de température en fonction de l'altitude s'écarte le plus souvent de cette situation.

Deux cas peuvent être rencontrés :

- La situation instable : si la température diminue plus vite que le neutre; un volume d'air s'élevant aura tendance à être plus chaud que l'air avoisinant, donc plus léger, et tendra à accélérer de plus en plus. Il apparaît alors des phénomènes de courants verticaux.

- La situation stable : si la température diminue moins vite que le neutre; un volume d'air s'élevant aura tendance à être moins chaud que l'air avoisinant, donc plus lourd, et tendra à ralentir ou à redescendre. Alors il n'apparaît pas de phénomènes de courants verticaux.

Le cas limite est celui où la température augmente avec l'altitude. C'est l'inversion de température.

c) Les inversions de la température : est caractérisé par une augmentation de température au fur et à mesure que l'altitude augmente. C'est un état thermique stable que l'on observe généralement par temps clair et ensoleillé.

Il est caractérisé par une altitude de début et de fin d'inversion (Fig. 18). Lorsque le début coïncide avec le niveau du sol, l'altitude de fin est appelée hauteur de la couche de mélange. En effet, c'est dans l'épaisseur de cette couche d'air stable que se dispersent les polluants émis. Si l'épaisseur est faible, le volume d'air dans lequel les polluants sont dispersés l'est aussi, et de ce fait, les concentrations rencontrées sont élevées. Il s'agit là de la situation la plus propice aux épisodes de pollution atmosphérique.

d) Les précipitations et l'humidité : nettoient l'atmosphère en entraînant une partie des poussières et des polluants qu'elle contient vers le sol.

Pour les particules, l'efficacité de cette élimination diminue avec la dimension des particules (les plus grosses sont plus facilement nettoyées).

De plus, les précipitations se montrent encore favorables à la dispersion des polluants, par le fait qu'elles provoquent le brassage de l'air et engendrent par conséquent des turbulences et l'instabilité des basses couches atmosphériques.

VII.3.2 Etude de la pollution par les poussières générées par l'exploitation de la carrière de SI MUSTAPHA

Les carrières sont des installations reconnues pour leurs émissions de particules dans l'environnement.

Les émissions atmosphériques aux abords des carrières sont de deux ordres :

- Les émissions de particules minérales (fibres ou poussières) issues du gisement et libérées lors du procédé d'extraction et du traitement.
- Les émissions de substances par les gaz d'échappement produits par les véhicules et les automoteurs ou par toute autre source fixe.

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau des carrières. Elle est plus ressentie par la population pour des raisons physiologiques et psychologiques.

La granulométrie des poussières est un facteur important. Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses sont appelées à se déposer sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille.

VII.3.2.1 Poussières et particules minérales :

Le terme de particule, dans son sens large, comprend aussi bien les fibres que les poussières.

La définition conventionnelle d'une fibre en hygiène industrielle est ; toute particule ayant des bords parallèles et un ratio longueur sur diamètre de 3 pour 1.

Les fibres inhalables sont celles dont le diamètre est inférieur à $3\mu\text{m}$ et la longueur supérieure à $5\mu\text{m}$ (définition O.M.S).

VII.3.2.2 Composition chimique des poussières :

La composition des particules qui interviennent dans l'atmosphère reste complexe à déterminer vu qu'elles résultent de mélanges de substances et d'agrégats dont l'origine, la granulométrie et la composition chimique varient en fonction du temps et de l'environnement.

Les poussières minérales d'origine tellurique provenant de l'érosion de roches et de l'abrasion des matériaux de construction, sont constituées des métaux, sels, nitrates, sulfates, composés organiques et des hydrocarbures, en formes d'éléments en trace et oligoéléments.

VII.3.2.3 Classification des poussières

Il existe plusieurs classifications possibles pour les particules : selon les effets qu'elles induisent sur la santé, leurs caractéristiques physiques et chimiques ou suivant les méthodes utilisées pour les définir.

Cependant, elles sont communément réparties en fonction de leur taille. Dans cette optique, on les mesure en donnant le diamètre qu'aurait une sphère de comportement aérodynamique équivalent.

VII.3.2.3.1 Classification selon les critères de taille, de masse et de composition :

Les particules atmosphériques qui constituent un complexe de substances organiques et minérales, peuvent être grossièrement partagées en deux classes :

a) La fraction alvéolaire (<2,5µm) : il s'agit de particules « fines » issues de la conversion à partir de la phase gazeuse ou effluents de combustion, ou de vapeurs organiques ou métalliques condensées.

b) La fraction trachéo-bronchiques et/ou extra-thoracique (>2,5µm) : il s'agit de grosse particules provenant généralement des chaussées.

VII.3.2.3.2 Classification selon la vitesse de sédimentation :

On peut les classer en deux grandes catégories :

- Les poussières sédimentables.
- Les particules en suspension totale (PTS).

a) Les poussières sédimentables : Elles regroupent les particules ayant les fractions granulométriques les plus élevées, supérieures à 100µm. Issues de processus mécaniques (frottement, érosion...), elles se trouvent le plus souvent dans un environnement proche des industries d'extraction et de traitement des produits minéraux et de la sidérurgie.

b) Les particules en suspension totale (PTS) : Elles ont une longue durée de vie dans l'air ambiant et ont un domaine de dimension granulométrique qui s'étend sur 5 ordres de grandeur, depuis 10 à 3µm (agrégat moléculaire) jusqu'à 100µm (poussière industrielle ou naturelle). Elles sont émises par certains procédés industriels (sidérurgie, minéraux non-ferreux, engrais), par les installations de combustion et par les véhicules automobiles. Pour ces derniers, elles résultent d'une combustion incomplète du carburant (notamment pour les véhicules diesel) et de phénomènes d'usure et de frottement.

VII.3.2.4 Le transport des particules :

La distance de transport des particules dépend de leur taille et de leur densité. Les particules grosses et lourdes ont tendance à sédimenter rapidement, d'où leur nom de particules sédimentables.

Les particules fines ont un comportement qui s'apparente à celui des gaz et ne sédimenter pratiquement pas. Elles sont appelées particules en suspension.

Par conséquent, les particules sédimentant rapidement subissent un transport de l'ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres depuis leur source d'émission, tandis que certaines particules très fines peuvent faire plusieurs fois le tour de la terre.

Les vitesses de chute peuvent être estimées en fonction du diamètre des particules, les exemples suivants sont destinés à fournir une idée des ordres de grandeur de ces vitesses (**Tableau n° 26**).

Diamètre des particules (µm)	vitesse de chute (cm/s)
1	0,003
2	0,01
6	0,1
11	1
60	10
300	100

Tableau n° 26: Vitesse de chute des particules d'une masse volumique de (1 g/cm³) (INERIS 2001).

VII.3.2.5 Effet des poussières sur l'écosystème :

Les effets des poussières sur l'écosystème sont variables en fonction de leur composition, de leur taille et en particulier de la présence des éléments nuisibles tel que ; les métaux lourds et les composés organiques persistants absorbés.

- Pour l'homme, les poussières peuvent provoquer des maladies et des difficultés respiratoires chez les personnes en synergie avec d'autres polluants, notamment les composés soufrés.

- Pour les végétaux, la couverture des feuilles par les poussières paralyse les fonctions vitales des plantes tel que ; la photosynthèse et l'évapotranspiration, elles empêchent la croissance de ces derniers.

VII.3.2.6 Les principales sources des poussières dans les carrières :

Dans l'industrie extractive, les poussières sont les nuisances les plus importantes, selon le type de la source, la fugitivité des particules peut être acheminée ou dispersée dans l'atmosphère.

Ces poussières se génèrent de :

- Forage des trous de mines si l'abattage se fait à l'aide de l'explosif.
- Explosion au niveau de la carrière.
- Déversement de la matière première dans le concasseur.
- Concassage primaire et secondaire de la matière première.
- Opération de criblage.
- Transport de la matière première par tapis à ciel ouvert ou par camion vers le concassage ou le stockage.
- Déversement de la matière sur le site de stockage.
- Broyage de la matière pour leur préparation finale.

VII.3.3 Résultats et interprétations

L'étude de l'impact de l'exploitation des granodiorite de Si Mustapha sur son environnement immédiat a porté sur l'évaluation de la quantité de la poussière émise par cette carrière et la détermination de sa granulométrie.

VII.3.3.1 Analyse des retombées atmosphériques

Au vu de la problématique que représentent les poussières au niveau de la carrière de granodiorite de Si Mustapha, on a réalisé une étude sur le niveau d'empoussièrement. L'objectif de cette étude est de mesurer le niveau d'empoussièrement engendré par le processus de production d'agrégat au sein de cette carrière, en utilisant la méthode des plaquettes métalliques décrite par la norme Française NFX 43-007 (AFNOR, 2008). Les résultats obtenus seront confrontés aux seuils des valeurs admissibles par la norme française.

Pour ce, on a planté des récipients de diamètre 80mm à différents endroits (à la station de concassage, au site de stockage, à l'entrée de la carrière et à l'accès principal entre la carrière et le concasseur). (**Fig. 70**)



Fig. 70 : Carte d'échantillonnage de la poussière.

Les résultats des mesures (durée d'exposition est de 20 jours) sont présentés dans le **(tableau n° 27)**. La formule pour calculer la teneur moyenne en poussière est donnée dans la norme (NFX 43-007) :

$$P = M / (S \times T)$$

Où :

P : la teneur majeure des poussières.

M : la masse en grammes des particules.

T : la durée d'exposition en jours.

S : la surface d'exposition de la plaquette en m², ici c'est celle de récipient qui est de 0,005 m².

Point d'échantillonnage	Masse de poussières		Valeurs de référence (g/m ² /jour)
	(g)	(g/m ² /jour)	Norme NF X43-007
(1) Station de concassage	10	100	01
(2) Accès principal (carrière-concasseur)	15	150	
(3) Site de stockage	16	160	
(4) Entrée carrière	46	460	

Tableau n° 27: résultats obtenue de l'analyse des retombées atmosphériques.

Les résultats montrent que le point 4 est celui où la masse de poussières récoltée est la plus forte (46g). Les trois autres points fournissent des valeurs relativement comparables (entre 10 et 16g) mais trop supérieures aux normes qui sont de 30 g/m²/mois (norme AFNOR NF-X43-007).

Ces résultats semblent très forts à cause de la sensibilité de la zone d'étude en termes d'émissions de poussières. Cela peut s'expliquer par :

- La direction dominante du vent qui est ENE (**fig.71**).
- La présence de la carrière située à l'OSO du récipient 4.
- La circulation des engins d'exploitation et des camions de transport.
- Le prélèvement qui s'est opéré pendant la période sèche (mois de juin).
- La proximité des points de prélèvement des sources d'émission de poussière (la carrière, le site de stockage et la station de concassage).

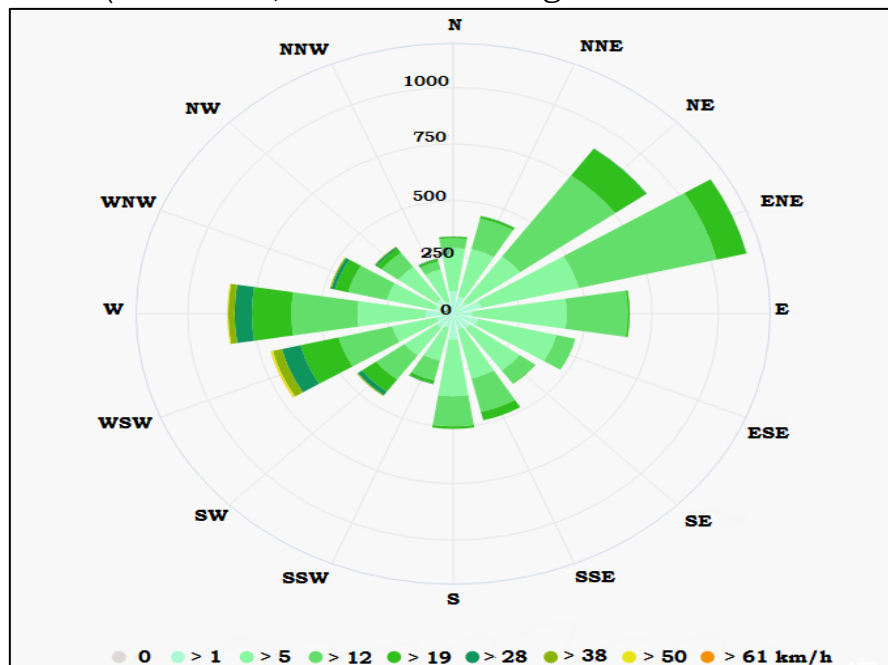


Fig. 71 : Rose des vents de la région d'étude.

VII.3.3.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été effectuée sur les quatre échantillons de poussières récoltées auparavant. La norme française (NFP 94-056) a été utilisée afin de déterminer les différentes classes granulaires composant ces poussières. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants:

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

Point 1 : Station de concassage (10 g) :

Maille	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
1	0	0	0	100
0,500	0,05	0,05	0,5	99,5
0,250	0,22	0,27	2,7	97,3
0,125	1,81	2,08	20,8	79,2
0,063	3,99	6,07	60,7	39,3
0,045	2,24	8,31	83,1	16,9
Fond de tamis	1,69	10	100	0

Tableau n° 28 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à la station de concassage.

Point 2 : Accès principal (carrière-concasseur) (15 g) :

Maille	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
1	0,03	0,03	0,2	99,8
0,500	0,14	0,17	1,13	98,87
0,250	0,46	0,59	3,93	96,07
0,125	1,86	2,45	16,33	83,67
0,063	7,8	10,25	68,33	31,94
0,045	2,96	13,21	88,06	11,94
Fond de tamis	1,75	15	100	0

Tableau n° 29 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à l'accès principal (carrière-concasseur).

Point 3 : Site de stockage (16 g) :

Maille	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
1	0,07	0,07	0,43	99,57
0,500	0,53	0,60	3,75	96,25
0,250	2,99	3,59	22,43	77,57
0,125	6,73	10,32	64,5	35,5
0,063	4,3	14,62	91,37	8,63
0,045	1,12	15,74	98,37	1,63
Fond de tamis	0,26	16	100	0

Tableau n° 30 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé au site de stockage.

Point 4 : Entrée de la carrière (46 g) :

Maille	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
1	0,06	0,06	0,13	99,87
0,500	0,80	0,86	1,86	98,14
0,250	7,21	8,07	17,54	82,46
0,125	19,86	27,93	60,71	39,29
0,063	13,69	41,62	90,47	9,53
0,045	2,9	44,52	96,78	3,22
Fond de tamis	1,48	64,00	100	0

Tableau n° 31 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à l'entrée de la carrière

En se basant sur les résultats d'analyse ci-dessus, des graphiques de variation de la granulométrie ont été élaborés (**Fig. 72**).

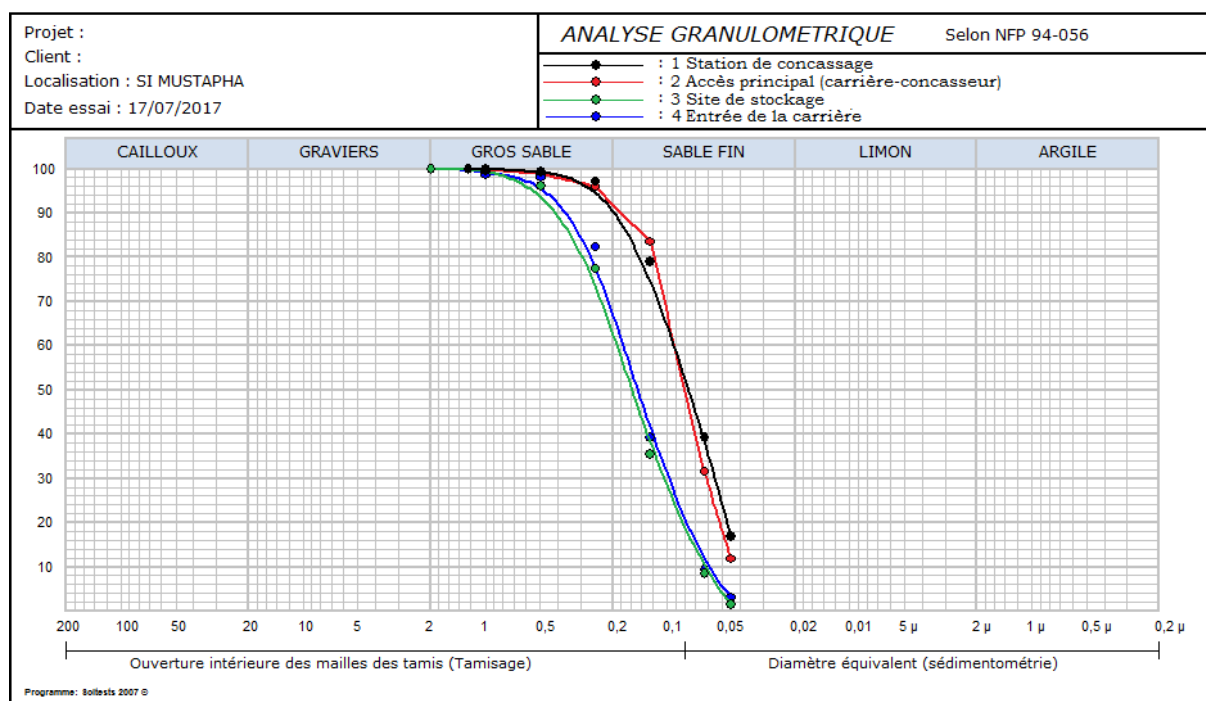


Fig. 72 : Graphe montrant les variations granulométriques des échantillons de poussières.

Les résultats d'analyse granulométrique montrent que la poussière générée à l'entrée de la carrière et près du site de stockage est constituée de plus de 70% de sable fin, et moins de 20% de sable grossier. A la station de concassage et à l'accès principal, elle est constituée de plus de 80% de sable fin et moins de 10% de gros sable.

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

La classification de ces poussières selon la dimension des grains est représenté dans le tableau suivant :

Diamètre (μ) Echantillon	1000	500	250	125	63	45	< 45
Echantillon (1) Station de concassage (%)	0	0,5	2,2	18,1	39,9	22,4	16,9
Texture (%)	Gros sable (2,7)			Sable fin (80,4)			Limon (16,9)
Echantillon (2) Accès principal (%)	0,2	0,93	3,06	12,4	52	19,73	11,68
Texture (%)	Gros sable (4,19)			Sable fin (84,13)			Limon (11,68)
Echantillon (3) Site de stockage (%)	0,43	3,31	18,68	42,06	26,87	7	1,65
Texture (%)	Gros sable (22,42)			Sable fin (75,93)			Limon (1,65)
Echantillon (4) Entrée carrière (%)	0,13	1,73	15,67	43,17	29,76	6,3	3,24
Texture (%)	Gros sable (17,53)			Sable fin (79,23)			Limon (3,24)

Tableau n° 32 : Tableau des textures des échantillons de poussière prélevés dans la carrière de SI MUSTAPHA.

VII.4. Les mesures de protection de l'environnement

Dans le but de réduire d'avantage les différents impacts sur l'environnement qui résultent de l'exploitation du gisement de granodiorite de SI MUSTAPHA, plusieurs mesures peuvent être proposées.

VII.4.1 Réduction de l'impact lié aux poussières

L'émission de la poussière serait fortement réduite en adoptant les mesures suivantes :

- Procéder à un arrosage régulier en été et pendant les jours de grands vents devra être effectué sur les pistes d'accès vers la carrière et dans la plate-forme de la station de concassage.
- Procéder à la couverture du crible et de la bande des granulats 0/3 ainsi que le stock des produits fins.

La mise en œuvre de ces mesures aura un effet réducteur positif sur :

- La préservation de la santé de la population avoisinante.
- La préservation de la santé des travailleurs de la carrière.
- La préservation de l'activité photosynthétique de la végétation environnante.

VII.4.2 Protection des eaux

Les observations, de terrain effectuées sur cette région, a montré que les rejets organiques liquides tels que les huiles et le gasoil sont les principaux pollueurs de la carrière. Leur impact sur les ressources hydriques de la région sera donc largement important et négatif surtout que ces sources d'eau sont très appréciées par les autochtones pour leur grande qualité.

Par ailleurs des précautions indispensables sont fortement recommandées lors du lavage des engins fixes et mobiles, la vidange des moteurs (récupérations des huiles usagées, huiles des transformateurs, pneumatique...etc.) et ce, conformément à la législation du travail.

VII.4.3 Réduction des bruits

Contrairement aux autres facteurs polluant, le niveau sonore des sources émettrices de bruits s'atténue progressivement en s'éloignant de la station de concassage. Ainsi, les habitants des régions avoisinantes en l'occurrence ceux du centre de la ville de Thénia ne sont pas amplement affectés par les bruits engendrés par l'activité de la carrière. Cependant, un effort pour réduire d'avantage le niveau sonore serait souhaitable. Ceci peut se faire par :

- Un plan judicieux de tir avec utilisation de détonateurs à microretard et une multiplication de rangées de tir.
- Une réduction de la charge d'explosif.
- Procéder à la couverture du crible vibrant qui est une source sonore très importante.

En outre avant de procéder au tir à l'explosif l'exploitant devra mettre en place une sirène pour prévenir la population avoisinante de l'explosion ceci dans le souci de supprimer l'effet de surprise et de rendre l'opération de tir comme une opération banale.

VII.4.4 Réduction de l'impact visuel

En raison de la topographie de la zone d'étude et de la position du front d'abattage, la carrière est visible à partir de la route nationale N° 5 et 12. C'est pourquoi il convient de minimiser son impact visuel. On peut cependant tirer profit de cette exploitation en projetant la remise en état du site en le transformant en un site beaucoup plus végétalisé.

Dans ce cadre, au niveau du front d'exploitation et des banquettes, il conviendra de :

- Rectifier les fronts résiduels et les gradins et niveler la plate-forme inférieure de la carrière.
- Remettre en végétation les banquettes.

VII.4.5 Mesures de protection liées à la sécurité

Dans ce cadre, l'ensemble des consignes et des mesures de sécurité, approuvées par l'administration des mines et de l'industrie de la wilaya de Boumerdès et de l'Inspection du Travail ont été bien respectées par l'administration de la carrière. En l'occurrence celle permettant de minimiser au maximum les risques et les dangers éventuels liés à cette exploitation, notamment en matière de conception des pentes, entretien des pistes de roulage, talus et hauteur des gradins. Ce qui est conforme à la réglementation en vigueur. Néanmoins, on recommande la multiplication des panneaux indicateurs permettant de bien matérialiser la carrière.

VII.4.6 Mesures de protection liées aux activités socio-économiques

Le site de la carrière est éloigné des agglomérations avoisinantes et des infrastructures industrielles par au moins 280m. Cependant, l'entreprise ENG devra rester attentive à toute sollicitation de la part des responsables locaux, notamment en matière de protection de l'environnement et ce pour étudier et régler d'éventuels problèmes.

VII.4.7 Autres recommandations

Dans le but d'enrichir les connaissances en matière de techniques d'exploration et d'exploitation rationnelle et optimale des carrières et gisements divers, ainsi que pour la protection de l'environnement, on a généralement recours à d'autres travaux nécessaires permettant de gérer ce type d'activité économique avec un minimum de risque et de pertes. Cela s'effectue par :

- La clôture et délimitation du périmètre d'exploitation.
- La création de pistes d'accès à la carrière et aux fronts de taille larges et compactes.
- Respect strict des consignes de sécurité de l'ingénieur en matière de tir de mine.
- La normalisation des fronts de taille (45°) et éviter de créer des dépressions et des fronts trop abrupts.
- La balise et signalisation des zones à risques dans les carrières (falaises, crevasses, zones d'éboulement et autres).
- Dotation du personnel par des tenues de travail adéquates, d'un matériel de premiers secours et d'anti incendies.
- Formation et sensibilisation du personnel des risques existants dans la carrière.
- Entretien régulier du matériel afin de garantir un meilleur rendement et une longue durabilité avec le minimum de risque.
- Remise en état du site au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation.
- Prévision des campagnes d'analyse des rejets et de contrôle de la carrière par des spécialistes et des experts du domaine.

Ces recommandations seraient plus que souhaitables pour le bon déroulement de l'activité minière. Pour cela, les opérateurs en matière de mines et carrières doivent envisager la possibilité de recruter des ingénieurs géologues pour le suivi des travaux d'exploitation.

Chapitre VII : Impact sur l'environnement

VII.4.8 Tableau récapitulatif des effets et des mesures proposées

Le tableau ci-après fait un récapitulatif des effets et des mesures proposées :

	Effets	Mesures
Aspect paysager	- Dégradation du paysage immédiat.	- Remise en état du site progressive.
Aspect visuel	- Site visible de la RN 5 et 12.	- Remise en état partielle du site par la plantation de végétation.
Flore et faune	- Zone d'exploitation n'est pas une zone à vocation agricole. - faune protégée inexistante.	- La remise en état du site peut favoriser le développement de la flore et de la faune.
Ressources hydriques	- Pas de modification de cours d'eau. - Eventuelle pollution des eaux superficielles et des eaux souterraines par les rejets liquides.	- Récupération des eaux et des huiles usagées. - Arrosage des pistes. - Construction d'un bassin de décantation pour purifier l'eau.
Poussières	- Empoussièrement de la zone de travail.	- Arrosage des pistes. - Couverture du crible vibrant. - Protections individuelles des travailleurs de la carrière.
Tirs des mines	- Projection de roches.	- Réduction de la charge d'explosif. - Prévenir la population avoisinante de tir. - Etablissement d'un plan des risques sismiques.
Sécurité publique et Sécurité de travail	- Habitations environnantes hors de la zone d'influence de l'activité.	- Zone d'exploitation interdite à toute personne étrangère au service. - Elaboration et strict respect des consignes de sécurité. - Mise en place des panneaux indicateurs. - Tenues de sécurité appropriées.
Bruit et Vibrations	- Plus au moins faibles.	- Entretien du matériel. - Protection individuelle du personnel.
Déchets-rejets	- Des eaux et des huiles usagées.	- Concevoir et réaliser une zone de lavage des véhicules et une Fosse de vidange. - Récupération des eaux et des huiles usagées.

Tableau n° 33 : Récapitulatif des effets et des mesures proposées

CONCLUSION

L'étude d'impact de la carrière de granodiorite de SI MUSTAPHA sur son environnement nous a permis de relever quelques effets jouant un rôle négatif sur la préservation du milieu naturel. Il devient donc nécessaire que ces contraintes soit lever et que l'activité de la carrière s'aligne sur les normes internationales.

Etant donné que l'exploitation d'une carrière à ciel ouvert représente souvent l'aléa, l'enjeu et le risque majeur environnemental de la région où la pollution est un délit. Pour cela un contrôle permanent doit s'instaurer pour la surveillance des actions suivantes :

- Limitation de l'émission des poussières notamment en période sèche.
- Limitation de toutes sortes de nuisances sonores (bruits et vibrations).
- Limitation de l'infiltration des eaux polluées vers la nappe phréatique.
- Application de nouvelles mesures compensatoires qui permettent la réduction des impacts environnementaux.

CHAPITRE VIII :
PLAN DE REMISE EN
ETAT

Chapitre VIII : Plan de remise en état

La meilleure façon de dissimuler l'impact et les cicatrices engendrées sur le paysage par les travaux d'extraction, est la remise en état des lieux puis l'aménagement et une bonne réinsertion paysagère.

VIII.1. La remise en état :

La remise en état est l'ensemble des travaux effectués au cours et à la fin d'exploitation, destiné à effacer ou limiter les traces liées à l'exploitation de la carrière, et de réinsérer le site dans son milieu naturel, en tenant compte de l'environnement avoisinant.

Dans ce contexte il est approprié de prendre les mesures suivantes :

- Rectifier les fronts de taille selon une pente compatible avec la station du terrain.
- Corriger les pentes s'il y a des plates-formes de niveaux d'exploitation achevés en enlevant les bosses et les restes de matériau abandonné.
- Remblayer partiellement les zones exploitées avec les matériaux inertes (terre végétale), non susceptible de porter atteinte à la qualité des eaux superficielles ou souterraines (**Fig. 74**).
- Le remblayage s'effectue à partir des carreaux ou par le haut des fronts de taille, par couches successives de remblais, compactées par roulage d'engins en laissant une pente des talus entre 40° à 45° et la protection des pieds des talus par enrochement (**Fig. 75**).
- Enlever toutes les constructions du chantier, des blocs de bétons et nettoyer les parcelles occupées de tout matériel de chantier et tout dépôt de pièce métallique.
- L'aménagement d'un réseau de drainage selon les lignes d'écoulement des eaux. Ce réseau doit acheminer les eaux de ruissellement hors la zone des remblaiements.

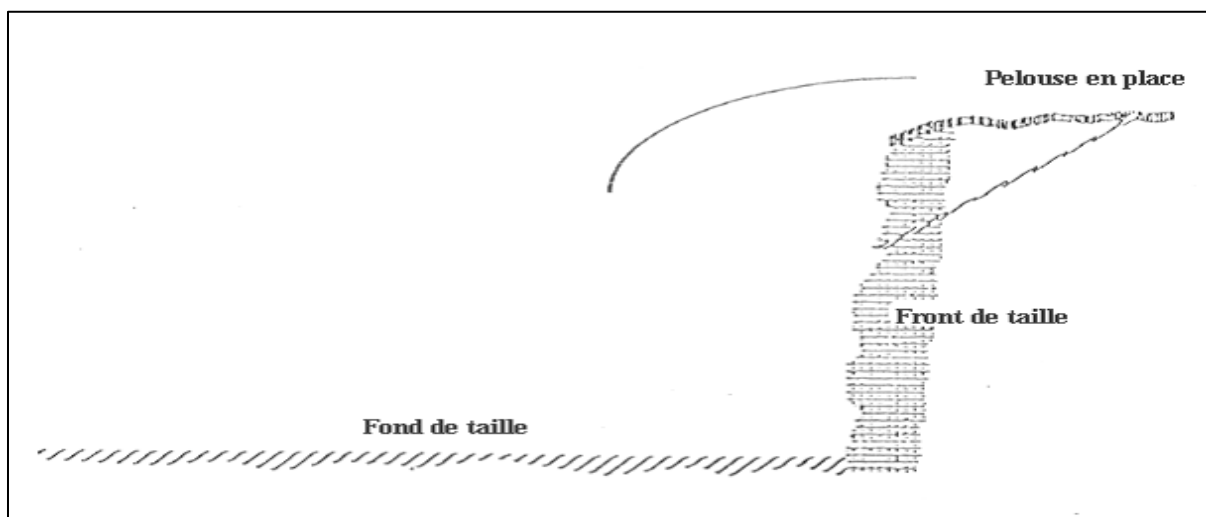


Fig. 73: Schéma montre un front de taille à la fin de l'exploitation.

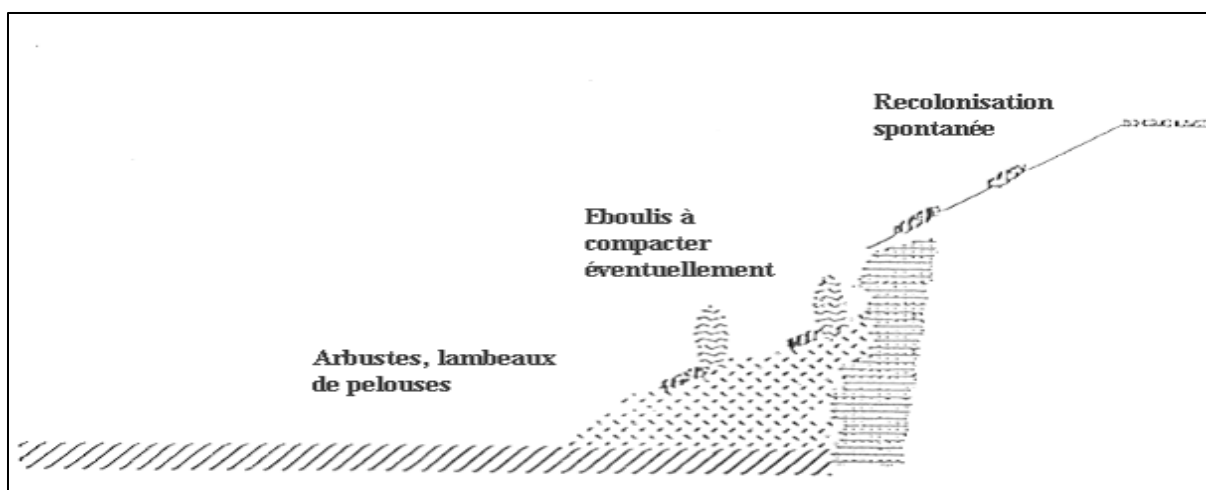


Fig. 74: Schéma montre un écrêtement de front de taille.

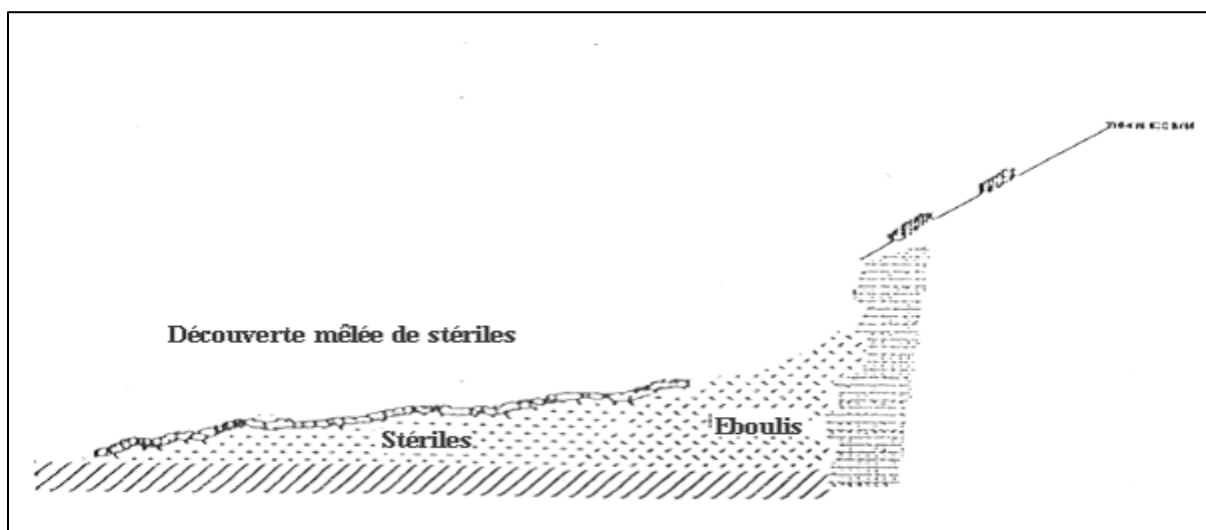


Fig. 75: Schéma montre un profilage de fond de taille par stériles après éboulis.

VIII.2. Réaménagement de la carrière :

L'exploitation de carrières en roche massive peut créer des fronts de taille de grande hauteur, d'aspect artificiel, parfois visibles de très loin. Le réaménagement de ces carrières devra permettre de concilier la sécurité et l'intégration paysagère, ceci sans attendre la fin de l'exploitation.

Pour cette restauration nous préconisons deux solutions soit un réaménagement agricole, ou un réaménagement en terrains mixte (terrains agricole et boisement forestiers).

Dans le cas de la carrière de granodiorite de SI MUSTAPHA, nous recommandons le réaménagement en terrains mixte.

VIII.2.1 Réaménagement en terrain agricole et boisements forestiers :

Cet aménagement étant mixte pourra permettre de créer une zone agricole et un boisement (**Fig. 76**). Le substrat géologique permet de déduire un sol alcalin, ce qui nous permet de choisir les essences adaptées telles que le pin, cèdre, chêne vert, olivier qui sont des espèces rustiques très peu exigeantes et qui ont un système racinaire profond qui permet le maintien des sols, étant dans une région oléicole nous proposons de planter des oliviers. En ce qui concerne la Plantation des semis on propose en premier temps la plantation de dactyle et la luzerne qui sont des fourrages de bonne valeur alimentaire, très riche en protéines, c'est une plante dont les racines peuvent aller chercher l'eau et les nutriments jusqu'à 1.70m de profondeur. Elles permettent d'améliorer rapidement la qualité des sols. 8 mois après on peut démarrer une activité agricole.

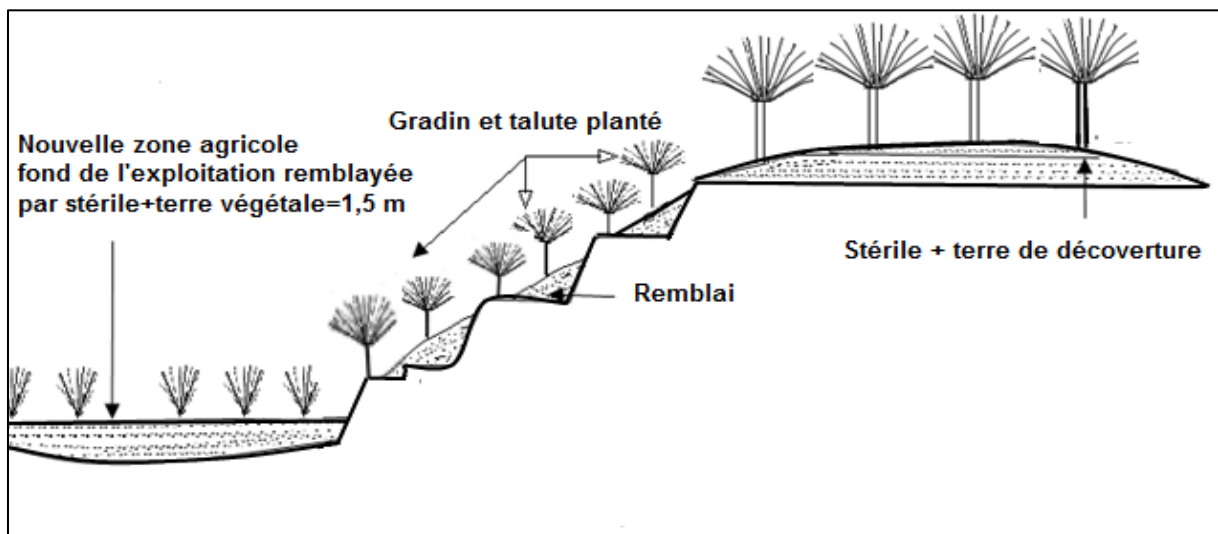


Fig. 76: Schéma de réaménagement mixte après exploitation.

VIII.2.2 Les opérations à suivre pour l'aménagement sont :

- Le remodelage des fronts de taille qui permet à la fois de minimiser les risques de chutes, de diminuer l'impact paysager et de favoriser la recolonisation végétale en amenant des matériaux meubles et perméables sur les banquettes ;
- La mise en place, si nécessaire, de systèmes de drainage des banquettes ;
- Il est nécessaire de disposer de matériaux meubles en quantité suffisante pour recouvrir le fond de la carrière d'une couche épaisse au minimum de 1,50 m. ensuite on procède comme suit :
 - ✓ Etalé d'abord une couche de stérile ou gravillons sur le fond de l'exploitation au niveau sur une épaisseur de 50cm ;
 - ✓ Recouvrir les stériles d'une couche de 50cm de limons extrait de l'exploitation ;
 - ✓ Puis on finit par la couche noire de 50cm de terre végétale en évitant le compactage.
- Les espèces végétales qui seront implantées seront issues des peuplements locaux et choisies en tenant compte de l'effet visuel recherché.

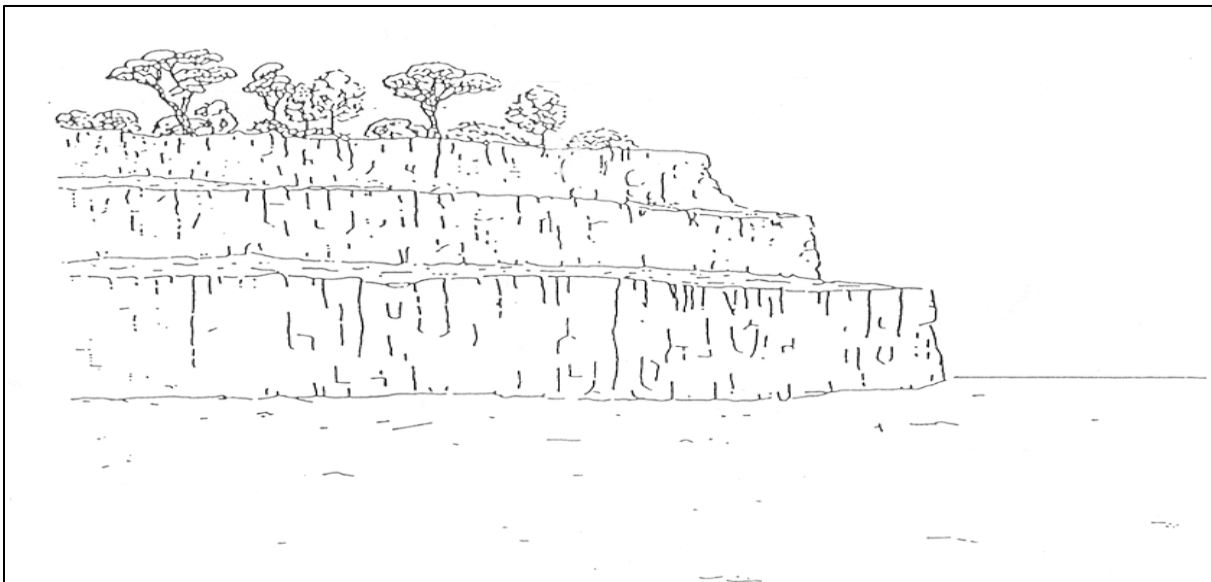


Fig. 77 : Schéma montre une carrière après exploitation, sans réaménagement.

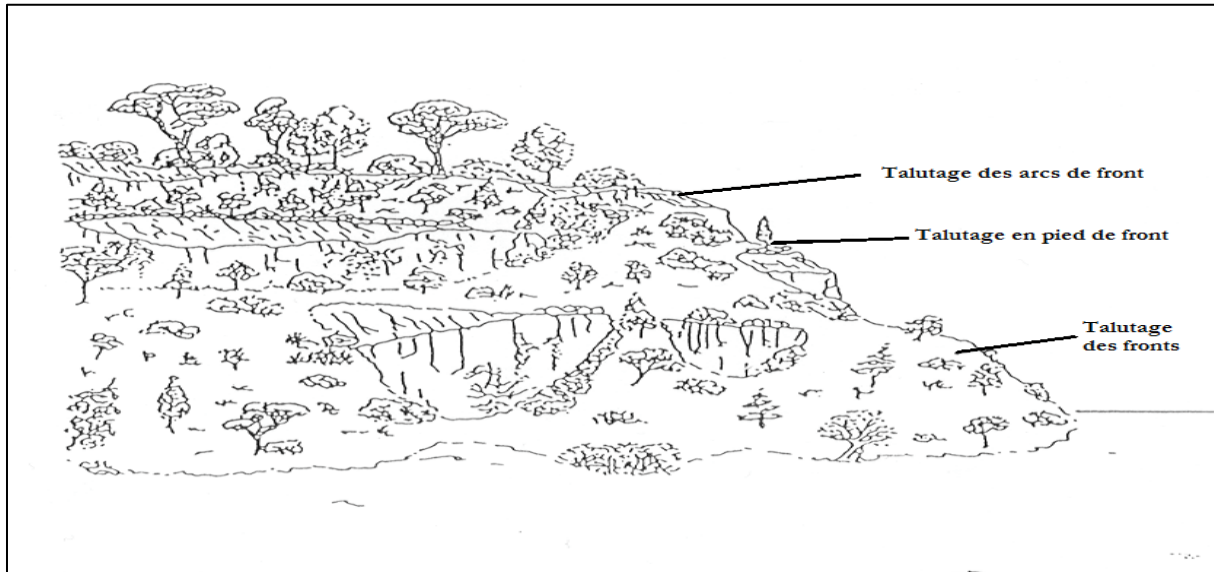


Fig. 78 : Schéma montre une carrière après réaménagement.

VIII.3. Le coût de la remise en état :

On essayera dans cette partie de quantifier et dévaluer avec une planification liée à la remise en état des lieux de la carrière exploitée par l'entreprise.

On précisera que le mode de restauration de la carrière adapté à la situation consiste en :

- Le Nettoyage total du site ;
- La Correction des talus et plates-formes ;
- Le Remblayage des fosses ;
- La plantation des semis au niveau de l'excavation et les arbres sur les talus des gradins et les bordures.

VIII.3.1 Réaménagement des talus et plates-formes :

La restauration de la carrière se fera par un réaménagement des talus et des plates-formes d'exploitation. La hauteur de liquidation de chaque niveau est de 4m avec un angle de talus de 45°. La superficie totale à restaurer est de 109 Hectares (59 Hectares de l'ancien site et 50 Hectares de nouveau site).

VIII.3.2 Correction des plates-formes :

Cette opération nécessite la mobilisation d'un Bulldozer de type D8 ou D9, pendant une durée de 55 jours à raison de 30 000 Da/Jours.

Le cout global de l'opération est de : **1 650 000 Da.**

VIII.3.3 Travaux de remblayage avec terre végétale :

Cette opération fera appel à des chargeurs sur pneus et des camions de transport à benne.

Le total de terre végétale à déplacer est de : **1 144 500 m² × 0.5m = 572 250 m³**

Le nombre de rotations maximales pouvant être effectuées par un camion est de 10. La quantité de terre a déplacée par un camion en une journée est de 190 m³.

La durée de l'opération sera de 120 jours (4 mois) et le nombre de camions nécessaire pour cette opération est de 25.

Le coût des travaux de remblayage est représenté dans le **(Tableau n° 34).**

Tableau n° 34 : Coût des travaux de remblayage			
Opération	Temps en jours	Cout à la journée	Cout global en Da
Location de niveleuse	85	30 000	2 550 000
Location de 2 chargeurs	120	40 000	4 800 000
Location de 25 camions	120	750 000	90 000 000
Total			97 350 000

VIII.3.4 Achats de plantes et semis :

a) Achats des plantes :

La densité arboricole choisie en fonction du terrain, est de 100 arbres par hectares. Pour la superficie utile on aura besoin de 10 900 plants.

L'acquisition des plants avec livraison aura un coût de 550 DA par arbre. Le creusement des fouilles et la mise en terre des plantes coûtera environs 100 DA par plante.

Le coût total des plantes avec la livraison et la plantation est de :
7 085 000 DA

b) Achats des semis :

Le coût de l'achat d'un sac de semis de 25 Kg revient à 4000 Da, la quantité nécessaire par hectare est de 20 Kg.

La quantité utile pour le site est de : $20 \times 109 = 2\,180$ Kg

La quantité des sacs est de : $2\,180 / 25 = 87$ sacs

Le coût d'achat des semis est de : 87×4000 DA = 348 000 Da

Le cout de la plantation des semis est de : $4000 \times 109 = 436\,000$ Da

Le coût total des semis et sa plantation est de : **784 000 DA**

Le coût total des opérations de remise en état est représenté dans le (Tableau n° 35).

Tableau n° 35 : Coût total des opérations de remise en état	
Opération	Coût global en DA
Correction des talus et des plates-formes	1 650 000
Remblayage	97 350 000
Achat de plants + plantation	7 085 000
Achat de semis + plantation	784 000
Total	106 869 000

Le coût global de l'opération de remise en état est de : **106 869 000 DA**

Sachant que Le chiffre d'affaire annuel de l'exploitation de granodiorite à la carrière de SI MUSTAPHA est estimé à **1 050 000 000** Da. Sa production annuelle en granulats est de 1,9 millions tonnes. Et conformément aux dispositions de l'article **09 de la loi minière 14-05 du 24 février 2014**, le taux de provision du compte séquestre est de **2%**.

Le compte séquestre de la société doit être alimenté en moyenne de **21 000 000 DA** chaque année. Et au bout de 5 ans il atteint le coût nécessaire pour la remise en état.

VIII.4. Conclusion

La qualité de la remise en état d'une carrière, c'est-à-dire l'intégration la plus complète possible de l'ancienne excavation dans le milieu environnant, peut s'apprécier au délai que met l'ensemble des êtres vivants (plantes, animaux, humains) à la repeupler.

***CONCLUSION
GENERALE ET
RECOMMENDATIONS***

Conclusion générale

Le présent mémoire nous a permis tout d'abord de mettre en application l'ensemble des connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de notre cursus universitaire. Ensuite et conformément à notre sujet d'étude, nous avons procédé à une prospection de surface de la partie NE de la carrière de Si-Mustapha, et ce, dans le but d'estimer la qualité de la matière primaire destinée pour la production des agrégats. Ce travail a été réalisé en quatre phases :

La première phase, réservée aux travaux de préparation, consistait à la consultation des différents documents relatifs à cette carrière (thèses, cartes, rapports, documents techniques...etc.).

La deuxième phase correspond à la phase de réalisation des travaux de terrain. Ces travaux, qui ont duré près d'un mois, ont été réalisés suite à la convention signée au mois de Mars 2017 entre l'UMMTO et l'ENG.

Durant cette période, nous avons tout d'abord effectué une reconnaissance géologique de la région d'étude représentée par un massif plutonique et de son encaissant. Ce travail a été suivi par des travaux d'échantillonnage indispensable à l'estimation de la qualité de la matière première pour agrégats. En tout, six (06) échantillons de monolithes ont été prélevés.

Parallèlement, nous avons recensé les différents facteurs susceptibles d'avoir un impact négatif sur l'environnement (poussière, déchets, bruits...etc.). Des récipients collecteurs de poussière ont été déposés dans différents endroits de la carrière pour estimer l'accumulation des poussières.

La troisième phase relative aux travaux de laboratoire, a été consacrée aux travaux de laboratoire ; une série d'analyses physico-chimiques et pétrographique a été élaborée. Ce sont : Los-Angeles, Deval, Micro-Deval, Résistance à la compression, masse volumique, analyses chimiques, étude pétrographique, détermination de la teneur en eau. Une détermination de la l'accumulation de la poussière a été effectuée pour le volet environnement.

La quatrième phase correspond au traitement de l'ensemble des résultats d'analyse de laboratoires en les comparant aux normes admises.

Conclusion générale et recommandations

L'étude géologique de la partie NE de la carrière de Si Mustapha montre que la matière première prospectée est généralement conforme aux normes admises pour la production des granulats.

La partie sud-ouest de notre secteur d'étude, représentée par des faciès nettement plutoniques (granodiorite et diorite quartzique), fournirait une meilleure qualité des agrégats. L'analyse qualitative de cette partie du gisement montre que la matière première minérale est d'une très bonne qualité. Par conséquent, elle peut être utilisée pour la production des agrégats destinés au revêtement des routes ainsi que pour la production du béton. Ceci est argumenté par les très bons résultats d'analyses obtenus comparés aux exigences industrielles.

La partie périphérique (Nord-Est) du pluton, représentée en général par des faciès sud-volcaniques de bordure, est caractérisée par des faibles valeurs de la masse volumique ainsi que des valeurs élevées de la porosité et de l'absorption d'eau. Ce qui signifie que cette partie fournirait pour sa part une qualité bonne à moyenne des agrégats qui ne peuvent être employés que pour le revêtement des routes. Les autres résultats d'analyse sont plus que satisfaisant.

Pour le coté environnement et malgré l'absence d'analyses rigoureuses adéquates, l'impact de cette carrière sur l'environnement serait grosso modo négatif sur l'environnement :

- Le taux et la vitesse de sédimentation de la poussière dégagée par cette carrière sont supérieurs à la norme. La poussière émise dépasse de loin la norme française.

- Le second facteur, qui correspond aux différents bruits (Concasseurs, tir d'explosifs), produit un impact négatif sur l'environnement en particulier la fissuration des murs des habitations.

Enfin vient le problème de la gestion des déchets organiques (huiles, gasoil...etc.) susceptibles de polluer les bonnes sources d'eau de cette région.

Enfin, le travail de prospection, mené à bien sur le secteur d'étude, a été bénéfique pour notre formation vu que toutes les phases de prospection géologique de surface et l'estimation de l'impact sur l'environnement ont été réalisées avec succès.

Conclusion générale et recommandations

Recommandations :

Concernant la qualité de la matière première minérale, la partie sud-ouest de notre secteur d'étude, serait vivement recommandée pour un début d'exploitation vue les meilleurs résultats d'analyses qu'elle a fourni. Sa position proximale aux éléments d'infrastructures (accès, station de concassage, station d'énergie) favorise d'avantage son exploitation.

Quant à la partie périphérique du pluton, caractérisée par des résultats moyens, elle peut être utilisée comme une bonne réserve en cas de demande importante en agrégats pour revêtement des routes.

Concernant le volet environnement, pour minimiser l'émission de la poussière dans l'air, on recommande d'utiliser une pluie artificielle lors de l'opération du tir à l'explosif ainsi qu'un arrosage régulier des routes au cours des périodes sèches.

Pour ce qui est des bruits, on ne peut que minimiser la quantité d'explosifs en réduisant le pas d'abatage.

Pour la gestion des déchets organiques, on recommande de prévoir des bacs spéciaux pour la récupération et le stockage de ces déchets

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALVAREZ W., COCOZZA T., & WEZEL F.C. (1974). Fragmentation of the Alpine orogenic belt by micro plat dispersal, *Nature*, n°248, pp. 309-314.

ASKRI H. & BELMECHERI A. & BENRABAH B. & BOUDJEMA A. & BOUMENDJEL K. & DAOUDI M. & DRID A. & GHALEM T. & DOCCA A.M & GHANDRICHE H. & GHOMARI A. & GUELLATI N. KHENNOUS M. & LOUNICI R. & NAILI H. & TAKHERIST D. TERKMANI M., 2009. Géologie de l'Algérie. Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement. 93 p.

BELANTEUR O., 1989 : Pétrologie des roches magmatiques néogènes de Thénia. Thèse de Magister en Sciences de la Terre, USTHB.

BOUILLIN J.P. (1986). Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. *Bull. Soc. Géol. France*, 8(2) 547-558.

CLAUZON G. & RUBINO J.L. (1988). Why proximal areas of Mediterranean Pliocene raise are filled by Gilbert type fan deltas?, *Intern. Workshop Fan Deltas*, Cosenza, pp. 13-14.

DEGIOVANNI A., 1978 : Les formations volcaniques du Cap Djenet. Thèse de Doctorat, USTHB, p 115.

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

DURAND-DELGA M. & Fontboté J.M. 1980. Le cadre structural de la Méditerranée occidentale: *Intern. Geol. Congr. 26th*, C5, 67-85

DURAND-DELGA M. (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Publ. Serv. Géol. Algérie*, n°39, 89-131.

DURAND-DELGA., 1971. Les unités à Mésozoïque métamorphique d'El-Milia à Tèxana (Algérie) et leur cadre structural. *Bulletin de la Société Géologique de France*, (7), XIII, 328- 337, Paris

FICHEUR E., 1895 : Notice explicative de la carte géologique de Menerville.

FLANDRIN J. (1938)- Contribution à l'étude paléontologique du Nummulitique algérien. 2 vol. In-4°, texte: 158 p., 25 fig., Atlas: 15 pl. photos.

FRIZON DE LAMOTTE D., SAINT BEZAR B. & BRACENE R. 2000. The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean. *Tectonics* 19 (4), 740-761.

GELABERT B., SABAT F. & RODRIGUEZ-PEREA A. (2002). A new proposal for the late Cenozoic geodynamic evolution of the western Mediterranean, *Terra Nova*, n°14, pp. 93-100.

GLANGEAUD, L. (1933). Unités paléogéographiques et structurales de l'Atlas méditerranéen (Algérie, Maroc, Tunisie). *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, t. 85, p. 173-220.

GUEGUEN E., DOGLIONI C. & FERNANDEZ M. (1998). On the post-25 Ma geodynamic evolution of the western Mediterranean, *Tectonophysics*, n°298, pp. 259-269.

MAUFFRET A., FRIZON DE LAMOTTE D., LALLEMANT S., GORINI C. & MAILLARD A. (2004). E—W opening of the Algerian Basin (Western Mediterranean), *Terra Nova*, n°16, pp. 257-264.

MAURY R.C., Fourcade S., Coulon, C., El Azzouzi M., Bellon. H., Coutelle A., Ouabadi A., Semroud B., Megartsi, M., Cotten, J., Belanteur O., Louni-Hacini A., Piqué A., Capdevilla R., Hernandez j., Réhault J.P., 2000. Post-collisional neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: consequence of a slab breakoff. *Compte rendu de l'académie des sciences. Paris, Série IIa*, 331 : 159-173.

MICHARD A., CHALOUAN A., FEINBERG H., GOFFE B. & MONTIGNY R.N (2002). How does the Alpine belt end between Spain and Morocco?. *Bull. Soc. Géol. France*, n°173 (1), pp. 3-15.

MURAOUR P. (1956) - Etude des terrains tertiaires de la région Dellys-Tizi-Ouzou- Ménerville. 383 p., 71 fig., 10 pl., 33 photos.

ROCA E., FRIZON DE LAMOTTE D., MAUFFRET A., BRACENE R., VERGES J., BENAOUALI N., FERNANDEZ M., MUOZ J.A., & ZEYEN H. (2004)-TRANSMED Transect li, in *The TRANSMED Atlas – The Mediterranean region from crusi 10 manile*, edited by W. Cavazza, F. Roure, W. Spakman, G.M. Stampfli, and P.A. Ziegler, Springer, Berlin Heidelberg.

ROSENBAUM G., LISTER G.S. & DUBOZ C. (2002). Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. In: Rosenbaum, G., Lister, G.S. (Eds.), *Reconstruction of the evolution of the Alpine–Himalayan orogen: Journal of the Virtual Explorer*, 7, pp. 107–130.

SBAA A (2006) : Rapport final sur la cartographie géologique et inventaire minéral de la feuille au 1/200.000 de Tizi Ouzou (ORGM, Rapport interne inédit)

SPAKMAN W. & WORTEL R. (2004). TRANSMED Transect II. A tomographic view on Western Mediterranean geodynamics, in The TRANSMED Atlas -The Mediterranean region from crust to mantle, edited by W. Cavazza, F. Roure, W. Spakman, G.M. Stampfli, and P.A. Ziegler, Springer, Berlin Heidelberg.

VERGES J. & SABAT F. (1999). Constraints on the Western Mediterranean kinematics evolution along a 1000 km transect from Iberia to Africa, in: The Mediterranean basin: Tertiary extensions within the Alpine orogen. Geol. Soc. Spec. Publi., n°156, pp.63-80.

VESNINE.A (1978) : Rapport de recherches géologiques sur la région de Tizi Ouzou (Rapport interne inédit : SONAREM 1978)

Wildi W. (1983). La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. géog. Phys., (24), 3, pp 201-297.

LISTES DES FIGURES

Chapitre I : Généralités

Fig.01: Localisation géographique du patrimoine minier de l'ENG (Extrait de rapport Géologique du Gisement de Si Mustapha., 2015).....	3
Fig.02 : Situation géographique de la zone d'étude.....	4
Fig.03: Réseau hydrographique de la région de Si-Mustapha et ses environs (Extrait de rapport Géologique du Gisement de Si Mustapha., 2015).....	6

Chapitre II: Géologie régionale

Fig.04 : Carte géologique de l'Algérie, (Askri H. & al. 2009).....	7
Fig.05 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides et position structurale des différentes unités telliennes (Modifiés d'après Durand-Delga, 1969)	8
Fig.06 : Schéma structural de l'édifice alpin dans le cadre méditerranéen occidentale, d'après (Durand Delgad, 1980)	9
Fig.07 : Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides	11
Fig.08 : Scénario d'évolution de la Méditerranée Occidentale sur un transect NNO/SSE allant des Baléares à la plate-forme saharienne (FRIZON DE LAMOTTE et al., 2000).....	15
Fig. 09 : Position et âge des formations magmatiques récentes du littoral Algérien (Rosenbaum et al., 2002)	16

Chapitre III: Géologie locale

Fig.10 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la région de Thénia (Ménerville) n° 22 (Ficheur 1895).....	17
--	----

Chapitre IV: Géologie de gisement

Fig.11 : Situation géographique du gisement d'agrégat de Si-Mustapha (Extrait de la carte topographique de la feuille de Bordj Menaiel NJ-31.IV.41 Ouest à l'échelle 1/ 25 000, INC).	23
Fig. 12 : Photos montrant l'importance des dépôts quaternaires.....	23
Fig. 13 : Photo montrant la discordance Quaternaire - tufs miocènes.....	24
Fig. 14 : Photo montrant la formation volcano- sédimentaire et les brèches du Miocène de secteur d'étude.....	24
Fig. 15 : Contact normal des tufs avec les dacites de la formation volcano-sédimentaire.	25
Fig. 16 : Photo montrant des sills dans la formation volcano-sédimentaire	25
Fig. 17 : Extrusions rhyolitiques dans le secteur d'étude.....	26
Fig. 18 : Vue aérienne du l'extrusion rhyolitique (image Google Earth)	26
Fig. 19 : Affleurement des granodiorite dans le secteur d'étude	27
Fig. 20 : Photo montrant deux systèmes de fractures.....	28
Fig.21 : Photo montrant la présence d'une faille sub-verticale dans les formations volcano-sédimentaire	28
Fig. 22 : Carte géologique du secteur d'étude	30

Chapitre V: Matériels et méthodes

Fig. 23 : Le GPS utilisé.	31
Fig. 24 : Une masse de 10 kg.....	31
Fig. 25 : Appareil permettant de mesurer le Micro-Deval.....	32
Fig. 26 : Appareil permettant de mesurer le Deva.....	33
Fig. 27 : Un appareil Los Angeles.....	34
Fig. 28 : Eprouvettes d'essai	34
Fig. 29 : Appareil de compression	34
Fig. 30 : Un Bain-marie « Memmert » et un voluméno-	

« <i>Le Chatelier</i> »	36
Fig. 31 : Une balance hydrostatique.....	37
Fig. 32 : Une balance.....	37
Fig. 33 : Une étuve de séchage.....	37
Fig. 34 : Un spectromètre de fluorescence X.	38
Fig. 35 : Un microscope polarisant	39
Fig. 36 : Une tamiseuse électrique	40
Fig. 37 : Une balance.....	40

Chapitre VI: Résultats obtenus et interprétations

Fig.38 : Profils d'observations géologiques et d'échantillonnage	41
Fig.39 : Photos montrent la structure macroscopique des roches volcanique	42
Fig.40 : Photos montrent la structure macroscopique de granodiorite	43
Fig.41 : Photos montrent la structure macroscopique de diorite quartzique	43
Fig.42 : Carte représente les différents faciès de secteur d'étude	44
Fig.43 : Photos montrent des accidents tectoniques	44
Fig.44 : Photo montrant les joints de refroidissement au NE du pluton ...	45
Fig.45 : Image Google Earth avec lieux d'échantillonnages des monolithes.	46
Fig.46 : Carte topographique de la zone d'étude avec points d'échantillonnages.....	46
Fig.47 : Photos montrent la mésostase en LPA et en LPNA	52
Fig.48 : Un phénocrystal de quartz en LPA et LPNA	52
Fig.49 : Photo montre un Plagioclase zoné en LPA et en LPNA.....	53
Fig.50 : Un feldspath potassique associé à une biotite en LPA et LPNA....	53
Fig.51 : Photos montrent une biotite très altérée en LPA et en LPNA.....	54

Fig.52 : Photos montrent des cristaux de biotites isolées en LPA et en LPNA	54
Fig.53 : Photo montre l'abondance des plagioclases dans la structure des roches	55
Fig.54 : Photo de l'inclusion des minéraux opaques au centre d'un plagioclase zoné	55
Fig.55 : Photo d'un quartz cimente tous les minéraux	56
Fig.56 : Photo d'un Amphibole en LPA et en LPNA.....	56
Fig.57 : Photo d'un Orthose en macle Carlsbad	57
Fig.58 : Photo montre une inclusion de zircon dans la biotite.....	57
Fig. 59 : Photo montre le minéral de sphène en LPA et en LPNA	58
Fig. 60 : Carte des différentes qualités des agrégats de gisement	67

Chapitre VII: impact sur l'environnement

Fig. 61 : Carburant et des huiles usagés déversés sur le sol.....	72
Fig. 62 : Pollution atmosphérique générée par les tirs à l'explosif	73
Fig. 63 : Pollution atmosphérique inhérente la circulation des camions... 73	
Fig. 64 : Pollution de sol par des rejets divers (huiles et acier...)	75
Fig. 65 : L'accumulation de la poussière sur la végétation.....	77
Fig. 66 : Déboisement au niveau de la carrière.....	77
Fig. 67 : Stockage de stérile sur la végétation	78
Fig. 68 : Stockage anarchique des déchets	78
Fig. 69 : Déchets divers (des filtres à gasoil, des pneus...)	81
Fig. 70 : Carte d'échantillonnage de la poussière.....	90
Fig. 71 : Rose des vents de la région d'étude	91
Fig. 72 : Graphe montrant les variations granulométriques des échantillons de poussières	93

Chapitre VIII : Plan de remise en état

Fig. 73: Schéma montre un front de taille à la fin de l'exploitation.....	101
Fig. 74: Schéma montre un écrêtement de front de taille.....	101
Fig. 75: Schéma montre un profilage de fond de taille par stériles après éboulis	101
Fig. 76: Schéma de réaménagement mixte après exploitation	102
Fig. 77 : Schéma montre une carrière après exploitation, sans réaménagement.....	103
Fig. 78 : Schéma montre une carrière après réaménagement	104

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau n° 01 : Les coordonnées <i>UTM</i> fuseau des périmètres de gisement (Plan de calcul de réserves, 2009)	22
Tableau n° 02 : La lithologie de gisement (extrait de rapport sur les travaux géologiques effectués et les résultats obtenus)	29
Tableau n° 03: Coordonnées <i>UTM</i> des points de prélèvement échantillons.	46
Tableau n° 04 : Résultats des essais los-angles.....	48
Tableau n° 05 : Résultats d'essai Deval.....	48
Tableau n° 06 : Résultats d'essai micro- Deval	49
Tableau n° 07 : Résultats de la résistance à la compression	49
Tableau n° 08 : Résultats de la masse volumique	50
Tableau n° 09 : Résultats d'analyses d'humidité	50
Tableau n° 10 : Résultats d'analyses chimiques	51
Tableau n° 11 : Résultats de l'étude pétrographique des échantillons	58
Tableau n° 12 : Les exigences industrielles pour agrégats	59
Tableau n° 13 : Résultats des essais los-angles selon les faciès	60
Tableau n° 14 : Résultats d'essai Deval selon les faciès	61
Tableau n° 15 : Résultats d'essai micro- Deval selon les faciès	61
Tableau n°16: Résultats de la résistance à la compression selon les faciès	62
Tableau n° 17 : Résultats de la masse volumique selon les faciès	63
Tableau n° 18 : Résultats d'analyses d'humidité selon les faciès	63
Tableau n° 19 : Résultats des analyses et exigences industrielles pour les agrégats	65
Tableau n° 20 : Moyennes mensuelles des précipitations (en mm) pendant la période (1996-2016)	69
Tableau n° 21 : Moyennes mensuelles des températures moyennes (en °C) pendant la période (1996-2016)	69

Tableau n° 22 : Moyennes mensuelles des températures minimales (en °C) pendant la période (1996-2016)	70
Tableau n° 23 : Moyennes mensuelles des températures maximales (en °C) pendant la période (1996-2016)	70
Tableau n° 24 : Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air (en %) pendant la période (1996-2016)	70
Tableau n° 25 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen (en m/s) pendant la période (1996-2016)	70
Tableau n° 26 : Vitesse de chute des particules d'une masse volumique de (1 g/cm ³) (INERIS 2001).	88
Tableau n° 27 : résultats obtenue de l'analyse des retombées atmosphériques.....	90
Tableau n° 28 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à la station de concassage.	92
Tableau n° 29 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à l'accès principal (carrière-concasseur).....	92
Tableau n° 30 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé au site de stockage.	92
Tableau n° 31 : Résultat d'analyse granulométrique de la poussière prélevé à l'entrée de la carrière	93
Tableau n° 32 : Tableau des textures des échantillons de poussière prélevés dans la carrière de SI MUSTAPHA.	94
Tableau n° 33 : Récapitulatif des effets et des mesures proposées	98
Tableau n° 34 : Coût des travaux de remblayage.....	105
Tableau n° 35 : Coût total des opérations de remise en état	106

LISTE DES ABRIVIATION

ENG : Entreprise Nationale des Granulats.

CETIM: Centre d'Etude et des Services Technologiques de l'industrie de Matériaux de construction.

UMMTO : Université MOULOUD Mammeri Tizi-Ouzou.

MANAL : Manadjim d'Algérie.

SONATRO : Société Nationale de Grands Travaux Routiers.

SM : Code des échantillons (Si Mustapha).

LPA : Lumière polarisée analysée.

LPNA : Lumière polarisée non analysée.

Qtz : Quartz.

Pl : Plagioclase.

Ort : Orthose.

Amp : Amphibole.

MDE : Micro-deval.

DH : Coefficient Deval a l'état Humide.

MV_R : Masse volumique réelle.

% : Pourcentage.

mm : Millimètre.

g : Gramme.

KN : Kilo Néotène.

Mpa : Méga pascal.

t/m³ : Tonne par mètre cube.

g/cm³ : Gramme par centimètre cube.

SiO₂: Dioxyde de silicium.

Al₂O₃: Oxyde d'alumine.

Fe₂O₃: Oxyde de fer.

CaO : Oxyde de calcium.

MgO : Oxyde de magnésium.

SO₃: Trioxyde de soufre.

K₂O: Oxyde de potassium.

Na₂O: Oxyde de sodium.

P₂O₅: Pentoxyde de phosphore.

TiO₂: Dioxyde de titane.

BaO: Oxyde de baryum.

Rb₂O: Oxyde de Rubidium.

MnO: Oxyde de manganèse.

PF: Perte au feu.