



Faculté des Sciences de la Terre
Département des Mines

T H E S E

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
Option : Valorisation des Ressources Minérales

**Caractérisation des matériaux de construction et
impact de la préparation mécanique sur
l'environnement : Cas du gisement de granite de Kef
Bouacida-Annaba, Algérie**

Par **BOUTEMEDJET Assia**
Soutenue le 16/06/2019

Devant le jury :

Président :	HAFSSAOUI Abdallah	Pr	Université Badji Mokhtar-Annaba
Rapporteur :	BOUNOUALA Mohamed	Pr	Université Badji Mokhtar-Annaba
Examineurs :	IDRES Abdelaziz	Pr	Université Badji Mokhtar-Annaba
	DERAMCHI Karima	Pr	ENP El-Harrach - Alger
	BOUKEROUI Hamid	MCA	Université A. Mira – Béjaia
	BOUZIDI Nadjima	MCA	Université A. Mira – Béjaia

TABLE DES MATIERES

TABLE DE MATIERES.....	i
RESUME.....	v
ABSTRACT.....	vi
ملخص.....	vii
REMERCIEMENTS	viii
DEDICACES	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
SYMBOLES ET ABREVIATIONS	xiv
INTRODUCTION GENERALE.....	xv

CHAPITRE I : ANALYSE DE LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR LES GRANITES ; ORIGINE, FORMATION ET UTILISATION 1

I.1	INTRODUCTION.....	1
I.2	UTILISATION DU GRANITE	2
I.3	PRODUCTION MONDIALE DE GRANITE	3
I.4	LOCALISATION DES GRANITES.....	4
I.5	MINERAUX	5
I.5.1	Quartz.....	6
I.5.2	Feldspaths	10
I.5.3	Micas.....	11
I.6	ASPECT DU GRANITE	13
I.6.1	Couleur de granite.....	13
I.6.2	Texture de Granite	13
I.6.3	Enclaves.....	14
I.7	FORMATION ET GENESE DE GRANITES	14
I.7.1	Une roche plutonique.....	15
I.7.2	Mécanismes de formation d'un granite	16
I.8	CLASSIFICATION MINERALOGIQUE ET CHIMIE DES MAGMAS	18
I.8.1	Chimie de base des granites.....	18
I.8.2	Classification de l'IUGS.....	19
I.8.3	Classification SIMA	20
I.8.4	Classification géodynamique.....	21
I.9	EROSION ET ALTERATION	22
I.9.1	Fracturation.....	22
I.9.2	Altération	22
I.9.3	Chaos et arènes granitiques.....	23
I.10	CONCLUSION	24

CHAPITRE II : APPRECIATION DES CONDITIONS GEOLOGIQUE DU GISEMENT DE KEF BOUACIDA, ET ASPECT PHYSIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 25

II.1	INTRODUCTION.....	25
II.2	CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL	26
II.2.1	Le socle de l'Edough	26
II.2.2	Le complexe cristallophyllien.....	29
II.2.3	Les terrains sédimentaires.....	31

II.2.4	Les flyschs ou grès numidiens	33
II.2.5	Les flyschs sénoniens.....	33
II.2.6	Le Mio-Pliocène	33
II.2.7	Quaternaire.....	33
II.3	TECTONIQUE ET STRUCTURE DU MASSIF DE L'ÉDOUGH	34
II.3.1	Déformations synmétamorphiques	34
II.3.2	Déformations tardives.....	34
II.4	MINÉRALISATIONS DU MASSIF DE L'ÉDOUGH.....	35
II.5	INFLUENCE DE LA FRACTURATION ET DE L'ALTERATION	35
II.5.1	La tectonique cassante	35
II.5.2	L'altération superficielle du socle	36
II.6	SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET PHYSIQUE DU MASSIF DE L'ÉDOUGH.....	36
II.6.1	Situation géographique	36
II.6.2	Présentation de l'exploitation	36
II.6.3	Aperçu physique	37
II.6.4	Aspect économique et infrastructure	39
II.6.5	Géomorphologie	40
II.6.6	Climatologie.....	40
II.6.7	Infrastructure.....	42
II.6.8	Réseau aéroportuaire.....	44
II.7	CONDITIONS D'EXPLOITATION DE LA CARRIÈRE DE GRANULAT KEF BOUACIDA	45
II.7.1	Méthode d'extraction	45
II.7.2	L'Ouverture des accès	45
II.7.3	L'Abattage à l'explosif.....	46
II.7.4	Traitement des matériaux.....	47
II.8	LES ASPECTS HYGIÈNES ET SÉCURITÉS	53
II.8.1	Sécurité au front de taille,	53
II.8.2	Sécurité des moyens roulants.....	53
II.8.3	Sécurité des installations fixes	53
II.8.4	Protection individuelle	53
II.8.5	Hygiène individuelle et collective	53
II.9	IMPACT DE L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES DE GRANITE GÉNÉRATRICES DE POUSSIÈRES.....	53
II.9.1	Impacts sur l'environnement	54
II.9.2	Mesures d'atténuation et de compensation des impacts (Santé et sécurité)	56
II.10	RECOMMANDATIONS UTILES EN MATIÈRE D'EXPLOITATION DE CARRIÈRE À CIEL OUVERT.....	57
II.10.1	Fin des travaux d'exploitation et remise en état des lieux	57
II.10.2	Abandon ou cessation d'activité d'exploitation.....	57
II.10.3	Autres recommandations	57
II.11	CONCLUSION	58
 CHAPITRE III : ANALYSE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ; QUALITÉ DE L'AIR ET NORMALISATION		59
III.1	INTRODUCTION.....	59
III.2	DÉFINITION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.....	59
III.3	STRUCTURE DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE	60
III.3.1	La biosphère.....	60
III.3.2	La troposphère	60
III.3.3	La stratosphère	60
III.4	COMPOSITION DE L'AIR	61
III.5	ÉMETTEURS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE	62
III.5.1	Emissions anthropiques	62
III.6	PARTICULES EN SUSPENSION PM	63
III.7	HYDROCARBURES NON METHANIQUES DITS NMHC (NON METHANIC HYDROCARBONS).....	64

III.7.1	Polluants secondaires	64
III.7.2	Emissions naturelles	65
III.8	DIFFERENTES ECHELLES DE LA POLLUTION DE L' AIR	66
III.9	HYDROCARBURES NON METHANQUES DITS NMHC (NON METHANIC HYDROCARBONS).....	66
III.9.1	Echelle locale	66
III.9.2	Echelle régionale.....	67
III.9.3	Echelle globale.....	67
III.10	INFLUENCE METEOROLOGIQUE SUR LA QUALITE DE L' AIR	67
III.10.1	Influence du vent	68
III.10.2	Influence de la chaleur et de la lumière	68
III.10.3	Influence des pluies	68
III.10.4	Influence de la couche d'inversion	68
III.11	EFFET DES POLLUANTS SUR LA SANTE.....	69
III.11.1	Types d'exposition.....	69
III.11.2	Principaux polluants	69
III.12	EFFET DES POLLUANTS SUR LA FAUNE ET LA FLORE.....	70
III.13	REGLEMENTATION	71
III.13.1	Normes Européennes	72
III.13.2	Recommandations de l'O.M.S.....	72
III.13.3	Normes de qualité de l'air en Algérie.....	73
III.14	CONCLUSION	75
 CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES ; CARACTERISATION DU MATERIAU, ANALYSE ET EVALUATION DE LA POLLUTION DE LA POUSSIERE		76
IV.1	INTRODUCTION.....	76
IV.2	MATERIELS ET METHODES.....	76
IV.2.1	Caractérisation physico-chimique des échantillons de granite	76
IV.3	ESSAIS D'IDENTIFICATION MINERALOGIQUE PAR LAME MINCE	77
IV.3.1	Le sciage de la roche.....	78
IV.3.2	Le collage sur lame de verre	78
IV.3.3	La réalisation d'une lame mince.....	78
IV.4	LA COMPOSITION MINERALOGIQUE DU GRANITE DE KEF BOUACIDA.....	80
IV.5	COMPOSITION CHIMIQUE DU GRANITE.....	81
IV.5.1	Détermination de la composition chimique par le FRX	81
IV.5.2	Analyse minéralogique par DRX.....	83
IV.5.3	Composition minéralogique de Granite étudié	84
IV.6	PROPRIETES PHYSICO-MECANQUES DU GRANITE.....	85
IV.6.1	Essai de compression	85
IV.6.2	Résistance à l'usure	87
IV.6.3	Essai Micro-Deval (Norme NFP 18-573).....	87
IV.6.4	Essai Los Angeles (Norme NFP 18-573)	88
IV.6.5	Essai de la porosité (Norme NF P94-410-3).....	89
IV.6.6	Essai de la masse volumique.....	89
IV.6.7	Essai de la densité	90
IV.6.8	Essai d'absorption d'eau	90
IV.6.9	Essais de broyabilité	90
IV.6.10	Essai de la propreté superficielle	90
IV.6.11	Recherche des éléments radioactives.....	91
IV.7	ETUDE DES EMISSIONS DES POUSSIERS A LA CARRIERE DE GRANITE DE KEF BOUACIDA	92
IV.8	DEFINITION ET ORIGINE DES AEROSOLS.....	92
IV.9	DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES MESURES DANS LA CARRIERE.....	93
IV.9.1	Températures	94
IV.9.2	Précipitation	94

IV.9.3 Humidité relative	95
IV.9.4 Les vents	95
IV.10 ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE POUSSIERE.....	96
IV.11 RESULTATS ET DISCUSSIONS	97
IV.11.1 Réseau de surveillance.....	98
IV.11.2 Evolution des concentrations de poussières.....	99
IV.11.3 Analyse de l'état initial de la zone d'étude.....	102
IV.12 CONCLUSION GENERALE	106
REFERENCES	109

Résumé

Le massif de l'Edough situé au nord de l'Algérie (Wilaya de Annaba) est un socle métamorphique polycyclique recouvert par une couverture tectonique méso-cénozoïque et recoupé par des roches magmatiques diverses. En aval du Mont de l'Edough se trouve la carrière d'agrégats du Kef Bouacida situé dans la wilaya d'Annaba, qui exploite des matériaux naturels de granite (granodiorite).

Pour mieux cerner les caractéristiques naturelles de la roche granitique et atteindre les objectifs recherchés par cette étude, des échantillons représentatifs sont prélevés dans le site puis ils sont soumis à des observations sous microscopie polarisante et à la diffraction des rayons X ainsi qu'à des essais géotechniques.

Suite à l'étude minéralogique des lames minces, les minéraux identifiés sont le quartz, les plagioclases, la muscovite à côté de la biotite, l'amphibole et du feldspath potassique. La roche mise à l'analyse microscopique est un granite gris à cristaux de feldspath noir et de mica blanc.

En outre, des travaux de recherche ont été menés sur la caractérisation physico-chimique et l'analyse des aéro-particules de matériaux de construction (granulats) générés par la station de concassage - criblage qui sont déposées par gravité autour de la carrière. Pour se faire, sept (7) stations de prélèvement ont été positionnées tout autour de la carrière pour mesurer de façon continue l'évolution de la quantité et de l'émission des particules en sédimentation.

Selon les résultats obtenus, la zone la plus sensible se situe à proximité de la station de concassage - criblage qui révèle une concentration significative de poussières de $2.74 \text{ g/m}^2/\text{jour}$ (soit $83.34 \text{ g/m}^2/\text{mois}$) alors que le seuil toléré par la norme AFNOR ne dépassant $1 \text{ g/m}^2/\text{jour}$ (soit $30 \text{ g/m}^2/\text{mois}$). Pour résoudre ces nuisances, l'entreprise minière doit disposer d'un équipement pour réduire les émissions de poussières ayant un impact direct sur la santé humaine (pneumoconiose, silicose) et d'une composition granulométrique de taille inférieure à 3mm).

Mots clés : Algérie, Kef Bouacida, Carrière de granulats, Préparation mécanique, Caractérisation, Environnement.

Abstract

The Edough Massif in northern Algeria (Wilaya of Annaba) is a polycyclic metamorphic basement covered by Meso-Cenozoic tectonic cover and intersected by various magmatic rocks. Downstream from Edough Mountain is the aggregate quarry of Kef Bouacida located in the wilayas of Annaba, which exploits natural granite (Granodiorite) materials.

To better understand the natural characteristics of granite rock and achieve the objectives sought by this study; representative samples are taken from the site and then subjected to polarizing and X-ray diffraction observations and geotechnical testing.

Following the mineralogical study of thin sections, the identified minerals are quartz, plagioclase; muscovite next to biotite; amphibole and potash feldspar. The rock being microscopically analysed is gray granite with black feldspar crystals and white mica.

In addition, research work was conducted on the sampling and analysis of aero-particles generated by the crushing station - gravity-deposited screening around the quarry. To this end, seven (07) sampling stations were positioned all around the quarry to measure continuously the evolution of the quantity and emission of sedimentation particles.

According to the results obtained the most sensitive zone is located near the crushing station - screening which reveals a significant dust concentration of 2.74 g/m²/day (is 83.34 g/m²/month) whereas the threshold tolerated by the AFNOR standard not exceeding 1 g/m²/day (is 30 g/m²/month). To solve this problem, the mining company must deposit equipment to reduce dust emissions that have a direct impact on human health (pneumoconiosis, silicosis), especially gravel (diameters less than 3 mm).

Keywords: *Algeria, Kef-Bouacida, Aggregate quarry, Mechanical preparation, characterization, Environment,*

ملخص

جبل إيدوغ في شمال الجزائر (عنابة ولاية) عبارة عن قبو متعدد الحلقات متعدد الطبقات مغطى بغطاء تكتوني من طراز ميزو- سينوزويك ويتقاطع مع صخور صخرية متنوعة. يقع مجرى كاف بوعصيدة في مجرى النهر من جبل الايدوغ في ولاية عنابة ، حيث يستغل مواد الجرانيت الطبيعية (جرانوديوريت).

ولتحقيق فهم أفضل للخصائص الطبيعية لصخور الجرانيت وتحقيق الأهداف التي تسعى إليها هذه الدراسة ، يتم أخذ عينات من الموقع وتخضع للمراقبة تحت المجهر المستقطب وحيود الأشعة السينية والاختبارات الجيوتقنية.

بعد دراسة معدنية للأقسام الرقيقة ، فإن المعادن المحددة هي الكوارتز ، البلاجيوكليز ، المسكوفيت إلى جانب البيوتايت ، أمفيبول والفلدسبار البوتاسي. الصخر الذي يتم تحليله مجهريا هو الجرانيت الرمادي مع بلورات الفلدسبار الأسود والميكا البيضاء.

بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء أبحاث على أخذ العينات وتحليل الجزيئات الهوائية الناتجة عن محطة التكسير - المسح المدقق بالجاذبية حول المحجر. ولهذه الغاية ، تم وضع سبع (07) محطات لأخذ العينات في جميع أنحاء المحجر لقياس مستمر لتطور كمية وانبعثات جسيمات الترسيب. وبناء على نتائج من أكثر المناطق الحساسة يقع بالقرب من الكسارة - فحص يكشف عن تركيز كبير من الغبار من 2.74 جم / م² / يوم (83.34 جم / م² / شهر) في حين أن عتبة التسامح من قبل لا يتجاوز معيار 1 AFNOR جم / م² / يوم (أي 30 جم / م² / شهر). لحل هذه المشكلة ، يجب على شركة التعدين إيداع معدات لخفض انبعثات الغبار التي لها تأثير مباشر على صحة الإنسان (تضييق الرئة ، السيليكيا) ، وخاصة الحصى (أقطار أقل من 3 ملم).

الكلمات المفتاحية: الجزائر ، الكاف بوعصيدة ، محجرة الحصى ، الإعداد الميكانيكي ، التوصيف ، البيئة

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier vivement le professeur BOUNOUALA Mohamed Directeur du laboratoire de Valorisation des Ressources Minières et Environnement, pour m'avoir dirigé durant toutes ces années de recherche sans autant oublier ses précieuses orientations et ses conseils fructueux.

Un grand merci au jury de soutenance :

- Au Professeur HAFSAOUI Abdellah qui m'a fait l'honneur de présider ce jury ;
- Au Professeur IDRES Abdelaziz pour son accompagnement malgré ses occupations.
- Au professeure DERAMCHI Karima de l'E.N.P Alger, membre examinateur de ce jury ;
- Au Docteur BOUKEROUI Hamid et BOUZIDI Nedjima de l'Université A. Mira de Béjaia, membres examinateurs de ce jury.
- Mes remerciements vont aux enseignants du département de génie minier, et plus particulièrement à professeur CHETTIBI Mohamed qui a allégé ma charge pédagogique afin que je puisse avoir plus de temps pour la réalisation de ma thèse de doctorat.

Je n'oublierais pas d'adresser mes remerciements à Mme le Professeur HADJ ZOUBIR Soraya de département de géologie à l'université Badji Mokhtar Annaba, qui a accepté d'examiner mes échantillons pour l'étude minéralogique, ainsi que Mr. ALEM Jaafer le responsable de l'atelier des lames minces pour la confection et le polissage des lames minces de très bonne qualité en un temps record.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- A mes parents ;
- A mon mari Zohir ;
- A mes frères et sœurs Farid, Lynda, Nawel, Amel, Iyes et Rafik ;
 - A mes enfants Rima, Ferial, Yasmine et Islam ;
 - A mes amis et ma grande famille.

Liste des Figures

N° Figure	Nom de figure	N° de page
01	<i>Classification des roches Plutoniques (F. Debon 1983)</i>	02
02	<i>Monument les muses (Robert Ledoux et Henri-Louis Jacob 2013)</i>	03
03	<i>Pourcentage par pays des importations de granit par les États-Unis en 2013 (Dolley, 2015)</i>	05
04	<i>Groupe fondamental des silicates (Geopolymer Institute 2018)</i>	06
05	<i>Forme d'un cristal de Quartz (Les Chroniques d'Arcturius 2018)</i>	07
06	<i>Liaison directe entre tétraèdres fondamentaux (Geopolymer Institute 2018)</i>	07
07	<i>Différents forme de quartz en fonction de la température et la pression (A. Pêcher 1984)</i>	08
08	<i>Structure cristalline du quartz (Slideplayer 2018)</i>	09
09	<i>Type de Feldspaths (Andrew Wickert, Eurico Zimbres)</i>	11
10	<i>Crystal de Muscovite (R. Lavinsky 2007)</i>	12
11	<i>La biotite (F. Kruijen 2016)</i>	13
12	<i>Exemples de granites de couleurs différentes</i>	13
13	<i>Le Granite (Bianco Atlantico2018)</i>	14
14	<i>Le Granites orbiculaires (CC-BY-SA 2.0, auteur brewbooks, USA Disponible sur wikicommons)</i>	15
15	<i>Classification d'une partie des roches magmatiques plutoniques (D Thiéblemont 1994)</i>	20
16	<i>Chaos granitique (Hansueli Krapf. Licence CC-BY-SA 3.0)</i>	24
17	<i>Carte géologique de massif de l'Edough (J.M. Vila 1970)</i>	29
18	<i>Vue 3D du massif de L'Edough (docplayer.fr)</i>	30
19	<i>Colonne Lithologique du massif de l'Edough (Aissa D. E, 1985)</i>	33
20	<i>Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2018)</i>	39
21	<i>Plan de situation Géographique de la zone d'étude (docplayer.fr)</i>	40
22	<i>La chaine montagneuse Edough (la ville de Seraidi)</i>	42
23	<i>Double voie Annaba-Berrahal, 30km de long</i>	43

24	<i>La gare ferroviaire d'Annaba</i>	44
25	<i>Vue générale du port maritime d'Annaba</i>	45
26	<i>Défrichement des terrains et à l'aménagement des pistes (OHL-Infrarail 2010)</i>	46
27	<i>Ouverture des accès (OHL-Infrarail 2010)</i>	47
28	<i>Chariot de forage</i>	48
29	<i>Courbe granulométrique du ballast et sous Ballast</i>	41
30	<i>Chargement de la charge abattue Dumper de carrière 25t (OHL-Infrarail 2010)</i>	52
31	<i>Stockage de produit fini (OHL-Infrarail 2010)</i>	52
32	<i>Le concasseur primaire (Concasseur a mâchoire) (OHL-Infrarail 2010)</i>	53
33	<i>Camions pour le transport et pont bascule (OHL-Infrarail 2010)</i>	53
34	<i>Structure de l'atmosphère terrestre (R. Barbault 2008 – Dunod)</i>	62
35	<i>Composition de l'air (D Brion 1980)</i>	63
36	<i>Sources des poussières (AIR PACA 2015)</i>	64
37	<i>Taille et types des particules atmosphériques (<u>Christophe Magdelaine</u>)</i>	65
38	<i>Les différentes sources dans les émissions de PM10 primaires (F Chevrier 2016)</i>	66
39	<i>Echelles de la pollution de l'air (C. Ronneau 2013)</i>	67
40	<i>Impact de la pollution sur les écosystèmes (R. Amara 2010)</i>	71
41	<i>Les seuils d'alerte sont fixés selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules (Décret exécutif n° 06-02, 2006)</i>	75
42	<i>Prélèvement des échantillons par carottage (OHL-Infrarail 2007)</i>	78
43	<i>Vue macroscopique du granite de Kef Bouacida Djebel Edough (N.E. Algérie)</i>	78
44	<i>Sciage de la roche (les minéraux.free.fr)</i>	79
45	<i>Collage de la roche sciée sur la lame de verre (les minéraux.free.fr)</i>	80
46	<i>Amincir la section de l'échantillon par usure sur disque d'abrasifs (les minéraux.free.fr)</i>	80
47	<i>Vues microscopique des lames minces de granit</i>	81

48	<i>Exemple d'un spectre en énergie du rayonnement fluorescent d'un échantillon</i> (V. Thirion-Merle 2013)	83
49	<i>Spectromètre de diffraction des rayons X</i>	85
50	<i>Diagrammes de diffraction par rayon X de Granite</i>	85
51	<i>Appareil d'essais de compression (fr.wikipedia.org)</i>	87
52	<i>La machine de Micro-Deval (LTPE Annaba)</i>	88
53	<i>Appareil de Los Angeles (LTPE Annaba)</i>	89
54	<i>Taille des particules fines et des aérosols (WordPress 2016)</i>	94
55	<i>Analyse des températures annuelles</i>	95
56	<i>Mesures de la précipitation</i>	96
57	<i>Evolution de l'Humidité pendant l'année 2017</i>	96
58	<i>Mesure de la vitesse du vent durant l'année 2017</i>	97
59	<i>Distribution granulométrique des particules de poussières</i>	98
60	<i>Fréquence représentative des vents tri-horaires durant les mois de juillet, septembre et octobre</i>	99
61	<i>Plaquette métallique pour la collecte des poussières</i>	100
62	<i>La distribution mensuelle et journalière de la poussière</i>	101
63	<i>Localisation des points de prélèvement dans la carrière et station de concassage</i>	102
64	<i>Évolution du niveau d'empoussièrement des sept zones de prélèvement</i>	103
65	<i>Stratégie de mesure des poussières environnementales</i>	105

Liste des Tableaux

<i>N° de tableau</i>	<i>Nom de tableau</i>	<i>N° de page</i>
01	<i>Les sous-classes de textures grenues de Granite</i>	14
02	<i>Les différents class de Granite</i>	22
03	<i>Les coordonnées UTM de la zone d'étude</i>	38
04	<i>Analyse granulométrique du ballast et sous Ballast</i>	51
05	<i>Le comportement des particules selon leur granulométrie (Campanac 1990)</i>	68
06	<i>Transport des particules en fonction de la vitesse du vent</i>	69
07	<i>Seuil d'information des principaux polluants</i>	73
08	<i>Valeurs recommandées par l'O.M.S</i>	74
09	<i>Valeurs limites et seuils d'alerte des polluants</i>	75
10	<i>Résultat de l'Analyse chimique du Granit</i>	83
11	<i>Classification des roches selon la résistance à la compression (I. Woo 2006)</i>	86
12	<i>Résultat des tests physico-mécaniques</i>	90
13	<i>Description des éléments Radioactives</i>	92
14	<i>Analyse granulométrique de la poussière</i>	97
15	<i>Résultat de mesure des retombées de poussières</i>	101
16	<i>Interrelation entre les éléments à l'état initial</i>	106
17	<i>Mesures d'atténuation et de compensation des impacts</i>	107

Symboles et abréviations

01	AFNOR	Association française de normalisation
02	CTMNC	Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction
04	IUGS	L'Union internationale des sciences géologiques
05	SIMA	Magnesium Silicate Minerals.
06	SAU	superficie agricole utile
07	UTM	Universal Transverse Mercator
08	ENATB	Entreprise Nationale d'Ameublement et de Transformation du Bois
09	OHL	Obrascom hart linea
10	dB	Décibel
11	CFC	Chlorofluorocarbures
12	PM	Particulate matter
13	PM 10	Particulate matter inferieur a 10µm
14	PM 2.5	Particulate matter inferieur a 2.5µm
15	NMHC	Non Methanic Hydrocarbons
16	COV	Composés Organiques Volatiles
17	O.M.S.	Organisation Mondiale de la Santé
18	IQA	Indice de qualité de l'air
19	XRF	Fluorescent des rayons X
20	DRX	Diffraction des rayons X
21	LTPE	Laboratoire des Travaux Publics de l'Est
22	σ_c	Résistance à la compression MPa
23	ISO	International Organization for Standardization

INTRODUCTION GENERALE

Le granulat est une matière première très demandée par les consommateurs, il est à l'amont de toute activité de construction, de réalisation d'ouvrages, d'infrastructures et dans des applications nouvelles comme la construction d'autoroutes et de béton.

L'Algérie possède des potentialités importantes en ressources minérales pour le développement de l'industrie des matières de construction. Le territoire Algérien compte 1146 exploitations minières en activité dans les 48 wilayas dont 906 exploitations privées et 240 exploitations publiques (DGM, 2010). Ainsi le nombre d'exploitations privées a augmenté suite aux dispositions d'encouragement de l'investissement dans ce domaine. Par conséquent avec ce développement industriel, les problèmes de pollution commencent à se poser (Azzeddine M., 2015).

Le granite est une roche massive plutonique magmatique à texture grenue qui se caractérise par une composition minéralogique constituée de minéraux de quartz, de mica (biotite et muscovite), de feldspath potassique (orthoses) et de plagioclase. C'est un matériau naturel résistant très utilisé dans la construction, ballaste de chemin de fer, le dallage, la décoration, la sculpture. Par contre et en tant que matériaux de construction, le granite possède des propriétés intéressantes en particulier sa résistance à la compression, son abrasivité et sa grande dureté.

Selon la composition chimique des granulats étudiés et l'effet de la préparation mécanique par écrasement des particules (concassage, broyage) génèrent des poussières siliceuses qui ont des effets néfastes sur l'environnement et sur l'écosystème.

Toutefois la normalisation du matériau de construction exige une préparation mécanique par moyen de concassage primaire, secondaire et tertiaire jusqu'à une granulométrie inférieure à 30 μm contenant un taux significatif de fines particules de taille inférieure à 20 μm . Par conséquent, les poussières générées de cette préparation sont propagées dans l'atmosphère.

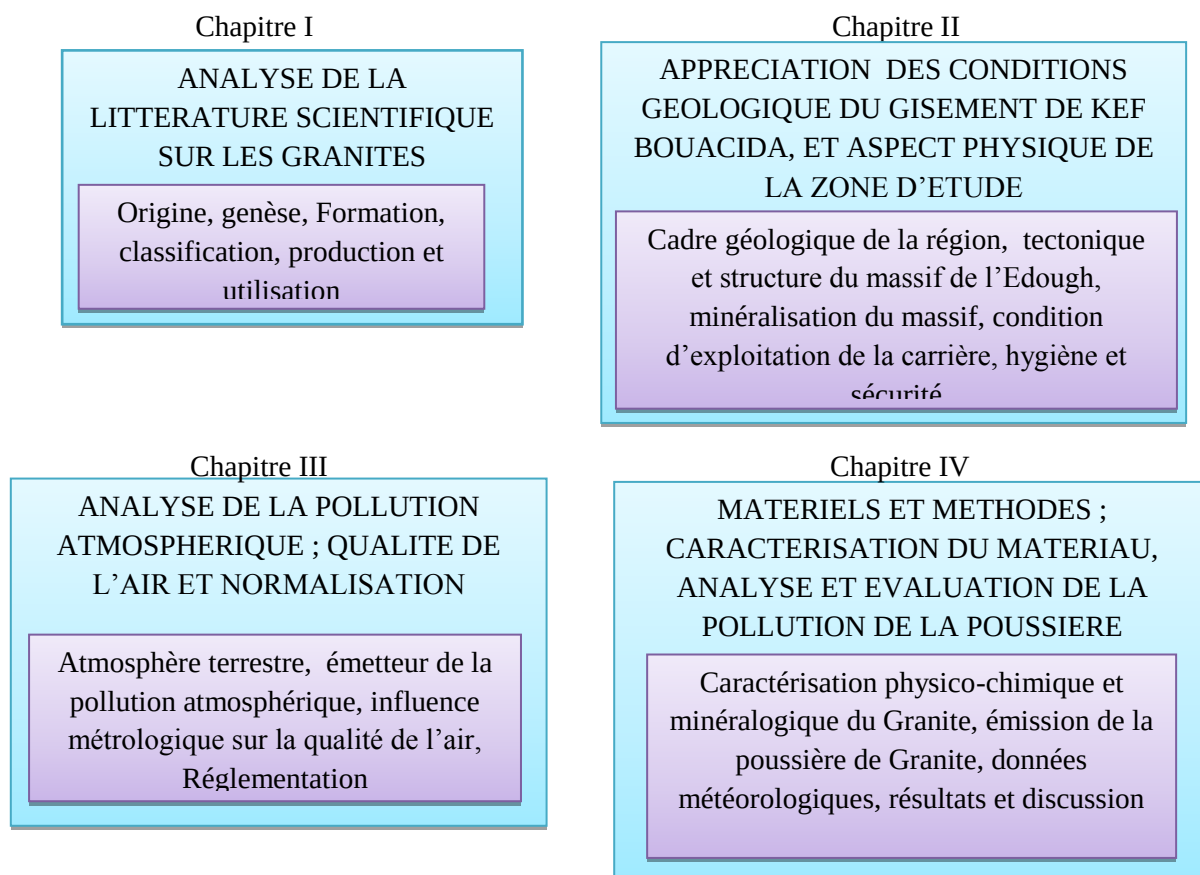
Selon les statistiques (Benselhoub A, 2015 et Kharytonov M, 2017), la production de poussières dans une station de concassage est estimée entre 7 et 84 g/m²/mois dans un rayon de 100 à 200 mètres et sa nocivité réside dans la classe granulométrique inférieure à 10 μm retenue par l'appareil pulmonaire. Les poussières dont la taille est supérieure à 10 μm sont pratiquement arrêtées par les voies respiratoires, ce qui est nuisible aussi sur la santé des ouvriers opérant en carrière (Kharytonov M, 2016 et Hamouda S, 2014).

Au vu de la problématique que représentent ces poussières, il a été préconisé la pose de plaquettes en acier décrite par la norme Afnor NF X 43-007 (Soussia.T, 2015), l'objectif étant un suivi des retombées de poussières pendant l'année 2017 afin de mieux cerner l'aspect quantitatif et qualitatif des caractéristiques naturelles du matériau provenant de la roche granitique. Ces plaquettes sont essentiellement utilisées pour la détermination des composés particuliers dans l'environnement de carrières.

Pour résoudre ce problème en vue de préserver le milieu environnant, des échantillons de poussières prélevés dans le site sont soumis à une caractérisation physico-chimique afin de mieux connaître les caractéristiques naturelles de la roche et son effet sur l'environnement. Les poussières peuvent polluer totalement les terres agricoles et nuire aussi à la santé humaine causant ainsi des maladies telles que la silicose et la pneumoconiose (Campos A, 2016).

Dans le cadre de l'étude menée sur ce sujet et pour atteindre les objectifs visés par ces travaux de recherche, plusieurs volets sont ainsi développés selon l'organigramme suivant :

PLAN DE THESE



CHAPITRE I : ANALYSE DE LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR LES GRANITES ; ORIGINE, FORMATION ET UTILISATION

I.1 Introduction

Le granite est une roche plutonique magmatique à texture grenue, riche en quartz, qui comporte plus de feldspath alcalin que de plagioclase. Il est caractérisé par sa constitution en minéraux : quartz, feldspaths potassiques (orthoses) et plagioclases, micas (biotite et muscovite). Le granite et ses roches associées forment l'essentiel de la croûte continentale de la planète. C'est un matériau résistant très utilisé en construction, dallage, décoration, sculpture, sous l'appellation granit (figure1).

Le granite est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma intrusif qui formeront le plus souvent des plutons, ces derniers affleurant finalement par le jeu de l'érosion qui décape les roches sus-jacentes. Ces magmas acides (c'est-à-dire relativement riches en silice) sont essentiellement le résultat de la fusion partielle de la croûte terrestre continentale. Certains granites (plagiogranites) rencontrés en petits plutons dans la croûte océanique sont, quant à eux, le résultat de la différenciation ultime de magmas basiques. Ses minéraux constitutifs sont principalement du quartz, des micas (biotite ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases. Ils peuvent contenir également de la hornblende, de la magnétite, du grenat, du zircon et de l'apatite. On dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granite différentes.

Il faut dire qu'elle possède de nombreux avantages :

- C'est une roche dure, très solide, idéale pour bâtir des constructions durables et solides comme des ponts ;
- Elle est cohérente, formée d'un seul bloc bien solide, contrairement aux schistes qui se débitent en plaques naturellement ou à d'autres roches qui contiennent de nombreux points de fracture bien précis ;
- C'est une roche très peu perméable : idéale pour résister aux intempéries ;
- C'est aussi une roche qui ne s'altère pas facilement à cause de l'humidité : elle ne se dissout pas dans l'eau et se désagrège très lentement quand on la soumet à l'humidité.

Le granite est constitué de grains visibles à l'œil nu dont la taille varie généralement de 2 à 10 mm. Il présente différentes couleurs selon la composition et l'organisation des minéraux felsiques (clairs) et mafiques (foncés) qu'il contient (CTMNC, 2015). Le granite provient du refroidissement lent d'un magma en profondeur ce qui permet la formation de cristaux (ou

grains) de tailles variées. De ce fait, les granites ne sont pas nécessairement des granites, par exemple le granite noir correspond à de l'anorthosite constituée de feldspaths plagioclases.

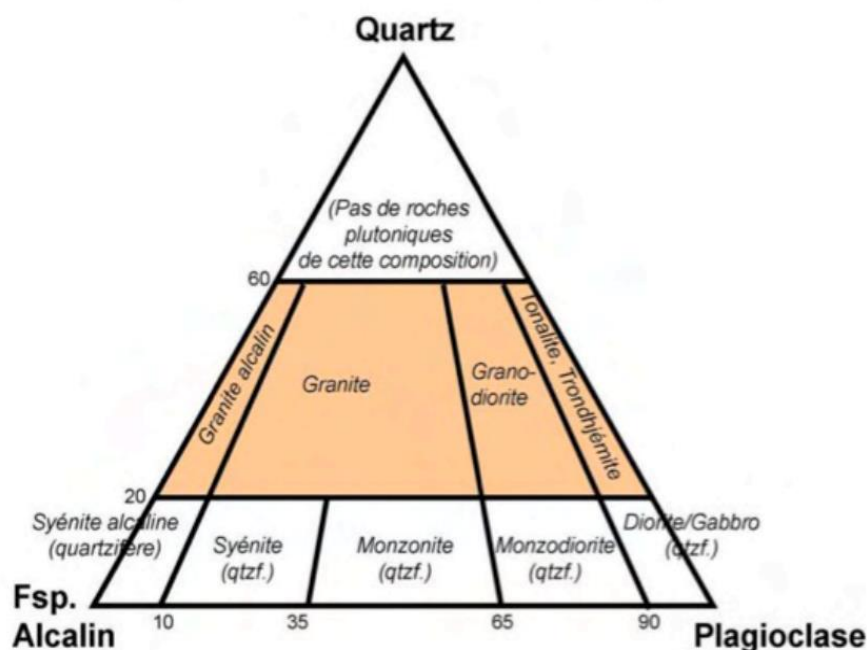


Figure 1 : Classification des roches Plutoniques (F. Debon 1983)

I.2 Utilisation du granite

Le granite est une pierre architecturale qui est utilisée pour la production de pierre dimensionnelle de forme spécifique (souvent polie) ou encore de pierre brute.

La pierre dimensionnelle de granite est habituellement extraite des carrières en larges blocs qui sont par la suite traités en usine (sciés, polis, texturés, etc.). La pierre dimensionnelle peut être employée pour la sculpture, la production de panneaux dimensionnés, la fabrication de tuiles ou les monuments funéraires. La pierre brute peut servir à la production de moellons, de dallages et de pavés. Plusieurs autres roches peuvent également servir à la production de pierres architecturales telles que le calcaire, le marbre, le grès et l'ardoise. Au centre de la place D'Youville, on a aménagé en 1988 une patinoire et un terrassement de carreaux de granite Rouge Royal Canadien du Manitoba. À cet endroit, le granit Noir Cambrien a été utilisé pour une plaque et quelques pierres alignées dans l'escalier qui conduit au Palais Montcalm. Cet alignement de pierres noires marque l'endroit où s'élevait entre 1749 et 1875 le mur de contrescarpe qui fut construit par l'ingénieur militaire Gaspard Chaussegros de Lery pour soutenir le glacis du système de défense de la ville fortifiée. À l'ouest de la patinoire apparaît le magnifique monument Les Muses. Cette belle sculpture d'Alfred La liberté (1878-1953) est un don du Gouvernement du Québec remis à la

ville de Québec pour commémorer son 375^e anniversaire, en 1983. Les Muses étaient des divinités gréco-romaines des arts et des lettres. Les deux déesses debout représentent l'éloquence et la musique, celles assises incarnent de gauche à droite, l'architecture, la sculpture, la peinture, et la poésie lyrique. Les Muses sont posées sur un socle ovale de granite Rouge Royal Canadien. Le lustre et la couleur du granite sont bien conservés (figure 2).



Figure 2. Monument les muses (Robert Ledoux et Henri-Louis Jacob, 2013)

I.3 Production mondiale de granite

Le marché de la pierre architecturale est assujéti à des normes techniques et esthétiques, comme celles reliées à la porosité, à la dureté ou à la résistance. La vente de la pierre brute ou transformée est grandement tributaire d'un marché international compétitif, régi par des réseaux de distribution bien établis et contrôlé par la demande pour des couleurs et des textures spécifiques selon les usages envisagés.

Le prix du granit sera fonction de la demande pour cette pierre versus sa rareté. Les prix peuvent varier de 300\$/m³ jusqu'à 3500\$/m³.

La taille des blocs aura une influence sur le classement de la pierre et sur le prix. En principe, plus la taille des blocs est grande, plus le prix est élevé. Les États-Unis ont importé en 2013 pour 1, 290,106 \$ US de granite sous différentes formes (tranches minces et épaisses, blocs).

Le Brésil est devenu le principal fournisseur de granit des États-Unis avec 47% des importations américaines. Il est suivi par la Chine (22%), l'Inde (13%) et l'Italie (11%) (Dolley, 2015). Le Canada comble, pour sa part, seulement 2% de ce marché (figure 3).

En 2004, le Canada fournissait 11% du granit sur le marché américain (DENCO, 2005). Malgré la proximité et la qualité de son granit, le Canada a perdu énormément de part sur le

marché américain. En effet, la reprise et l'économie américaine en 2014 ne se traduit pas encore par une reprise des exportations aux États-Unis.

Depuis la dernière décennie, des changements dans la façon de construire les grands immeubles (architecture) ont fait diminuer la demande pour la pierre architecturale.

I.4 Localisation des granites

Le granite est une roche qui est relativement rare à la surface de la planète : on en trouve surtout dans les profondeurs, à quelques kilomètres sous la surface du sol.

Les affleurements de granite à la surface occupent souvent de grandes étendues, et se prolongent souvent sous terre sur plusieurs kilomètres ou centaines de mètres, formant de véritables gisements de granite à ciel ouvert, mais dans la majorité des cas, ces gisements sont enterrés sous terre, à plusieurs kilomètres de profondeur, sous des couches de sédiments assez épaisses.

Le granite forme une bonne partie des chaînes de montagne, notamment dans les profondeurs : une bonne partie de l'intérieur des montagnes est presque entièrement formé de granite.

Les roches visibles à la surface des montagnes sont souvent granitiques, surtout pour les vieilles chaînes de montagne assez bien érodées. C'est pour cela qu'en France, on en trouve surtout en Auvergne (dans le massif central), dans les Alpes, et les Pyrénées, les Vosges, et la Corse.

Mais on en trouve aussi en Bretagne, notamment sur la côte de granite rose : cela vient du fait que la Bretagne est le reste d'une ancienne chaîne de montagne totalement érodée, qui date de plusieurs centaines de millions d'années.

Cependant, il existe des granites qui ne sont pas liés à des chaînes de montagnes. Dans les faits, une grande partie des profondeurs de la croûte continentale est formée intégralement de granites, recouverts par des roches sédimentaires.

C'est d'ailleurs grâce au granite que la croûte continentale est moins dense que la croûte océanique : le granite a une densité très faible comparé au basalte qui compose la croûte océanique. Ces granites se trouvent surtout dans les vestiges des premiers continents, conservés à l'intérieur des continents actuels : les cratons.

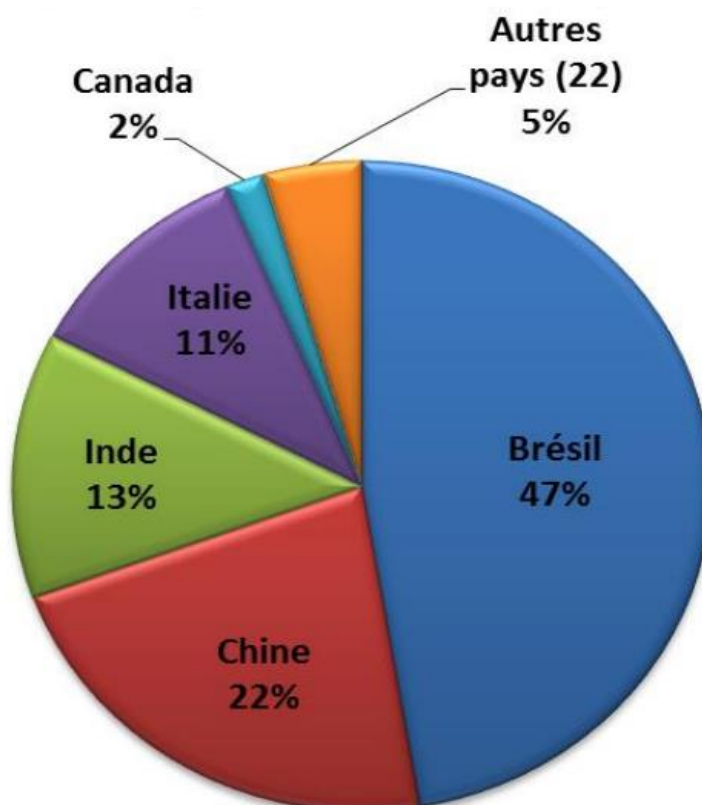


Figure 3 : Pourcentage par pays des importations de granit par les États-Unis en 2013 (Dolley, 2015)

I.5 Minéraux

Chimiquement, le granite est essentiellement composé de silicium et d'oxygène : à eux deux, Si et O représentent plus de 68 % d'un granite, avec parfois des pointes à 80%, voire plus. Les minéraux du granite sont donc essentiellement composés d'atomes de silicium combinés plus ou moins directement avec des atomes d'oxygène. Le granite est ainsi une roche dite felsique, c'est-à-dire qu'elle contient une grande quantité de minéraux riches en silicium et oxygène, comme le Quartz ou les Feldspaths.

Le Silicium n'est capable de créer que 4 liaisons chimiques : il ne peut se lier qu'avec 4 autres atomes, des atomes d'Oxygène dans ce cas précis. Une fois les liaisons créées, on obtient toujours la même structure : un tétraèdre avec des atomes d'Oxygène aux sommets, et un atome de Silicium au centre (figure 4). Ce tétraèdre a pour composition chimique : SiO_4

Ces minéraux, composés d'un grand nombre de ces tétraèdres, avec potentiellement des atomes intercalés entre ceux-ci, sont appelés des silicates. Ceux-ci sont les minéraux les plus courants dans la croûte terrestre, et nombreuses sont les roches composées d'un grand nombre de minéraux silicatés. Le granite est principalement formé de silicates, même si tous les silicates ne se retrouvent pas dans le granite : seuls certains silicates sont présents dans tous

les granites, le Quartz notamment. Suivant les silicates, les tétraèdres ne sont pas organisés de la même manière. On peut relier les tétraèdres de diverses manières : on peut les organiser en chaînes, en feuillets, etc. La structure utilisée pour ranger les tétraèdres ne sera pas la même selon les minéraux.

Certains minéraux sont intégralement composés de ces tétraèdres. Mais d'autres contiennent des atomes en plus, comme du Fer ou du Magnésium, qui s'intercalent entre les tétraèdres et servent de ponts qui relient des atomes d'Oxygène. Le granite est une roche dont tous les minéraux sont des silicates. Tous les granites contiennent un même ensemble de minéraux ; du Quartz ; des Feldspaths et des Micas. A côté, on peut trouver quelques minéraux accessoires en petites quantités, ou des impuretés, comme des Amphiboles. Mais la quasi-totalité du granite est composée de Quartz, Feldspaths, et de Micas. Voyons dans le détail ces minéraux.

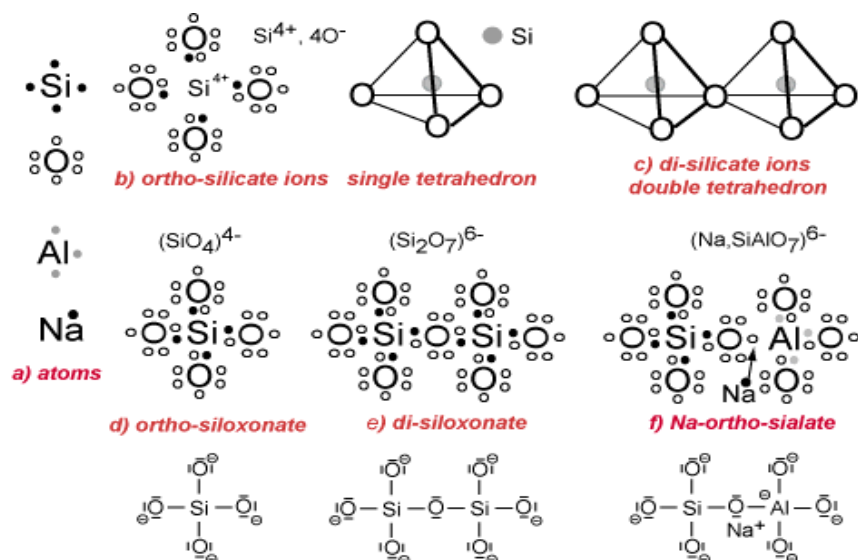


Figure 4 : Groupe fondamental des silicates (Geopolymer Institute 2018)

I.5.1 Quartz

Le Quartz est le composant principal des grains de sable (grains de sable qui proviennent de l'érosion du granite, comme on le verra plus tard). On le trouve à l'état naturel sous la forme de cristaux, souvent de belle forme.

I.5.1.1 Forme

Les cristaux de Quartz qu'on trouve isolés dans la nature sont souvent très gros, et ont souvent une forme assez harmonieuse, qui ressemble à celle montrée ci-dessous. Mais dans le granite, les cristaux n'ont pas souvent cette belle forme, et sont souvent relativement petits (figure 5).



Figure 5 : Forme d'un cristal de Quartz (Les Chroniques d'Arcturius 2018)

I.5.1.2 Structure cristalline

C'est en 1907 que le cristallographe allemand Otto Muegge (Mügge) a montré les différences qui existaient entre le quartz α , qui est le polymorphe décrit ici, et le quartz β .

La structure cristalline est hexagonale à haute température (quartz β , groupe d'espace P6421 ou P6221), trigonale à basse température (quartz α , groupe d'espace P3121 ou P3221). L'enroulement des hélices de tétraèdres SiO_4 peut se faire dans les deux sens, gauche ou droit, ce qui explique les deux groupes d'espace pour chacun des polymorphes, β et α .

Les paramètres de la maille conventionnelle du quartz α sont : $a = 4,9133 \text{ \AA}$, $c = 5,4053 \text{ \AA}$ ($Z = 3$; $V = 113,00 \text{ \AA}^3$), sa densité calculée est $2,65 \text{ g/cm}^3$.

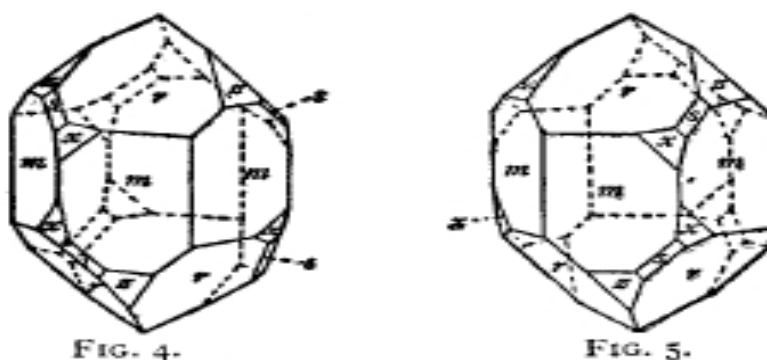


Figure 6 : Structure cristalline du Quartz (Alain Foucault, Dunod, 2014)

L'ensemble est organisé de manière à ce que tout tétraèdre mette en commun tous ses atomes d'Oxygène : chaque tétraèdre est relié ainsi à quatre autres tétraèdres. Les atomes d'Oxygène sont chacun relié à deux atomes de silicium : chaque atome d'Oxygène appartient à deux tétraèdres. A cause de cette propriété, la formule chimique du Quartz est : SiO_2 . Chaque tétraèdre a bien une formule qui est SiO_4 , mais vu qu'un atome d'Oxygène appartient à deux tétraèdres, cela signifie qu'on doit diviser par deux l'Oxygène, ce qui donne bien SiO_2 .

L'ensemble peut donner plusieurs structures cristallines, qui donnent des minéraux différents. Elles donnent respectivement :

- Quartz Alpha
- Quartz Bêta
- Tridymite
- Cristobalite
- Coesite
- Stishovite

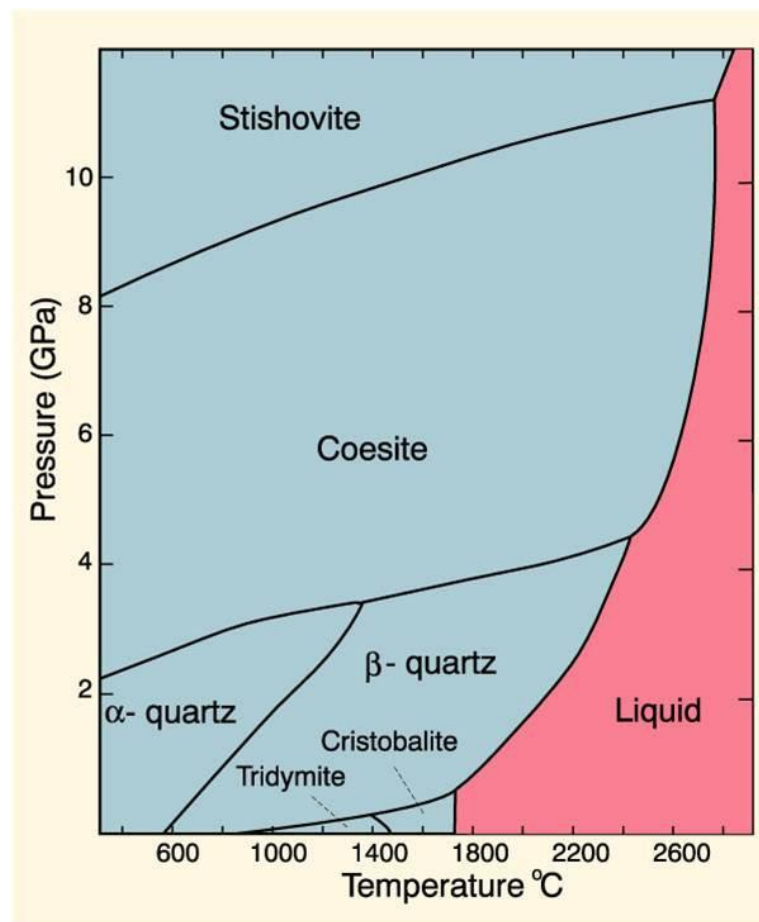


Figure 7 : Différents forme de quartz en fonction de la température et la pression (A. Pêcher 1984)

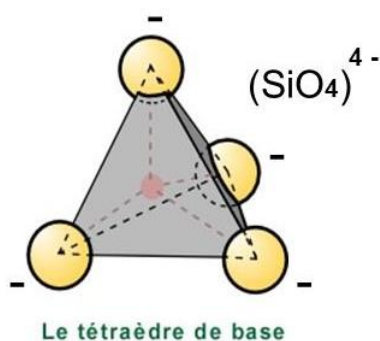
La forme prise par le Quartz dépend de la température et de la pression lors de sa cristallisation (figure 7). Le Quartz bêta est le plus fréquent dans le granite. La structure cristalline du Quartz bêta est illustrée dans le schéma ci-dessous.

Étudiez bien celui-ci pour bien comprendre comment les atomes sont organisés dans le Quartz, si vous voulez vraiment comprendre sa structure cristalline.

I.5.1.3 Couleur

A l'état pur, le Quartz est transparent, légèrement blanc. Mais il arrive qu'il contienne des impuretés qui lui donnent une belle couleur. Par exemple, il arrive que le Quartz devienne rose suite à l'ajout de quelques impuretés de Manganèse ou de Titane. Il peut aussi avoir une jolie couleur rouge si on ajoute de l'Hématite. On peut aussi citer l'Améthyste, du Quartz coloré en violet par de grandes quantités de Fer. Dans la citrine, le Fer n'est pas suffisamment abondant pour donner de l'Améthyste, et colore le Quartz en jaune (figure 8).

**La cristobalite
stable à très haute T°:
structure cubique**



**Le quartz à haute T°:
structure hexagonale**

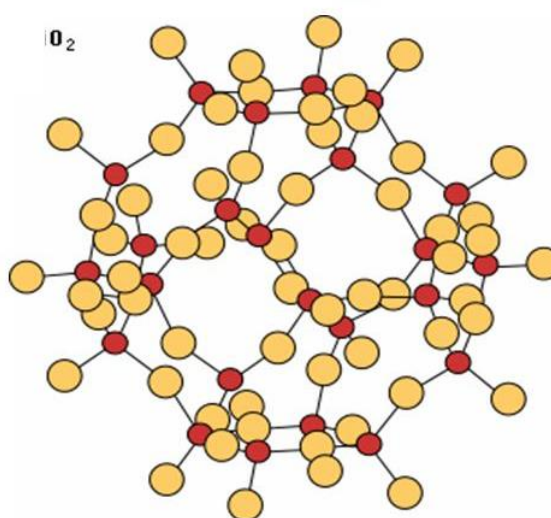


Figure 8 : Structure cristalline du quartz (Slideplayer 2018)

I.5.1.4 Dureté

Le Quartz est un minéral très dur. Les géologues utilisent souvent une échelle pour quantifier la dureté d'un minéral : l'échelle de Mohs, graduée de 1 à 10. Le quartz atteint un score de 7 sur cette échelle : il est capable de rayer le verre. Il faut dire que les autres silicates sont composés de chaînes ou de feuillets de tétraèdres reliés par des liaisons assez fragiles : les feuillets peuvent partir uns par uns donnant une altération par écaillage, ou les atomes d'une chaîne peuvent partir un par un, altérant progressivement la roche. Le Quartz n'a pas ces zones de faiblesses entre feuillets ou chaînes : l'ensemble forme un amas compact de tétraèdres reliés par des liaisons fortes.

C'est un minéral qui est aussi résistant à l'altération par l'eau. Il ne se dissout pas dans l'eau, même en utilisant de grande quantité d'eau, en utilisant une eau chargée en ions, en

laissant des milliers d'années faire leur œuvre, etc. Tous les minéraux du granite ne peuvent pas en dire autant, même s'ils sont aussi très résistants à l'altération hydrique.

I.5.2 Feldspaths

Le quartz n'est cependant pas le seul minéral présent dans le granite : on trouve aussi des Feldspaths. Ceux-ci sont des minéraux (en fait, une catégorie de minéraux), qui sont composés non seulement des tétraèdres du dessus, mais aussi d'Aluminium : ce sont des silicates d'Aluminium. Dans ces Feldspaths, un quart des tétraèdres de silice est modifié : l'atome central de Silicium est remplacé par un atome d'Aluminium.

I.5.2.1 Feldspaths purs

L'aluminium des Feldspaths a une particularité : il peut former 5 liaisons chimiques, soit une de plus que nécessaire pour former un tétraèdre. La liaison en trop va lier l'Aluminium avec un autre élément chimique, qui dépendra du Feldspath. Ainsi, la formule chimique d'un Feldspath est de la forme $XAlSi_3O_8$, avec X un autre élément chimique compatible avec l'Aluminium.

L'élément en question peut être :

- du Calcium;
- du Potassium;
- et du Sodium.

Il existe trois minéraux purs, dont tous les atomes d'aluminium sont reliés à un même élément chimique :

- l'Albite, de formule chimique $NaAlSi_3O_8$;
- l'Anorthite, de formule chimique $CaAlSi_3O_8$;
- l'Orthoclase, de formule chimique $KAlSi_3O_8$;

I.5.2.2 Mélanges

Mais il existe des Feldspaths qui sont une composition chimique intermédiaire entre ces trois minéraux : on peut les voir comme des mélanges, dans lesquels chaque atome d'aluminium n'est pas relié au même élément chimique. Les Feldspaths alcalins contiennent du Sodium et du Potassium, mais pas du tout de Calcium : ce sont des intermédiaires entre l'Albite et l'Orthoclase (figure 9). Ceux-ci sont au nombre de deux :

- l'Anorthoclase ;

– la Sanidine.

A côté, on trouve des intermédiaires entre l'albite et l'anorthite : les Feldspaths plagioclases. Ils sont au nombre de quatre : l'Oligoclase ; l'Andesine ; le Labradorite et le Bytownite.

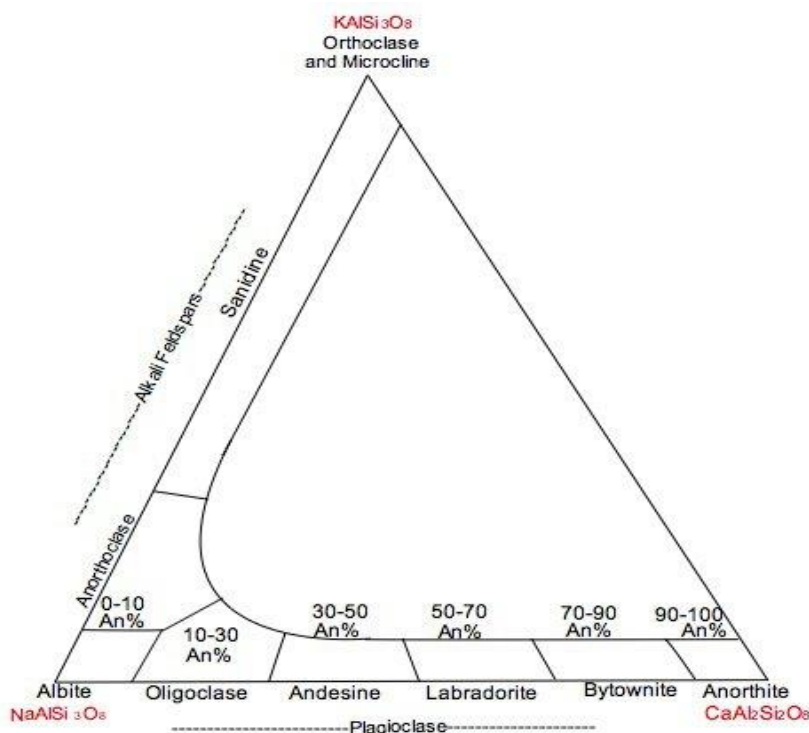


Figure 9 : Type de Feldspaths (Andrew Wickert, Eurico Zimbres)

Il existe d'autres Feldspaths, beaucoup plus rares, comme la Celsiane ($BaAl_2Si_2O_8$), le Hyalophane ou la Buddingtonite. Mais nous n'en parlerons pas ici, vu qu'ils sont inexistant ou trop rare dans les granites.

1.5.3 Micas

Le granite contient aussi d'autres minéraux : les Micas, ces Micas sont des minéraux assez particuliers, pour faire simple, il s'agit d'une classe de minéraux définie par une composition chimique particulière, qui font partie des silicates. On peut simplifier assez fortement en disant qu'il s'agit de silicates d'aluminium hydratés, comme les Feldspaths (la différence étant la composition chimique exacte). Leur couleur est généralement transparente, même si des variantes colorées existent : on trouve notamment des micas blancs et noirs dans les granites. Ces Micas sont des phyllosilicates, c'est à dire qu'ils sont formés de couches, de

feuillets de tétraèdres. La conséquence, c'est que ces minéraux sont très fragiles : leur dureté est de 2 à 3 sur l'échelle de Mohs. Ainsi, ces Micas s'érodent facilement : les feuillets s'enlèvent un par un, assez facilement, notamment au contact de l'eau. Il existe environ 37 Micas différents, dont seulement deux sont présents dans le granite ; la Biotite et la Muscovite.

I.5.3.1 Muscovite

La Muscovite contient, en plus des traditionnels Silicium et Oxygène, de l'Aluminium, du Potassium, et de l'Hydrogène, avec parfois un peu de Fluor, c'est un Mica plutôt blanc, qui donne de beaux reflets presque métalliques voire figure 10.

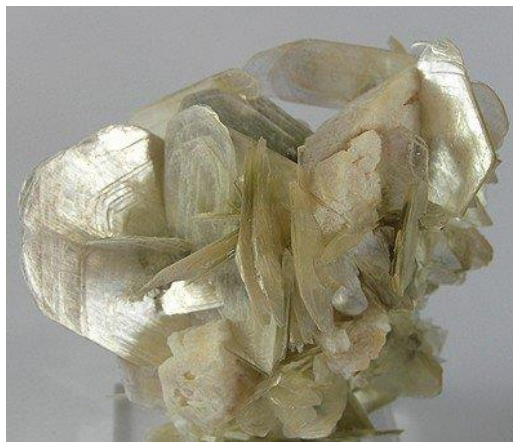


Figure 10 : Crystal de Muscovite (R. Lavinsky 2007)

I.5.3.2 Biotite

La Biotite est un minéral sombre, presque noir (figure 11), là encore, on peut dire qu'il s'agit d'un silicate d'Aluminium hydraté, auquel on aurait ajouté du Fer et du Magnésium.



Figure 11 : La biotite (F. Kruijen 2016)

I.6 Aspect du granite

Reconnaitre un granite n'est pas réellement compliqué. Les granites n'ont pas tous le même aspect, mais quelques régularités se dégagent, qui permettent d'identifier facilement.

I.6.1 Couleur de granite

Tous les granites n'ont pas la même couleur (figure 12) : cela va du blanc laiteux à un granite sombre, en passant par des intermédiaires colorés comme un rose affirmé. Les granites blancs sont appelés des *leucogranites*. Les granites roses sont courants, notamment sur le littoral breton, ce qui a valu son nom à la côte de granite rose (Côtes d'Armor).

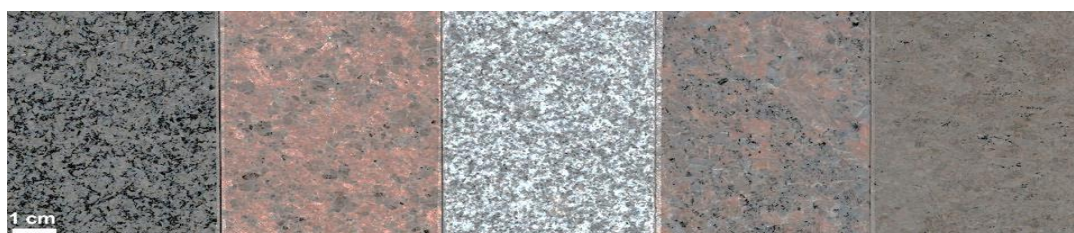


Figure 12 : Exemples de granites de couleurs différentes

La couleur dépend des minéraux qui composent le granite, par exemple, les granites roses doivent leur couleur à des impuretés présentes dans les Feldspaths. Généralement, la couleur du granite dépend de l'Orthose, vu qu'il s'agit du minéral le plus abondant dans le granite.

I.6.2 Texture de Granite

D'ordinaire, le granite semble être composé de grains, généralement de petite taille, souvent visibles à œil nu (figure 13), chaque grain est un minéral, un cristal bien précis. On dit qu'il a une texture grenue, les roches à texture grenue, sont toutes des roches magmatiques (éventuellement métamorphiques).

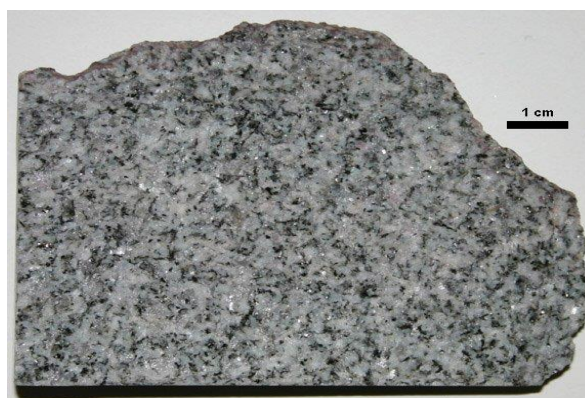


Figure 13 : Le Granite (Bianco Atlantico2018)

Il existe plusieurs sous-classes de textures grenues, qui sont présentées dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Les sous-classes de textures grenues de Granite

Texture	Description
Aplitique	Cristaux très fins, à peine visible à l'œil nu, voire invisible.
Pegmatique	Cristaux énormes, de grande taille, supérieure à la taille d'un grain de riz.
Porphyroïde	Certaines portions de la roche sont Aplitiques, alors que d'autres sont pegmatiques.

Certains granites sont dits **orbiculaires** : ils sont composés de petites boules riches en Feldspaths et en micas (Figure 14).



Figure 14 : Le Granite orbiculaires (CC-BY-SA 2.0, auteur brewbooks)

Dans certains granites, la présence de minéraux va modifier quelque peu l'aspect de la roche. Certains granites contiennent ainsi des Pyroxènes, des Amphiboles, des Grenats, etc.

I.6.3 Enclaves

Il arrive que le granite contienne des morceaux de roches incorporés dans le granite. Le granite entoure des blocs de roche métamorphiques, blocs qui font entre quelques centimètres et quelques mètres. Ces blocs sont appelés des enclaves. Celles-ci sont fréquentes dans les roches magmatiques, qu'elles soient volcaniques ou plutoniques, et le granite ne fait pas exception.

I.7 Formation et genèse de granites

La formation des granites est longtemps restée un sujet de débat parmi les géologues. Durant les années 50/60, les géologues se sont affrontés pour savoir quel était le mécanisme de formation des granites : métamorphisme, anatexie, fusion du manteau, etc.

I.7.1 Une roche plutonique

Fort heureusement, nous disposons de plusieurs indices sur l'origine du granite. Ces indices convergent vers la même conclusion. Le granite est une roche qui se forme par solidification d'un magma sous les profondeurs de la Terre : on parle de roche plutonique.

I.7.1.1 Indices chimiques

Les granites sont très pauvres en carbone, le taux de Carbone dépassant rarement les 1 à 2%. Il ne peut donc d'agir d'une roche sédimentaire organique, comme les Calcaires. En effet, la matière vivante est très riche en Carbone, qui se retrouve dans les roches sédimentaires organiques, composées de résidus d'organismes morts. Un dernier indice laisse penser que les granites se sont formés à haute température : la structure cristalline des cristaux de Quartz. Le granite contient des cristaux de Quartz bêta et Alpha stables au-delà de 870°C, mais pas de Tridymine, ou de minéraux formés à plus haute température. La présence d'Orthose, et l'absence totale de Sanidine dans le granite est aussi un indice similaire : la Sanidine se forme au-delà des 1000°C, alors que l'orthose cristallise à plus basse température.

Le fait que la roche soit entièrement cristallisée laisse penser qu'il ne peut pas s'agir d'une roche volcanique : celles-ci refroidissent rapidement au contact de l'air, et n'ont pas le temps de totalement cristalliser. Seule une portion de la lave cristallise, laissant des zones vitreuses, sans structure cristalline véritable. Et ne parlons même pas des roches provenant de l'accumulation de cendres ou de projectiles comme les bombes volcaniques ou les lappilis : il n'y a alors presque pas de cristaux. Les conditions de formation du granite sont à l'origine de sa texture grenue et de la forme de ses cristaux, propre à tous les granites.

Premièrement, la texture s'explique par la vitesse de solidification du magma. En effet, la solidification du magma dans les profondeurs est relativement lente, vu que celle-ci a lieu à des pressions et des températures relativement élevées.

Cette solidification lente permet aux cristaux de bien grossir, contrairement à un refroidissement rapide qui vitrifie la roche sans que les cristaux aient eu le temps de grossir : les cristaux formés sont donc de gros cristaux, qui ont une grande taille, ce qui explique la texture grenue du granite.

La forme des cristaux s'explique aussi par un refroidissement progressif du magma. En effet, la température de solidification du Quartz est inférieure à celle des Feldspaths et les Micas, ce qui fait que les Feldspaths et les Micas se forment avant les cristaux de Quartz. En conséquence, les cristaux de Micas et de Feldspaths ont ainsi toute la place qu'ils veulent pour

se former, alors que les cristaux de Quartz doivent remplir les vides qui restent. Et ces vides ne sont pas toujours très grands, et ne laissent pas au Quartz le loisir de bien former de beaux cristaux bien grands et réguliers : les cristaux de quartz d'un granite sont donc souvent relativement petits, et n'ont pas une forme parfaite et régulière.

I.7.1.2 Absence de fossiles

Quelques indices semblent attester que le granite n'est pas une roche sédimentaire. On peut remarquer que le granite ne contient jamais de fossiles. On peut aisément en déduire qu'il ne peut donc s'agir d'une roche sédimentaire détritique : si c'était le cas, on trouverait des fossiles dans le granite, même s'ils sont très rares. Mais ce n'est pas le cas : aucun granite n'a jamais contenu de fossile.

I.7.1.3 Gisements de granite

Les granites sont souvent regroupés en amas ou en filons, qui laisse penser que les granites se forment à partir de magma solidifié. Ces structures sont assez diverses, et sont présentes chez presque toutes les roches plutoniques de la planète : batholites, sills, dykes, laccolites, lopolites, etc.

Certains granites sont entourés de roches métamorphiques, preuve que leur formation se fait à haute température et sous de fortes pressions. Ces auréoles métamorphiques sont composées de roches dont la composition chimique ressemble de plus en plus à celle du granite au fur et à mesure que l'on se rapproche de celui-ci, mais ces roches conservent un feuilletage dû au métamorphisme ou à la sédimentation. Ces auréoles sont souvent un signe que de métamorphisme de contact. A noter que ces auréoles ne sont pas présentes chez tous les granites.

I.7.2 Mécanismes de formation d'un granite

Néanmoins, il ne faut pas pour autant croire que tous les granites se forment de la même manière : sans cela, on n'aurait pas des granites de compositions chimiques différentes, comme vu plus haut. Pour simplifier, des granites différents se forment à partir de magmas différents, qui ne se sont pas formés de la même manière ou qui n'évoluent pas à l'identique. Il existe donc plusieurs mécanismes de formation de granites, que nous allons voir immédiatement.

I.7.2.1 Ultra-métamorphisme et anatexie

Le premier type de granite provient d'un métamorphisme poussé à l'extrême, comme on en trouve lors de la formation des chaînes de montagnes. Les roches de la croûte sont tellement

chauffées et soumises à de fortes pressions qu'elles finissent par fondre pour donner du magma. Ce magma va alors migrer vers la surface, en formant des "bulles" qui peuvent remonter au travers de la croûte terrestre, avant de se solidifier. On parle de granites d'anatexie. Certains de ces magmas se forment non seulement à cause des fortes pressions et températures, mais aussi grâce à l'intrusion d'eau dans les roches destinées à fondre. En effet, l'eau a un effet assez contre-intuitif sur les silicates : elle diminue leur point de fusion. Une roche silicatée va fondre plus rapidement et à des températures plus faibles si elle est hydratée. Évidemment, la composition chimique est alors différente de celle de magmas d'anatexie pure : l'eau réagit chimiquement avec le contenu du magma et modifie légèrement les minéraux formés. Cette anatexie peut faire fondre soit des roches sédimentaires métamorphisées, soit des roches de la croûte profonde. Dans les deux cas, les magmas formés n'ont pas la même composition chimique.

Une dernière méthode de formation des granites est possible, une fois que les chaînes de montagnes commencent à s'éroder. Quand l'érosion est bien avancée, la montagne commence à remonter par isostasie : le poids des roches érodées ayant disparues, les roches situées en-dessous ne sont plus écrasées et remontent alors vers la surface. Lors de cette remontée, les roches refroidissent lentement, alors que la pression à laquelle elles sont soumises baisse fortement. Cela peut être suffisant pour faire fondre les roches, ce qui donne un granite assez spécifique.

I.7.2.2 Différentiation d'un magma

Dans d'autres cas, les granites naissent à partir de la fusion du manteau de la Terre. Le magma formé remonte en surface, à travers la croûte, mais se solidifie avant d'atteindre la surface. Lors de cette solidification, le magma va se différencier : certains minéraux vont se cristalliser en premier et vont quitter le magma. Vu que les minéraux pauvres en silice cristallisent en premier, le magma s'enrichit en silice, ce qui tend à donner une roche de plus en plus proche du granite. Mais cela ne suffit pas à créer un granite. Ce magma doit aussi être contaminé par les roches environnantes, dans lesquelles il se solidifie : elles fondent et s'ajoutent au magma formé. Le mélange entre roches encaissantes fondues et magma primaire forme alors un granite. Cette fusion a lieu dans certains cas bien précis :

- Lors d'une subduction ;
- Dans une dorsale océanique ;
- Lors de la formation d'un rift.

Dans chaque cas, la composition chimique du granite est différente. Dans le cas des dorsales et des rifts, le magma provient de la fusion du manteau par baisse de pression, sans apport d'eau : les minéraux seront alors faiblement hydratés, et cela se ressentira sur la composition chimique. La différence entre croûte continentale et océanique va faire que la contamination par les roches encaissantes ne donnera pas le même granite :

- Pour un rift, le magma a une composition alcaline ;
- Dans le cas d'une dorsale, le granite provient d'un magma basaltique fortement différencié et donne des granites métalumineux.

Pour la subduction, le granite se forme alors à partir d'un manteau hydraté : l'eau quitte la plaque subductée et va faire fondre le manteau. Cet apport d'eau donne naissance à des magmas andésitiques qui donneront un granite à la composition chimique particulière, généralement des granites métalumineux.

La différence entre croûte continentale et océanique va faire que la contamination par les roches encaissantes ne donnera pas le même granite suivant qu'il s'agit d'une subduction océan-continent ou océan-océan.

I.8 Classification minéralogique et chimie des magmas

La roche qui se rapproche le plus chimiquement du granite est une roche volcanique nommée la rhyolite : granite et rhyolite ont une composition chimique presque identique. Évidemment, les minéraux de ces deux roches ne sont pas les mêmes : la rhyolite cristallise rapidement et peu de minéraux ont le temps de se former.

I.8.1 Chimie de base des granites

Compte tenu des minéraux qui composent le granite, on en déduit rapidement que celui-ci est très riche en silice (SiO_2) : celle-ci est présente dans tous les minéraux essentiels du granite. La teneur en Aluminium est aussi importante, vu qu'on en trouve dans les Feldspaths et les micas (mais pas dans le Quartz).

On trouve aussi du Potassium, du Sodium, et du Calcium, présents dans les Feldspaths, ainsi que du Magnésium, du Fer, de l'Hydrogène, en petites quantités.

La composition chimique typique du granite est la suivante : SiO_2 70 à 77 % ; Al_2O_3 11 à 15% ; K_2O 3 à 5 % ; Na_2O 3 à 5 % ; Fe_2O à 3% ; CaO 1% ; MgO et TiO_2 moins de 1%.

Mais il faut quand même faire attention. Les granites ne sont pas tous identiques : différents granites n'ont pas les mêmes compositions chimiques. Généralement, cette

différence de composition chimique se traduit par des taux différents de minéraux : certains granites sont plus riches en Plagioclases, et d'autres en Feldspaths alcalins.

I.8.2 Classification de l'IUGS

La classification minéralogique de l'IUGS des roches plutoniques en général, se base essentiellement sur la teneur en Quartz, Feldspaths alcalins, et Plagioclases. Suivant le type de granite, le taux de certains composés chimiques varie (figure 15). On retrouve une différence dans les taux :

- d'Aluminium, et précisément d' Al_2O_3 (l'alumine) ;
- de Sodium et de Potassium, et précisément de : NaO_2 et de K_2O ;
- et de Calcium, ou plus précisément de CaO .

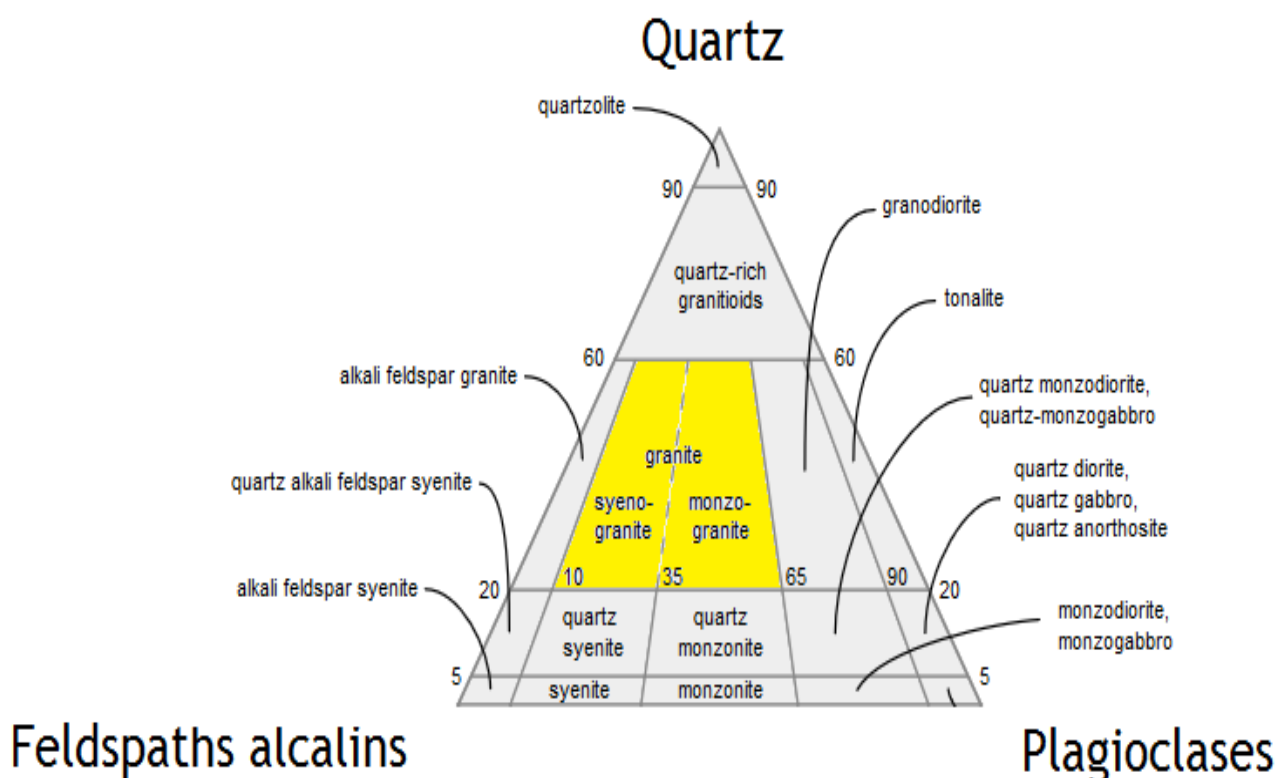


Figure 15 : Classification d'une partie des roches magmatiques plutoniques (D. Thiéblemont 1994)

Le principe de cette classification est simple, et se base sur la formule chimique des Feldspaths. Ceux-ci se composent d'Aluminium, de Silicium et d'Oxygène. Lors de la formation du granite par solidification du magma, le Silicium et l'Oxygène ne manquent pas pour former des cristaux, peu importe qu'il s'agisse de Quartz, Feldspaths, de Micas, etc. Par contre, les autres éléments sont utilisés pour fabriquer du Feldspath.

Si on a trop d'Aluminium, mais pas assez de Potassium, Sodium, et Calcium, il restera de l'Aluminium qui ne pourra se transformer en Feldspaths. Ainsi, les minéraux formés après les Feldspaths sont eux aussi riches en Aluminium : Muscovite, Codiérite, Andalousite, Sillimanite, Grenat, etc. Les granites peralumineux proviennent d'un magma de ce genre. Avec ces granites, le taux d'alumine est supérieur au taux de $\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$.

Mais les deux autres granites naissent à partir de magmas dans lesquels tout l'Aluminium ne peut pas être utilisé pour former des Feldspaths : il manque du Sodium, du Potassium, ou du Calcium. Suivant l'élément en trop, on obtient soit un granite alcalin, soit un granite metalumineux. Dans le premier cas, il restera du Calcium en trop (plus précisément, $\text{Al} < 2\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}$, et $\text{Al} > \text{Na} + \text{K}$). Les minéraux formés après les Feldspaths sont alors riches en Calcium. Les minéraux fréquents dans ces granites sont les Hornblendes et de la Biotite). On obtient des granites métalumineux. Dans ces granites, le taux d' Al_2O_3 est intermédiaire entre le taux de $\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O}$ et celui de $\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$.

Dans l'autre cas, le Potassium et le Sodium seront utilisés pour former des minéraux alcalins, comme les Amphiboles ou les Pyroxènes. Cela donne des granites alcalins, où le taux d' Al_2O_3 est inférieur au taux de $\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O}$.

Cette classification fait la différence entre trois grands types de granites :

- Alcalins : riches en Aluminium;
- Métalumineux : pauvres en Aluminium avec un excès de Calcium comparé au Potassium et au Sodium;
- Peralumineux : pauvre en Aluminium et avec un excès de Potassium et de Sodium comparé au Calcium.

I.8.3 Classification SIMA

Une classification beaucoup utilisée par les chercheurs est la classification SIMA, qui différencie les granites suivant leur composition chimique, mais aussi leur mode de formation.

L'idée derrière cette classification est que des mécanismes de formations des magmas différents donneront naissance à des magmas chimiquement différents. Les granites sont classés en quatre classes, qui sont détaillées ci-dessous. Mais je tiens toutefois à préciser que cette classification a quelques problèmes et est clairement approximative.

Selon cette classification les granites (tableau 2) S et I proviennent de la fusion de la croûte : ils proviennent d'une anatexie par ultra-métamorphisme.

Dans les faits, c'est vrai seulement pour les granites S, mais certains granites de type I ne respectent pas cette règle. De plus, il se peut que certains magmas se mélangent dans une chambre magmatique ou un pluton, et donnent des granites intermédiaires. D'autres problèmes se posent avec cette classification, qui est fortement critiquée de nos jours, même si elle reste une référence incontournable.

Tableau 2 : Les différents class de Granite

Classe de granite	Composition chimique	Mécanismes de formation supposés
Classe S	Peralumineux, riches en Potassium et Sodium. Contiennent fréquemment de la Muscovite, de la Tourmaline, du Grenat, de la Biotite, de la Cordiérite, etc.	Fusion (ultra-métamorphisme) de sédiments lors de la création de chaînes de montagnes.
Classe I	Riches en Calcium et Sodium, de type métalumineux. Contiennent fréquemment de la Hornblende.	Fusion (ultra-métamorphisme) de la croûte profonde lors de la création de chaînes de montagnes ou lors d'une subduction.
Classe M	Riches en Calcium et Sodium, de type métalumineux.	Fusion du manteau, lors d'une subduction ou dans une dorsale océanique.
Classe A	Riches en Alumine, en Fer, et en silice, de type alcalin. Contiennent fréquemment de la Muscovite, de l'Andalousite, de la Biotite, de la Cordiérite, etc.	Formation d'un rift (extension en domaine continental).

I.8.4 Classification géodynamique

De nos jours, on utilise des classifications géodynamiques des granites, nettement plus fiables que la classification SIMA. Ces classifications sont nombreuses, mais aucune n'a pu s'imposer de manière certaine jusqu'à aujourd'hui.

Dans les très grandes lignes, ces classifications font toutes la différence entre 6, 7, ou 8 types de granites, et prennent en compte les différents mécanismes de formation exposés plus haut.

I.9 Erosion et altération

Le granite est une roche dure, qui ne s'altère pas rapidement avec l'humidité. En somme, elle résiste bien à l'érosion. Mais il ne faut pas croire qu'elle est éternelle.

I.9.1 Fracturation

Un massif de granite solidifié contient généralement quelques fractures. Ces fractures peuvent provenir de la contraction du granite lors de son refroidissement, ou d'une compression (lors de la formation des chaînes de montagnes, par exemple).

Ces fractures vont faciliter l'érosion, et notamment l'action de l'eau. Par exemple, elles vont augmenter la surface de contact avec l'eau d'infiltration. De plus, l'eau peut geler à l'intérieur des fractures, et casser le granite : on parle de gélifraction).

I.9.2 Altération

Les minéraux du granite vont réagir avec l'eau, sans pour autant se dissoudre, donnant des argiles et des ions : Minéraux + Eau $\rightarrow$ Argiles + Ions. Cette altération va toucher différemment les minéraux du granite : le Quartz sera épargné, tandis que les autres minéraux

x seront fortement altérés. Il ne restera alors que des grains de Quartz, avec quelques minéraux isolés : on obtient du sable.

I.9.2.1 Micas

Les Micas noirs (la Biotite) exposés à l'air et à l'humidité vont perdre leur éclat noir, et donner une couleur dorée au granite : c'est le phénomène de bauéritisation. On en trouve un exemple dans les Alpes : à partir d'une certaine altitude, les granites exposés ont été altérés, et ont un léger reflet doré. De plus, les micas noirs vont se chlorifier : ils vont perdre du Potassium et du Fer, et se charger en eau.

Les Micas blancs (la Muscovite) ne s'altèrent pas, mais l'érosion et l'eau vont débiter progressivement les feuillets uns par uns et les enlever. Quelques réactions chimiques peuvent tout de même avoir lieu, mais elles sont assez marginales. Les Feldspaths font partie des premiers minéraux touchés par l'altération.

Les Plagioclases sont les plus touchés par ce processus, bien devant les Feldspaths alcalins. Ils vont se transformer en minéraux argileux, comme la Kaolinite, en Damourite, etc : l'altération des Feldspaths donne des argiles.

Sous climat tempéré, le Quartz n'est pas altéré : Silicium et Oxygène ne réagissent pas avec l'eau quand la température est trop basse et l'humidité insuffisante. Mais sous climat très chaud et humide, comme dans les zones tropicales, le Quartz peut être altéré par l'eau après de longues périodes de temps.



Figure 16 : Chaos granitique (Hansueli Krapf. Licence CC-BY-SA 3.0)

I.9.3 Chaos et arènes granitiques

Avec l'action de l'eau, le granite va progressivement se fragmenter suite à l'élargissement des fractures. Il va former de véritables boules de granites, posées les unes à côté des autres. Les boules vont ensuite s'écailler, chaque écaille se transformant en sable progressivement l'une après l'autre. Le sable va s'accumuler au sol, devant les boules de granites, ou dans les fractures : il forme une arène granitique. Cette arène est formée de cristaux de Quartz, d'argiles, de Feldspaths, etc. Avec le temps, les vents ou les eaux de ruissellement vont emporter l'arène granitique et dégager les boules de granite, sans leur sable : on obtient alors un chaos granitique comme la figure 16. Le sable emporté hors des arènes granitiques se retrouve sur les plages de sable blanc ou jaune, mais attention : du sable peut se former par altération et érosion de n'importe quelle roche, et pas seulement du granite. Ainsi, le sable d'une plage peut provenir de l'érosion de gneiss, de grès, ou de toute autre roche. On peut aussi trouver des plages de sable noir par altération de basaltes, par exemple.

I.10 Conclusion

Le granite est une roche produite par l'agrégation de parties cristallines confusément juxtaposées. Les éléments qui la composent sont le quartz, le feldspath et le mica¹. Le quartz (silice) a un aspect, vitreux et une couleur qui varie du gris foncé au blanc, au noir ou au verdâtre. Le feldspath est composé de silice combinée avec de l'alumine et de la potasse. C'est donc un silicate double d'alumine et de potasse. Cette substance minérale se trouve, dans le granite, sous forme de cristaux lamelleux, brillants et fréquemment colorés d'une teinte qui varie du blanc au jaunâtre et au rouge. Le feldspath est mat et opaque; il domine généralement dans le granite et en détermine la couleur.

Le mica est composé de silice, d'alumine et de fluor; c'est donc un silicate double d'alumine et de fluor. Le mica se présente dans le granite sous forme de petites paillettes brillantes et arrondies ; il ressemble quelque fois aux petites écailles de poissons. Le mica est d'un blanc nacré, coloré quelquefois en gris, jaune, brun et noir. Les granites ont une couleur blanche, grisâtre, jaunâtre, bleuâtre, rougeâtre, rose ou noire.

Le granite tient, sous le rapport de la dureté et de la durée, le premier rang parmi les pierres à bâtir. Il est d'autant plus dur qu'il renferme une plus grande quantité de quartz et une plus faible quantité de mica. Cette dernière substance permet rarement au granite de prendre un beau poli. Il est cependant certains granites qui se polissent très-bien et prennent l'éclat du marbre. On emploie le granite pour les colonnes des édifices, les obélisques, les piédestaux de statues, etc. Des temples et des monuments construits en granite par les anciens se sont parfaitement conservés.

Les roches granitiques ne sont point, comme les calcaires, disposées par bancs réguliers; elles se présentent dans le flanc des montagnes en masses compactes et dans des proportions tellement grandes, qu'il faut tailler à même dans le rocher pour en extraire les morceaux qu'on veut obtenir. Nous avons consacré le chapitre II, à étudié un aperçu et données géologique du gisement de Kef Bouacida, et aspect physique de la zone d'étude.

CHAPITRE II : APPRECIATION DES CONDITIONS GEOLOGIQUE DU GISEMENT DE KEF BOUACIDA, ET ASPECT PHYSIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 Introduction

La région d'Annaba, fait l'objet de plusieurs études géologiques. Ces dernières ont été réalisées par des chercheurs nationaux et internationaux. J.M.VILA, 1980, à qualifie le massif de l'EDOUGH, comme étant un massif cristallophyllien, situé sur la côte algérienne, il se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 Km de long sur 20 Km de large et d'orientation axiale N 60° à intercalation de marbre-amphibolite et de schiste satinés.

Il s'élève brutalement au-dessus de la mer et des plaines environnantes jusqu'à plus de milles mètre (1000m). Il est constitué par un empilement de plusieurs unités qui forment un dôme de foliation allongé selon la direction NE-SW (Hily, 1975 ; 1962 ; Brunel et al. 1988 Gleizes et al, 1988), ce massif est caractérisé par une lithologie variée, on y distingue un complexe cristallophyllien qui est la partie essentielle du massif, des formations magmatiques et sédimentaires qui sont localisées principalement dans la partie Est du massif.

La couverture géologique du territoire des quatre communes Annaba, El-Bouni, Sidi Amar et El Hadjar a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 d'Annaba, Seraïdi, Ain Berda et Dréan.

Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées aux Paléozoïque, Cénozoïque et Quaternaire qui correspondent à quatre grands ensembles tectoniques et structuraux : Le massif Cristallophyllien de la région de Annaba, l'Edough constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes des massifs Kabyles. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW – NE se prolonge au-dessus du lac Fezzara par les coteaux de Berrahal.

Au relief principal, s'ajoutent à l'Est le djebel Bougantas, le Kef N'sour et le Bouhamra, les coteaux de Annaba et enfin le promontoire du Cap de Garde qui est tranché brusquement par l'affaissement méditerranéen.

Cet ensemble montagneux de structures complexes (faillé et plissé) est affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque. Il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région d'Annaba dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

II.2 Cadre géologique régional

II.2.1 Le socle de l'Edough

Les premières investigations géologiques sur le massif cristallophyllien de l'Edough (figure 17) datent du 19^{ème} siècle suite à la découverte d'importants indices minéralisés en fer. Les premiers résultats relatifs à la structure du massif apparaissent dès les travaux de Hilly (1957). D'après cet auteur, le socle de l'Edough est constitué essentiellement d'un cœur gneissique sous forme d'un dôme anticlinal orienté SW-NE entouré de micaschistes à intercalations de calcaires.

Dans la partie supérieure des gneiss, à la base des micaschistes affleurent les roches basiques essentiellement amphibolitiques du Kef Lakhal (ex la Voile Noire). Selon Vila (1970), le djebel Edough doit être considéré comme un massif cristallin externe (africain) à l'opposé des autres massifs internes des Maghrébides à savoir les massifs du Chenoua, d'Alger, de Grande et Petite Kabylie. On doit signaler, ensuite, que la découverte des péridotites du massif de Sidi Mohamed (également appelé le km 7) associées aux gneiss migmatitiques sont dues aux travaux de Bossière et al. (1976).

Les études structurales ultérieures ont montré que les unités métamorphiques de l'Edough ont enregistré une intense déformation ductile à vergence Nord-Ouest, contemporaine d'un métamorphisme rétrograde associé à des déplacements tangentiels dont le jeu en failles normales serait à l'origine de l'exhumation du massif (Brunel et al., 1988; Gleizes et al., 1988).

Les âges $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur minéraux (biotite, amphibole et monazite) ont permis de préciser l'âge miocène (entre 24 et 16 Ma) pour cette déformation (Monié et al., 1992). Par ailleurs, deux datations par la méthode U/Pb sur les orthogneiss du massif de l'Edough ont permis d'attribuer un âge panafricain à ce socle (Hammor et Lancelot, 1998). Les mêmes orthogneiss ont donné un âge hercynien par la méthode U/Pb sur zircon (Bruguier et al. Ces auteurs soutiennent que cet âge doit être préféré, car plus proche de l'âge ordovicien supérieur-dévonien donné par les Acritarches (Ilavsky et Snopkova, 1987). En résumé, le massif de l'Edough est défini comme un dôme métamorphique constitué par les unités suivantes (Brunel et al., 1988; Gleizes et al., 1988; Hilly, 1957) :

- Une unité inférieure formée de gneiss œillés, de migmatites et quelques niveaux de micaschistes et marbres. Au sein des gneiss œillés, un petit corps ($0,03 \text{ km}^2$) de péridotites (Bossière et al., 1976) contient des metabasites (Hadj Zobir et al., 2007). Ces péridotites représentent une portion de manteau lithosphérique sous-continentale

(Hadj Zobir et Oberhänsli, 2013; Bosch et al., 2014) qui aurait été incorporé tectoniquement dans les unités de la croûte inférieure (gneiss) environnante vers 18 Ma (Bruguier et al., 2009).

- Une unité supérieure représentée par un ensemble de micaschistes alumineux, gneiss leuco-granitiques et marbres. Au Nord-Ouest du massif dans le Kef Lakhal.
- l'unité inférieure gneissique est surmontée tectoniquement par des mylonites à diamant formées à 36 kbar et 750°C (Caby et al., 2014).

Ces unités de très haute pression (UHP) sont-elles même surmontées par des amphibolites massives à grenat charriées sur les unités précédentes à 21 Ma (Fernandez et al., 2015). Les amphibolites à grenat sont issues d'un protolithe méta-gabbroïque océanique (Ahmed-Said et Leake, 1992, 1997; Laouar et al., 2002).

Des études géochimiques et isotopiques très récentes ont démontré l'affinité océanique "type MORB" de ces roches ainsi que celle des gabbros de Bou Maïza affleurant au Sud-Ouest de l'Edough (Fernandez et al., 2015 soumis), elles ont d'abord, été interprétées comme des fragments de croûte de bassin arrière-arc (Bosch et al., 2014), puis considérées comme des reliques de croûte océanique téthysienne (Fernandez, 2015; Fernandez et al., soumis).

Le métamorphique complexe de l'Edough a été exhumé vers ~18-16 Ma (Monié et al., 1992; Hammor et Lancelot, 1998). Cet âge a été réévalué à 17.8-17.4 Ma (âge U-Pb sur monazites; Bruguier et al., 2009). Le massif de l'Edough, situé sur la côte algérienne, dans la région d'Annaba est un massif cristallophyllien, le plus oriental de la côte algérienne, il se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 Km de long sur 20 Km de large et d'orientation axiale N 60 à intercalation de marbre amphibolite et de schiste satinés (J.M.VILA, 1980). Le massif de l'Edough est caractérisé par une lithologie variée, on y distingue un complexe cristallophyllien qui est la partie essentielle du massif, des formations magmatiques et sédimentaires qui sont localisées principalement dans la partie Est du massif. Il a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Hilly, 1962; Vila, 1970; Gleizes et al., 1988; Marignac et Zimmermann, 1983; Marignac, 1985; Bouguerra, 1990 ; Monié et al., 1992; Hammor, 1992; Aissa et al., 1995; Hammor et Lancelot, 1998; Laouar et al., 2002) et il est considéré comme faisant partie des zones internes de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord, associée à la collision de la plaque africaine et européenne durant la période Oligo-Miocène (Auzende et al. 1975; Bouillin, 1979; 1986; Cohen, 1980; Maurey et al., 2000; Laouar et al. 2005). Le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque; l'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW (figure18).

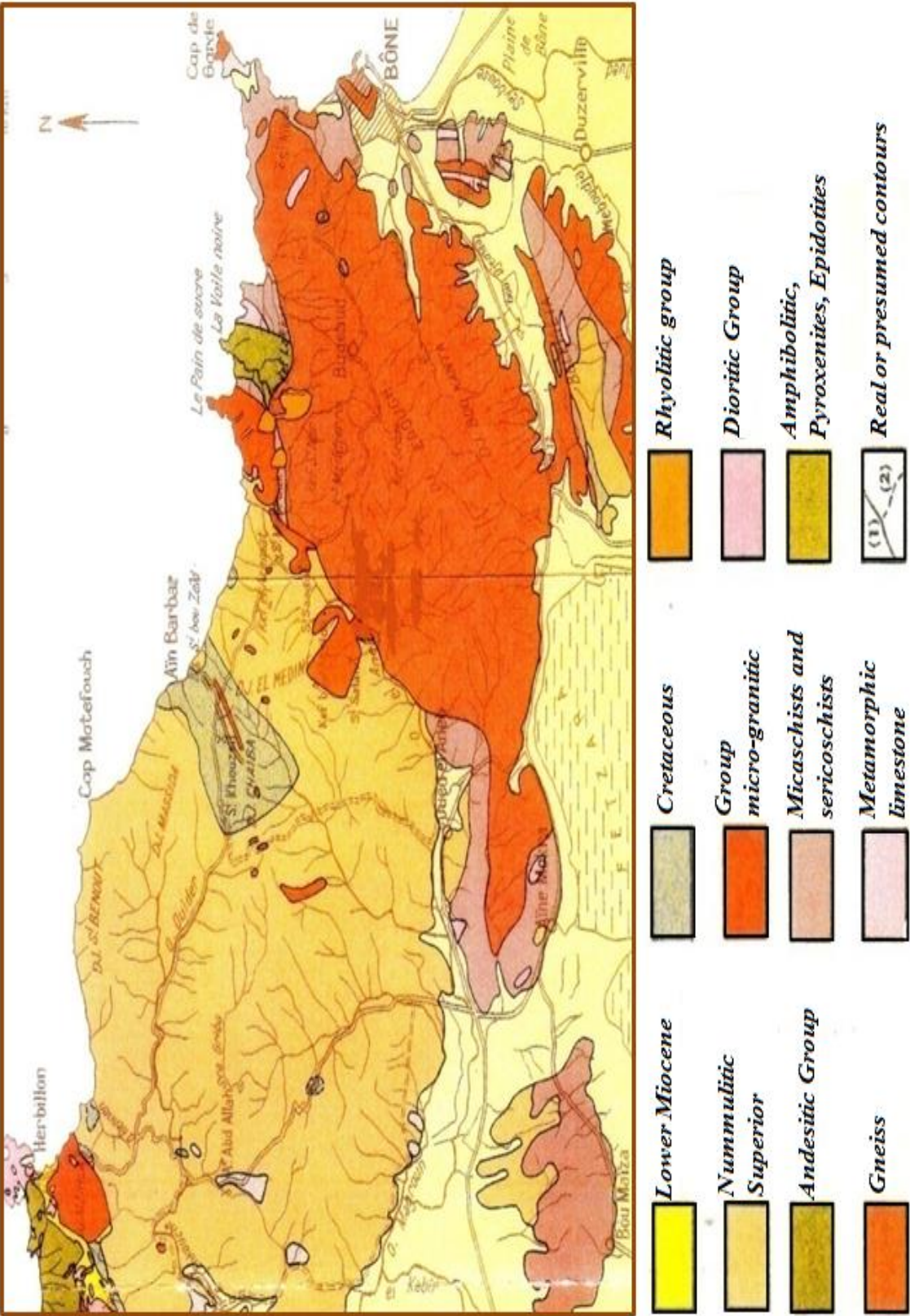


Figure 17 : Carte géologique de massif de l'Edough (J.M. Vila 1970)

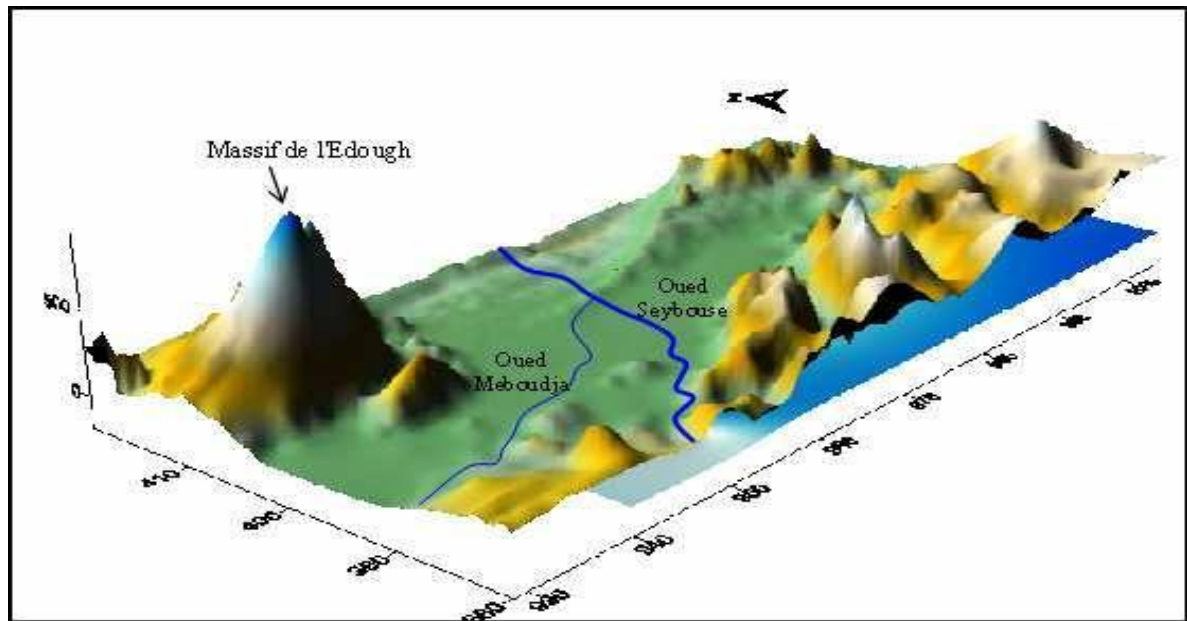


Figure 18 : Vue 3D du massif de L'Edough (docplayer.fr)

II.2.2 Le complexe cristallophyllien

D'après les nombreux travaux géologiques dont J.M. Vila, 1970 et G. Gleizes, 1988, Le massif de l'Edough est continué d'un socle métamorphique, d'une couverture sédimentaire et de roches éruptives. Le socle métamorphique est constitué de quatre unités lithologiques:

- L'unité gneissique de base ; occupant la zone centrale du massif, qui dessine un dôme anticlinal dont l'axe est orienté SW-NE. Ce sont des gneiss riches en mica et en matériel quartzo-feldspathiques, certains sont oillés et d'autres finement feuilletés ou rubanés.
- L'unité intermédiaire ; constituée par une alternance de micaschistes alumineux jalonnés par un ou plusieurs horizons de marbres, d'amphibolites et de proxénètes.
- L'unité supérieure ; est composée par une alternance de bancs de quartzites feldspathiques et de micaschistes alumineux riches en grenat et en tourmaline.
- Les amphibolites et les roches ultrabasiques; les roches basiques sont localisées dans la partie supérieure des gneiss et dans les assises de base des micaschistes.

Ces formations sont riches en quartz, plagioclases, biotites, amphiboles ou pyroxènes et elles affleurent au nord du massif (figure 19).

II.2.2.1 L'unité de base

Représentée principalement par des gneiss et des micaschistes correspondant respectivement à la série gneissique de base, on y distingue des gneiss clairs des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathique, en mica, sillimanite et parfois en tourmaline. Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspaths de 5cm.

II.2.2.2 L'unité intermédiaire

Elle repose sur la série gneissique. Cette série est constituée par une alternance de micaschiste et de bancs de marbre à cristaux plus aux moins bien cristallisés. Le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des Skarns de réaction. Mer Méditerranée Skikda Guelma 0 16 Annaba La Voile Noire 05km Cap Morfouch Mer Méditerranée Pain de Sucre Ain-Barbar Annaba Serraidi El-Hadjar Lac Fetzara Bélélieta Berrehal O. El-Kbir Boumaiza Bouzizi 827 m 795 m MOKla Lahdid O. Aneb A1008 m N

II.2.2.3 Les micaschistes

Leur épaisseur varie de quelques mètres à 100 m, sauf au Cap de Garde où ils apparaissent en position verticale avec une structure litée, selon leur composition minéralogique il existe plusieurs types de micaschistes : micaschistes à grenat, micaschistes à grenat et andalousite, micaschistes à deux mica, micaschistes à phénoblastes de muscovite, micaschistes à grenat et staurotide, micaschistes à andalousite et à tourmaline avec plus ou moins de grenat, micaschistes à disthène. Tous les micaschistes renferment des minéraux du métamorphisme dont certains sont visibles à l'œil nu (grenat, andalousite, staurotide et disthène). Ces minéraux sont assez bien formés et sont souvent idiomorphe.

II.2.2.4 Le marbre

Affleure en lentilles ou en petits bancs, parfois recoupé des micaschistes. La couleur est souvent grise très claire, légèrement blanche.

II.2.2.5 L'unité supérieure (série des alternances)

Cette unité est essentiellement constituée par l'alternance régulière de micaschiste souvent fortement alumineux et de quartzite feldspathique très plissotée. Dans les micaschistes alumineux à muscovite (ou) à biotite s'intercalent des "lydiennes" noirs en lits d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La présence d'acritarches (Ilavsky et Snopkova, 1987) précise que cette série est d'âge Paléozoïque. Vers la base s'intercalent des dalles de gneiss œilles dont la puissance varie de 10 à 100 m.

II.2.2.6 Les roches ignées

Les roches ignées du massif de l'Edough sont localisées, d'une part à la bordure Nord occidentale du massif et dans la région d'Ain Barbar, d'autre part dans la partie septentrionale du massif du Cap de Fer. Ces roches font partie d'une même série calco-alcaline et peuvent être classé en grands groupes.

II.2.2.7 Le groupe microgranitique

C'est le groupe le plus important dans le massif de l'Edough, comprend des roches microgrenues plus rarement à tendance microlitique. Il se présente selon le cas : en dykes, en petits pointements en bosses, et des laccolites.

II.2.2.8 Le groupe rhyolitique

Les laves qui appartiennent au groupe rhyolitique n'affleurent pratiquement que dans la région située au Nord-Ouest du massif, il se présente soit en filon soit en massif. Les rhyolites renferment des enclaves de gneiss, de micaschistes, grès numidien, flysch sénonien et microgranite au sein des rhyolites.

II.2.2.9 Le groupe dioritique

Les roches du groupe dioritique sont localisées dans la partie septentrionale du massif de Cap de Fer, leur texture est généralement grenue, elles sont formées de plagioclase, de hornblende et augite.

II.2.2.10 Le groupe andésitiques

Ce groupe est beaucoup moins homogène que les précédents, ils comprennent des roches allant des basaltes aux rhyolites mais qui ont, pour la plus part, un faciès andésitique. Ce groupe ne se situe pas exactement dans le massif de l'Edough mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaibi.

II.2.3 Les terrains sédimentaires

La couverture sédimentaire est constituée essentiellement des calcaires transgressifs du jurassique et du Crétacé et des flyschs allochtones. Vila (1970) signale sur les flancs nord et sud du massif l'existence d'une série sédimentaire comportant des calcaires massifs suivis de calcaires à silex du Lias ou du Jurassique moyen-supérieur et des calcaires marneux du Crétacé inférieur, les flyschs allochtones représentés par :

- Les flyschs Numidiens représentés par l'alternance de grosses barres de grés à dragées de quartz et de minces couches d'argile de teinte grisâtre.

- Les flyschs Sénoniens, affleurant en fenêtre au NW de l'Edough (Hilly, 1962), présentent l'aspect de schistes argileux avec présence parfois de microbrèches.

Les roches éruptives sont constituées essentiellement de microgranites et de rhyolites (Hilly, 1962):

- Les microgranites, qui affleurent au nord du massif, présentent une teinte généralement grisâtre à verdâtre.
- Les rhyolites se rencontrent dans la partie septentrionale de l'Edough.

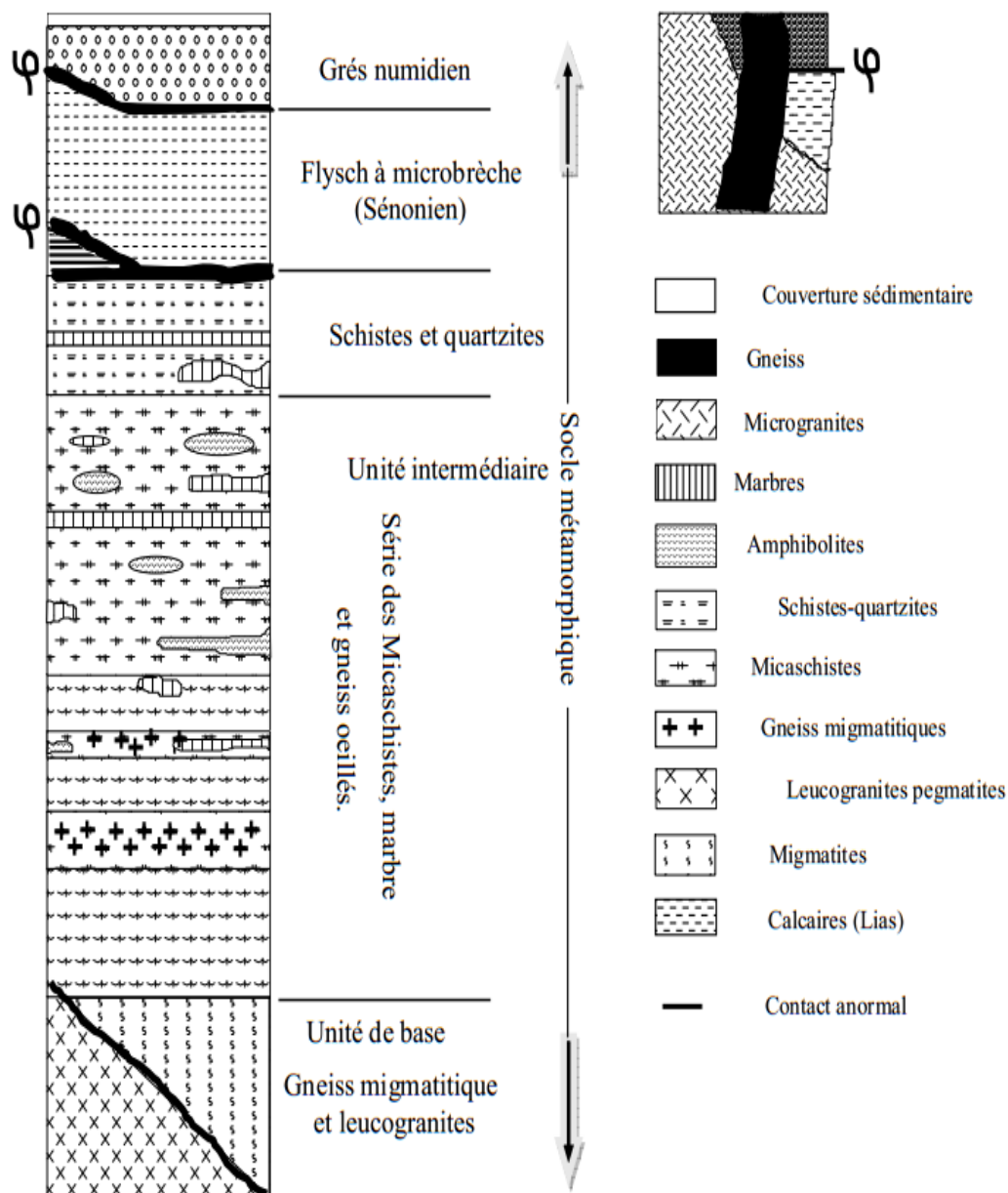


Figure 19 : Colonne Lithologique du massif de l'Edough (Aissa D. E, 1985)

II.2.4 Les flyschs ou grès numidiens

Ils se présentent sous forme d'alternance de grès grossiers, hétérométrique à dragées de quartz et de minces couches pelitiques, les argiles forment la base de cette unité. Les flyschs numidiens reposent sur les flyschs sénoniens et sont séparés en deux par une zone bréchique intensément silicifiés et chloritisés.

II.2.5 Les flyschs sénoniens

Ils affleurent sous le numidien en fenêtre près d'El Mellaha et Es Saf-Saf au Nord-Ouest du massif. Les flyschs sénoniens présentant un aspect de schistes argileux de teinte noire, bleutée ou jaunâtre. Ils sont constitués d'un matériel quartzeux, chloriteux très fin, carbonaté ou bioclastique.

II.2.6 Le Mio-Pliocène

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine de Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers. Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) :

La fosse de Ben - Ahmed, orientée S-N. et La fosse de Ben – M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo - sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba – Bouteldja.

II.2.7 Quaternaire

Il est constitué de formations continentales, alluvionnaires, colluviales et marines. Les études géologiques de L. Jaleaud, (1936) sur le Quaternaire dans la région de Annaba font apparaître les traits suivants :

- **Quaternaire ancien** (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argiles, limon, sables, gravier et galets), et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m.
- **Quaternaire moyen**, correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constituée par des argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région.

- **Quaternaire récent**, caractérisé par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine (S. E. Cherrad, 1979 in N. Kherici, 1993) il correspond à la basse et la moyenne terrasse.
- **Quaternaire actuel**, les alluvions sont représentées par des dépôts des lits actuels des Oueds, formé généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued. Cette description géologique de la zone d'étude a montré, que les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire sont intéressantes du point hydrogéologique car pouvant contenir des réservoirs d'eau importants.

II.3 Tectonique et structure du massif de l'Egough

Selon J. M. Vila, 1977 ; la tectonique de l'Algérie orientale est particulièrement complexe, généralement, on peut subdiviser la région d'étude en deux grandes unités structurales :

Le massif de l'Edough : Il occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire.

La plaine d'Annaba : constitue la partie orientale de la zone d'étude, elle a connue deux événements tectoniques distincts :

- Durant le Miocène, un enfoncement progressif du grès Numidiens, une des conséquences de la phase alpine et continue jusqu'au Miocène supérieur.
- Durant le Plio-Quaternaire, s'est produit un remplissage des matériaux détritiques, ce remplissage correspond au dépôt de deux fosses d'effondrement d'âge Mio-Pliocène.

II.3.1 Déformations synmétamorphiques

Le socle de l'Edough a subi une histoire tectonométamorphique complexe où deux séquences d'événements peuvent être individualisées :

- a. plissements synschisteux contemporains d'un métamorphisme de type barrovien (disthénestaurotide-grenat).
- b. plissements synschisteux et cisaillements ductiles contemporains d'un métamorphisme de basse pression (andalousite-sillimanite) dans le contexte distensif d'une faille de détachement (Brunel et al, 1989) d'âge burdigalien (Monié et al, 1992; Aissa et al. 1994; 1995).

II.3.2 Déformations tardives

Les déformations tardives se résument essentiellement en la formation de plis et de failles (Aissa, 1995): **Plis** : Plis droits à N140°E et brachyantoclinal (N50-60°E) façonnant la forme

actuelle du massif. **Faïles** : Un premier type de failles (F1) constitue une famille dont l'orientation dominante varie de N120° à N150°E et correspondrait à des failles décrochantes dextres. Les failles N150° à N160°E contrôlent les minéralisations polymétalliques hydrothermales et paraissent par ailleurs avoir guidé la mise en place des rhyolites. Un deuxième type de failles (F2), d'orientation NE-SW cette famille correspondrait à un système de failles décrochements senestres. Un troisième type de failles (F3) moins important qui a une direction moyenne E-W et un quatrième type rare de direction moyenne N-S qui semble en liaison avec le premier type (F1).

II.4 Minéralisations du massif de l'Edough

La présence de gîtes et indices métallifères dans le massif de l'Edough est en relation plus ou moins directe avec l'activité magmatique et les systèmes de failles principalement contrôlés par la tectonique distensive langhienne.

Quatre types principaux de minéralisation sont reconnus :

- gîtes à Fe-(Pb-Zn-Cu) liés aux marbres et skarns exemple : ceux de Berrahal et Boumaiza.
- filons à minéralisation polymétallique encaissés dans les flyschs crétacés exemple: Ain Barbar, El-Mellaha.
- gîtes à W-As-Au liés aux skarns et gneiss exemple: Belelieta, Bouzizi.
- filons à Sb-Au situés à travers le complexe métamorphique exemple: Koudiat El-Ahrach, SafSaf, Ain Barbar.

II.5 Influence de la fracturation et de l'altération

Dans le massif de l'Edough, la naissance des sources semble être liée à deux phénomènes géologiques; la tectonique cassante et l'altération superficielle du socle.

II.5.1 La tectonique cassante

La couverture végétale très dense et l'absence des niveaux repères rendent ardue l'étude de la tectonique cassante. Néanmoins, les accidents tectoniques connus jusqu'à ce jour dans le massif de l'Edough permettent de déceler deux familles d'accidents

- Une première famille, dont l'orientation est nord-ouest - sud-est, la direction la plus fréquente de ces accidents varie de N120°E à N150°E. Cette famille Correspondrait à un système de failles décrochants dextrose.

- La seconde famille d'accidents, qui semble être conjuguée à la première, est dirigée nord-est-sud-ouest. Cependant la direction la plus fréquente est N30°E en moyenne. Cette famille pourrait correspondre à un système de failles décrochantes sénestres.

Outre le système de failles conjuguées (NW-SE et NE-SW), la phase tectonique est également responsable de la formation des fractures secondaires d'extension.

Ces fractures sont la conséquence de la tectonique compressive qui affecta le massif de l'Edough à plusieurs reprises durant la phase alpine et surtout postérieurement.

En hydrogéologie, l'existence de ces fractures laisse supposer un bon drainage, pouvant être modifié par la présence de pentes structurales selon les secteurs.

II.5.2 L'altération superficielle du socle

Le cœur du massif de l'Edough est constitué essentiellement de gneiss de divers types: gneiss ocellés, gneiss rubanés et gneiss migmatiques à intercalation de lentilles de marbres et d'amphibolites. L'altération superficielle de la roche mère (gneiss) permet le développement d'un sol épais pouvant atteindre par endroits huit mètres d'épaisseur (Fig. 2(b)) (d'après les sondages de l'EREC (1987)). Ainsi, à proximité des fractures, nous constatons que la roche mère perd toute sa cohésion et devient friable, prenant une teinte blanchâtre, ceci est expliqué par le fait que le long des fractures, l'eau s'infiltre et hydrolyse les silicates de la roche. Ainsi, les micas perdent du potassium et du fer, les feldspaths perdent de la potasse, du sodium et de la silice s'hydratent et se transforment en silicates d'aluminium hydratés. De même que le niveau de marbre qui, en contact avec les eaux de ruissellement, libèrent le calcium, et le magnésium.

II.6 Situation géographique et physique du massif de l'Edough

II.6.1 Situation géographique

Situé au nord-est algérien, le massif cristallophyllien de l'Edough est bordé au nord et au nord-est par le lac Fezzara et les plaines d'Annaba, par la plaine de Senhadja et les massifs de Chétaibi au nord-ouest. Sa masse principale, allongée en direction N55°E correspond au djebel Edough proprement dit. La ligne de crêtes, Longue de 26 km, atteint 1008 m au Kef Sebaâ, point culminant de la région, redescend à 867 m vers le village de Seraïdi puis s'abaisse jusqu'à l'extrémité de la presqu'île du Cap de garde au nord d'Annaba.

II.6.2 Présentation de l'exploitation

La carrière Kef Bouacida (figure 20) est exploitée par le Groupement OHL-INFRA-RAIL, suivant autorisation exceptionnelle et provisoire d'exploitation N° 5717 PM* du 24.09.2007, d'une superficie

de 30ha, destiné exclusivement au projet de la mise à double voie et modernisation de la ligne ferroviaire Annaba- Ramdhane Djamel.

Le site objet de l'étude fait partie de la commune d'Oued El Aneb, Daira de Berrahal, Wilaya d'Annaba. Il est délimité par les coordonnées UTM suivant (tableau 3):

Tableau 3 : Les coordonnées UTM de la zone d'étude

Points	Coordonnées	
	X	Y
1	371400	4086900
2	371800	4086900
3	371800	4086300
4	371900	4086300
5	371900	4086100
6	371600	4086100
7	371600	4086300
8	371400	4086300

II.6.3 Aperçu physique

La ville d'Annaba, chef-lieu de la Wilaya est situé à l'Est du pays à environ 600km d'Alger, elle est limitée géographiquement (figure 20 et 21):

- Au nord par la mer méditerranée,
- Au sud par la Wilaya de Guelma,
- A l'Est par la Wilaya d'El-Taref,
- A l'Ouest par la Wilaya de Skikda.

Elle s'étend sur une superficie de 1.412 km², et se caractérise par un relief varié, constitué essentiellement de montagnes, de collines et de plaines.

Les montagnes représentent 52.16% du territoire de la Wilaya soit, une superficie de 736km². Elle se distingue par le massif de l'Edough dont le point culminant se situe au mont « Bouzizi » avec 1.100m d'altitude.

Les collines et les piémonts, occupent 25.82% de la superficie totale, soit 365km². Les plaines représentent 18.08 du territoire soit 255km², et sont constituées essentiellement par la plaine de Kherraza.



Figure 20 : Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2018)

Le reste du relief est constitué de plateaux, et autres, représentant 3.94% de la superficie, soit 56km². La Wilaya d'Annaba est constituée de six (06) Daïra autour desquelles gravitent douze (12) communes, dont cinq (05) urbaines, en l'occurrence : Annaba, El-Bouni, Sidi Amar, El Hadjar et Berrahal, qui totalisent à elles seules près de 85% de la population, soit 596.000 habitants. Au plan géophysique, la Wilaya occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la Méditerranée ; position confortée par un environnement et des potentialités géo-économiques qui en font un pôle d'attraction régional.

Annaba a une longue façade maritime qui s'étend sur 80km de côtes, représentant un potentiel halieutique et touristique très important. Une superficie agricole utile (SAU) de près de 43.850ha représentant plus de 60% des terres agricoles et bénéficiant d'une pluviométrie de près de 1.100mm/an en moyenne. Un important réseau hydrographique composé d'Oueds et lacs et enfin un massif forestier riche et varié plus de 51.16% de la superficie de la Wilaya.

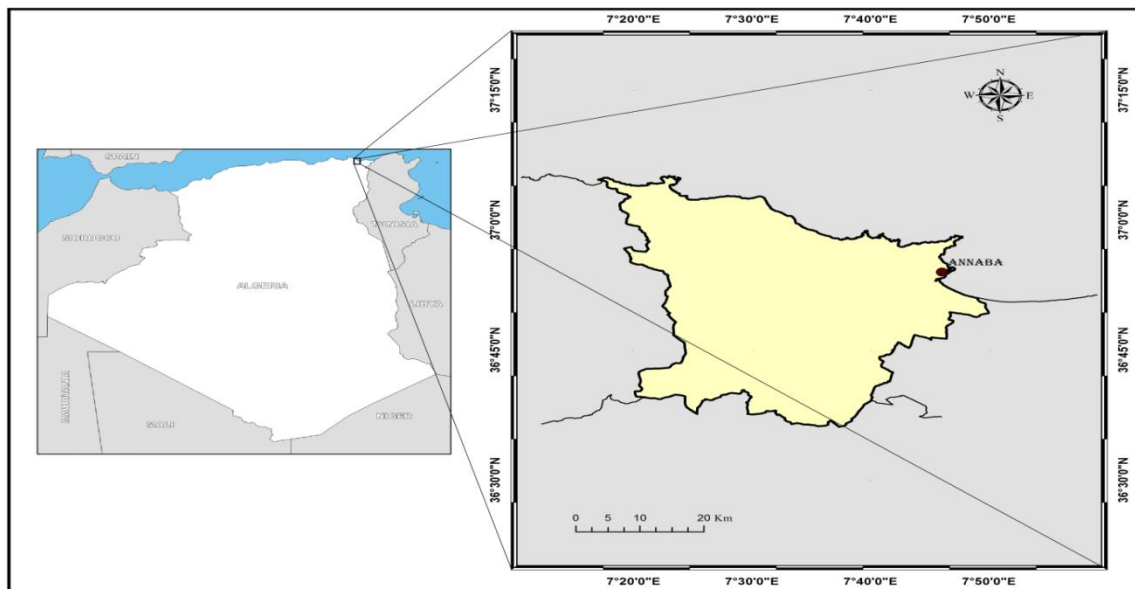


Figure 21 : Plan de situation Géographique de la zone d'étude (docplayer.fr)

II.6.4 Aspect économique et infrastructure

Elle dispose en outre qui sont pour l'essentiel liés à sa fonction de métropole régionale, ainsi qu'à ses spécificités géomorphologiques, à savoir :

- Des conditions agro pédologique favorable avec des sols a hautes valeurs agricoles.
- L'existence d'une base industrielle dense et diversifiée.
- Un réseau d'infrastructures multimodal (aérien – terrestre – ferroviaire et maritime) assurant avec une bonne desserte de l'espace régional, ainsi que les connexions nécessaires aussi avec les autres régions du pays qu'avec le reste du monde.

- Une technopole universitaire avec un large éventail de spécialités technologiques.
- Un potentiel touristique de premier ordre tant du point de vue des sites naturels qu'il recèle que des équipements d'accompagnement et des infrastructures de communications et d'accès existants.
- Un marché en pleine expansion.

Le secteur industriel occupe une place primordiale dans la vie de la région. La plus importante des réalisations industriels est le complexe sidérurgique d'El-Hadjar et qui répondait à l'option de l'industrie lourde choisie par le pays le lendemain de l'indépendance.

La zone industriel s'étend essentiellement sur l'axe Annaba–El-Hadjar où se trouvent les entreprises de pétrochimie (Asmidal), sidérurgie (Prosider), métallurgie (Prométal), mobilier scolaire (ENATB).

Le secteur agro-pastoral a connu une valorisation progressive dans la production des céréales, de la tomate, des produits laitiers, des viandes rouges et blanches. Le patrimoine forestier atteint 66759ha et les parties les plus élevées de la chaîne montagneuse sont couvertes par le chêne-liège. La région est alimentée en gaz naturel dans les nombres de ses agglomérations, le taux d'électrification y est très important (>90%). Grâce à l'industrialisation lourde qu'a connue cette Wilaya, un grand nombre de population et demain-œuvre a été attiré des Wilayas limitrophes.

II.6.5 Géomorphologie

La Wilaya d'Annaba peut être subdivisée en trois parties bien distinctes ce sont :

- Les massifs de l'Edough (figure 22), Boa Kanta, de Bélélieta, de Bou Amra et de Cap de garde qui représente la partie Nord-Ouest.
- La vaste plaine marécageuse de lac de Fedzara dans la partie centrale.
- Les chaînes montagneuses numidiques qui s'élève au sud.

II.6.6 Climatologie

Le climat de la région est méditerranéen ; chaud en été, froid et humide en hiver. La température moyenne annuelle est de 15°C. Par sa situation en altitude, la région reçoit des précipitations abondantes dont le total annuel est de 70 mm/an.

Les chutes de neige sont également fréquentes, elles accompagnent les pluies et les grêles et couvrent les sommets dont l'altitude dépasse les 700 m. Le couvert neigeux peut atteindre 20 cm. Les vents dominants sont ceux du Nord-Ouest.



Figure 22 : La chaîne montagneuse Edough (la ville de Seraidi)

II.6.6.1 Topographie

La topographie des lieux est caractéristique des reliefs montagneux, les points les plus élevés de la région sont : Chaiba (827m), Sidi Kusseul (604m).

II.6.6.2 Hydrogéologie

Le site fait partie d'une vaste étendue montagneuse comprise entre la chaîne côtière au Nord délimitée par la ligne des crêtes des massifs de l'Edough et son prolongement au Nord-Ouest le Djebel Chaiba et la plaine alluvionnaire de Oued El Aneb.

II.6.6.3 Hydrographie

Cette région escarpée est sillonnée par de profondes vallées constitue le bassin versant du Sud-Ouest du massif de l'Edough-Chaiba, alimentant les principaux Oueds.

Le réseau hydrographique est représenté par une maille serrée d'Oueds alimentés par nombreuses sources thermales ainsi que la pluie abondante de l'hiver, parmi ces Oueds on cite :

- Oued El Aneb
- Oued Boumessous
- Oued Maiser
- Oued Sidi Saleh à l'est du périmètre
- Oued Dar Ben Moussa à l'Ouest

- Ces deux Oueds représentent les principaux affluents d'Oued El-Aneb situé en contrebas du site.

II.6.7 Infrastructure

II.6.7.1 Infrastructure hydrauliques

Pas de captage, pas d'ouvrage hydraulique, le site se trouve éloigné de toute habitation, la construction la plus proche se trouve à 1000m non habitée et ne comporte pas de toiture du fait qu'elle a été désertée depuis les années 1990.

II.6.7.2 Infrastructure routières

Le réseau routier se compose de 660km de linéaires se répartissant comme suit :

- Routes nationales : 131km,
- Chemins de Wilaya : 295km,
- Chemins communaux : 234km.

Ce réseau constitue un support économique reliant la Wilaya au reste du pays, à travers ses trois (03) principaux couloirs, en l'occurrence (figure 23):

- Le couloir « Est-Ouest » représenté par la RN44 (liaison express Annaba–Constantine) par lequel transitent en moyenne 12.000 véhicules par jour.
- Le couloir « Est-Sud » représenté par la RN16 (Annaba – Souk Ahras – El Oued) Enregistrant en moyenne 20.000 véhicules par jour.
- Le couloir « Nord-Sud / Nord-Ouest » représenté par la RN21 par lequel transitent en près de 24.000 véhicules par jour.



Figure 23 : Route nationale 44, Annaba-Berrahal, 30km de long

II.6.7.3 Réseau ferroviaire

Le réseau ferroviaire sur le territoire de la Wilaya de Annaba porte sur une longueur totale de 50km dont 12km en double voie (Annaba El-Hadjar), assurant le raccordement de la wilaya au réseau national.

Il dispose en outre d'une ligne électrifiée de 30km de linéaires reliant Annaba au gisement de Djebel-Onk (Wilaya de Tébessa) et utilisée essentiellement pour le transport du minerai. La répartition, par axes, du réseau de chemin de fer à l'intérieur de la wilaya s'établit comme suit :

- Nord-Sud : Annaba El-Hadjar vers Tébessa sur 12km,
- Est-Ouest : Annaba-Oued Zied–Berrahal vers Constantine sur 32km.
- Une ligne interne reliant El-Hadjar, Sidi Amar, Oued Zied sur 18 km ; ainsi qu'une douzaine de branchements particuliers totalisant une longueur de 36km.

L'exploitation de ces infrastructures est assurée par 08 gares ferroviaires, à savoir :

- Une (01) gare principale de voyageurs (figure 24),
- Une (01) gare principale de transport de marchandises (3eme classe),
- Une (01) gare de transport (5^{ème} classe) à El-Hadjar (Complexe sidérurgique),
- Une (01) gare de transport (4^{ème} classe) à El-Hadjar (ville),
- Quartes (04) gares (6^{ème} classe) à Annaba, Oued Zied, Berrahal et Sidi Amar.



Figure 24 : La gare ferroviaire d'Annaba

II.6.7.4 Réseau portuaire

Le réseau portuaire se compose de trois (03) ports (figure 25);

- un port commercial localisé à Annaba comprenant un plan d'eau de 108 ha et d'un tirant d'eau supérieur à 10 mètres pouvant accueillir des navires de gros tonnage.
- S'étendant sur un linéaire de quai de 3.785 m, le port offre 20 postes à quai et un terminal à containers d'une capacité de stockage de 1.717 unités.
- Par ailleurs, il dispose d'une gare maritime pour voyageurs d'une superficie de 4.000 m² et d'un (01) silo à grains d'une capacité de 16.000 tonnes.
- Un port de pêche à Annaba, au lieu-dit « la Grenouillère » disposant de 02 bassins.
- Un port de pêche à Chétaibi, d'un linéaire de 140m et d'un tirant d'eau de 03 mètres comprenant 02 abris de pêche, protégés chacun par une jetée.



Figure 25 : Vue générale du port maritime d'Annaba

II.6.8 Réseau aéroportuaire

Il se compose d'un (01) aéroport disposant d'une piste principale de 3.000 m x 45 et d'une piste secondaire de 2.290 m x 45.

Il comprend en outre :

- Deux (02) salles de transit d'une superficie de 1.575 m² et de 1.160 m² respectivement pour les lignes domestiques et internationales.
- D'un magasin de fret de 1.003 m³.
- D'un parking pour avions pour 06 postes.

L'aéroport est, en outre, distant de 10 kilomètres du chef-lieu de la Wilaya.

II.7 Conditions d'exploitation de la carrière de granulat Kef Bouacida

II.7.1 Méthode d'extraction

Dans l'exploitation de la carrière de granulats de Kef Bouacida, on trouve six étapes principales de production :

- le décapage des niveaux non exploitables ;
- l'extraction des matériaux ;
- l'amenée du tout-venant jusqu'aux installations de traitement ;
- le traitement du tout-venant dans des unités primaires, secondaires et éventuellement criblage pour obtenir les produits finis ;
- le stockage et la livraison ;
- la remise en état du site après exploitation.

Le recouvrement du gisement de Kef Bouacida est constitué de broussaille et de buisson impénétrable avec un couvert végétal important (figure 26). Cette phase est critique compte tenu de la densité du maquis et des conditions de sécurité dont il faut au préalable s'assurer.



Figure 26 : Déboisement des terrains et aménagement des pistes (OHL-Infrarail 2010)

II.7.2 L'Ouverture des accès

Cette opération a pour but de mettre à nu le gisement à extraire, par retrait des couches superficielles (figure 27).

La découverte est constituée par la terre végétale, les roches plus ou moins altérées et les niveaux stériles.

Les travaux sont faits de façon sélective pour bien séparer la terre végétale des stériles, ces deux horizons serviront à la remise en état du site, après exploitation, dès le retrait de la couverture végétale, le vent peut entraîner les matériaux les plus fins, de même les différentes manipulations sont susceptibles de libérer des fines.

Les stocks de matériaux : terre végétale et stériles peuvent constituer des sources d'envol de poussière.

Cette source est ponctuelle, limitée dans l'espace et dans le temps, les quantités sont relativement peu importantes. Les facteurs aggravants sont le temps sec et venteux et la siccité naturelle de la roche.



Figure 27 : Ouverture des accès (OHL-Infrarail 2010)

II.7.3 L'Abattage à l'explosif

Le matériau exploité est cohérent et l'extraction est réalisée à l'aide de tirs de mines. Cette étape comprend la foration des trous destinés à recevoir les mines et l'abattage du matériau à proprement parler (figure 28). L'importance de l'émission de poussières est variable en fonction de la méthode de tir et du type de gisement, dans le plan de tir il est précisé : Nombre du trou ; diamètre des trous ; La profondeur des trous ; Angle d'inclinaison de trous ; La maille ; La ligne de moindre résistance ; Le mode d'amorçage ; La quantité et type d'explosif ; Le mode de mise à feu.

La foration est réalisée à l'aide de deux chariots de forage type roto-percutant avec taillants en carbure tungstène de diamètre 76mm, 79mm ou 89mm, cette opération est caractérisée par un broyage de la roche en la transformant en poudre se déposant au fond du trou, Cette poudre sera soufflée et aspirée à l'extérieur pour permettre la progression de la foration. Cette poussière est directement rejetée à l'air libre et à même au sol.

La quantité moyenne d'explosif utilisée par tir est 2500 ml, l'explosif le plus fréquemment utilisé est la marmanite 50, le nombre de trou par volée est de 100 trous en moyenne.

Le mode de mise à feu est pyrotechnique, avec mèche lente et détonateur pyrotechnique. La hauteur des gradins est uniforme, il est de 15m.



Figure 28 : Chariot de forage Atlas Copco

Le tir et l'abattage se fait à l'aide d'explosifs introduits dans les trous forés, au moment de l'explosion, il se produit une fragmentation importante de la roche en un temps très court, donc un nuage de poussières conséquent mais assez vite dispersé. Il faut remarquer que ce nuage est en majorité constitué par le soulèvement de poussières présentes sur le sol et remises en suspension par le souffle de l'explosion. Il s'agit d'une source ponctuelle avec une fréquence variable selon l'organisation de l'exploitation, le vent et l'état de dessiccation sont des facteurs aggravants.

II.7.4 Traitement des matériaux

Le traitement comprend les opérations de concassage, de criblage et, si nécessaire, de lavage, à l'issue de chaque opération, le produit est placé sur un convoyeur qui l'achemine vers l'opération suivante.

II.7.4.1 Les opérations de concassage

La première étape de l'élaboration des granulats est la réduction des matériaux bruts. Selon le taux de réduction désiré, les granulats sont fragmentés dans différents concasseurs et broyeurs afin d'obtenir des produits de diamètre spécifique correspondant aux différentes classes granulométriques recherchées par la clientèle ou permettant des opérations de traitement ultérieures, la fabrication des granulats à partir de roches massives nécessite toujours plusieurs opérations de concassage, ces opérations libèrent des particules fines (figure 29).

Dans l'unité de la préparation mécanique de la carrière Kef Bouacida, on distingue:

- Concassage primaire à mâchoire de 550t/h; réduit le tout venant en provenance du front de la gamme 600mm et plus à 0-400 mm.
- Concassage secondaire giratoire de 550t/h; réduction de la gamme 0-400 mm à la granulométrie usuelle.

La roche est fragmentée par écrasement entre une plaque mobile et une plaque fixe. La plaque mobile du concasseur à mâchoires effectue un mouvement oscillatoire et celle du concasseur giratoire, un mouvement pendulaire. Ces appareils sont souvent utilisés au niveau du traitement primaire et secondaire. Ils sont générateurs de poussières, les opérations concassage produisent des fines susceptibles de s'envoler, les pièces en mouvement et la ventilation des appareils (refroidissement) sont également des sources d'envols de poussières.

Le concassage constitue une source permanente de poussières (pendant les heures de fonctionnement de l'exploitation) ; l'importance est variable selon le type de concasseur et selon sa position dans la chaîne de traitement.

Au niveau du concasseur giratoire, il peut y avoir un effet de cheminée entraînant une dispersion importante de poussières lors de la chute des matériaux broyés. Cet effet est produit par les ouvertures de socle des concasseurs, quand ceux-ci sont disposés au-dessus du niveau du sol. Afin de lutter contre les poussières, de l'eau est injectée dans les appareils mais lorsque ceux-ci ne sont plus en charge, l'arrivée d'eau est arrêtée pour éviter de colmater l'appareil et l'effet ventilateur provoque un nuage de poussières.

II.7.4.2 Criblage

Le criblage consiste à classer les matériaux selon leur dimension avant de les commercialiser. On obtient ainsi des éléments de différents calibres exprimés en granulométrie (dimension précise de granulat) ou en fourchette (une fourchette

granulométrique est représentée sous la forme « ballaste 30/60 mm », « sous ballaste 0/30mm » et « Gravelettes 3/8mm » (figure 30).

Cette opération est effectuée par une succession de cribles, des grilles soumises à des vibrations, qui séparent les grains en ne laissant passer que les éléments inférieurs à la taille d'ouverture des mailles.

Ce procédé provoque une dispersion des poussières. De plus, le frottement des matériaux les uns contre les autres engendre, par attrition, une production supplémentaire d'éléments fins d'autant plus importante que les matériaux sont plus tendres. La dispersion dans l'atmosphère des poussières produites par les cribles dépend de l'état de finesse du produit à cribler ; plus il contient d'éléments fins, plus cette dispersion est importante.

Il arrive fréquemment que les opérations de criblage et de lavage soient simultanées, ce qui diminue les émissions de poussières, au contraire des cribles à sec qui génèrent des niveaux d'empoussièrement extrêmement élevés.

Les opérations de concassage et de criblage sont les plus « productrices » de poussières sur un site, d'autant plus que l'émission est permanente. Ces différents appareils s'intègrent dans des boucles du type « alimentation - concassage - criblage » qui se multiplient suivant les capacités des appareils à réduire et les types de granulats à produire. La multiplication de ces boucles augmentera donc les sources de poussières puisque chaque élément est générateur de poussières. Les cribles sont généralement situés au sommet des installations et, de ce fait, sont très exposés aux vents.

II.7.4.1 Le stockage

Une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers des aires de stockage, où ils forment des tas individualisés, les matériaux stockés peuvent être affectés par les vents, et surtout les plus fins, une partie de la production se transformant en poussières, la sécheresse et la chaleur vont conduire à un assèchement des produits et les rendre plus facilement mobilisables, cette source de poussières est permanente, même en dehors des périodes d'activité.

Le rôle des vents est important, la position des stocks de produits fins doit donc intégrer la direction des vents dominants (figure 31).

II.7.4.2 Analyse Granulométrique du Ballast

Pour déterminer la composition granulométrique du ballast et du sous ballast ; une quantité du produit a été prélevé à partir des stocks des produits. L'analyse granulométrique s'est fait par une tamiseuse électrique à vibration au laboratoire de la carrière OHL-Infrarail (tableau 4, figure 33).

Tableau 4 : Analyse granulométrique du ballast et sous Ballast

Tamis Mm	Sous Ballast 0/30				Ballast 30/60			
	Masse de l'échantillon = 3000g				Masse de l'échantillon = 3000g			
	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (%)	refus cumulés (%)	Tamisât en %	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (%)	Refus cumulés (%)	Tamisât en %
63					0	0	0	100
50					1046	34,87	34,87	65,13
40					1005	33,50	68,37	31,63
31.5	0	0	0	100	872	29,07	97,44	2,57
25	541	18,03	18,30	81,97	76	2,53	99,97	0,03
20	312	10,40	28,70	71,57				
16	461	15,37	44,07	56,20				
12.5	324	10,80	54,87	45,40				
10	542	18,07	72,93	27,33				
8	625	20,83	93,77	6,50				
5	186	6,20	99,97	0,30				

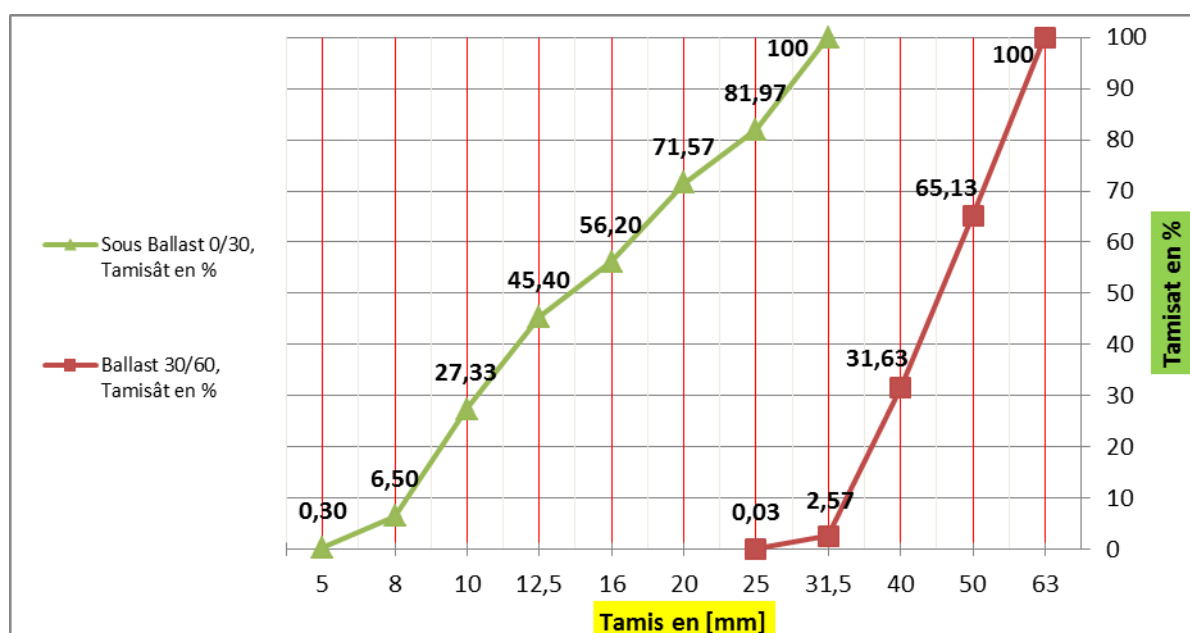


Figure 33 : Courbe granulométrique du ballast et sous Ballast



Figure 30 : Chargement de la charge abattue, Dumper de carrière 25t (Ohl-Infrarail 2010)



Figure 31 : Stockage de produit fini (Ohl-Infrarail 2010)



Figure 29 : Le concasseur primaire (Conc a mâchoire) (OHL-Infrarail 2010)



Figure 32 : Camions pour le transport et pont bascule (OHL-Infrarail 2010)

II.7.4.3 Stockage des matériaux pour l'expédition

Les différents produits sont stockés en plein air sous forme des tas, la chute des matériaux depuis l'engin de chargement dans le véhicule de transport est une source d'envol de poussières, d'autant plus que les matériaux manipulés sont fins et secs et que l'opération est soumise aux vents (figure 33).

II.8 Les aspects hygiènes et sécurités

II.8.1 Sécurité au front de taille,

Le front de taille est relativement sécurisé, des panneaux d'avertissement sont implantées à l'entrée de la carrière pour interdire toute intrusion étrangère, par contre, le plan d'organisation interne, le plan de circulation sont inexistant. Le site n'est pas clôturé de ce fait il est accessible à tout moment et à toute personne avec le risque de chute des gradins. Par ailleurs le carreau minier est protégé par une clôture et un poste de garde et 06 guérites.

II.8.2 Sécurité des moyens roulants

Les moyens roulants sont suffisamment sécurisés, ils sont équipés d'extincteur individuels contre l'incendie, le dispositif de freinage est régulièrement contrôlés. Tout engin présentant une défectuosité est immédiatement mis hors service jusqu'à sa réparation.

II.8.3 Sécurité des installations fixes

La station de concassage, le groupe électrogène, les salles de commande disposent de moyens de lutte contre incendie.

II.8.4 Protection individuelle

Le personnel est doté d'équipement de sécurité (bleu de travail, chaussures de sécurité, casque, masque anti-poussière, casque anti-bruit).

II.8.5 Hygiène individuelle et collective

L'unité dispose d'une cantine climatisée, les repas sont préparés surplace, le réfectoire, les douches et sanitaire. Sont destinés à offrir au personnel de meilleures conditions d'hygiène.

II.9 Impact de l'exploitation des carrières de granite génératrices de poussières

L'étude des impacts sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'une exploitation en identifiant les effets directs et indirects des carrières et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement. L'évaluation des impacts est imposée aux différentes exploitations par voie réglementaire pour permettre aux

autorités compétentes de porter une appréciation sur l'impact et les conséquences dues aux activités projetées sur l'environnement. Cette procédure s'inscrit dans le cadre du développement de la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelle.

II.9.1 Impacts sur l'environnement

II.9.1.1 Méthode d'évaluation des impacts sur l'Environnement

Il s'agit de déterminer la nature, l'étendue et l'intensité des différents impacts. Cet impact se traduira par une analyse des effets de l'exploitation sur l'environnement concernant le site et le paysage, la faune et la flore, les milieux naturels, les eaux naturels et le voisinage (poussière, bruit, odeur, etc...)

L'évaluation des impacts sera énumérée comme suit pour définir rapidement les impacts positifs ou négatifs de l'exploitation de la carrière sur l'environnement.

II.9.1.2 Sources de poussières

Toute carrière engendre forcément l'émission de poussière provenant des différentes activités du gisement.

Les sources d'émission de poussières dans une carrière sont en général dues :

- à la foration des trous de mines et du tir à l'explosif ;
- au déplacement et à la circulation des engins de carrière ;
- à la station de concassage notamment les opérations de concassage et de criblage ;
- au stock des produits fins ;
- à la chute des blocs extraits le long du front de taille.

Les principaux problèmes environnementaux dérivés de ces émissions sont :

- La contribution à l'effet de serre avec des quantités importantes de CO₂.
- La contribution à la formation de pluies acides à forte teneur en soufre.
- La contribution à certains problèmes locaux (pollution des sols, des eaux, etc.) due à la présence de polluants toxiques.

Le seuil réglementaire d'émission toléré de poussière est de 50 mg/Nm³ (décret exécutif N° 06-138 du 15 avril 2006).

II.9.1.3 Emissions de bruit

Le bruit engendré par l'activité minière avec les vibrations liées aux tirs de mines, la nuisance la plus fortement ressentie par les riverains.

On peut distinguer ces quelques sources de bruits :

- Les installations de traitement, telle que la station de concassage et engins;
- L'abattage à l'explosif ;
- La foration des trous de mines ;
- Les moteurs des engins en circulation ;
- Les avertisseurs de recul des engins.

On enregistre deux types de vibration :

- des vibrations liées à la perforation des trous de mines ;
- des vibrations liées aux tirs de mines.

Le seuil réglementaire d'émissions de bruit est de 45dB en nocturne et de 70dB en période diurne (Décret exécutif N° 93-184 du 27 juillet 1993).

II.9.1.4 Impact sur les eaux

Les contraintes liées à l'exploitation des carrières sur les eaux sont :

- La modification de l'écoulement hydrique ;
- La déviation des cours d'eau ;
- La modification de la nappe ;
- La modification de la qualité des eaux.

II.9.1.5 Impact sur le voisinage immédiat

L'excavation d'une carrière, va créer une dépression, les écoulements superficiels subiront quelques modifications, mais le drainage simple suffit à éviter une éventuelle stagnation des eaux.

L'impact sur les cultures et la végétation ne sera pas modifié, une fois une prise de conscience est entrepris afin d'éviter toutes exploitation dans un périmètre agricole ou forestier.

Toutefois, des mesures nécessaires devront être prises pour minimiser les risques de pollution pour la sécurité et l'hygiène du personnel actif (arrosage des pistes les jours de vent, port de masque anti-poussière).

II.9.1.6 Impact sur le paysage

L'excavation d'un gisement peut paraître importante en constituant une crevasse avec un aspect du front de taille qui sera plus au moins ordinaire.

II.9.2 Mesures d'atténuation et de compensation des impacts (Santé et sécurité)

Nous indiquons ici les mesures et les dispositions à entreprendre par les responsables des carrières pour minimiser ou compenser les effets indésirables durant l'exploitation.

II.9.2.1 Poussières

- Réduire l'émanation de poussières et avoir une sécurité accrue par obligation de porter les masques anti-poussières pour les ouvriers y travaillant à proximité.
- Un arrosage préliminaire, nocturne de préférence, avant la reprise de l'intensité du travail, des pistes ainsi que la plate-forme de concassage.
- Equiper la station d'un système de dépoussiérage pour atténuer les effets de la poussière.
- Pour limiter l'envol des poussières, la circulation des camions et engins se fera à vitesse réduite (20 km/h).
- Plantation des brises vents autour de la station de concassage et de toute la périphérie du périmètre d'exploitation.

II.9.2.2 Bruit

Afin de réduire le niveau sonore, l'exploitant est tenu de faire utiliser les casques antibruit par le personnel de la carrière surtout celui de la station de concassage où le mineur est astreint à une présence d'au moins 8h/jour, à moins de 7 mètres de la source.

II.9.2.3 Incendies

Il faut un matériel conforme aux normes en vigueur, en bon état et vérifié au moins une fois par an. En outre, il est recommandé de respecter les consignes suivantes :

- placer les extincteurs fixes à des endroits accessibles,
- prêter attention aux produits inflammables et aux courts-circuits électriques (isolation des câbles, foudre ou erreur humaine)

II.9.2.4 Consommables usés et les lubrifiants

Les produits résultants de l'entretien des engins et camions ne seront en aucun cas jetés dans la nature. Ils devront être triés et stockés dans des endroits isolés avec un étiquetage, puis repris par des spécialistes de gestion et d'élimination des déchets.

II.10 Recommandations utiles en matière d'exploitation de carrière à ciel ouvert

II.10.1 Fin des travaux d'exploitation et remise en état des lieux

Généralement la remise en état comprend une revitalisation du secteur par une plantation d'essences forestières.

L'évaluation des provisions pour la remise en état du site est calculée sur la base de 0.5 % du chiffre d'affaires annuel.

La remise en état du site est une obligation de la loi, un reboisement adéquat pour atténuer l'effet de l'évasion est une solution à envisager.

II.10.2 Abandon ou cessation d'activité d'exploitation

Dans le cas d'un arrêt définitif de l'exploitation, les exploitants sont tenus d'aviser l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier (ANGCM) de sa décision d'abandonner ou de cesser son activité trois mois, avant l'abandon ou la cession.

II.10.3 Autres recommandations

Au terme du présent travail qui vise à enrichir le milieu étudiant en matière de technique d'exploration et d'exploitation rationnelle et optimale des carrières et gisements divers, nous proposons d'autres recommandations nécessaires et indispensables afin de faire une activité économique avec le minimum de risque et de pertes :

- clôturer et délimiter le périmètre d'exploitation ;
- prévoir des aires distinctes pour le concassage, le stockage des matériaux et l'entretien du matériel ;
- créer des pistes d'accès à la carrière et aux fronts de taille large et compacte ;
- respecter les consignes de sécurité de l'ingénieur en matière de tir de mine ;
- normaliser les fronts de taille (45°) et éviter de créer des dépressions et des fronts trop abrupts ;
- baliser et signaler les zones à risques dans les carrières (falaises, crevasses, zones d'éboulement et autres) ;
- doter le personnel de vêtement de travail, de matériel de premiers secours et d'anti incendies ;
- former et sensibiliser le personnel des risques existants dans une carrière ;
- entretenir régulièrement le matériel afin de lui garantir un meilleur rendement et une longue durabilité avec le minimum de risque ;
- remettre en état le site au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation ;

- prévoir des campagnes d'analyse des rejets et de contrôle de la carrière par des spécialistes et des experts du domaine ;

II.11 Conclusion

Les études géologiques sur la région d'Annaba ont montré deux types de terrain, l'un métamorphique représenté par le massif de l'Edough, qui occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire, et l'autre sédimentaire occupant la quasi-totalité de la plaine d'Annaba ; les recommandations restent indispensables pour le bon déroulement de l'activité minière.

Le chapitre suivant a été réservé à l'étude d'analyse de la pollution atmosphérique, la qualité de l'air et normalisation.

CHAPITRE III : ANALYSE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ; QUALITE DE L'AIR ET NORMALISATION

III.1 Introduction

Le problème de la pollution atmosphérique est devenu pour les environnementalistes un sujet constant d'inquiétude, son impact sur la santé humaine et les écosystèmes indispensables à la vie est très alarmant, en effet une grande partie de la population ne vit pas dans un environnement sain, la qualité de l'environnement est le garant d'une meilleure santé, Mais dégradée, elle représente un risque voire un danger sanitaire pour les populations.

L'air que nous respirons a connu des modifications importantes dues essentiellement à l'introduction par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère d'éléments nuisibles qui endommagent la santé humaine, l'environnement et à long terme les ressources nécessaires au développement durable de la planète.

Dans ce chapitre seront présentées les généralités concernant le constat écologique sous l'influence des phénomènes de pollution atmosphérique.

III.2 Définition de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est définie comme l'intervention par l'homme, directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques à détériorer les biens naturels et à provoquer des nuisances objectives.

Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de Mars 1968 propose cette définition « Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne ».

On entend par pollution atmosphérique, l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules, solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorants de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique, ou à nuire aux végétations, à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractères des sites.

La pollution résulte d'une dégradation de la qualité de l'air causée par la présence de certains éléments qui ne sont naturellement pas présents dans l'air et dont les degrés de concentrations sont suffisants pour un effet toxique sur l'environnement et la santé humaine même à des concentrations faibles, l'atmosphère est un milieu complexe dans lequel coexistent de nombreuses espèces chimiques en phase gazeuse, liquide ou solide.

III.3 Structure de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est composée de plusieurs couches concentriques et superposées qui diffèrent par leur composition et leur température. En partant du sol, on trouve successivement (figure 34).

III.3.1 La biosphère

Comprise entre le sol et une centaine de mètres d'altitude. En zone urbaine la biosphère s'étend jusqu'au sommet des cheminées et en milieu naturel jusqu'au sommet des arbres c'est donc dans la biosphère que vivent les hommes, les animaux et les plantes terrestres et c'est dans celle-ci que sont émis les polluants atmosphériques.

III.3.2 La troposphère

Qui s'étend de la surface terrestre jusqu'à 12 km d'altitude environ. La température décroît en moyenne de $6,5^{\circ}\text{C}$ quand l'altitude croît de 1000m. C'est la zone où les composés chimiques se mélangent entre eux. Elle est le site de la grande majorité des réactions atmosphériques. La pollution atmosphérique concerne surtout cette zone où il y a excès d'ozone.

III.3.3 La stratosphère

Elle est comprise en moyenne entre 12 et 50 km d'altitude. Dans cette zone les polluants sont rares mais très destructeurs. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone, ce dernier est essentiel à la vie sur terre car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmes nocifs pour tout être vivant. A certaine époque de l'année, elle présente un déficit de la concentration d'ozone appelé le trou d'ozone. Les causes de ce trou d'ozone sont liées principalement aux émissions, dans la troposphère, de polluants comme les chlorofluorocarbures (CFC). Les deux couches troposphère et stratosphère sont séparées par une zone tampon difficilement franchissable : la stratopause à 10 km environ, et entre 50 et 85 km c'est la mésosphère et entre 85 à 500km la thermosphère. La figure 34 illustre les différentes couches composant la structure de l'atmosphère avec leur altitude en partant de la surface terrestre ainsi que les températures au sommet de chaque couche.

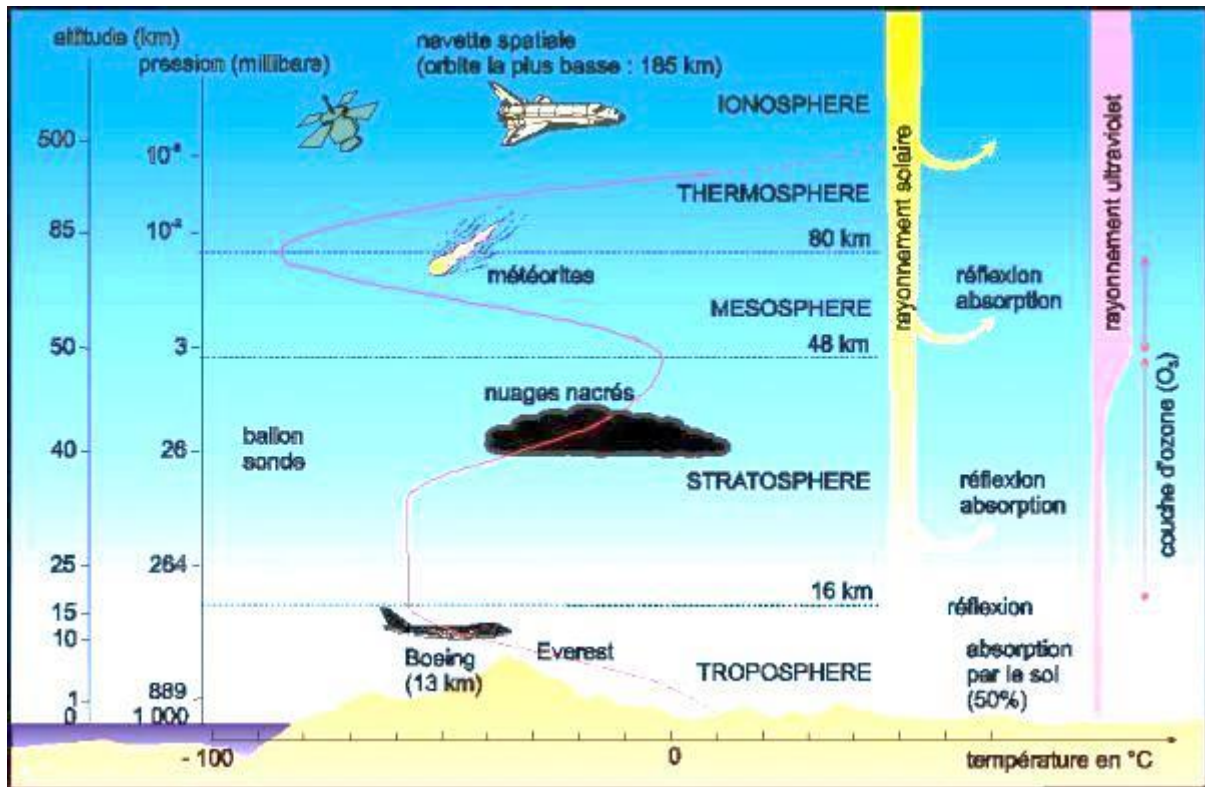


Figure 34 : Structure de l'atmosphère terrestre (R. Barbault 2008 – Dunod)

III.4 Composition de l'air

Dans tous les milieux avec lesquels l'homme est en contact, l'air est le seul milieu auquel il ne peut pas se soustraire ; il faut en effet respirer pour vivre, l'air constitue le premier des éléments nécessaire à la vie. Pour chaque individu, environ 14 kg d'air transitent tous les jours par les voies respiratoires. Principalement concentré dans la troposphère, l'air est composé essentiellement d'azote et d'oxygène. L'air propre et sec est constitué de 78% d'azote, 21% d'oxygène, 1% d'argon et de 0,33% de dioxyde de carbone s'ajoute à cela la vapeur (Figure 35). On dit que l'air est pollué lorsque des éléments nuisibles à la santé humaine et à l'environnement modifient la composition normale de l'air. Les effets de la pollution de l'air dépendent de la quantité de polluants avec lequel l'organisme est en contact, on parle alors de « dose », cette dose varie en fonction de trois facteurs :

- La concentration des polluants dans l'atmosphère.
- La durée de l'exposition.
- L'intensité de l'activité physique.
- FIG

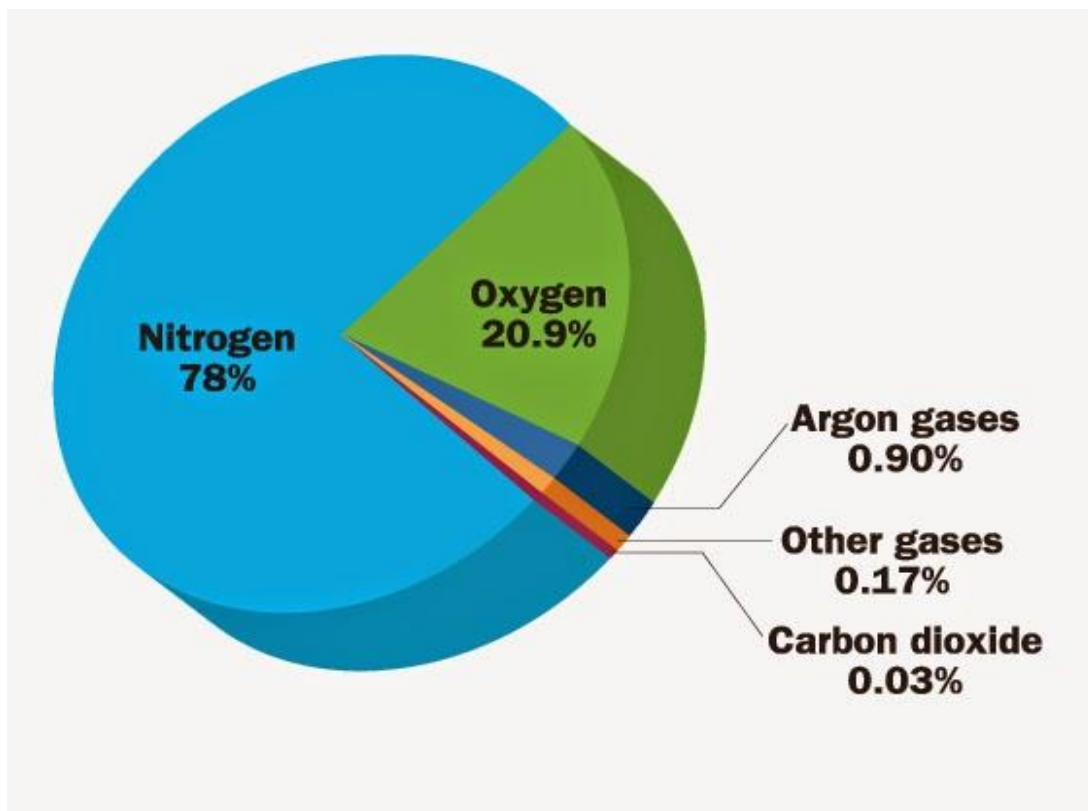


Figure 35 : Composition de l'air (D. Brion 1980)

III.5 Emetteurs de la pollution atmosphérique

Les polluants sont émis par de nombreuses sources, aussi bien naturelles que liées à l'activité humaine (figure 36). On distingue donc deux types de sources d'émissions : Les émissions anthropiques et les émissions naturelles.

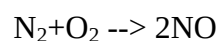
III.5.1 Emissions anthropiques

Les deux tiers de la pollution atmosphérique résultant d'un apport de gaz et de particules sont émis par des activités humaines. Ces émissions sont dites anthropiques, elles sont réparties en cinq secteurs d'activités :

- Le transport : essentiellement le trafic routier.
- La production de l'énergie.
- L'industrie, dont l'incinération des déchets.
- Le résidentiel tertiaire (chauffage).
- L'agriculture.

Les polluants primaires sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Ils sont considérés comme indicateurs de la pollution et font l'objet d'une réglementation.

- Oxyde de soufre SO_2 : L'oxyde de soufre SO_2 est une des principales sources de pollution, par la combustion des combustibles fossiles, tels que le charbon et les fiouls lourds. 60% du SO_2 est émis par le charbon, 30% par les fiouls lourds et 10% par d'autres sources. Tous les pays industrialisés émettent du SO_2 , mais les pays en voie de développement, comme l'Inde et la Chine, sont maintenant les principaux pollueurs depuis que les pays fortement industrialisés sont équipés en techniques performantes de dépollution du SO_2 .
- Oxyde d'azote NO_x (NO et NO_2) : Le monoxyde d'azote NO est produit lors des combustions à haute température (1200°K) par la combinaison des deux principaux éléments de l'air.



Les émissions globales de NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) sont proches du SO_2 mais en constante augmentation, en raison de la forte augmentation du parc automobile. Dans tous les pays, les véhicules automobiles constituent la principale source d'oxydes.

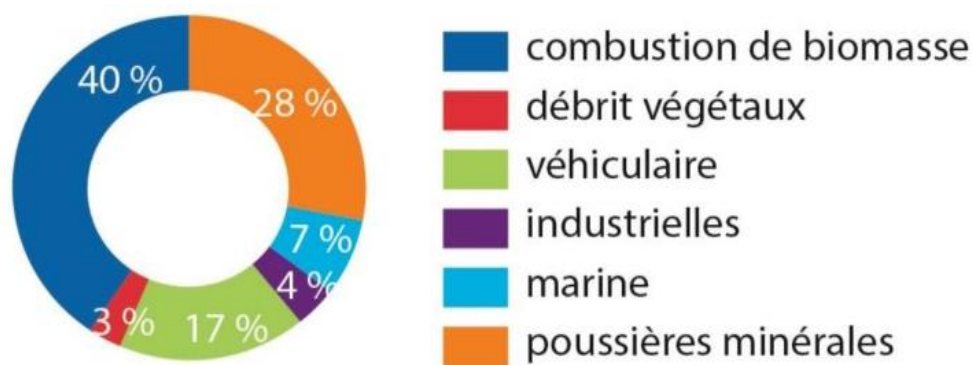


Figure 36 : Sources des poussières (AIR PACA 2015)

III.6 Particules en suspension PM

Toutes les sources de pollution émettent des particules. Il est actuellement incontestable que l'augmentation des particules en suspension a un grand nombre de conséquences sur la santé humaine, mais également sur l'environnement. Les tailles de ces particules sont très variables, leur diamètre est compris de 1 à $150\ \mu\text{m}$ (figure 37). Les grosses particules de tailles supérieures à $2,5\ \mu\text{m}$ ne sont pas dangereuses pour la santé car elles sont éliminées dans le système respiratoire (figure 38). Les particules fines de tailles inférieures à $2,5\ \mu\text{m}$, appelées particules respirables, celles-ci sont dangereuses car elles contiennent souvent des substances toxiques ou cancérogènes et se fixent dans les bronches, provoquant des maladies respiratoires et des cancers du poumon.

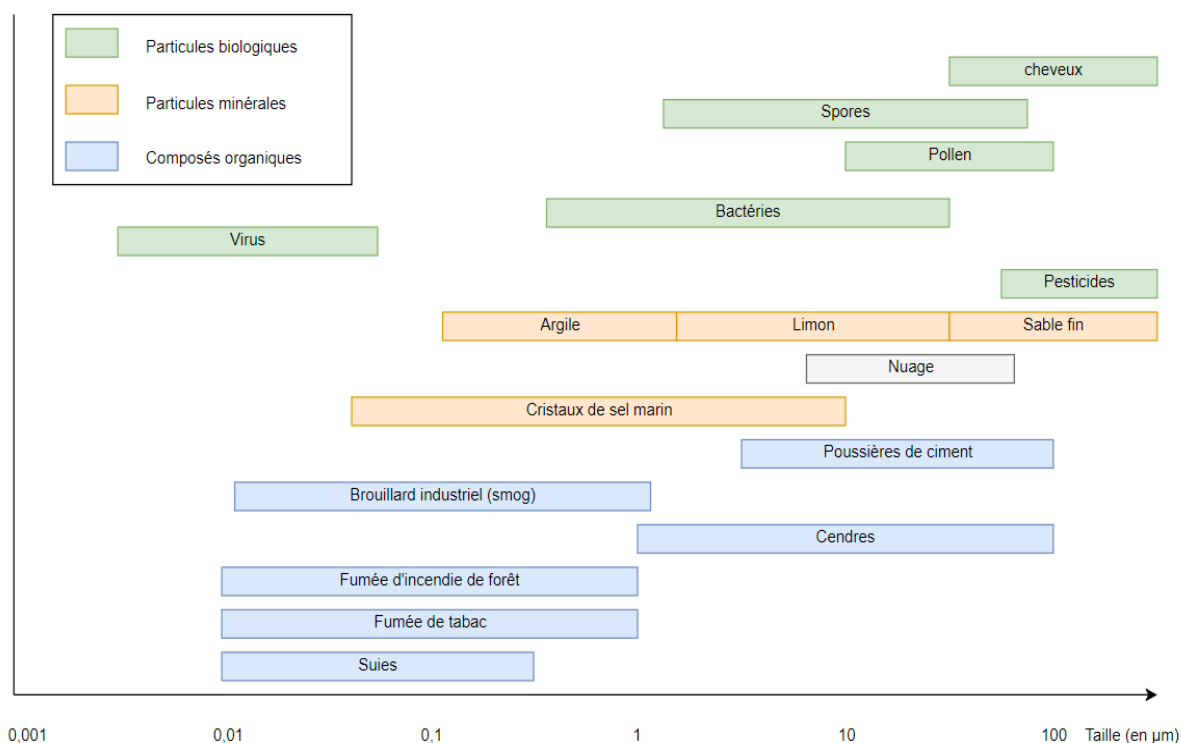


Figure 37 : Taille et types des particules atmosphériques (Christophe Magdelaine)

III.7 Hydrocarbures non méthaniques dits NMHC (non methanic hydrocarbons)

Plus de 40% des hydrocarbures proviennent des véhicules, 25% sont produits lors du raffinage du pétrole et 25% sont constitués par les industries, le reste 10% provient des activités agricoles, ces composés primaires sont aussi appelés composés organiques volatiles (COV), ils sont à l'origine de la plupart des réactions atmosphériques et des fortes teneurs en ozone troposphérique, tous les polluants primaires sont réglementés, il existe des normes françaises, européennes ou mondiales limitant leurs rejets.

III.7.1 Polluants secondaires

Les polluants secondaires sont des polluants qui ont la particularité de ne pas être émis directement par une source mais qui résultent de la transformation physicochimique de polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère.

L'ozone O_3 appelé aussi « mauvais » ozone, ce gaz qui n'est pas directement émis mais qui résulte de réactions photochimiques de certains polluants, notamment les oxydes d'azote NO_x et les composés organiques volatiles (COV) sous l'effet des rayonnements solaires, on le trouve principalement en été, en périphérie des agglomérations.

III.7.2 Emissions naturelles

Les polluants provenant de sources naturelles sont : l'éruption volcanique ; le Pollen et les feux de forêts. Suivant les composés, la perturbation du système atmosphérique est importante ou non. Pour certains composés, comme les oxydes de soufre ou d'azote, la quantité émise par l'homme est de même ordre de grandeur que la quantité émise naturellement, les composés soufrés proviennent de trois sources : l'activité volcanique, le pétilllement marin, les émissions Biogéniques (marines et terrestres). Cependant, les composés azotés proviennent des sources suivantes : combustion de la biomasse, éclairs durant les orages, dénitrification des sols. Par ailleurs, les matières particulaires proviennent essentiellement : de l'érosion éolienne des sols, des océans, des volcans, des feux de forêts et de la respiration des plantes.

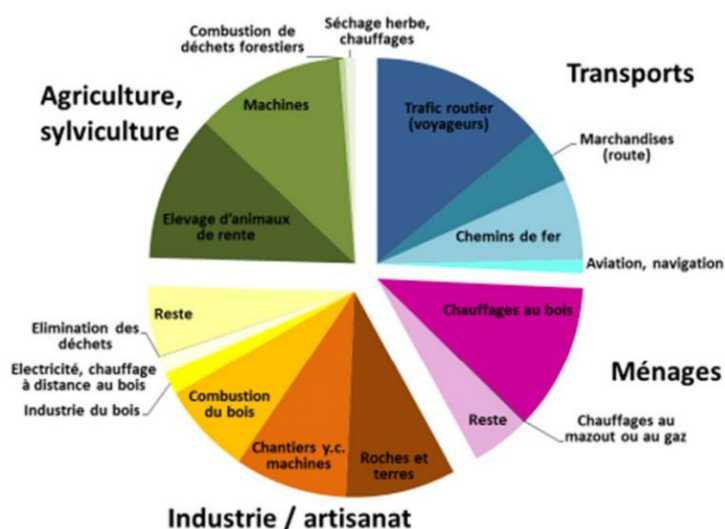


Figure 38 : Les différentes sources dans les émissions de PM10 primaires
(F. Chevrier 2016)

Le cas du dioxyde de carbone et du méthane, ces deux gaz ne sont pas toxiques mais leur concentration dans l'atmosphère constitue un problème majeur, l'effet de serre responsable du réchauffement de la planète dont les conséquences sont très alarmantes. Le dioxyde de carbone CO_2 est produit lors de toutes combustions. Comme l'activité économique et industrielle est croissante et que la population augmente sans cesse, la production de CO_2 est exponentielle. Il en est de même du CH_4 dont les émissions augmentent régulièrement. Celui-ci est émis naturellement par les marais, les digesteurs des stations d'épurations, les cultures de riz et les rejets des animaux domestiques.

III.8 Différentes échelles de la pollution de l'air

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontières. Après leurs émissions, les polluants primaires sont transportés sur des distances variables par les mouvements des masses d'air. Les polluants secondaires sont produits pendant ce transport. Les polluants retombent au sol par déposition sèche ou humide. Certains polluants à longue durée de vie (supérieure à 5-7ans) peuvent atteindre la stratosphère (*figure 39*). Les différentes substances ont donc des durées de vie dans l'atmosphère extrêmement variable, d'où le problème de pollution se situe sur différentes échelles de temps et d'espace (*tableau 5*). On distingue alors trois échelles de pollution.



Figure 39 : Echelles de la pollution de l'air (C. Ronneau 2013)

III.9 Hydrocarbures non méthaniques dits NMHC (*non methanic hydrocarbons*)

III.9.1 Echelle locale

Elle concerne les émissions de polluants produites le plus souvent en milieu urbain comme les foyers industriels de combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération des déchets, elles participent donc à une pollution urbaine de fond, en affectant en premier lieu la population par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies, elle participe aussi à la dégradation du patrimoine bâti (corrosion, salissure).

Tableau 5 : Le comportement des particules selon leur granulométrie (Campanac 1990)

Dimension des particules en microns (diamètre aérodynamique)	Vitesse de chute en cm/seconde
1000	400
100	30
10	0.3
1	0.0035 (12.6 cm/h)
0.1	0.000035

III.9.2 Echelle régionale

La pollution régionale concerne les zones distantes de quelques kilomètres à un millier de kilomètre des sources d'émissions de polluants. Elle regroupe souvent deux phénomènes de pollution qui sont :

- L'acidification, provoquée par la transformation des oxydes de soufre et d'azote en acides sulfuriques et nitriques. Elles se déposent en retombées sèches ou humides (pluies acides).
- La pollution photochimique : elle touche les zones urbaines et rurales notamment les jours de fort ensoleillement (été). La plupart des polluants participent à la formation d'ozone troposphérique, principal représentant de la pollution photochimique.

III.9.3 Echelle globale

Elle concerne la pollution planétaire, celle-ci se manifeste par deux phénomènes qui sont la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et l'augmentation de l'effet de serre.

Ces phénomènes sont dus essentiellement du fait du développement des activités humaines, celles-ci en sont responsables.

III.10 Influence météorologique sur la qualité de l'air

Les polluants ne sont pas seulement déterminés par les sources et les transformations physico-chimiques mais elles le sont aussi par des paramètres physiques qui relèvent de la dynamique atmosphérique, ce dernier est responsable dans le transport et la diffusion de polluants. La pollution est aggravée par quatre situations météorologiques, l'influence de ces situations dont le classement par ordre décroissant d'importance est souvent le suivant :

Présence de pluies, vent, hauteur de la couche d'inversion, lumière et chaleur.

III.10.1 Influence du vent

Le vent est l'un des paramètres météorologiques les plus importants par le transport et la dispersion des polluants, il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse. En dispersant la pollution, il devient donc un bon allié de la lutte antipollution, la dispersion est efficace à partir d'un vent de 20 km/h ou plus (*tableau 6*). Mais parfois en les déplaçant il déplace le problème. En zone montagneuse, si les polluants rencontrent une barrière montagneuse, la pollution peut alors retourner en arrière et revenir sur son site d'origine. C'est le cas des villes situées dans des cuvettes en montagne, son absence favorise donc une accumulation des polluants mais sa forte présence peut provoquer une pollution localisée.

Tableau 6 : Transport des particules en fonction de la vitesse du vent

Taille des particules	200 µm	100 µm	30 µm	10 µm	5 µm	1 µm
Vent à 10 km/h	0.03 km	0.15 km	0.6 km	14 km	42 km	140 km
Vent à 30 km/h	0.1 km	0.4 km	1.8 km	40 km	125 km	4165 km

III.10.2 Influence de la chaleur et de la lumière

Les températures élevées peuvent favoriser la production de certains polluants qui dégradent la qualité de l'air. Comme l'ozone, dont on sait que les épisodes de celui-ci sont le plus souvent en été. Le soleil intervient directement sur la pollution en transformant les oxydes d'azote en ozone, c'est la pollution photochimique.

III.10.3 Influence des pluies

La présence des pluies et de la neige conduit à une diminution de la pollution. En effet, la pluie permet de lessiver l'air en dissolvant les molécules de dioxyde de soufre et d'oxyde d'azote présentes dans l'air. Donc, lorsqu'il pleut l'atmosphère est purifiée, mais les pluies deviennent acides ce qui entraîne le transfert de la pollution de l'air vers les sols ou les eaux de surfaces.

III.10.4 Influence de la couche d'inversion

Dans certaines conditions météorologiques, il se produit en altitude une inversion de température et la masse d'air est bloquée par une couche d'inversion qui agit comme un

couvercle empêchant la dispersion des polluants, l'air sous la couche d'inversion est plus froid et plus dense et ne peut se mélanger, la hauteur de la couche étant faible, la concentration des polluants augmente.

En hiver les différences de températures entre le jour et la nuit provoquent des inversions thermiques et des dômes de pollutions. En effet le sol est refroidi de façon importante pendant la nuit (hiver par temps clair), la température à quelques centaines de mètre d'altitude est supérieure à celle mesurée au niveau du sol, les polluants se trouvent ainsi bloquées sous un couvercle d'air chaud appelé couche d'inversion.

III.11 Effet des polluants sur la santé

La pollution de l'air est responsable de la majeure partie des maladies, elle est désormais le principal risque environnemental pour la santé dans le monde. Chaque jour, une vingtaine de m³ d'air passe par nos poumons, faisant de l'inhalation une voie d'absorption importante d'une série de substances volatiles ou de particules en suspension dont certaines ne sont pas sans danger pour la santé.

La pollution de l'air est dorénavant le facteur environnemental le plus important touchant la santé, aucun pays n'est épargné qu'il soit riche ou pauvre. La condition essentielle de la santé et du bien-être de la population, c'est le fait de respirer de l'air pur, cependant la pollution de l'air continue de faire peser une menace importante sur le plan sanitaire partout dans le monde, plus de 7 millions de personnes sont mortes en 2012 à cause des effets de la pollution de l'air.

III.11.1 Types d'exposition

On subit tous la pollution atmosphérique, le degré d'exposition dépend de nos cadres de vie, de nos habitudes et de l'activité professionnelle. On distingue deux types d'exposition : l'exposition à court terme et l'exposition à long terme. L'exposition à court terme appelée exposition aigue, allant de quelques heures à quelques jours, les pics d'ozone estivaux en sont un exemple type, par contre, l'exposition à long terme, appelée aussi exposition chronique, il s'agit d'une exposition persistante qui se produit sur une longue période comprise entre une et plusieurs années et la vie entière.

III.11.2 Principaux polluants

L'effet des principaux polluants sur la santé comme l'ozone et les polluants acidifiants NO₂ et SO₂ se présente comme suit :

A concentrations très élevées, l'ozone a des effets marqués sur la santé humaine, baisse de la fonction pulmonaire, il causerait chaque année en Europe plus de 21 000 décès et 14000 hospitalisations pour causes respiratoires. Selon leurs concentrations et le degré d'exposition, les polluants acides (NO_2 et SO_2) provoquent des irritations et inflammations des yeux, des muqueuses et du système respiratoire.

III.12 Effet des polluants sur la faune et la flore

L'impact de la pollution atmosphérique sur les végétaux résulte essentiellement de trois polluants : oxydes d'azotes (NO_x), dioxydes de soufre (SO_2) et ozone (O_3). Les dommages causés par ces derniers peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent aller de marques visibles sur le feuillage sous formes de lésions nécrotiques (tissus morts) et cela en cas de fortes concentrations de polluants.

Pour les cultures agricoles, les dommages peuvent aller de marques visibles à la mort du plant en passant par un ralentissement de croissance et une baisse de rendement. L'apparition et la gravité dépendent non seulement de la concentration du polluant en cause, mais aussi d'un certain nombre de facteurs dont la durée de l'exposition au polluant.

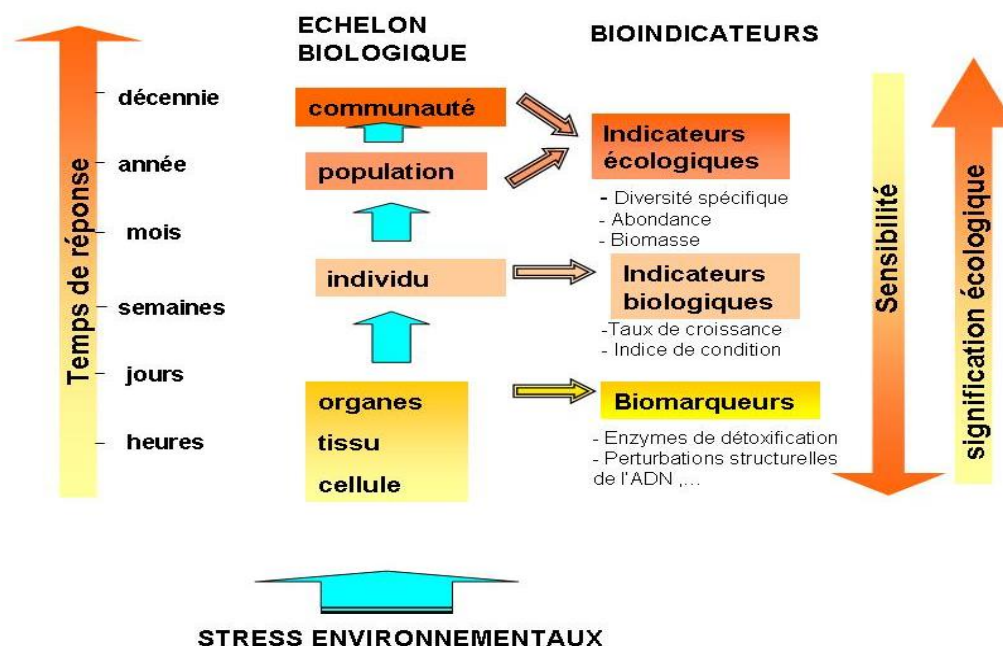


Figure 40 : Impact de la pollution sur les écosystèmes (R. Amara 2010)

Les pluies acides, formées par l'acide sulfurique et l'acide nitrique contribuent au dépérissement des forêts et à la dégradation des sols. Tandis que l'ozone altère la physiologie

des arbres forestiers. Les animaux, ou la faune ne sont pas immunisés contre l'effet de la pollution atmosphérique qui peut être préjudiciable à la faune de deux principales façons :

- Ils détériorent la qualité de l'environnement ou de l'habitat où les animaux vivent.
- Ils diminuent la disponibilité de la qualité de l'approvisionnement alimentaire.

Les animaux herbivores sont concernés au travers d'une contamination des fourrages. Les polluants préoccupants sont les toxiques qui peuvent s'accumuler dans les parties comestibles. Les effets de la pollution atmosphérique sur la faune et la flore doivent être considérés dans leur dimension globale, à l'échelle des écosystèmes, on parle alors de la démarche systémique (figure 40). Bien qu'elles ne soient pas aussi connues, d'autres formes de pollution atmosphérique, comme le Smog, les particules et l'ozone troposphérique pour n'en mentionner que quelques-unes, détériorent la santé de la faune de la même façon que la santé humaine et produisent des effets sur les poumons et le système cardiovasculaire.

III.13 Réglementation

L'événement le plus marquant de la pollution atmosphérique au cours du 20ème siècle au lieu en décembre 1952 à Londres où l'on déplora 4000 décès suite à l'apparition du Smog. C'est à partir de cette période que l'on a commencé à mesurer sérieusement la pollution atmosphérique. Depuis, l'étude de la pollution atmosphérique s'est largement diversifiée. Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, ensuite les identifier. Cette connaissance permet alors de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité d'air, l'inventaire d'émission est défini comme une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donné pour une zone géographique et une période donnée.

La composition chimique de l'air est perturbée par des éléments nuisibles dont la concentration peut constituer un danger immédiat pour la santé humaine, mais également pour l'environnement, pour faire face à ce phénomène très complexe, compte tenu de la diversité des polluants et des quantités croissantes émises dans l'atmosphère, la réglementation définit pour certains indicateurs de la pollution, les concentrations de références, celles-ci peuvent être des valeurs limites qui doivent être obligatoirement respectées, et dont le dépassement implique le déclenchement de mesures d'urgences visant à diminuer la pollution. Il existe également des valeurs cibles appelées aussi 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 (tableau 7), si l'on veut que les mesures de luttent puissent, avec efficacité, non

seulement mettre un terme à la pollution atmosphérique actuelle, mais encore l'empêcher à l'avenir il faut leur donner un caractère légal.

Tableau 7 : Seuil d'information des principaux polluants

Polluants	Seuil d'information	Seuil d'alerte
Ozone	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$
NO ₂	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 3 heures consécutives
SO ₂	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 3 heures consécutives
PM ₁₀	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 2 jours	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 2 jours consécutifs

La concentration de courte durée d'un polluant au-delà du seuil d'information présente un risque pour la santé humaine, à partir de ce seuil, des mesures doivent être prises par les autorités locales.

III.13.1 Normes Européennes

Pour parvenir à l'amélioration de la qualité de l'air, le Conseil de l'Union Européenne a adopté la Loi du 28 Juin 1984 relative à la lutte contre la pollution atmosphérique en provenance des installations industrielles. Ces actions se traduisent par :

- L'adoption de règlements pour contrôler la production et l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone.
- L'adoption de directives visant à maintenir ou à améliorer la qualité de l'air en fixant des objectifs de la qualité de l'air.
- Une incitation à des accords volontaires entre industriels et autorités.

Les polluants concernés sont les particules de certaines tailles, l'ozone, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, le plomb ainsi que d'autres polluants susceptibles d'avoir un impact négatif sur la santé humaine et les écosystèmes. L'Union Européenne a fixé des limites juridiquement contraignantes et non contraignantes dans la directive 2008/50/CE l'objectif de cette directive est de définir des mesures ambitieuses et efficaces pour améliorer la santé humaine et la qualité environnementale d'ici 2020 tout en définissant la façon d'évaluer les mesures.

III.13.2 Recommandations de l'O.M.S.

L'objectif des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) est de permettre aux états d'établir leurs propres normes en matière de qualité de l'air. Elles

fournissent également des bases pour la protection de la santé ainsi que pour l'élimination ou la réduction au minimum des polluants dangereux pour la santé.

L'O.M.S. invite les gouvernements à l'échelle mondiale à améliorer la qualité de l'air des villes pour protéger la santé des populations et à appliquer des valeurs seuils beaucoup plus faibles pour les polluants. L'O.M.S. déclare que la réduction des niveaux d'un polluant en particulier, connu comme le PM 10, pourrait entraîner la diminution de la mortalité dans les villes polluées, jusqu'à 15% par an. L'OMS recommande des niveaux d'exposition (concentrations et durées) au-dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation (tableau 8).

Tableau 8 : Valeurs recommandées par l'O.M.S

NO ₂	SO ₂
40 µg/m ³ en moyennes annuelles	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
200 µg/m ³ en moyennes horaires	500 µg/m ³ moyenne horaire

III.13.3 Normes de qualité de l'air en Algérie

Les pays en voie de développement sont aujourd'hui confrontés à une détérioration de la qualité de l'air en raison de nombreux facteurs comme l'industrialisation rapide, l'exode rural et le développement du parc automobile. L'Algérie est un bon modèle en raison d'une croissance démographique, la population a triplé depuis 1962, d'une urbanisation accélérée et d'une industrialisation rapide principalement dans la zone littorale où sont situées plus de la moitié des usines industrielles et où ils résident plus de 44% de la population. En Algérie les principaux polluants de l'air causant la détérioration de l'air proviennent essentiellement:

- Activités humaines, en particulier le trafic routier.
- Emissions des installations industrielles vieillissantes (sources fixes) et toutes activités utilisant la combustion.
- Les installations thermiques.
- Le chauffage domestique.
- L'incinération des déchets à l'air libre.

L'Algérie dispose d'un arsenal juridique important qui s'articule autour de la Loi Cadre 83-03 du 5 Février 1983 et du 20 Juillet 2003 sur la protection de l'environnement, qui a été

suivie par toute une série de textes d'application. Etat a jugé nécessaire de créer des normes Algériennes relatives aux seuils limites en cas de pollution de l'air à respecter, ainsi le décret exécutif N° 06-02 du 7 Janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. Les polluants concernés sont : le dioxyde d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_3), l'ozone (O_3) et les particules fines en suspension ($\text{PM}_{2,5}$), les valeurs sont représentées dans le tableau 9 et la figure 41.

Tableau 9 : Valeurs limites et seuils d'alerte des polluants

Polluants	NO_x ($\mu\text{m}/\text{Nm}^3$)	SO_3 ($\mu\text{m}/\text{Nm}^3$)	O_3 ($\mu\text{m}/\text{Nm}^3$)	$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{m}/\text{Nm}^3$)
Objectif qualité	135	150	110	50
Valeurs limites	200	350	200	80
Seuil d'information	400	350	180	-
Seuil d'alerte	600	600	360	-

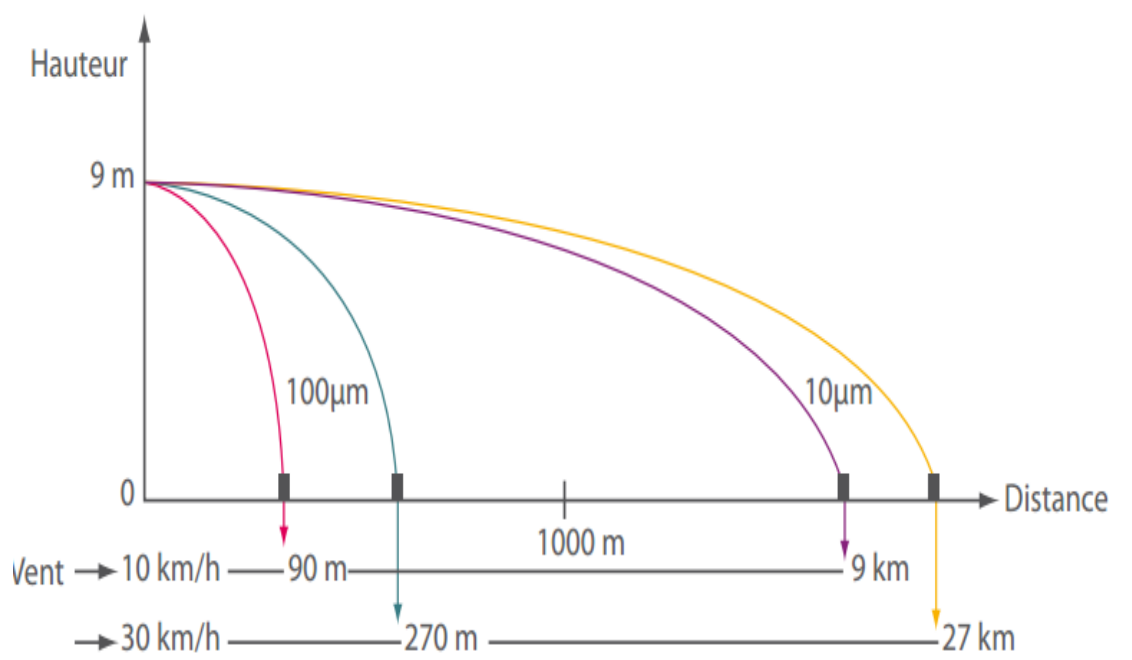


Figure 41 : Les seuils d'alerte sont fixés selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules (Décret exécutif n° 06-02, 2006)

Ou le tableau présente :

- **Objective qualité** : est de réduire les effets nocifs des substances polluantes dans l'atmosphère, sur la santé humaine ou sur l'environnement.
- **Valeur limite** : un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques.
- **Seuil d'information** : au-delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles.
- **Seuil d'alerte** : au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement.

Afin de suivre la qualité de l'air, quatre réseaux de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air sont implantés dans les grandes agglomérations comme Alger, Annaba, Oran, Skikda. L'état prévoit de multiplier ces réseaux dans toutes les agglomérations dont la densité de la population dépasse les 500.000 habitants, ces stations sont constituées d'un ensemble d'analyseurs dont le rôle est de mesurer les teneurs dans l'air des gaz ou de particules néfastes pour la santé humaine et pour l'environnement et alerter les autorités concernées lorsque les seuils limites sont dépassés, les mesures recueillies sont traitées informatiquement afin de calculer un indice de qualité de l'air (IQA), cet indice permet d'informer les autorités locales.

III.14 Conclusion

L'air que nous respirons est modifié par des éléments nuisibles qui endommagent la santé humaine et l'écosystème indispensable à la vie, comme les forêts et les masses d'eaux douces. La pollution de l'air est en réalité un mélange de gaz et de particules qui sont émis par deux catégories d'émetteurs : sources naturelles (comme éruptions volcaniques, pollen....) et sources anthropiques (comme les industries, les véhicules...), ou qui résulte de réactions chimiques (Ozone). La pollution est aggravée par quatre facteurs météorologiques, l'influence de ces facteurs dont le classement par ordre décroissant d'importance est souvent le suivant : Présence de pluies, vent, hauteur de la couche d'inversion, lumière et chaleur.

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontière, les polluants sont transportés sur des distances variables par des mouvements de masses d'air, avec la menace pesant sur la santé des êtres humains, des plantes et des animaux, la réduction de la visibilité dans les villes ainsi que la corrosion et la dégradation du patrimoine bâti, la lutte pour épurer l'air des agglomérations est devenue le plus grand défi de beaucoup de pays du monde moderne. A cet effet et pour mettre terme à la pollution atmosphérique actuelle et l'empêcher à l'avenir, des normes, des réglementations ainsi que des recommandations de l'O.M.S. sont établies.

CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES ; CARACTERISATION DU MATERIAU, ANALYSE ET EVALUATION DE LA POLLUTION DE LA POUSSIERE

IV.1 Introduction

Les granites présentent une grande diversité d'aspect et de propriétés. Les granites se caractérisent par leurs granulométries, leurs couleurs et leurs caractéristiques physico-chimiques.

Le présent travail portera sur les granites du massif de l'Edough, située à 10km au nord-ouest de la ville d'Annaba. Cette région est caractérisée par la présence d'un socle métamorphique recouvert par une couverture tectonique meso-cénozoïque. La détermination des caractéristiques pétrographiques, granulométriques et géotechniques des matériaux granitiques et de tirer des conclusions sur leur utilité pour les infrastructures de base (pierres de construction, couche de fondation des axes routiers, pistes d'atterrissage et les aéroports).

L'analyse pétrographique a montré que le granite étudié est de type granite, à gros cristaux de plagioclases, de couleur claire, grisâtre, ayant une composition minéralogique de quartz, de biotite, de feldspath, de plagioclase et d'autres minéraux.

Du point de vue géotechnique, ces matériaux sont favorables pour la réalisation des couches de remblais (terrassements), des couches de fondation et des couches de base.

Selon les résultats granulométriques des granites, le Micro-Deval et l'essai de Los Angeles, l'utilisation de ces granulats dans le domaine des infrastructures routières sont favorables.

IV.2 Matériels et méthodes

IV.2.1 Caractérisation physico-chimique des échantillons de granite

Le premier volet de la présente étude menée sur le granite basé sur l'identification pétrographique et minéralogique à partir de la technique de sondage carottés (figure 42), profond allons jusqu'à 31.55m de type TP-50 effectué pour la prospection du gisement de la roche granitique. La zone d'étude est caractérisée par la présence d'un granite pur de couleur gris avec un degré d'altération, de 0.92 à 0.94 % d'absorption d'eau, une densité de 2.49 à 2.52 g/cm³, un poids spécifique de 2.57g/cm³ et une résistance à la compression simple de 113 à 125 MPa



Figure 42 : Prélèvement des échantillons par carottage (OHL-Infrarail 2007)

La description visuelle macroscopique des échantillons et l'analyse qualitative représentent ; une roche plutonique hétérogène compacte, d'un aspect microgrenu, et de texture phénocristaline, de couleur gris avec une proportion importante de cristaux clairs (quartz et feldspaths) et quelques cristaux noirs (micas) (Figure 43).



Figure 43 : Vue macroscopique du granite de Kef Bouacida Djebel Edough

IV.3 Essais d'identification minéralogique par lame mince

La plupart des minéraux en grains qui constituent les roches ne se laissent pas traverser par les rayons lumineux. Pour les observer au microscope, il est nécessaire de réaliser une

préparation de très faible épaisseur appelée lame mince. Sa fabrication passe par trois étapes principales : le sciage de la roche, le collage d'un échantillon sur une lame de verre, la réalisation de la lame mince proprement dite par usure de l'échantillon.

IV.3.1 Le sciage de la roche

Il est réalisé à l'aide d'une scie circulaire diamantée. Deux coupes parallèles espacées d'environ 1 cm permettent de détacher une plaque de roche dans laquelle on découpe enfin un fragment ayant une taille d'un morceau de sucre (figure 44).



Figure 44 : Sciage de la roche (*les minéraux.free.fr*)

IV.3.2 Le collage sur lame de verre

L'une des faces du "morceau de sucre" est aplanie à l'aide d'un tour à plateau horizontal par usure avec un abrasif. Cette face rectifiée est alors collée sur une plaque de verre par du "baume du canada" (figure 45).

IV.3.3 La réalisation d'une lame mince

Le fragment de roche collé sur la lame est à nouveau découpé à la scie diamantée pour réduire son épaisseur à 2 mm environ. Il faut ensuite amincir encore cette section par usure sur le plateau du tour à l'aide d'abrasifs. En fin d'opération, le technicien contrôle avec un microscope polarisant le parallélisme des faces et l'épaisseur de la préparation qui doit être de 30 μm . A cette épaisseur, la plupart des minéraux sont transparents à la lumière et ils peuvent être étudiés sous un microscope. On recouvre enfin la préparation par collage d'une lamelle protectrice (figure 46).

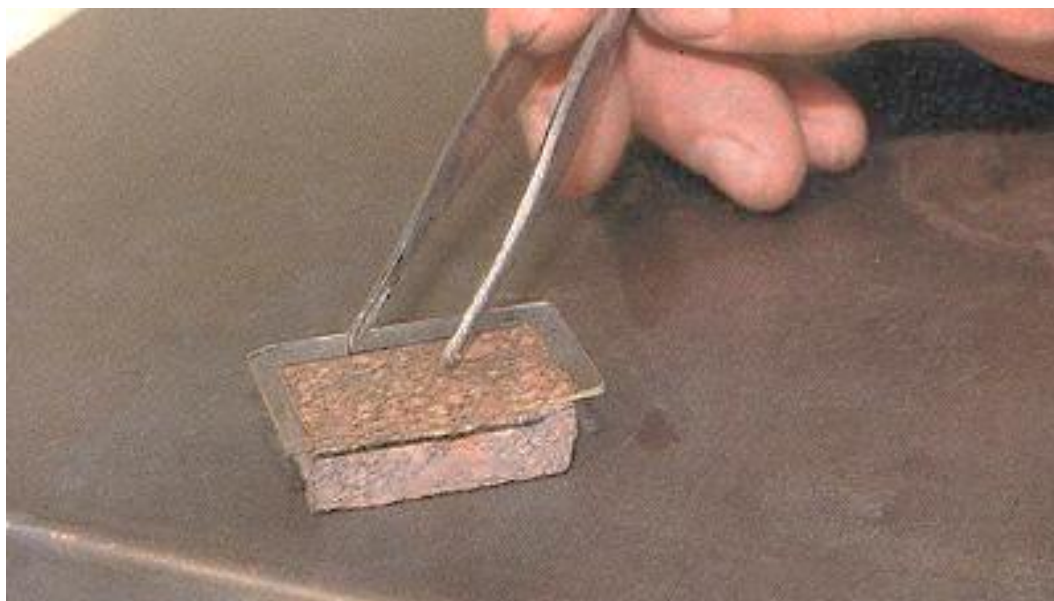


Figure 45 : Collage de la roche sciée sur la lame de verre (les minéraux.free.fr)



Figure 46 : Amincir la section de l'échantillon par usure sur disque d'abrasifs (les minéraux.free.fr)

IV.4 La composition minéralogique du Granite de Kef Bouacida

Une lame mince d'épaisseur de 30 microns (norme française) est examinée sous un microscope en lumière naturelle et polarisée, la confection des lames minces de notre présente étude, a été effectuée au niveau de laboratoire de département de géologie à l'université d'Annaba, et examiner au moyen d'un microscope de type Wild M21. L'observation microscopique des lames minces montre que les roches étudiées sont altérées, et présentent une texture micro grenue, de couleur gris à cristaux de feldspath noir et de mica blanc de texture microlitique avec un facies correspondant à une structure massive affectée d'un débit prismatique. Les granites de Kef Bouacida sont formés principalement de minéraux de quartz, de plagioclases, d'orthoses, la biotite et muscovite. Par contre les minéraux secondaires sont à majorité l'oxyde de fer et le chlorite (Figure 47).

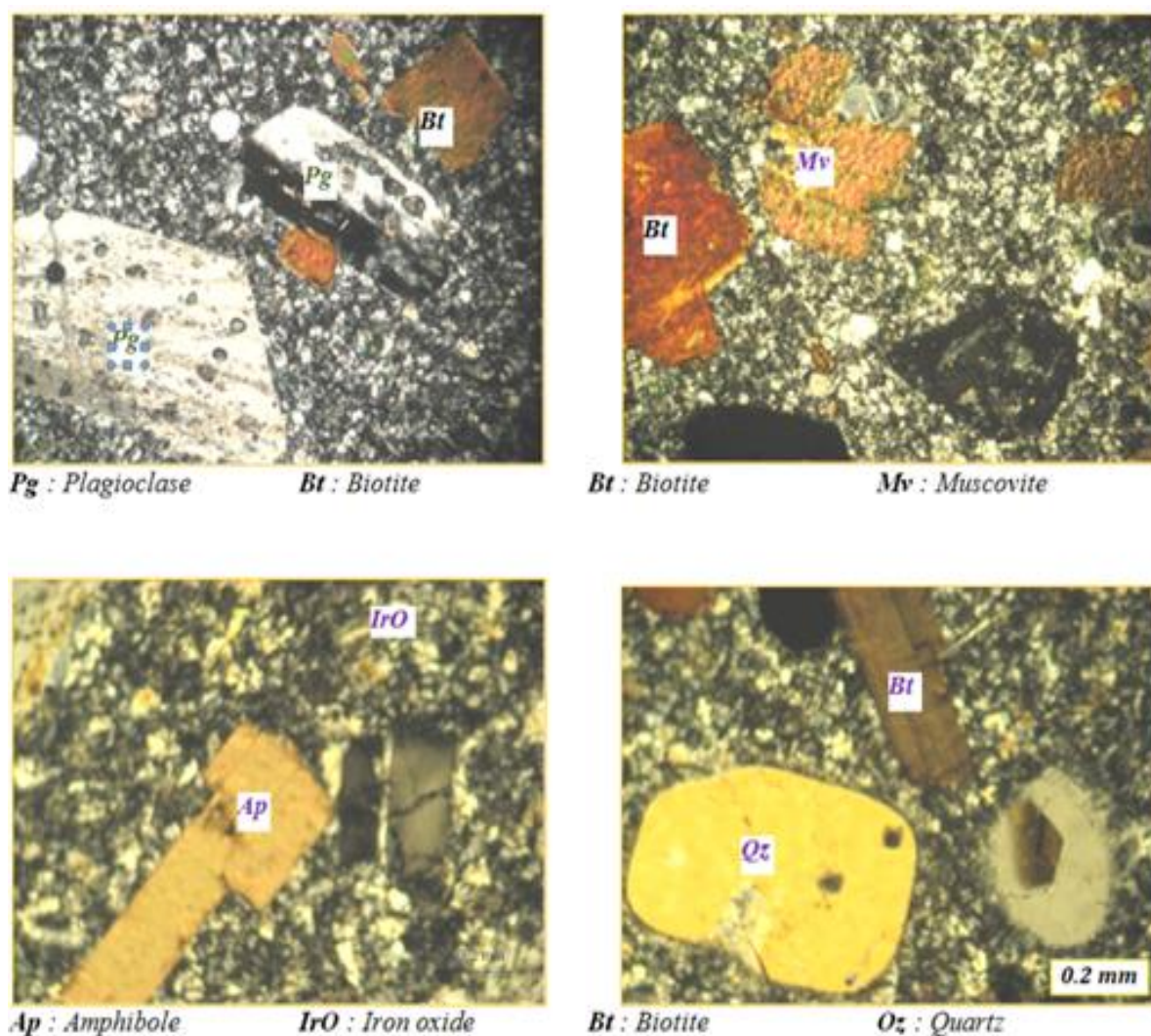


Figure 47 : Etude microscopique des lames minces de granite

IV.5 Composition chimique du granite

IV.5.1 Détermination de la composition chimique par le FRX

La spectrométrie de fluorescence X (FX, ou XRF pour X-ray fluorescence) est une technique permettant l'analyse élémentaire, c'est à dire que l'on peut savoir quelle quantité on a de tel ou tel atome, mais on ne sait pas sous quelle forme chimique. Cette technique utilise des phénomènes physiques qui ont été découverts et développés dans le domaine de la physique quantique (Effet photoélectrique, émission spontanée, diffraction des rayons X).

Selon la nature du matériau, l'échantillon mesuré peut être le matériau brut, sans préparation. C'est le cas d'un échantillon solide ayant une tenue mécanique suffisante et les bonnes dimensions, par exemple métal, verre ou polymère découpé aux bonnes dimensions.

Dans d'autres cas, l'échantillon doit faire l'objet d'une préparation :

- poudre obtenue par broyage ;
- verre obtenu par dissolution du matériau ;
- liquide mis dans une coupe.

Dans le cas de la poudre, une fois le matériau broyé, il peut être mis dans une coupe dont le fond est un film polymère, l'analyse se faisant sous hélium pour éviter que la poudre ne vole sous l'effet du pompage³⁹. Lorsque l'on dispose de peu de poudre, cette dernière peut également être pressée sur une pastille d'acide borique qui assure sa tenue mécanique. Elle peut également être pressée sous la forme d'une pastille, avec ou sans liant. Les principaux liants utilisés sont la cire et la cellulose microcristalline. Certains utilisent des cachets d'aspirine non pelliculés achetés en pharmacie ; c'est en effet de la cellulose qui est généralement utilisée pour lier les cachets, et l'acide acétylsalicylique sert de lubrifiant. Il faut toutefois s'assurer que le cachet ne contienne pas de composé pouvant perturber la mesure, comme du dioxyde de titane, du stéarate de magnésium ou du talc (silicate de magnésium).

Montage de fluorescence en optique dite « inversée » (c'est-à-dire surface analysée en bas) : la surface analysée est ainsi toujours au niveau de référence de l'appareil (position du film polymère) quelle que soit l'épaisseur de l'échantillon.

Le matériau préalablement réduit en poudre peut aussi être dissout dans un verre: c'est la technique de la perle fondue, la plus complexe, mais qui donne les meilleurs résultats pour des solides hétérogènes.

Quant aux liquides, eau, huile, carburant... on les met dans une coupe dont le fond est un film polymère si la mesure se fait par en dessous. On parle d'optique « inversée ». L'analyse se fait sous hélium pour éviter l'ébullition sous l'effet de la chaleur et du vide.

Dans le cas d'une optique inversée, le tube et l'analyseur se trouvent sous l'échantillon. Si le film rompt durant l'analyse du liquide, cela peut endommager ces parties ; il convient donc d'adopter un film suffisamment résistant, il faut faire un compromis avec l'absorption des rayons X (puisque plus un film est épais et plus il est résistant) et la présence d'éléments perturbateurs dans le film (qui permettent au film de mieux résister à certains produits). Ce problème ne se pose pas dans le cas des optiques directes (mesure par le dessus), mais le problème est alors de mettre un volume défini de liquide afin que la surface soit au niveau de référence.

Le logiciel de traitement des résultats doit prendre en compte la préparation de l'échantillon, à la fois dans l'estimation des effets de matrice, mais aussi pour afficher les concentrations dans l'échantillon initial. L'étalonnage de l'instrument (voir ci-dessous) sera spécifique pour chaque type de préparation.

La spectrométrie de fluorescence X en réflexion totale, ou TRXRF (total reflection X-ray fluorescence spectrometry), est une méthode permettant d'analyser des quantités de matière très petite. Elle consiste à réduire le bruit de fond en déviant le faisceau incident vers un absorbeur, on ne voit ainsi plus l'effet Rayleigh ou Compton.

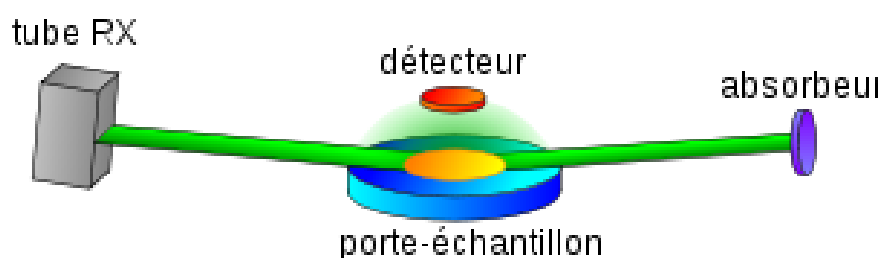


Figure 48 : Principe de la FX en réflexion totale (V. Thirion-Merle 2013)

L'analyse de la spectrométrie de fluorescence X du granite de Kef Bouacida a été procédée au prélèvement des échantillons de carotte des sondages réalisés par OHL-INFRARAIL. (Voir annexe). Chaque épreuve de carotte a été sciée en cubes, puis ont été expédiés au

laboratoire de la cimenterie Hdjar Essoud pour faire l'analyse de la spectrométrie de fluorescence X. fluorescence des rayons X de type Bruker AXS S8 LION.

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse chimique de la roche.

Tableau 10 : Résultat de l'Analyse chimique du Granite

Elément	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	NaO ₂	SO ₃
%	68.00	2.93	16.97	0.49	1.90	3.81	1.79	0.05

D'après les résultats obtenus lors des analyses par le FRX (tableau 10), les teneurs en éléments chimiques indique de grandes variations dans les valeurs de SiO₂ et Al₂O₃. La présence des éléments nuisible est relativement faible et se traduit par une valeur moyenne inférieure à 2% pour le MgO et 0.05% pour le SO₃. La somme des alcalis est de 3.81% ; elle présente une valeur admissible par les normes industrielles, la chaux signale une moyenne de 2.93%.

IV.5.2 Analyse minéralogique par DRX

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse minéralogique des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs, elle sert à la détermination de la nature des phases minérales et à leurs quantifications. Actuellement la diffraction des rayons x intervient dans la quasi-totalité des thématiques et constitue un complément indispensable aux observations optiques, microscopiques ou spectroscopiques. La condition de la réflexion est donnée par l'équation de Bragg :

$$n.\lambda = 2d \sin\theta$$

Avec **n** : ordre de la diffraction (entier), **λ** : La longueur d'onde des rayons X, **θ** : L'angle entre le faisceau incident et les plans diffractés, il dépend du réseau du cristal, **d** : La distance inter réticulaire entre deux plans diffractés d'un cristal,

IV.5.2.1 Principe de la méthode

La méthode consiste à bombarder le matériau par un faisceau de rayons X monochromatique ($0,1 \text{ \AA} < \lambda < 10 \text{ \AA}$) de longueur d'onde $1,54051 \text{ \AA}$ produit par une anticathode de cuivre, à mesurer l'angle par rapport au rayonnement incident des rayons X diffractées et l'intensité des rayonnements X diffractés au moyen d'un compteur à scintillation. Celui-ci tourne autour du même axe que l'échantillon mais à une vitesse double de celle de l'échantillon. Pour un angle d'incidence θ , l'angle mesure par le déplacement du compteur sera donc de 2θ .

Le traitement des diffractogramme ou spectres s'effectue à l'aide d'un logiciel basé sur les fiches d'une base de données faisant correspondre les distances inter réticulaires d aux angles 2θ enregistrés. La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé. La chambre est une enceinte fermée cylindrique. Le film est chargé en chambre noire et appliqué sur la paroi interne. La poudre est introduite dans un bâtonnet de verre (par exemple le verre de Lindemann au borate de lithium, peu absorbant aux RX) qui est fixé sur l'axe de la chambre. Il peut être entraîné en rotation autour de son axe à l'aide d'un moteur. La figure 49 montre une coupe suivant l'axe qui met en évidence les différents éléments constitutifs:

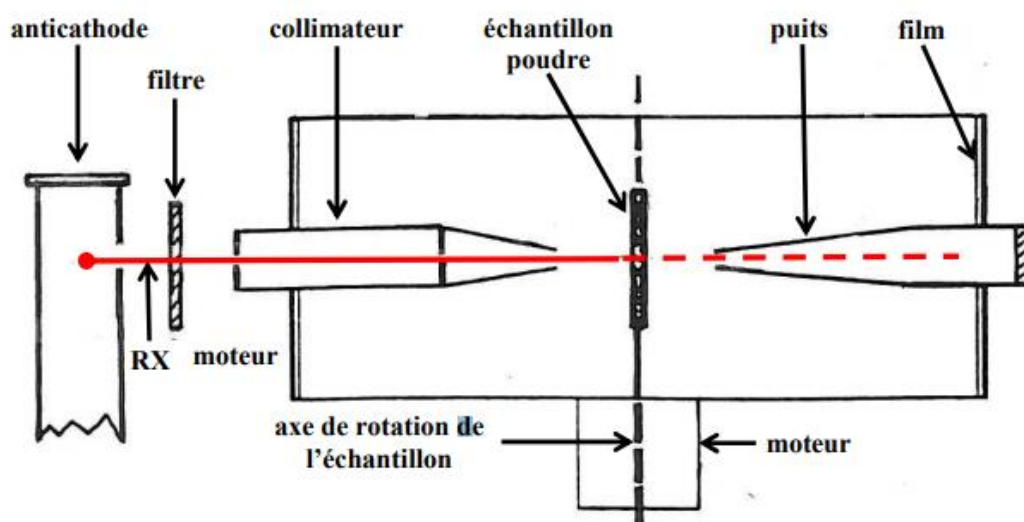


Figure 49 : Spectromètre de diffraction des rayons X (Pierre Gravereau, 2012)

IV.5.3 Composition minéralogique de Granite étudié

L'analyse par DRX permet d'identifier les phases cristallines de notre échantillon ; à partir de la figures 50, d'après les résultats de la DRX, les phases cristallines majeures contenues dans l'ensemble de notre échantillon sont: le quartz, les plagioclases, le feldspath, la biotite la muscovite et la kaolinite 5. Le pic le plus intense dans les échantillons est celui qui représente le quartz et les plagioclases, les pics de feldspath et de biotite sont moins intenses.

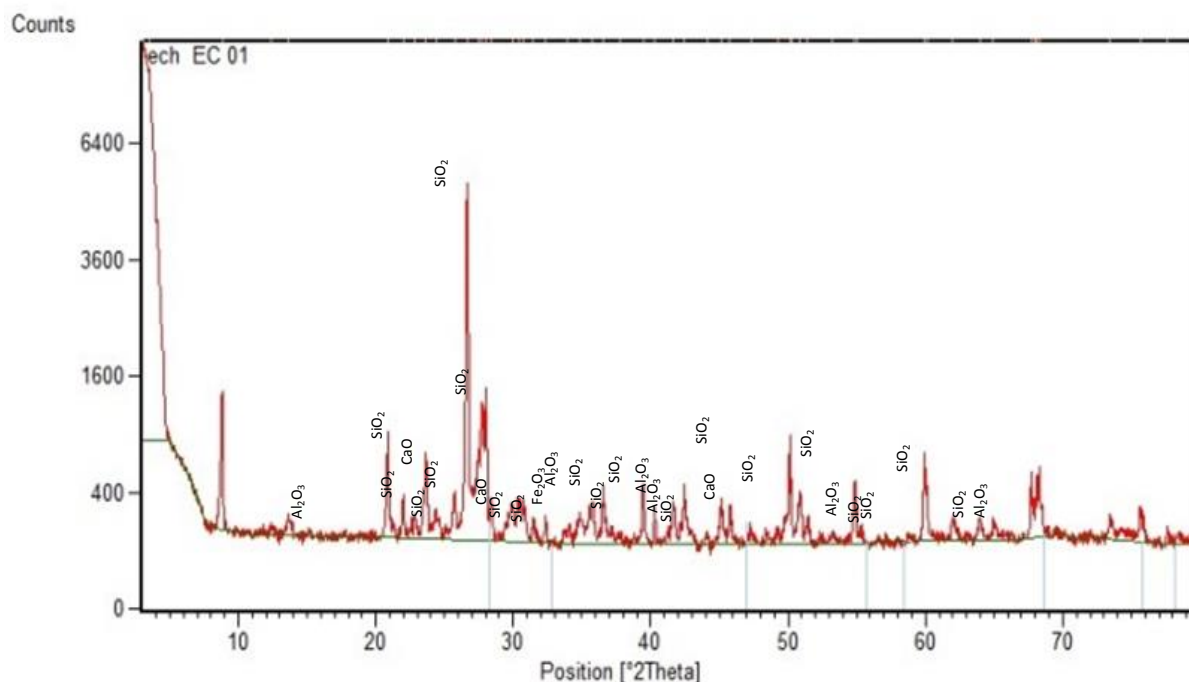


Figure 50 : Diagramme de diffraction par rayon X de Granite

IV.6 Propriétés physico-mécaniques du granite

La présente étude a pour but de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du granite de Kef Bouacida, et de vérifier sa conformité et spécifications techniques destinées à un usage dans la construction, fabrication de béton et de couche de fondation des routes.

A cet effet, des échantillons de 40 kg (et plus c'est l'idéal), qui ont été prélevés pour les essais, et ils ont été destinés au Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (LTPE) pour y effectuer les tests physico-mécaniques.

IV.6.1 Essai de compression

IV.6.1.1 Essai de la résistance à la compression simple

La résistance à la compression simple ou uniaxiale (R_{cu}) est l'un des tests les plus utilisés pour définir la performance mécanique des roches. Le principe consiste à écraser un échantillon de roche entre les plateaux d'une presse puissante. La R_{cu} est déterminée à partir du moment où l'échantillon montre les premiers signes de destruction (fissuration et éclatement). Elle correspond à une force ou une contrainte par unité de surface et s'exprime généralement soit en Kgf/cm^2 ou en MPa ($1MPa = 10 Kgf/cm^2$). La taille et la forme de l'échantillon influencent considérablement la mesure de la R_{cu} , d'où la recommandation d'effectuer la mesure sur des éprouvettes de forme cylindrique et d'une hauteur 2,5 fois supérieure au diamètre (I. El Amrani, H El Azhari 2009).

Tableau 11 : Classification des roches selon la résistance à la compression (I. Woo 2006)

Résistance en compression simple σ_c MPa	Termes descriptif
$\sigma_c > 200$	Très élevée
$60 < \sigma_c < 200$	Elevée
$20 < \sigma_c < 60$	Modérée
$6 < \sigma_c < 20$	Faible
$\sigma_c < 6$	Très faible

L'application de cet essai sur le granite de Kef Bouacida montre que ; l'appareil a enregistré une valeur de 184.8 MPa, d'après le tableau 11, la résistance de la roche est élevée, entre 60 – 200MPa.



Figure 51 : Appareil d'essai de compression simple (M. Azizi, L. Aissou 2014)

IV.6.1.2 Vérification de σ_c avec nature de la roche

- La résistance à la compression varie selon que l'échantillon est sec ou saturé. D'une manière générale la résistance à la compression après saturation est une fraction de σ_c à sec qui varie de 50% (grès) à 95% (basalte) (pour les craies, la proportion peut baisser jusqu'à 25%.
- Pour un matériau schisteux, la résistance à la compression varie avec l'angle entre la direction de la schistosité et la direction de la contrainte de compression appliquée.
- Les caractéristiques intrinsèques qui déterminent la résistance à la compression sont la composition minéralogique, la taille des grains et la porosité.

- a) La roche contenant du quartz comme matériau de liaison sont les plus résistantes, suivis par ceux qui contiennent de la calcite ou des minéraux ferreux. Les roches contenant de l'argile sont les moins résistantes. D'une manière générale, la résistance croît avec le pourcentage de quartz.
- b) La résistance décroît quand la porosité croît.
- c) La résistance croît avec la finesse des grains (R.Lama, V.Vutukuri 1978).

IV.6.2 Résistance à l'usure

Les essais de résistance à l'usure se font sur des fractions granulométrique précises du matériau à étudier, il faut donc disposer de matériau concassé, ces essais sont utilisés surtout en technique routière ou les servent à fixer les spécifications des matériaux servant à la construction des couches de chaussée. Les résultats des tests physico-mécaniques sur l'échantillon de roche de granite sont présentés dans le tableau 12.

IV.6.3 Essai Micro-Deval (Norme NFP 18-573)

L'essai consiste à mesurer l'usure produite par frottement des granulats entre eux et avec des billes d'acier au cours de l'agitation de l'échantillon de granulat, plus les billes d'acier, dans un appareillage spécifique (cylindres de 4.5 litres tournant pendant 2 heures à 100t/mn) (figure 52). Le principe implique une prise d'essai, constituée par 500 g d'une classe granulaire 4/6 - 6/10 ou 10/14 mm, est placée dans un cylindre métallique, tourne autour de son axe placé horizontalement, qui à son tour entraîne une usure par frottement. L'évolution de la granularité est due à l'usure des pierres les unes contre les autres et contre les parois du pot, la vitesse critique pour laquelle le matériau et la charge restent collés à la paroi est obtenue : à 130 tr/mn (essai à sec), à 160 tr/mn (essai en présence d'eau).



Figure 52 : Machine Micro-Deval (Laboratoire de Travaux Public de l'Est Annaba)

Le pourcentage de ces éléments fins produits au cours de l'essai constitue le coefficient MDE, le tamis qui sert à déterminer ce pourcentage, est de 1,25mm. Il faut noter que l'essai Micro-Deval dérive de l'essai Deval qui est exécuté sur des pierres cassées de 5 à 7cm de côté. L'essai Deval est peu adapté aux techniques routières. Il avait été mis au point pour la caractérisation des ballasts de chemin de fer. Essai Deval ou Micro-Deval s'exécute à sec ou en présence d'eau. On obtient selon le mode opératoire un coefficient Micro-Deval sec ou Micro-Deval humide. Il existe une corrélation assez bonne entre Deval (D) et Micro-Deval (MD), $D = 80/MD$.

IV.6.4 Essai Los Angeles (Norme NFP 18-573)

L'essai, tel qu'il est normalisé par l'administration française (Norme NFP 18-573), se fait sur les classes granulaires 4/6.3 ; 6.3/10 ; 10/14mm. Il consiste à mesurer la quantité p d'éléments inférieurs à 1.6mm produite en soumettant le matériau P (5kg) aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles (cylindre de 711 mm de diamètre exécutant 500 rotations à 30 ± 3 t/mn) le coefficient Los Angeles est égal à : $LA = 100 P/p$ (figure 53).



Figure 53 : Appareil Los Angeles (Laboratoire de Travaux Public de l'Est Annaba)

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produite en soumettant le matériau aux chocs de billes normalisés d'acier de 10 mm de diamètre, et aux

frottements réciproques dans la machine Los Angeles, l'évolution de la granularité est donc due au frottement granulats-billes, les classes granulaires qui peuvent soumis à l'essai sont : 4/6,3 mm – 6,3/10 mm – 10/14 mm – 10/25 mm – 16/31,5 mm et 25/50 mm. Le tamis qui sert à déterminer ce pourcentage est de 1,6 mm pour le LA. Si (P) est le matériau soumis à l'essai, (p) le poids des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, le coefficient de LA s'exprime par : $CLA = 100 \times p/P$. (El-Amrani Iz., El-Azhari H. 2009).

Tableau 12 : Résultat des tests physico-mécaniques

<i>Echantillon</i>	<i>Aspect roche</i>	<i>Los Angeles Class (16/31.5)</i>	<i>Micro-Deval Humide Class (10/14)</i>	<i>Résistance à la Compression (Mpa)</i>	<i>Poids Spécifique (t/m³)</i>	<i>Densité apparente (t/m³)</i>
Ech.01	Granite gris à cristaux de feldspath noir et de mica blanc	21.6	16.2	184.8	2.65	2.52
Ech.02		21.9	16.8			
Ech.03		22.5	17.3			
Ech.04		21.0	16.1	184.2		
Ech.05		21.2	15.8			
Normes		(NFP 18-572) LA≤ 30	(NFP 18-572) MDE≤ 20			

IV.6.5 Essai de la porosité (Norme NF P94-410-3)

La porosité contrôle tous les autres paramètres physiques de la roche, elle correspond au rapport du volume total des pores sur le volume total de la roche et s'exprime en pourcentage. Dans la pratique, la porosimétrie à mercure est la méthode la plus largement utilisée ; elle consiste à mesurer le volume de mercure susceptible d'être absorbé par une roche (par injection à haute pression sous vide). Où on utilise la porosimétrie à l'eau distillée au lieu du mercure suivant le même principe, et qui donne également des résultats comparables.

Le résultat que donne cet essai sur le granite de Kef Bouacida montre que ; la valeur de la porosité varie en moyenne est de 0.71%, cette valeur témoignent de la structure assez compacte et homogène de l'assise utile du granite.

IV.6.6 Essai de la masse volumique

La masse volumique (densité apparente) est déterminée directement en calculant le rapport de la masse de l'échantillon sec, mesurée à l'aide d'une balance de précision sur son volume. Les valeurs du poids volumétriques qui donne cet essai sur le granite de Kef Bouacida montre

qu'ils varient de 2690 à 2680 kg/m³, ce qui correspond aux roches utilisées pour la production des matériaux de construction.

IV.6.7 Essai de la densité

La densité réelle est déterminée en mesurant le quotient de la masse de l'échantillon par la masse du même volume d'eau distillée, le volume d'eau équivalent au volume de l'échantillon est obtenu en plongeant l'échantillon complètement saturé dans un récipient gradué. D'après le résultat de cet essai sur le granite de Kef Bouacida on peut dire que ; les roches des granites présentent des densités assez stables, 2,70 g/cm³.

IV.6.8 Essai d'absorption d'eau

Le principe de l'essai comporte : un échantillon (1 kg) est séché à l'étuve (110C° pendant 24 heures, puis on mesure sa masse (M0), il est ensuite immergé dans l'eau distillée pendant plusieurs heures jusqu'à la saturation complète, on mesure sa masse Ms, le pourcentage d'absorption d'eau est calculé comme suit : $A = [100(Ms-M0)/M0]$.

Les échantillons de granite de Kef Bouacida qui ont subis a cet essai, montrent une valeur de l'absorption d'eau moins de (1%) et varie de 0,13 à 0,22 %, d'après cet indice les roches en question sont utilisables pour l'obtention de tous les types des matériaux de revêtement.

IV.6.9 Essais de broyabilité

L'essai consiste à entraîner en rotation (vitesse de 4500 tr/min) une plaquette en acier, dans un récipient clos contenant 500 g de matériau réduit à la fraction granulométrique 4/6,3 mm. La perte de masse de la plaquette au bout de 15 min, permet d'obtenir un coefficient de broyabilité du matériau.

Pour notre granite, la valeur de la broyabilité atteint un pourcentage de 65,11%, juste après les premiers dix minutes d'essai, ce qui reflète la dureté naturelle moyenne de ce granite.

IV.6.10 Essai de la propreté superficielle

Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée. Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm, les gravillons sont souvent pollués par des particules fines qui adhèrent à leur surface. Le résultat de cet essai sur le granite de Kef Bouacida est de 0,14%, ce pourcentage correspond à la poussière provenant du concassage de roches saines, ou de fines des minéraux de chlorites, argiles, ou des hydroxydes de fer.

IV.6.11 Recherche des éléments radioactives

Le radon 222, gaz radioactif naturel, est produit par la désintégration du radium 226 lui-même descendant de l'uranium 238 présent dans les roches et les sols. L'inhalation du radon et de ses descendants constitue un risque sanitaire potentiel pour l'Homme (Ielsch G, 2000). Les granites sont le principal mode de transfert des articles, en particulier ceux qui produisent de la chaleur (Th, U) de la croûte en dessous de la croûte supérieure. A partir de cela, les matériaux en catégories peuvent présenter un risque d'exposition à la radioactivité doit être évaluée, l'analyse de la caractérisation et mesures radiologique par spectrométrie gamma de ces matériaux produits par l'exploitation de ce dépôt est faite à l'Université des mines Oral à Ekaterinburg En Russie, les résultats sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Description des éléments radioactifs

<i>Description de la roche</i>		<i>Activité massique</i>	<i>I_γ intensité</i>	<i>Eléments en (ppm)</i>		
		<i>Bq/Kg</i>	<i>M_{KR} \ u</i>	<i>K</i>	<i>U</i>	<i>Th</i>
1	Granodiorite	127,5	7,9	1,60	25,24	68,78
2	Granodiorite	124,3	7,9	1,56	25,40	66,09
3	Granodiorite	123,8	7,8	1,44	33,47	67,32

Les granites étudiés offrent une grande variété de concentrations en U, Th et K. Leurs teneurs s'échelonnent entre 25.24 et 33.47 ppm U, entre 66.09 et 68.78 ppm Th et entre 1.44 et 1.60 ppm K. L'activité spécifique efficace de la radio naturelle dans les matériaux de construction nucléaires (pierre concassée, gravier et briques de boue ... etc.) produites dans leurs champs ou sont un sous-produit de l'industrie, ainsi que la production de déchets industriels utilisés pour la production de matériaux de construction Cendres volantes, scories ... etc) et le produit fini ne doit pas dépasser :

- Pour les matériaux utilisés dans la construction et la reconstruction des bâtiments résidentiels et publics (classe I):

$$A_{sp} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09AK \leq 370 \text{ Bq / Kg.}$$

Ou ; A_{ra}, A_{th} et A_K, activités spécifiques de Ra226 Th232 et K, situées en équilibre radioactif avec le reste de la série d'uranium, de thorium et de potassium.

- Pour les matériaux utilisés pour la construction de routes dans les zones résidentielles et les zones prometteuses de développement ainsi que dans la construction de bâtiments industriels (classe II);

$$A_{sp} = A_{Ra} + 1,3A_{th} + 0,09AK \leq 740 \text{ Bq / Kg}$$

Pour les matériaux utilisés pour la construction de routes en dehors des zones urbaines (classe III);

$$A_{sp} = A_{Ra} + 1,3A_{th} + 0,09AK \leq 1500 \text{ Bq / Kg}$$

IV.7 Etude des émissions des poussières a la carrière de Granité de Kef Bouacida

La pollution atmosphérique est directement responsable d'une mortalité et d'une morbidité toujours croissante dans les grandes agglomérations ou les sites industriels.

Elle est définie comme une altération de la composition de l'air par un ou plusieurs éléments nuisibles. Ces éléments peuvent être classés en deux grandes catégories : les gaz et les aérosols, ces derniers, composés de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux, restent un sujet d'actualité de par leur complexité, des phénomènes mis en jeu et de par leurs pires impacts environnementaux subis par les humains, les animaux et les végétations (Martaud T, 2009).

Les poussières constituent l'une des composantes majeures de la pollution urbaine, mais celle-ci est variable dans le temps et dans l'espace. La partie suivante sera consacrée sur l'étude les effets des poussières des particules sédimentables générés par l'activité de l'exploitation de Granite au niveau de la carrière Kef Bouacida.

IV.8 Définition et origine des aérosols

Par définition, un aérosol est une particule liquide ou solide en suspension dans un milieu gazeux (atmosphère). Dans les études atmosphériques (UNICEM, 2011), l'aérosol est rarement considéré de façon unitaire mais plutôt comme un ensemble appelé population d'aérosols, au sein de cette population, les aérosols ont des tailles et des morphologies très variables (*figure 54*).

Quatre vocables sont presque équivalents pour parler des entités solides dans l'atmosphère : particules, aérosols, poussières et fumées, le premier terme est plutôt employé par les physiciens, le second par les chimistes, le troisième par les géologues et le dernier par les industriels. En fait ces termes ne correspondent pas exactement à la même chose :

- les particules sont des entités solides.
- les aérosols sont des entités solides ou liquides.
- les poussières sont des débris de sol.
- les fumées sont constituées de l'ensemble des polluants gazeux et particuliers.
- Elles sont engendrées par la combustion des matériaux carbonatés et sont considérées comme dangereuses dans l'atmosphère urbaine. Mais l'habitude est d'employer un terme ou un autre pour désigner les entités différentes formant une famille de polluants qui peut se regrouper sous le terme générique de poussières.

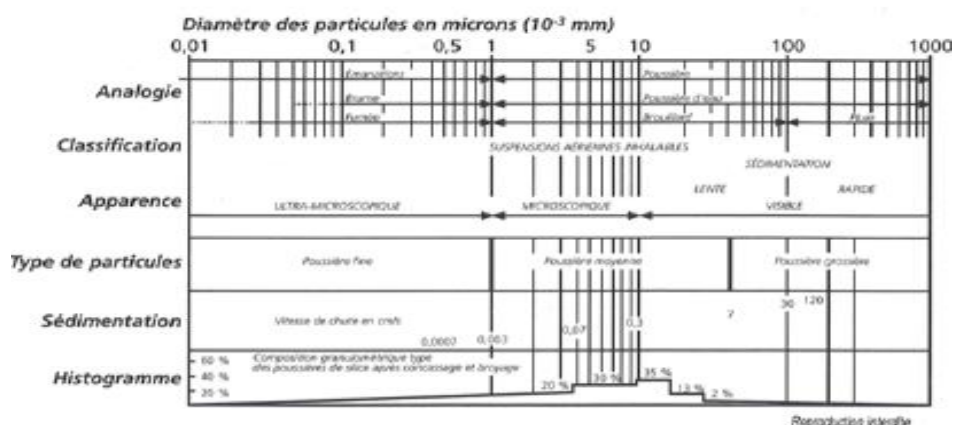


Figure 54 : Taille des particules fines et des aérosols (ENCEN, 2011)

IV.9 Données météorologiques lors des mesures dans la carrière

Les conditions atmosphériques (vent, sécheresse et précipitations) jouent un rôle majeur dans l'empoussièrement d'une exploitation. Elles interviennent principalement sur :

- la dessiccation des matériaux ;
- le déplacement des poussières, y compris par reprise de poussières sédimentées ; la formation de boues qui, en séchant, forment des poussières.

Les conditions extrêmes de dispersion des poussières sont :

- Un terrain plat ;
- L'absence d'écran végétal ;
- Une hygrométrie et des précipitations faibles ;
- Un vent fort.

Les données météorologiques proviennent de l'office national de météorologie d'Annaba lors de la période de prélèvement, du 23 Janvier au 27 décembre 2017 ;

IV.9.1 Températures

Le climat de la région est de type méditerranéen doux et humide en hiver, chaud en été. La période froide se situe entre Novembre et Avril, la période chaude de Mai à Octobre (figure 55), Les moyennes de température sont respectivement de 14° et 23° en altitude, les moyennes sont de 9° à 19°.

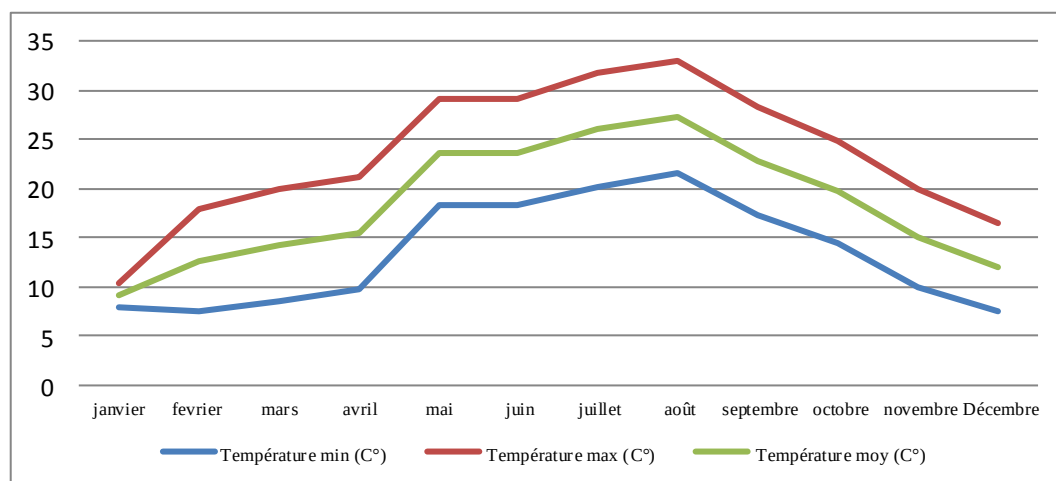


Figure 55 : Analyse des températures annuelles

IV.9.2 Précipitation

Les pluies sont abondantes mais irrégulières, la région reçoit en moyenne 100 jours de pluie par an répartis entre octobre et février (figure 56), il neige très peu dans cette partie du pays à l'exception toutefois du sommet du Djebel Edough. Les périodes les moins arrosées correspondent au mois de mars à septembre, les plus arrosées au mois d'octobre à février, ces précipitation ont une influence et limite la masse de poussières recueillies pendant les mesures

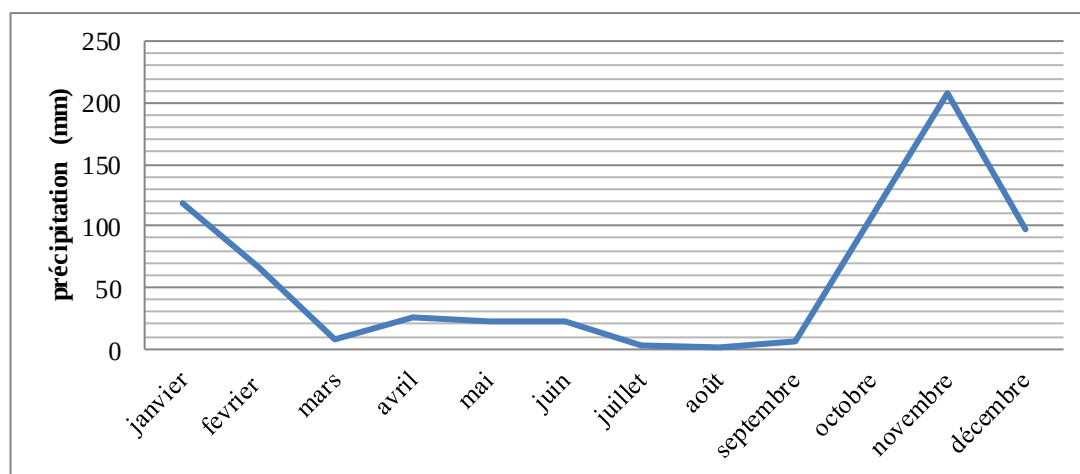


Figure 56 : Mesures de la précipitation

IV.9.3 Humidité relative

L'humidité de l'air est très élevée, et la tension des vapeurs d'eau sont importante à cause de la proximité de la mer méditerranée. L'état hygrométrique est presque constant (figure 57).

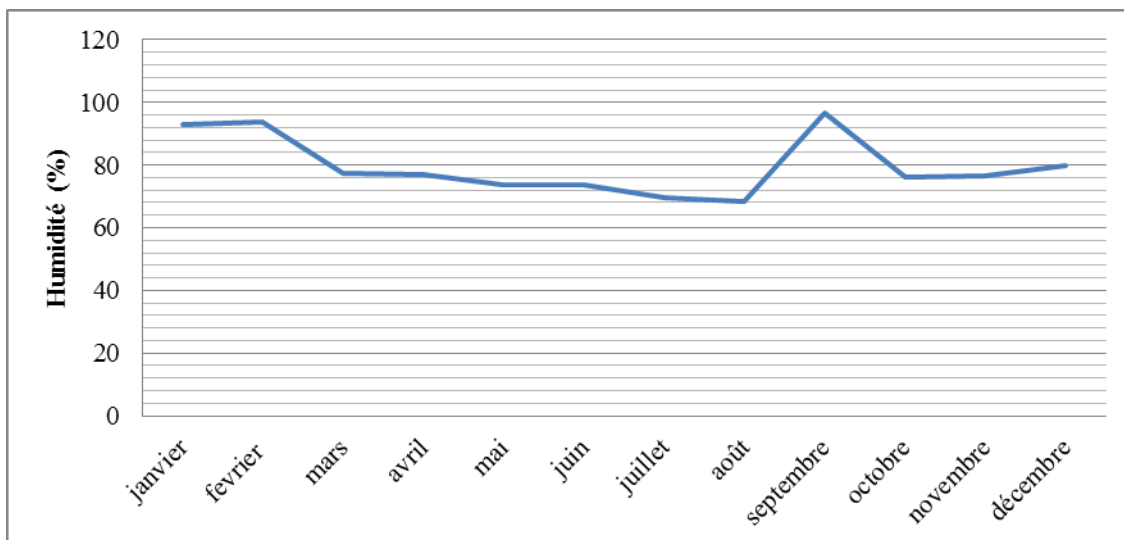


Figure 57 : Evolution de l'Humidité pendant l'année 2017

IV.9.4 Les vents

Les vents dominants sont d'orientation Nord-Ouest, les roses des vents, qui constituent le diagramme des fréquences moyennes des directions du vent par groupes de vitesses, montre que les vents proviennent principalement du Nord-est, (figure 58). Les vents les plus forts, dont la vitesse est supérieure à 8 m/s sont fréquents (la rose des vents figure 60).

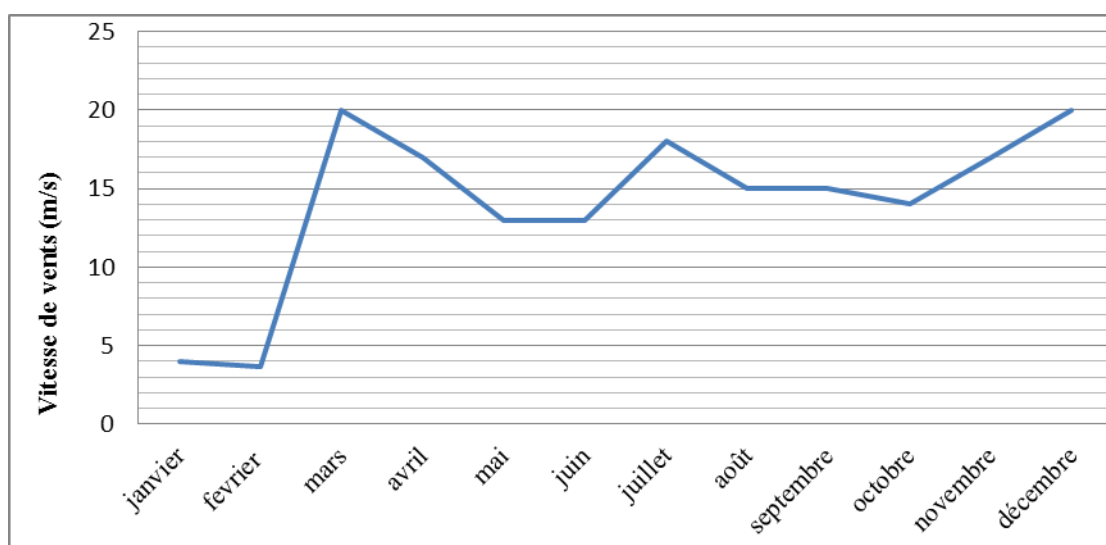


Figure 58 : Mesure de la vitesse du vent durant l'année 2017

IV.10 Analyse granulométrique de poussière

Des essais d'analyse granulométrique sont réalisés au laboratoire de valorisation des ressources minérales et environnement (LAVAMINE) du département des mines, université Badji Mokhtar Annaba. L'analyse granulométrique du matériau, consiste à connaître la composition granulométrique de la poussière récoltée sur site, l'essai doit être réalisé au laboratoire sur des tamis normalisés, dont l'ouverture est variée entre 0 jusqu'au 315 μm (tableau 14 et figure 59), les résultats ainsi obtenues sont illustrés sur le tableau suivant :

Tableau 14 : Analyse granulométrique de la poussière

Tamis (μm)	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (%)	Refus cumulés	Tamisât cumulés
315	0	0	0	100
250	8,12	1,62	18,30	98,38
180	12,3	2,46	20,76	95,92
125	14,24	2,85	23,61	93,07
80	61,3	12,26	35,87	80,81
63	60,17	12,03	47,90	68,77
45	115,2	23,04	70,94	45,73
0	228	45,60	101,54	0,13

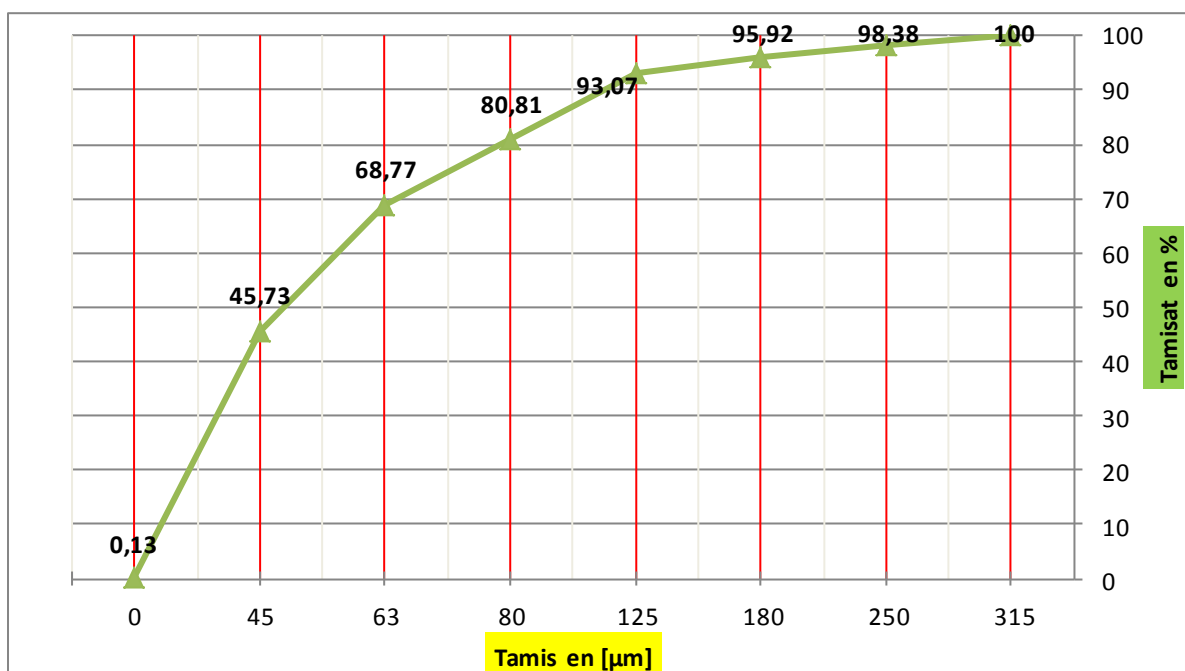


Figure 59: Distribution granulométrique des particules de poussières

IV.11 Résultats et discussions

L'analyse granulométrique de la poussière du granite ; prouve que plus de 45% de l'échantillon est composé d'une fines des particules, dont la granulométrie varié entre 0 et $45\mu\text{m}$. La réduction des émissions de particules fines constitue le plus grand défi écologique que l'industrie extractive algérienne doit prendre en charge vis-à-vis de l'environnement. Les résultats obtenus dans cette étude sont comparés avec le seuil de la classification zone faiblement polluée et zone fortement polluée.

Selon la norme AFNOR NF X43-007, la valeur du seuil réglementaire de pollution est fixé à $30 \text{ g/m}^2/\text{mois}$, le seuil de nuisance importante pour la norme allemande TA-LUFT mentionne la valeur moyenne annuelle de $350 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$, soit $10,5 \text{ g/m}^2/\text{mois}$, et la loi suisse OPair (Ordonnance sur la Protection de l'air) prescrit, quant à elle, une moyenne annuelle de $200 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$, soit $6 \text{ g/m}^2/\text{mois}$.

La station la plus sensible (la chaine de préparation de la roche à partir du concasseur à mâchoire jusqu'au stockage et déstockage du produit fini) affiche une valeur de $83.34 \text{ g/m}^2/\text{mois}$ soit 2.74 g/m^2 par jour alors que le seuil toléré par la norme appliquée est de 1 g/m^2 par jour.

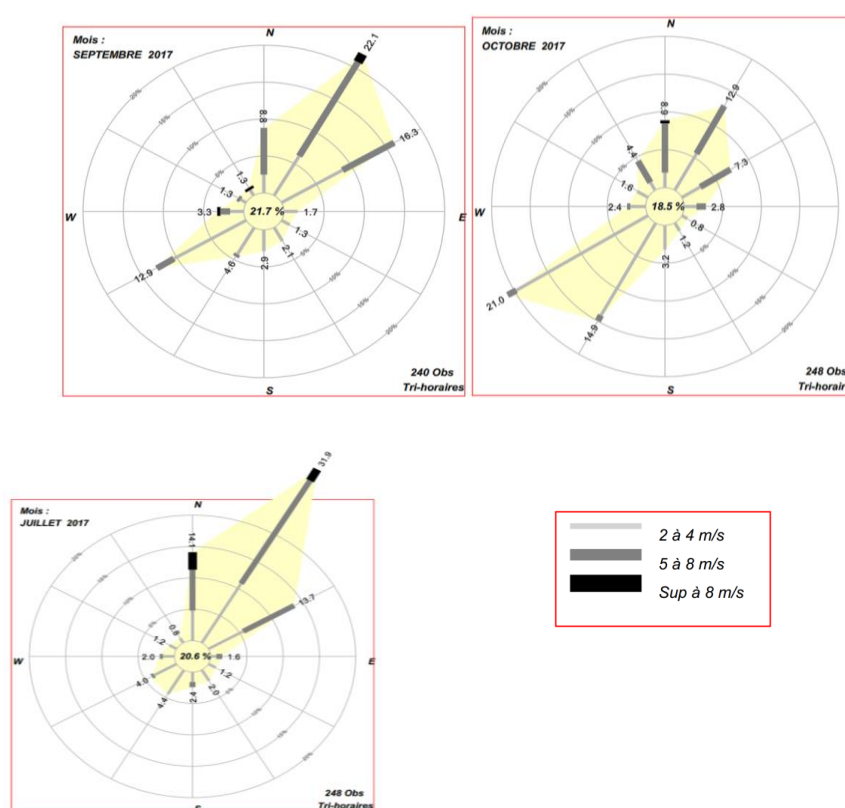
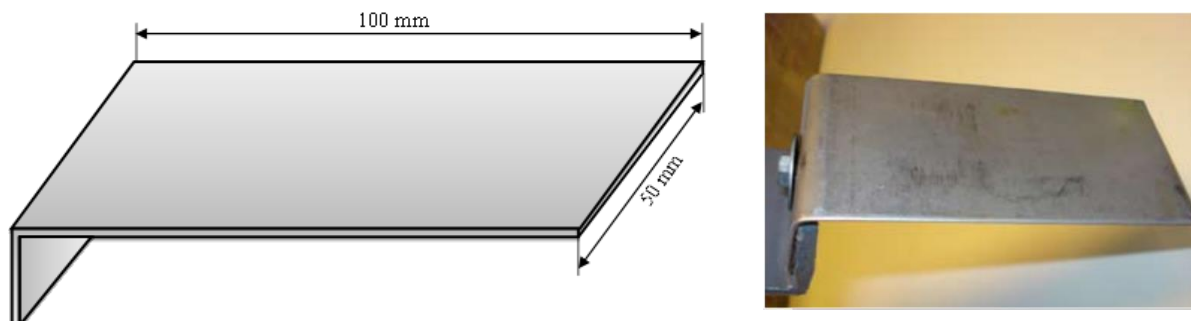


Figure 60 : Fréquence représentative des vents tri-horaires durant les mois de juillet, septembre et octobre

La méthode suivie est celle des plaquettes métalliques décrite par la norme Française NFX 43-007 (AFNOR, 2008). Ces plaquettes en acier inoxydable enduites d'un fixateur hydrophobe sont des dispositifs destinés à recueillir les poussières présentes dans l'air



ambiant. Le dépôt est ensuite prélevé et transféré sur un filtre pour la pesée et l'analyse en vue d'estimer l'importance des retombées atmosphériques. Les plaquettes métalliques sont disposées horizontalement à 1,5 m du sol (figure 61), elles sont de dimensions 50 x 100 mm fixées sur des supports de longueur 2 m avec un ancrage au sol de 40 cm et répondant à la norme AFNOR. Les particules qui se déposent sur la plaquette par gravitation sont retenues ou stabilisées par l'enduit qui recouvre la plaquette, l'enduit est défini par la norme AFNOR comme un fixateur hydrophobe, ayant la propriété de fixer les poussières déposées (dans cette étude, c'est la vaseline).

Figure 61 : Plaquette métallique pour la collecte des poussières

IV.11.1 Réseau de surveillance

Le réseau de surveillance balayant toute la zone polluée est composé de sept zones de prélèvements couvrant tout le champ de la carrière, à savoir :

- Le forage et tir à l'explosif (Z1),
- Le concasseur à mâchoire (Z2),
- Tas d'alimentation du concasseur secondaire (Z3),
- Le concasseur secondaire (Z4),
- Le stockage et déstockage produit fini (convoyeur à bande) (Z5),
- L'administration et cantine (Z6),
- Le stockage du produit commercialisé (Z7).

Tableau 15 : Résultat de mesure des retombées de poussières

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	g/m ² /mois	g/m ² /jour
Z 1	18,2	16	19,8	20,11	20	19,3	18	18,2	18,3	22,89	17,12	15,6	18,63	0,61
Z 2	55,2	61,3	60,5	64	66	61,5	53,2	60	50,85	63,1	50,3	45,5	57,62	1,89
Z 3	60	60,88	55,5	55,6	69	62,4	54	55,05	50,1	73,21	51	45,99	57,73	1,90
Z 4	66,21	66,5	68,7	69	89	89,3	79,2	80	77	66,9	54,3	47	71,09	2,34
Z 5	64,14	69,33	70,12	78	102,5	98,6	109,8	101,6	89,78	112,14	50,3	53,77	83,34	2,74
Z 6	35	32,9	31,2	50,7	47	33,3	30	36,2	41,66	45,9	31,2	29,3	37,03	1,22
Z 7	44	40	42,18	43,99	50,5	54,8	52,4	46,2	52,3	62,66	57,3	48,6	49,58	1,63
Moyenne													53,57	1,76

Le réseau de suivi a été mis en place toute au long de l'année 2017 (tableau 15), dans cette large période de suivi, il apparaît à travers la campagne de mesure que les différents points sont caractéristiques d'une zone fortement polluée du fait des forts retombées particulières obtenues (moyenne de 83.34 g/m²/mois) qui sont supérieures à la valeur de référence de 30 g/m²/mois de la norme AFNOR NF-X43-007, ainsi qu'aux valeurs indicatrices issues de la norme allemande TA-LUFT (10,5 g/m²/mois), et de la Loi suisse OPair (6 g/m²/mois) qui sont plus restrictives.

IV.11.2 Evolution des concentrations de poussières

Les figures 62, 63 et 64 du réseau de surveillance illustrent l'évolution de l'empoussièrement des sept zones de prélèvement où il est constaté que les zones 5 et 4 ont affiché un niveau d'empoussièrement très considérable de l'ordre 83.34 g/m²/mois, dépassant largement le seuil acceptable fixée par les normes AFNOR soit 30 g/m²/mois, allemande TA-Luft soit 10.5 g/m²/mois et la loi Suisse Opair à 6 g/m²/mois. Probablement, ceci est attribué d'une part à l'emplacement de ces stations sur l'axe des vents dominant Nord-Ouest et d'autre part à l'envol des poussières provenant des fuites au niveau des trémies réception.

La zone qui enregistre le niveau d'empoussièrement le plus faible à chaque prélèvement est la zone 01 dont les quantités de poussières recueillies sont inférieures à la valeur de référence. Ce résultat est justifié d'une part par l'éloignement des zones produisant la poussière (traitement de la roche) et d'autre part les travaux de tir à l'explosif qui ne dépassent pas deux tirs par semaine.

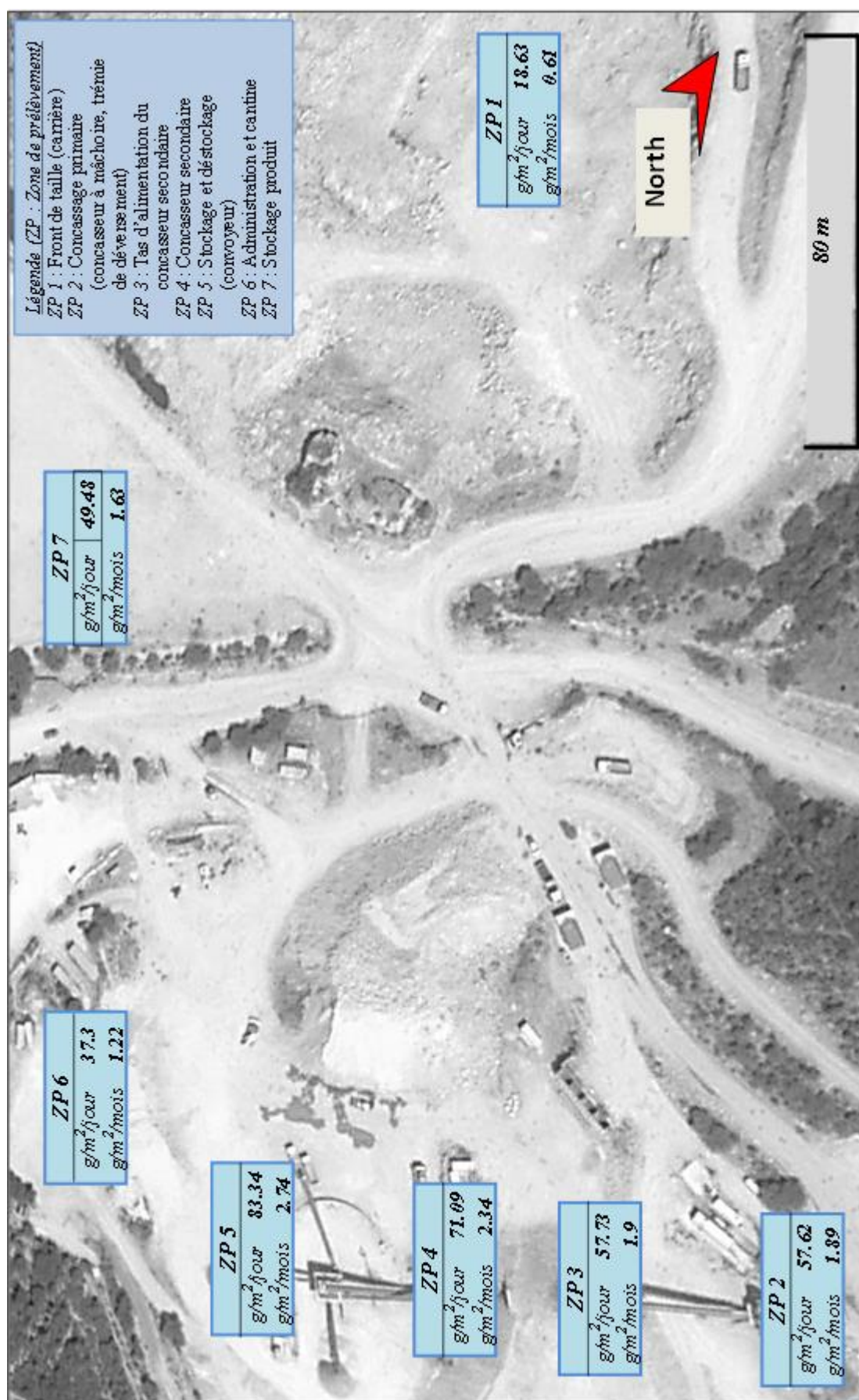


Figure III.20 : Localisation des points de prélèvement

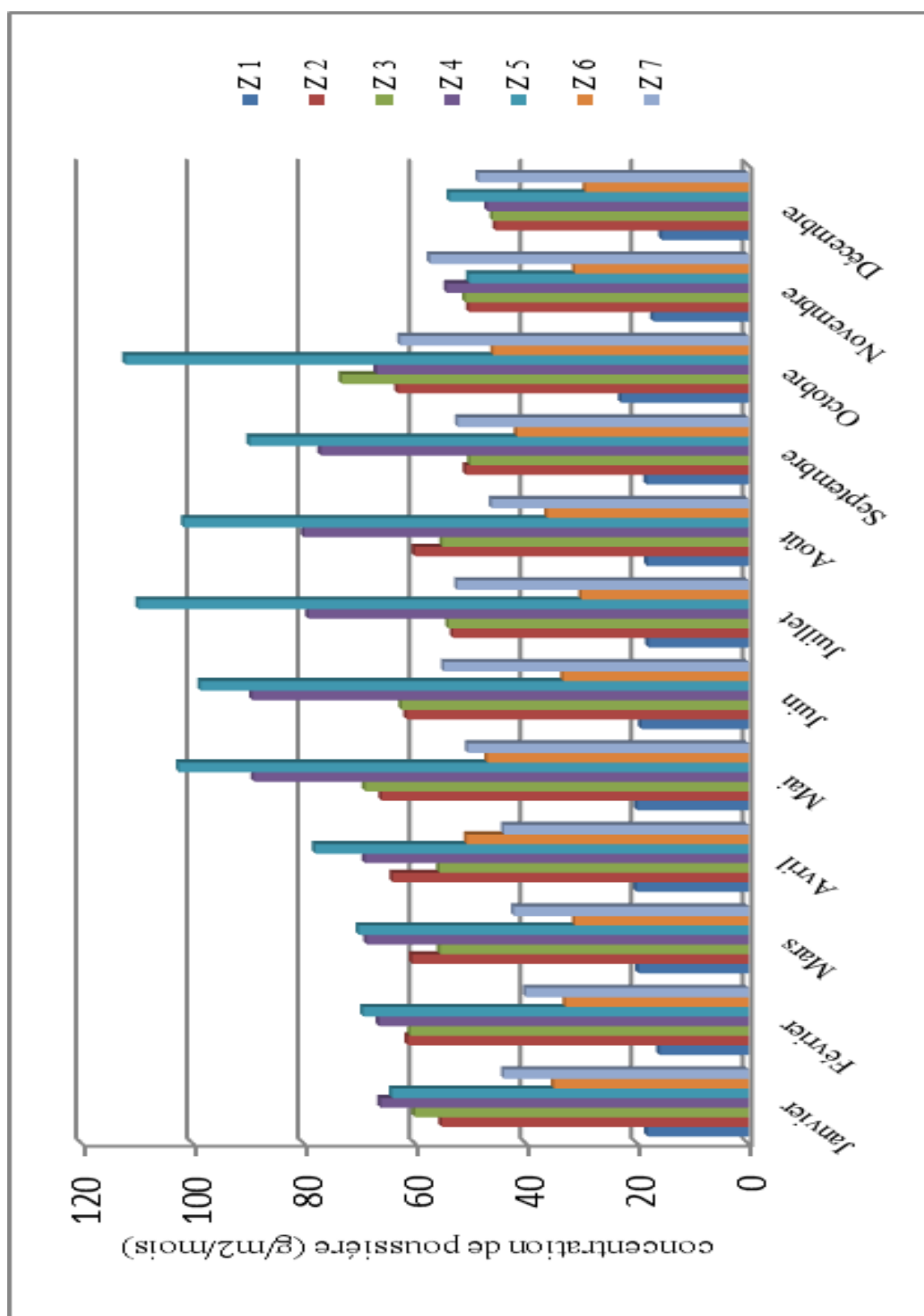


Figure 64 : Évolution du niveau d'empoussièrement des sept zones de prélèvement

Une surélévation peu significative du niveau d'empoussièrement est remarquée pour les zones 2 et 3 qui peuvent être expliquée par l'existence de cette station au niveau de l'accès des camions pour alimenter le concasseur primaire. La majorité des poussières recueillies provenant donc du concassage à ciel ouvert de la roche et la trémie de réception du produit pour le concassage secondaire et le stockage des produits finis. La zone 7 située sur le site commercial, où le trafic des camions d'expédition est très important empoussérant toute la zone.

IV.11.3 Analyse de l'état initial de la zone d'étude

En application du décret 2011-2019 du 29 décembre 2011, portant réforme des études d'impact, une analyse de l'état initial de la carrière, listé et décrit des milieux et éléments susceptibles d'être affectés par le projet. Les interrelations entre ces éléments et l'évaluation de la sensibilité du milieu, sont présentées dans le tableau 16.

La stratégie de mesure de poussières générées par l'exploitation de la carrière et la préparation mécanique (concassage- criblage) des granulats sont illustrées dans la figure 65.

L'étude d'impact relative à une exploitation extractive nécessite habituellement de caractériser et qualifier le site sur la base de connaissances de la réalité du territoire. Elle s'appuie traditionnellement sur une analyse préalable des caractéristiques de la zone d'étude afin d'identifier et de hiérarchiser les contraintes environnementales et sanitaires du projet. Ces éléments servent à la construction de la stratégie de mesures tant sur le plan spatial que temporel.

La stratégie de mesures (présentation de la méthode et choix des localisations des stations de mesures) est ensuite exposée après la présentation des résultats spécifiquement obtenus sur une campagne de mesures réalisées en 2017. Il aurait été aussi intéressant d'évaluer la représentativité des mesures par rapport à la production maximale d'une production maximale de 200 000 tonnes de granulats, cette quantité semble considérer qu'elle est indicatrice d'une situation maximale de production.

Il aurait été également utile de faire une synthèse des données acquises depuis le début de la surveillance, conformément la norme ISO 7708 et la norme AFNOR X43-100 qui impose des mesures des retombées de poussières des carrières de roche massive de plus de 150 000 t/an.

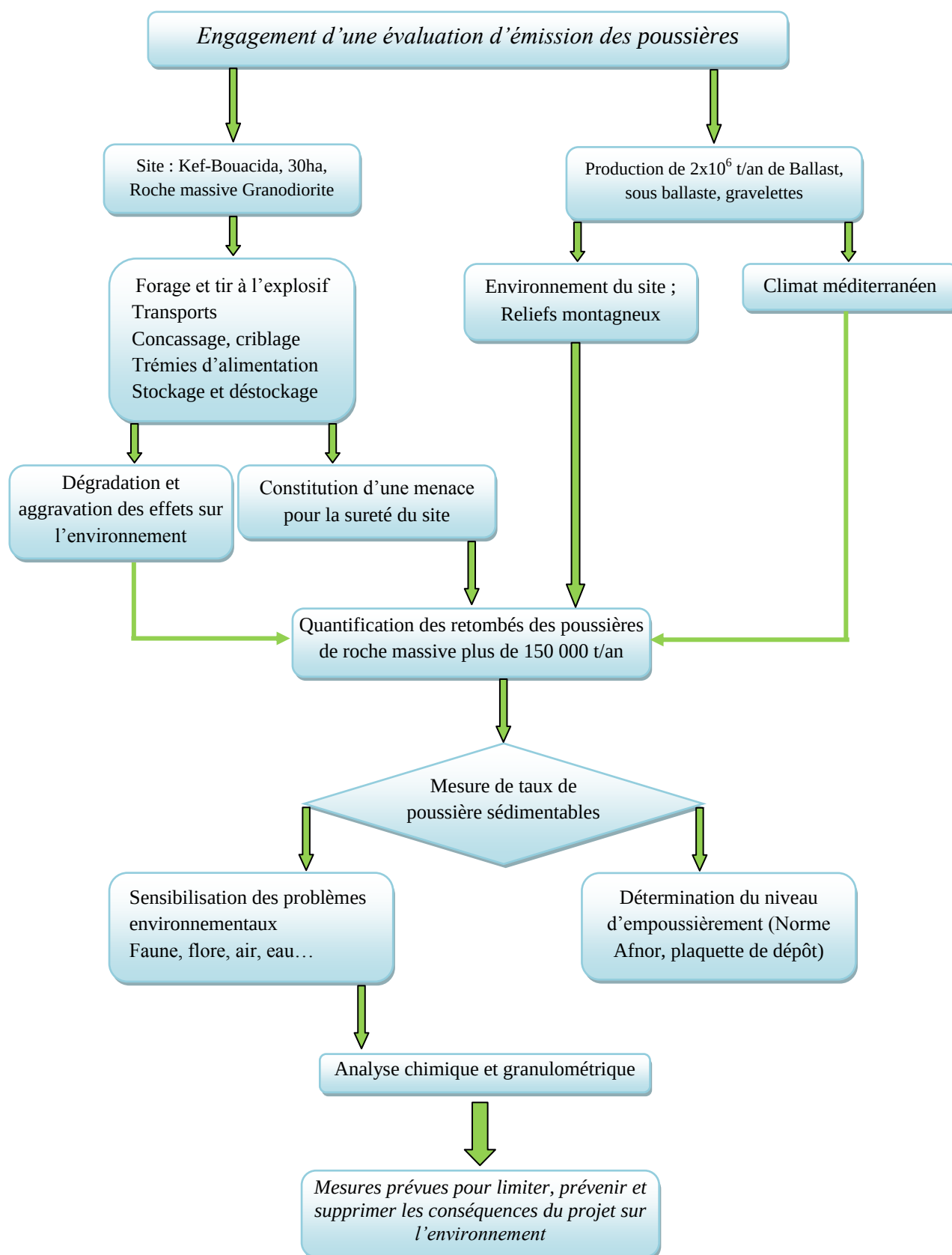


Figure 65 : Stratégie de mesure des poussières environnementales

Tableau 16 : Interrelation entre les éléments à l'état initial

Aspects environnementaux	Evaluation de la sensibilité du milieu				
	Oui	Non	Forte	Moyenne	Faible
Sols et sous-sols					
Culture		X			X
Végétation		X			X
Sol particulièrement perméable		X		X	
Pollution du sol et sous-sol		X			X
Voisinage		X			X
Eau					
Cours d'eau proche	X		X		
Zone aquacole ou piscicole		X			X
Proximité d'une zone touristique ou de loisirs		X			X
Nappe phréatique	X		X		
Site situé en zone inondable		X	X		
Air					
Relief entraînant une mauvaise circulation de l'air		X			X
Zone fortement polluée	X		X		
Population/zone sensible à proximité		X			X
Climat	X		X		
Bruit					
Proximité d'une zone sensible (Hôpital, école)		X			X
Zone résidentielle urbaine à proximité		X			X

Nous indiquons ici les mesures et les dispositions à entreprendre par les responsables des carrières pour minimiser ou compenser les effets indésirables durant l'exploitation tableau 17.

Tableau 17: Mesures d'atténuation et de compensation des impacts

Source de poussière	Mesure de contrôle
Forage Chargement et déchargement Installation fixe (convoyeurs à bande, trémie d'alimentation du concasseur, cribles, déversement,	• Dépoussiérage par cyclone à sec et filtres, • Suppression de la poussière par l'eau. • Des systèmes télescopiques permettent de protéger la chute jusqu'au fond de la benne des véhicules, • L'aspersion des pistes par des camions citernes mobiles, • Les plantations des arbres en amont, limitent l'action du vent sur le site, en aval elles piègent une partie des poussières entraînées par le vent. • Le capotage et le bâchage des appareils et les convoyeurs à bandes, • A l'alimentation on doit mettre un capot le plus hermétique possible au niveau de la chute des matériaux, • Protection de la chute par bandes caoutchoutées, • Confinement des installations de traitement ou bâtiment évite la dispersion des poussières vers l'extérieur, • Protection des stockages des matériaux fins dans des silos ou des trémies.

IV.12 Conclusion générale

Après l'étude menée sur la caractérisation des granulats de la carrière de Kef Bouacida et les impacts de la préparation mécanique (concassage-criblage) sur l'environnement, les conclusions tirées de ces travaux de recherche sont :

- Sur le plan géomorphologique, le gisement de granite de Kef Bouacida est caractérisé
- par des reliefs montagneux (604-827m). L'expérience de l'exploitation des carrières a montré que ; les conditions géomorphologiques sont favorables pour l'exploitation à ciel ouvert.
- la région d'étude fait partie de la zone plissée Alpine de l'Algérie du Nord, ce gisement est un socle métamorphique polycyclique recouvert par une couverture tectonique méso-cénozoïque et recoupé par des roches magmatiques diverses : leucogranites peralumineux au Burdigalien supérieur; microgranites subalcalins et rhyolites peralumineuses au Langhien.
- L'étude minéralogique du granite montre que ; la roche est reconnue comme étant un microgranite qui renferme des phénocristaux de texture microlitique, se caractérise par la prédominance de quartz, associé à d'autres minéraux dont les principaux sont, les plagioclases et la biotite.
- Les résultats des analyses chimiques effectués sur des échantillons prélevés montrent que les différents échantillons sont principalement constitués de silice (>68%) et à un degré moindre d'alumine (16% Al_2O_3), d'oxyde de potassium (3%) parmi laquelle s'ajoute une faible teneur en chaux (CaO de 2.93 %). Les oxydes de fer, de magnésium, de sodium y sont aussi présents.
- D'après les propriétés physico-mécaniques et conformément aux exigences industrielles pour les agrégats destinés au secteur du bâtiment, suivant les normes NF P 18 573 et NF EN 1097-2 pour le Los Angeles, les normes NF P 18 572 et NF EN 1097-1 pour le Micro-Deval et les normes NF P 18 554 et NF P 18 555 pour la masse volumique. Ce matériau répond à ces spécifications, son exploitation pourra être envisagée pour la production, dans de bonne

conditions, de sables et graviers à béton et accessoirement de matériaux pour couche de base et fondation de chaussées.

- L'évaluation des impacts est imposée aux différentes exploitations par voie réglementaire pour permettre aux autorités compétentes de porter une appréciation sur l'impact et les conséquences dues aux activités projetées sur l'environnement. Cette procédure s'inscrit dans le cadre du développement de la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles.
- Les caractéristiques du climat comme les précipitations, les températures, l'humidité, la vitesse et la direction du vent sont des facteurs à prendre en considération dans l'évaluation de l'empoussièrément.
- La production des granulats à partir de l'extraction de roche massive granitique peut poser des risques chroniques aux travailleurs du site. La poussière alvéolaire siliceuse est la fraction de poussières inhalable susceptible de se déposer dans les alvéoles pulmonaires lorsque la teneur en quartz excède 1%. Les formes et les caractéristiques physico-chimiques qui composent ce type de roche, soit impérativement à connaître pour déterminer le potentiel dangereux.

De ce fait, des indications qualitatives existent pour les retombées atmosphériques, le seuil entre zone faiblement polluée et zone fortement polluée est fixé à 30 g/m²/mois, dans la norme AFNOR NF X43-007. D'autres recommandations existent en Europe :

- La norme allemande TA-LUFT mentionne la valeur « limite dans l'air ambiant pour éviter une pollution importante » de 350 mg/m²/jour en moyenne annuelle, soit 10,5 g/m²/mois.
- La loi suisse OPair (Ordonnance sur la Protection de l'air) prescrit, quant à elle, une moyenne annuelle de 200 mg/m²/jour, soit 6 g/m²/mois.
- Il apparaît à travers la campagne de mesure que les différentes zones de prélèvement sont caractéristiques d'une zone fortement polluée du fait de fortes retombées particulières obtenues (moyenne de 83,34 g/m²/mois) qui sont assez supérieures à la valeur de référence de 30 g/m²/mois de la norme AFNOR NF-X43-007 ainsi qu'aux valeurs indicatrices issues de la norme

allemande TA-LUFT (10,5 g/m²/mois) et de la Loi suisse OPair (6 g/m²/mois) qui sont plus restrictives.

- La gestion et l'exploitation d'un gisement doivent se faire conformément aux différentes lois minières et environnementales en vigueur, le respect de la législation contribuerait à une exploitation économiquement rentable et saine d'un point de vue environnemental.

Références

- **A.E.E., 2015.** Agence Européenne pour l'environnement, Rapport sur la qualité de l'air « De nombreux européens restent exposés à une pollution atmosphérique nocive».
- **Azizi M., Aissou L., 2014.** Mémoire de Master Académique Option : Travaux publics LES BETONS DE FIBRES METALLIQUES
- **Abdelhalim R., 1973.** Etude pétrographique et structurale du granite de Nedroma et de son auréole de métamorphisme. Thèse Doct. 3^{ème} cycle. Alger. 96 p.
- **Ainad-Tabet R., Mansouri M., 1990.** Évolution géodynamique de la plate-forme carbonatée du Jurassique inférieur et moyen dans la partie occidentale des Traras méridionaux (Secteur de Sidi Boudjenane). Mém. Ingéniorat d'État. Univ. D'Oran, 98 p., 31 fig., 8 pl.
- **Aissa D., Cheilletz A., Gasquet D., Marignac Ch., 1995.** Alpine metamorphic core complexes and metallognesis : The Edough case(NE Algeria). In: Pasava,
- **Alain F., 2014.** Le guide du géologue amateur, Dunod,
- **Aliouche M., 2008.** Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement, étude de cas dans l'Est Algérien (les gisements de Djebel Salah, région de Constantine). Mémoire de magister, Université de Constantine (133 p).
- **Ameur M., 1988.** Histoire d'une plate-forme carbonatée de la marge Sud-Téthysienne : L'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur jusqu'au Bathonien moyen. Thèse Doct. d'État Sciences, Univ. Cl. Bernard, Lyon I, 551 p.
- **Ameur M., 1999.** Histoire d'une plate-forme carbonatée de la marge sud-téthysienne : L'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur jusqu'au Bathonien moyen. Docum. Lab. Géol. Lyon, n° 150, 399 p.
- **Amieur N., 2008.** Bio-indication de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba (comparaison avec les données de Sama Safia). Mémoire de magister, Université d'Annaba.
- **Audit environnemental, 2014.** Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement "MATE" Centre National des Technologies de Production plus Propre "C.N.T.P.P." Mine de fer Boukhadra. Arcelormittal Tebess, Algerie.
- **Azzeddine M., 2015.** L'acceptabilité sociale des projets miniers en Algérie: Cas de Ain Defla et Bejaia. European Scientific Journal, ESJ, 11(3), pp. 326–341.
- **Barbarin B., 1999.** « A review of the relationships between granitoïd types, their origins and their geodynamic environments », Lithos, vol. 46, no 3, p. 605-626.
- **Barnea M., 1974.** Pollution et protection de l'atmosphère. Ed.Ayrolle.
- **Benest M., 1985.** Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est
- **Benest M., et al., 1988.** La couverture détritique continentale et la hamada des Hautes Plaines de l'Ouest de l'Algérie Datation. Synchronisme avec la phase tectonique du Tortonien du Tell. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 307, sér. 2, p. 979-983.
- **Benest M., et al., 1999.** La couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine tlemcénien (Avant pays Tellien d'Algérie occidentale) : stratigraphie, paléoenvironnements, dynamique sédimentaire et tectogenèse alpine. Bull. serv. Géol. Algérie, vol. 10, n° 2, pp. 127 -157, 7 fig.

- **Bensalah M., et al., 1987**, Découverte de l'éocène continental à Bulimes dans les Hautes.
- **Benselhoub A., Hharytonov M., Zaichenko A., and Stankevich S., 2015**. Environmental Risks of Man- Made Air Pollution in Grand Algiers. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 18B, pp. 43–51.
- **Benselhoub A., Kharytonov M., Bouabdallah S., Bounouala M., Idres A., and Boukelloul M., 2015**. Bioecological assessment of soil pollution with heavy metals in Annaba (Algeria). Studia Universitatis “Vasile Goldis” Arad. Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series), 25(1), 17.
- **Benselhoub A., Kharytonov M., Chaabia R., and Bdjoudj S., 2015**. Estimation of soil's sorption capacity to heavy metals in Algerian megacities: case of Algiers and Annaba. Mining science, 46(2), pp. 183–189.
- **Blazy P., Jdid E., et Yvon J., 1992**. Fragmentation – Applications. Les Techniques de l'Ingénieur : Vol. JB4 (A5 070) : 21 p.
- **Boilat P., Marchal M., 1993**. Foration et tir, Implantation. In Mines et carrières, Vol.1 : 74-82p.
- **BRGM., 1993**. Mémento roches et minéraux industriels granulats
- **Broadbuss C., Mason C., Ernst D., King E., Lazarus C., Murray F., and Gotway M., 2015**. Murray & Nadel's Textbook of Respiratory Medicine
- **Campos A., Matos M. L., Gois J., Vila M. C., Dinis M. L., and Baptista J. S., 2014**. Dispersion of quarry's dust-pilot study. Occupational Safety and Hygiene, II, pp. 21–29.
- **Chappell B.J., & White A.J.R., 1974**. « Two Contrasting Granite Types », Pac. Geol., vol 8, p.173-174
- **Ciszak R., 1993**. Evolution géodynamique de la chaîne tellienne en Oranie (Algérie occidentale) pendant le paléozoïque et le mésozoïque. Thèse d'État Toulouse, Strata Toulouse, sér. 2, vol. 20, 199, 513 p.
- **CTMNC., (Centre technique des matériaux naturels de construction) 2015**. Quelques notions de géologie.
- **Décret Exécutif N°06., 2005**. le 02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspond au 07 Janvier 2005 J.O.R.A N°01.
- **Décret Exécutif N°06-02., 2006**. du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 07 Janvier 2006 J.O.R.A. N°01, Valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de la qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.
- **DENCO., 2005**. Stratégie de développement de l'industrie des minéraux industriels du Saguenay Lac-St-Jean. 85 pages.
- **Descotaux M., 2012**, “Diminuer les émissions de poussières d'un site d'extraction et de traitement de pierre calcaire” Essai présenté au centre Universitaire de formation en vue de l'obtention du grade de Master en Environnement. Université de Sherbrook.
- **DGAC., 2003**. Direction Générale de l'Aviation Civile, Rapport Réseau Environnement « Pollution atmosphérique et Aviation ».
- **DGM., 2010**. Direction générale des mines, Ministère de l'énergie des Mines. Algérie.

- **Didier J., Duthou J.L., & Lameyre J., 1982.** « Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves », J. Volc. Geotherm. Res., vol 14, p. 125-132.
- **Didier J., Lameyre J., 1969.** « Les granites du Massif Central Français. Etude comparée des leucogranites et granodiorites », Contributions to Mineralogy and Petrology, 24, 219-238.
- **Dumouza J., Sifre Y., et Van Overbeke V., 2002.** Tirs à ciel ouvert, tirs de masse et d'abattage, les méthodes conventionnelles pour les règles d'abattage. Paramètres du tir à ciel ouvert. In Les Techniques de L'industrie Minière, Vol. 14 : 37-42 p.
- **Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI1 & Hamid EL AZHARI2., 2012.** Evaluation des propriétés physico-mécaniques des pierres de construction du Maroc à partir des vitesses des ondes P et de la résistance au choc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2009, n° 31, 41-54.
- **Estrade R., Maurice J., Thomas-Vallejo S., Aurenche G., and Michelin J., 2016.** Methods for evaluating environmental impacts. Analysis and proposals.
- **ENCEN, février 2011,** Les études de l'UNICEN-Impacts industriels, Carrières, poussières et environnement.
- **Ferfar. A., 2003.** Etude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie Hamma Bouziane. Mémoire Ingénieur. Université de Constantine.
- **Foucault A., Raoult J.F., 1992.** Dictionnaire de géologie. 3e édition. Masson, Paris, 352 pages.
- **Fozing E M., 2016.** Caractérisation structurale et magnétique du pluton granitique de Misajé (Nord-Ouest Cameroun)
- **François M., 2005.** Roches et paysages, reflets de l'histoire de la Terre, Paris, Belin, Orléans, BRGM éditions, (ISBN 2701140811), p. 13 et 64.
- **Gafsi I., 2008.** Contribution à l'étude d'impact des polluants atmosphériques d'origine industrielle par le réseau « Sama Safia » sur les maladies asthmatiques-cas de la station D'El Bouni. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (80 p).
- **GDT., 1988.** Grand dictionnaire de terminologie, Office de la langue française, Gouvernement du Québec.
- **Gleizes G., 1988.** Données lithologiques et pétro structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien), Tome 306, Série II, p.1001-1008.
- **Goix S., 2013.** Origine et impact des pollutions liées aux activités minières sur l'environnement et la santé, cas de Oruro (Bolivie).
- **Henni-Chebra K., Bougara A., and Hallal A., 2015.** Estimation des particules de poussières causées par l'industrie cimentière par les plaques métalliques. Nature and Technology, 12, pp. 2–10.
- **Ishihara S., 1977.** « The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks », Mining Geology, vol 27, p. 293–305.
- **J. Hilly., 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de fer, Publ. Du Serv. de la carte Géol. Algérie, Bull. n°19, 408 p. Alger.

- **Jean-François M., 2011.** archive sur planet-terre. ens-lyon.fr.
- **Jolaud L., 1936.** Etude géologique de la région d'Annaba et de la Calle.
- **Kharytonov M., 2017.** Risk assessment of Aerotechnogenic pollution generated by industrial enterprises in Algeria and Ukraine.
- **Kharytonov M., Benselhoub A., Klimkina I., Bouhedja A., Idres A., and Aissi A., 2016.** Air pollution mapping in the Wilaya of Annaba (NE of Algeria). Mining Science, 23, pp. 183–189.
- **Kharytonov M., Benselhoub A., Kryvakovska R., Klimkina I., Bouhedja A., Bouabdallah S., and Chaabia R., 2017.** Risk assessment of aerotechnogenic pollution generated by industrial enterprises in Algeria and Ukraine. Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series), 27(2), pp. 99–103.
- **Lacour S., 2012.** Cours de pollution atmosphérique « Inventaires d'émissions» Ecole des Ponts et Chaussées, CERECA : Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique.
- **Laouar R., 2005** "Stable isotope study of the igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough, complex, Annaba, Northeast Algeria", Journal of African earth Sciences, N° 35, Elsevier, pp. 271-283.
- **Lama, R. D., & Vutukuri, V. S. (1978).** Handbook on mechanical properties of rocks-testing techniques and results-volume iii (Vol. 3, No. 2).
- **Lasalle J., and Malfait F., 2017.** Rapport Sante Environnement. Etudes Et Enquêtes Impact Sanitaire Du Site De Stockage De Mange-Garri Bouc-Bel-Air. Bouches-Du-Rhone.
- **Martaud T., 2009.** Evaluation environnementale de la production de granulats en exploitation de carrières - Indicateurs, Modèles et Outils.. Géologie appliquée. Université d'Orléans, 2008.
- **Masclat P., 2005.** Pollution atmosphérique. Causes, conséquences, solutions, perspectives. Ed. Ellipses, Franc
- **Masclat P., 2005.** Environnement, Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions, perspectives, chapitre I : Pollution atmosphérique, Technosup, les filières technologiques des enseignements supérieurs.
- **Mbog D M., 1999.** Rapport d'étude des impacts environnementaux du projet d'exploitation minière.
- **MERN., 2012.** Ministère de l'Énergie et Ressources naturelles, Exploitation de la pierre architecturale,
- **Michael A., 1990.** US Dept of Agriculture, Forest Service, Timber bridges : Design, construction, inspection, and maintenance, Washington D.C., 944 p. chap. 9 (« Design of Longitudinal Stress-Laminated Deck Superstructures »).
- **Moukhsil A., 1991.** Structure et géochimie du batholite de waswanipi (partie nord de la ceinture archéenne d'Abitibi) miquelon, québec, canada.
- **Mourdi W., 2011.** Pollution urbaine, impact sur l'homme et l'environnement « cas de l'agglomération de Annaba et ses environs » mémoire de magister Option: Qualité des eaux et impact sur l'homme et l'environnement.

- **Nguiffo S., 2011.** Législations sur les activités extractives, foncières, forestières et environnementales au Cameroun. 74p.
- **NIVET., 2016.** Carrière des quatre étalons Saint André de la marche (49) pièce III étude d'impact.
- **Norme AFNOR NFX43–007., 2008,** Pollution atmosphérique, Mesure des retombées par la méthode des plaquettes de dépôts.
- **Norme AFNOR NFX43–007., 2008.** Pollution atmosphérique mesure des retombées par la méthode des plaquettes de dépôt, Détermination de la masse des retombées atmosphériques sèches prélèvement sur plaquettes de dépôts préparation et traitement.
- **O.M.S. 2012,** Organisation Mondiale de la Santé, « Santé publique, Environnement et Déterminants sociaux de la santé » Déclaration de la Directrice du Département de la Santé Publique à l'OMS.
- **OBG (Oxford Business Group)., 2014.** The Report, Algeria 2013 New investment set to address Algeria's cement shortage. OBG, Oxford, UK.
- **OFEV., 2009.** Protection de l'air sur les chantiers. Directive concernant les mesures d'exploitation et les mesures techniques visant à limiter les émissions de polluants atmosphériques des chantiers (Directive Air Chantiers). L'environnement pratique, UV-0901-F, 29pp.
- **Oularbi A., 1999.** Contribution à l'étude du milieu physique du massif cristallophyllien de l'Edough (nord-est Algérien). Mémoire de Magister, Université Mentouri - Constantine.
- **Oularbi A., Zeghiche A., 2009.** Sensibilité à l'érosion du massif cristallophyllien de l'Edough (Nord-Est Algérien).
- **Penven M., Blanchon V., 2012.** Compte rendu des mesures des retombées atmosphériques de poussières dans l'environnement autour de la future plate-forme multimodale.
- **Petford N., Cruden AR., McCaffrey KJ., Vignerresse JL., 2000.** « Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust », Nature, vol. 408, no 6813, p 669-673.
- **Prepared for the fourth Review Meeting in frames of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management Moscow 2012.** The third national report of the Russian federation on compliance with the obligations of the joint convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management.
- **Prouvost H., Declercq C., 2007.** Effets des particules en suspension sur la santé respiratoire des enfants. Intérêt et faisabilité de l'étude d'un panel d'enfants illois. Rapport réalisé pour le Conseil Régional Nord - Pas-de-Calais.
- **Pierre Gravereau., 2012.** Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres
- **Qualité de l'air et émissions polluantes des chantiers du BTP., 2017.** Etat des connaissances et mesures d'atténuation dans le bâtiment et les travaux publics en faveur de la qualité de l'air, rapport ADEME ; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

- **Rehren TH., Ian C., 2015.** Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball », Journal of Archaeological Science, no 56, p. 233.
- **Rical K., Nabil R., Sami S., 2009.** Impact des cimenteries sur l'environnement : le cas de la cimenterie d'Ain Touta. SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria).
- **Satouh A., 2007.** Pétro-géochimie et minéralisations des roches magmatiques de la région de Collo (NE- algérien).
- **Schumann W., 2010.,** Guide des minéraux et des roches, Paris, Delachaux et Niestlé, coll. « Les Guides du Naturaliste », 8e éd., 399 p.(ISBN 978-2-306-01655-8), p. 206.
- **Sid Ahmed H., Abdelhak M., 2014.** Contribution à l'étude des ressources minérales dans les monts des Traras (calcaire, sable et argile) état actuel.
- **Sifre Y., Dumouza J., 2002.** Tirs à ciel ouvert, tirs de masse et d'abattage, conditions générales. In Les Techniques de l'Industrie Minérale : Vol. 14 : 33-36 p.
- **Sobanka S., 2013** Apport de la combinaison d'imagerie à la physicochimie de particules individuelles d'intérêt atmosphérique Université des Sciences et Technologies de Lille, laboratoire de Spectrochimie infrarouge.
- **Soussia T., Guedenon P., Lawani R., Gbaguidi C. D., and Edorh PA. 2015.** Assessment of Cement Dust Deposit in a Cement Factory in Cotonou (Benin). Journal of Environmental Protection, 6(07), pp. 675–682.
- **Terniche M., 2016.** «Evaluation de l'impact sanitaire des facteurs de risque sur lapathologie respiratoire vue en urgence : Cas de la pollution urbaine ». thèse de doctorat en sciences médicales, Université d'Alger Benyoucef Benkhada, Faculté de Médecine d'Alger.
- **Thomas J., Urbanik Sung K., Lee et Charles G., 2006.** Column Compression Strength of Tubular Packaging Forms Made of Paper », Journal of Testing and Evaluation, vol. 34, no 6.
- **Thomas P., 2010.** « Vade-mecum sur l'origine des granites », sur [planet-terre.ens-lyon.fr].
- **Trirat T., Brahamia K., and Benselhoub A., 2017.** The issues of the implementation of an environmental management system ISO 14001 in the Algerian companies. Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series), 27(4), pp. 263–270.
- **U. S. Environmental Agency., 2007.** Office of Air Quality Planning and Standards.: Emission factor uncertainty assessment.
- **UNICEM., 2011,** impacts industriels .Carrières, poussières et environnement.
- **Vila. J. M., 1980,** La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins Algéro-Tunisiens. Thèse Sc. Paris VI.
- **Lama, R. D., & Vutukuri, V. S. (1978).** Handbook on mechanical properties of rocks-testing techniques and results-volume iii (Vol. 3, No. 2)
- **Wildi W., 1983.** La chaîne tellorifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Revue géol. Dyn. Géogr. Phys ; vol 24.
- **Wiley J., 2003.** Materials Science & Engineering an Introduction, U.S.A, (ISBN 0-471-22471-5).