

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mentouri de Constantine

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de magister en géologie

Option : géologie des substances utiles

N° de série : 190/MAG/2008

N° d'ordre : 004/ST/2008

THEME :

**Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact
sur l'environnement ; Etude de cas dans l'Est Algérien
(Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine)**

Présenté par Mr : ALIOUCHE Mohamed

Devant le jury :

Monsieur BELOUAR Abdelghani,	MC.	Université Mentouri Constantine	Président
Monsieur BENAÏSSA Abdelkader,	MC.	Université Mentouri Constantine	Encadreur
Monsieur BOURFIS Ahcène,	MC.	Université Mentouri Constantine	Examineur
Monsieur CHABOUR Nabil,	MC.	Université Mentouri Constantine	Examineur

Année 2008

Remerciements :

Ce travail de recherche est l'aboutissement d'un projet personnel, depuis longtemps attendu :

✚ Dieu merci,

✚ Tout d'abord, je tiens en tout premier lieu à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Mr. Abdelkader BENAÏSSA pour ses orientations, remarques et corrections qui ont permis l'élaboration de ce travail.

✚ Je tiens à remercier le Directeur de la Société des ciments de Hamma Bouziane qui m'a donné l'autorisation pour faire un stage au sein de la cimenterie et ses carrières de matières premières.

✚ Je remercie Mr. Yamine BENDJABALLAH et tout son personnel de la cellule d'environnement de la cimenterie pour m'avoir accueillie et pour leur aide précieuse pendant ce stage.

✚ Mes remerciements vont également au chef de département de la production de matière première et à tout le personnel technique des carrières d'exploitation des matières premières.

✚ Mes vifs remerciements s'adressent à Mr. Hocine ALI-KHODJA enseignant au Faculté des Sciences de l'Université Mentouri de Constantine, pour son aide et de me laisser l'occasion pour de profiter de ses grandes expériences dans le domaine d'environnement.

✚ Je remercie aussi les membres de jury qui ont accepté d'examiner et juger mon travail.

✚ Mes reconnaissances vont à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

✚ Enfin mes remerciements vont à mes collègues géologues et en particuliers à ma promotion.

merci.

Résumé :

Le massif de Djebel Salah et la plaine de Hamma Bouziane font partie du domaine néritique Constantinois, qui est constitué essentiellement par des reliefs calcaires surmontés par une couverture de formations tendres d'âge Mio-plio-quaternaire.

L'ensemble de formations constituant le massif de Djebel Salah, qui est des calcaires d'âge turonien et des argiles rouges d'âge miocène, forme un gisement et les argiles brunes de Hamma d'âge miocène, forme un autre gisement autonome.

Ces gisements sont en cour d'exploitation à ciel ouvert et les matières extraites utilisées pour l'alimentation de la cimenterie de Hamma pour la fabrication du ciment. La méthode d'exploitation de ces gisements diffère selon le type de substance à exploiter, ces modes d'exploitation ont un impact direct et indirect sur l'écosystème et sur l'environnement avoisinant.

Les poussières issues lors des travaux d'extraction de la carrière sont les produits nuisibles les plus importants. Les sources d'émission de ces polluants les plus importantes dans la carrière, sont celles liées au trafic induit sur les pistes, à l'extraction de matériaux par engins et aux tirs de mine. La mesure de concentrations des particules en suspension totales (PTS) par l'implantation d'un appareil de captage des poussières en suspension totales (collecteur portable) au voisinage de la carrière, sur trois sites différents, a montré que le taux d'empoussièrement de l'air n'est pas important par rapport aux valeurs des normes internationales. Ce taux d'émission de poussières peut être contrôlé et limité par la prise de certaines mesures.

La remise en état par remblayage et le réaménagement de la carrière, est la seule façon pour dissimiler les cicatrices engendrées par les travaux d'exploitation et redonner au site un bon aspect paysagère.

Mots clés : néritique, calcaire, formation, turonien, argile, miocène, gisement, exploitation à ciel ouvert, méthode, impact, environnement, carrière, poussières, polluants, tirs de mine, air, concentrations, particules en suspension totale, collecteur, normes internationales, remblayage, réaménagement.

Abstract:

Djebel Salah and Hamma Bouziane plain part of the neritique Constantinian domain which essentially made of the limestone relief surmount by a soft formation of the mio-plio-quadernaire age.

All the constituents formations of Djebel Salah ; limestone from the Turonien age and red clay from the Miocène age make a deposit, brown clay of Hamma from the Miocène age make an another self deposit.

These deposits are exploited in the free air and the extract materials using to feeding the Hamma factory for to make cement. The way of exploitation of these deposits is deferent according to the type of substance in use. These types of exploitation have direct and indirect impact on the ecosystem and a surrounding environment.

The dusts issue at the extractions works in the career are the harmful product that. The more important resources of emissions of these pollutants are the most in the career are these related to the traffic on the roads, for the extraction of the materials by engines and the effect of explodes. The measure of concentrations of particulars total suspension (PTS) by implanting of an apparatus (collector portable) in neighborhood of the career on tree deferent sites has showing that the quantity of pollutant air are not important compared to the values of the internationals norms.

The quantity of bad air emissions can be controlled and limited by certain measures.

To restore by embankment and the arrangement of the career is the only way to dissimilate the scars engendered by the exploitation works and to give a good aspect to the place.

Key words: neritique, limestone, formation, turonien, clay, miocène, deposit, exploitation in open sky, method, impact, environment, career, dust, pollutants, explodes, air, concentrations, particulars total suspension, collector, internationals norms, embankment, arrangement.

ملخص:

جبل صالح و سهل الحامة بوزيان يشكلان جزء من المجال القسنطيني للرسوبيات البحرية, الذي يتشكل أساسا من بروزات جيرية يعلوها غطاء من التكوينات اللينة, التي يعود عمر البعض منها إلى الزمن الرابع. مجموعة التكوينات المشكلة لجبل صالح و التي هي صخور جيرية من زمن التيرونيا و صخور طينية حمراء من زمن الميوسان, تشكل طبقة معدنية. الصخور الطينية للحامة بوزيان من زمن الميوسان تشكل طبقة معدنية أخرى مستقلة.

هاتان الطبقتان المعدنيتان عبارة عن محجرتان في حالة استغلال في مجال مفتوح و المواد المستخرجة توجه إلى المصنع لصناعة الاسمنت. طريقة استغلال هاتان المحجرتان تختلف حسب نوع المادة التي ستستخرج. طرق الاستغلال هذه لها تأثير مباشر و غير مباشر على البيئة المجاورة.

الغبار الناتج من عمليات الاستغلال هو الملوث الرئيسي للبيئة, و ينتج أساسا من حركة سير المركبات الآلية و الآلات على الطرق و نتيجة لاقتلاع المواد بواسطة الآلات و أخيرا نتيجة لاستعمال المتفجرات. قياس تركيز الجزيئات المتطايرة من الغبار بجوار المحجرة في ثلاث مناطق مختلفة تم بواسطة جهاز التقاط, و بين لنا هذا القياس عدم أهمية التلوث الهوائي مقارنة بمعايير القياس العالمية. يمكن التحكم و التخفيض في نسبة هذه الكميات من الغبار المتطاير بواسطة اتخاذ بعض الإجراءات.

الطريقة الوحيدة لإزالة النشوهات الناتجة عن عمليات الاستغلال, و إعطاء المكان منظر جميل تكون بواسطة عمليات الردم و تهيئة المكان.

كلمات أساسية: الرسوبيات البحرية, صخور جيرية, التكوينات, التيرونيا, الصخور الطينية, الميوسان, طبقة معدنية, مجال مفتوح, طريقة, تأثير, البيئة, المحجرة, الغبار, الملوث, المتفجرات, الهواء, تركيز, الجزيئات المتطايرة, جهاز التقاط, معايير القياس العالمية, الردم, تهيئة.

SOMMAIRE

Résumé	5
Abstract	6
ملخص	7
Liste des figures	8
Liste des tableaux	10
Listes des symboles	11
Introduction générale	13

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. Situation et caractères géographiques	17
I.1.1. Situation géographique	17
I.1.2. Climat et végétation	17
I.1.3. Hydrographie	19
I.2. Historique des travaux et de recherches géologiques et minières	19
I.2.1. Travaux antérieurs sur la région de Constantine	19
I.2.2. Travaux antérieurs sur le secteur d'étude	20

CHAPITRE II : GELOGIE DE DJEBEL SALAH

II.1. Géologie du constantinois	21
II.1.1. Les ensembles lithostratigraphiques	21
II.1.1.1. Le Trias	21
II.1.1.2. Le Jurassique	22
II.1.1.3. Le Crétacé	22
a. Le crétacé inférieur	22
b. Le crétacé supérieur	22
b.1. Le Cénomanién	22
b.2. Le Turonien	22
b.3. Le Sénonien	22
II.1.1.4. Le Paléogène	22
II.1.1.5. Le Mio-Pliocène continental	25
II.1.2. Le dispositif structural Constantinois	25
- La phase tectonique du jurassique inférieur	25
- La phase de tectonique du jurassique supérieure	25
- La phase tectonique de l'aptien	25
- La phase tectonique de l'Albien	25
- La phase tectonique du Crétacé supérieur	25
- La phase Atlasique	26
- La phase Alpine	26
- La phase Astracienne	26
- La phase Tortonienne	26
- La phase du Miocène supérieur	26
II.2. Géologie locale	27
II.2.1. Généralité	27
II.2.2. Description lithostratigraphique	27
II.2.2.1. Le crétacé	27
a. Le crétacé inférieur	27

b. Le crétacé supérieur	27
b.1. Le céno manien	27
b.2. Le turonien	28
b.3. Le sénonien	28
II.2.2.2. Le paléogène	28
II.2.2.3. Le néogène	28
a. Le miocène	31
a.1. Le miocène inférieur	31
a.2. Le miocène supérieur	31
b. Le pliocène	32
II.2.2.4. Le quaternaire	32
II.2.3. Tectonique de Djebel Salah	32
II.2.3.1. Le système diagonal (NE-SO, NO-SE)	32
a. La famille NO-SE	32
b. La famille NE-SO	33
II.2.3.2. Le système orthogonal (NS-EO)	33
a. La famille N-S	33
b. La famille E-O	33

CHAPITRE III : L'EXPLOITATION A CIEL OUVERT DES GISEMENTS DE DJEBEL SALAH

III.1. Définitions	35
III.1.2. Différents types d'exploitation à ciel ouvert	35
III.1.2.1. L'extraction à sec	35
III.1.2.2. Le dragage	35
III.1.2.3. L'exploitation marine	35
III.1.3. Notion d'une carrière	36
III.1.4. Paramètres et techniques d'exploitation d'une carrière	36
III.1.4.1. Hauteur du gradin	37
III.1.4.2. Largeur de la plate forme	37
III.1.4.3. Longueur du bloc	39
III.1.4.4. Déplacement du front de taille	39
III.1.5. Les étapes de l'exploitation à ciel ouvert	39
III.1.6. Les méthodes d'exploitation à ciel ouvert	40
III.1.6.1. Méthode à l'explosif	40
III.1.6.2. Méthode du sciage par le câble diamanté	40
III.1.6.3. Méthode du ripage	41
III.2. Exploitation de la carrière de Djebel Salah	41
III.2.3. Réserves géologiques et minéralogie du gisement	42
III.2.3.1. Le calcaire	42
III.2.3.2. L'argile rouge	43
III.2.4. Les méthodes d'exploitation du gisement	45
III.2.4.1. L'extraction des calcaires	45
III.2.4.2. L'extraction des argiles rouges	48
III.2.3. Capacité et régime de fonctionnement de la carrière	48
III.3. Exploitation de la carrière d'argiles brunes de Hamma Bouziane	53
III.3.1. Réserves géologiques et minéralogie du gisement	53
III.3.2. Méthode d'exploitation	54
III.3.3. Capacité et régimes de fonctionnement de la carrière	55

CHAPITRE IV : L'IMPACT DE L'EXPLOITATION A CIEL OUVERT SUR L'ENVIRONNEMENT

IV.1. Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement	57
IV.1.1. Impact socio-économique	57
IV.1.2. Impact hydrogéologique	57
IV.1.3. Impact hydrologique	57
IV.1.4. Impact biologique	58
IV.1.5. Impact sur l'atmosphère	58
IV.1.6. Impact sur le paysage	58
IV.1.7. Impact sur les infrastructures	58
IV.2. Les nuisances dues à l'exploitation d'une carrière	59
IV.2.1. Les polluants atmosphériques	59
IV.2.2. Les matériaux divers	59
IV.2.3. Les nuisances sonores et les vibrations	59
IV.3. Cadre légal et réglementation Algérienne sur l'exploitation à ciel ouvert et son impact sur l'environnement	61

CHAPITRE V : LA POLLUTION DE L'ATMOSPHERE

V.1. Définitions	66
V.1.1. Définition de la pollution atmosphérique :	66
V.1.2. Les polluants atmosphériques	67
V.1.2.1. Les aérosols	67
V.1.2.2. Les fumées noires	67
V.1.2.3. Les poussières	67
V.1.3. Echelles spatiales et temporelles des phénomènes de pollution atmosphérique	68
V.1.3.1. L'échelle locale	68
V.1.3.2. L'échelle régionale	68
V.1.3.3. L'échelle continentale	69
V.1.4. Les paramètres influençant la pollution de l'atmosphère	69
V.1.4.1. La topographie locale	69
V.1.4.2. Conditions météorologiques	69
a. Le vent	69
b. L'état thermique de l'atmosphère	70
c. Les inversions de la température	70
d. Les précipitations et l'humidité	71
V.2. Etude de la pollution par les poussières générées par l'exploitation de la carrière de Djebel Salah	73
V.2.1. Poussières et particules minérales	73
V.2.2. Composition chimique des poussières	73
V.2.3. Classification des poussières	74
V.2.3.1. Classification selon les critères de taille, de masse et de composition	74
V.2.3.2. Classification selon la vitesse de sédimentation	74
V.2.4. Le transport des particules	75
V.2.5. Effet des poussières sur l'écosystème	75
V.2.6. Les principales sources des poussières dans les carrières	76
V.3. Quantification des émissions pendant l'opération d'extraction et de concassage des matières premières pour l'année 2005	76
V.3.1. Pertes en matières premières lors de son exploitation	76

V.3.1.1. Pertes en matière d'argile brune au niveau de la carrière	78
V.3.1.2. Pertes en matière de calcaire	78
V.3.1.3. Pertes totales	78
V.3.2. Quantification des émissions des poussières selon leurs sources	78
V.3.2.1. Définition du facteur d'émission	79
V.3.2.2. Pertes au niveau du concasseur muni d'un filtre à manches	79
V.3.2.3. Quantification des émissions de poussières totales en suspension (PTS) selon leurs sources dans la carrière	80
V.3.3. Autres sources de pollution dans la carrière	81
V.3.4. Conclusion	82
V.4. Analyse de la qualité de l'air	86
V.4.1. Composition de l'air ambiant	86
V.4.2. Matériels	87
V.4.2.1. Description de l'échantillonneur de poussières	87
V.4.2.2. Choix des points d'échantillonnage	89
V.4.2.3. Etalonnage de l'appareil	89
V.4.3. Résultats des prélèvements de poussières totales en suspension	
V.4.4. Interprétation des résultats	90
V.5. Modélisation de la concentration des poussières émises selon leurs sources	90
V.5.1. Modélisation de la concentration des poussières issues des activités d'extraction des engins (type bulldozer) sur la roche de calcaire	95
V.5.1.1. Données d'entrée du logiciel	95
V.5.1.2. Résultats de la modélisation	95
V.5.1.3. Interprétation des résultats	96
V.5.2. Modélisation de la concentration des poussières issues du conduit du concasseur	99
V.5.2.1. Données d'entrée du logiciel	99
V.5.2.2. Résultats de la simulation	99
V.5.2.3. Interprétation des résultats	100

CHAPITRE VI : PREVENTION DE LA POLLUTION PAR LES POUSSIÈRES (LES SOLUTIONS ENVISAGÉES)

VI.1. Tentative à la limitation des émissions liées au trafic induit	103
VI.2. Tentative à la limitation des émissions liées au concassage de la matière première	104
VI.3. Tentative à la limitation des émissions liées à l'extraction de la matière première et aux tirs de mine	104
VI.4. Réaménagement de la carrière, la phase après-carrière	105
VI.4.1. Remise en état de la carrière de Djebel Salah	105
VI.4.2. Réaménagement de la carrière	106
- Conclusion générale	108
- Bibliographie	110

LISTE DES FIGURES

Fig.1 :	Situation Géographique et réseau hydrographique de la région d'étude.	18
Fig.2 :	Esquisse structurale du Nord-Est Algérien d'après W. Wildi, 1983.	23
Fig.3 :	Log lithostratigraphique du rocher de Constantine (J. M. Villa, 1980).	24
Fig.4 :	Carte géologique de Djebel Salah (C. L. E, 1974).	29
Fig.5 :	Coupe géologique montrant le contact structural entre le Djebel Salah et la plaine de Hamma (G. Durozoy, 1950).	30
Fig.6 :	Les différents compartiments de Djebel Salah.	34
Fig.7 :	Schéma de la carrière.	38
Fig.8 :	Schéma du gradin.	38
Fig.9 :	Gisement de l'argile rouge de recouvrement.	44
Fig.10 :	Plan d'exploitation de calcaire de l'année 2003 (d'après A. ADJADI, 2003).	46
Fig.11 :	Vue panoramique de la carrière de Djebel Salah.	49
Fig.12 :	Gradin n° 4 avec recouvrement d'argile rouge.	50
Fig.13 :	Opération de foration sur le gradin n°4.	51
Fig.14 :	Couverture de calcaire par les argiles rouges et la terre végétale.	52
Fig.15 :	Log lithostratigraphique des argiles du Hamma (D. Bouhbila et N. Bouhrour, 1998).	56
Fig.16 :	Emissions des polluants atmosphériques lors de tir de mine.	60
Fig.17 :	Stabilité thermique.	72
Fig.18 :	Inversion de la température.	72
Fig.19 :	Quantités annuelles (année 2005) des poussières émises (en tonne) selon leurs sources.	83
Fig.20 :	Quantités annuelles (année 2005) des poussières émises (en tonne) selon leurs sources.	84
Fig.21 :	Quantités annuelles (année 2005) des polluants émis (en tonne) lors des tirs de mines.	85
Fig.22 :	Schéma du collecteur à grand débit.	89
Fig.23 :	Carte indiquant les sites des prélèvements.	92
Fig.24 :	Concentrations des PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au voisinage de la cimenterie.	93

Fig.25 : Concentrations des PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au voisinage de la société de maintenance de l'Est.	93
Fig.26 : Concentrations des PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au voisinage de la garde communale de Békira.	94
Fig.27 : Concentrations quotidiennes maximales de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux émissions liées aux activités d'extraction du calcaire durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006	97
Fig.28 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) issues des activités d'extraction du calcaire durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.	98
Fig.29 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux rejets du conduit du filtre à manches du concasseur durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.	101
Fig.30 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux rejets du conduit du filtre à manches du concasseur durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 :	Pourcentage des éléments constituant le calcaire.	42
Tableau.2:	Pourcentage des éléments constituant les argiles rouges.	43
Tableau.3:	Paramètres techniques des travaux de foration et de tir de mine.	47
Tableau.4:	La capacité de production de la carrière de calcaire de Djebel Salah.	48
Tableau.5:	Pourcentage des éléments constituant les argiles brunes.	54
Tableau.6:	Capacité de production de la carrière en t/m ³ .	55
Tableau.7:	Vitesse de chute des particules.	75
Tableau.8:	Quantité en tonne d'argiles et de calcaires extraite pendant l'année 2005.	77
Tableau.9:	Quantité en tonne d'argiles et calcaire concassée pendant l'année 2005.	77
Tableau.10:	Stock en tonne de matières premières pour l'année 2005.	77
Tableau.11:	Quantité des poussières émises (en µg/m ³) dans l'air par la cheminée du concasseur de matières premières dans la carrière.	80
Tableau.12:	Emission de poussières totales en suspension (PTS) par les sources fugitives au sein de la carrière.	81
Tableau.13:	Estimation des émissions (en tonne) lors des tirs de mines pendant l'année 2005	82
Tableau.14:	Composition de l'air sec.	87
Tableau.15:	Concentrations des PTS (en µg/m ³) mesurées au voisinage de la cimenterie et de la carrière.	90
Tableau.16:	Concentrations quotidiennes (en µg/m ³) simulées autour de la carrière des poussières issues des activités d'extraction du calcaire.	96
Tableau.17:	Concentrations quotidiennes (en µg/m ³) moyennes en µg/m ³ simulées autour de la carrière	100

LISTE DES SYMBOLES

C.L.E : Creusot-Loire Entreprise
CDM : Calcaire dolomitisé moyen
CEM : Centre des études moyennes
CI : Calcaire inférieur
CI : Compartiment I
CII : Compartiment II
CIII : Compartiment III
CIV : Compartiment IV
CS : Calcaire supérieur
Fig. : Figure
G : Gradin
n° : Numéro
NE : Nord-Est
NO : Nord-Ouest
O.M.S : Organisation mondiale de la santé
PTS : Particules en suspension totale
SE : Sud-Est
SO : Sud-Ouest
SONAREM : Société nationale des recherches géologiques et minières
% : pourcentage
± : Plus au moins
° : degré
°C : degré Celsius
µg : microgramme
µg/m³ : microgramme par mètre cube
µm : micromètre
cm : centimètre
g : gramme
h : heure
H : Hauteur
ha : hectare
j : jour
kg : kilogramme
km : kilomètre
l : litre
m : mètre
m³ : mètre cube
Max : Maximum
mg : milligramme
min : minute
Min : Minimum
mm : millimètre
Nm³ : nanomètre cube
Ø : diamètre
ppm : partie par million (1ppm = 0,0001%)
prof : Profondeur
sec : seconde
sem : semaine

t : tonne
t/m³ : tonne par mètre cube
T° : température
vol : volume
Al₂O₃: Trioxyde d'aluminium (l'alumine)
Ar: Argon
Cao : Chaux
CH₄: Méthane
Cl: Chlore
CO: Monoxyde de carbone
CO₂: Dioxyde de carbone
FeO₃: Trioxyde de fer
H₂: Dihydrogène
H₂S: Sulfure d'hydrogène
He: Hélium
Hg: Mercure
K₂O: Monoxyde de potassium
Kr: Krypton
MgO: Monoxyde de magnésium
N₂: Diazote
N₂O: Protoxyde d'azote
Na₂O: Monoxyde de sodium
Ne: Néon
NH₃: Ammoniac
NO: Monoxyde d'azote
NO₂: Dioxyde d'azote
O₂: Oxygène
O₃: Ozone
P₂O₅: Pentoxyde de phosphore
Rn: Radon
SiO₂ : Dioxyde de silicium
SO₂: Dioxyde de soufre
SO₃: Trioxyde de soufre
TiO₂: Dioxyde de titane
Xe: Xénon

INTRODUCTION GENERALE :

1. Cadre du travail présenté

L'objectif du présent mémoire est de faire montrer la relation directe de la pollution de l'air par les poussières (PTS) et les méthodes d'exploitation appliquées sur la carrière de Djebel Salah. Pour cela le thème de ce travail est intitulé comme suit :

Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement ; Etude de cas dans l'Est Algérien (Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine).

2. Définition de la problématique

Dans l'Est algérien des substances utiles (tels que ; les agrégats, les argiles ou les minerais de fer ...) sont exploitées "à ciel ouvert". Ces substances sont extraites suivant différentes méthodes : Abattage par explosifs, par ripage (engin excavateurs) et autres méthodes. Ces modes d'exploitation ont un impact sur l'environnement.

Le travail de recherche, dans le cadre de ce Magister se propose de faire une mise au point sur l'exploitation des mines ou carrières et les problèmes posés à l'environnement.

On se limitera volontairement aux exploitations "à ciel ouvert", en étudiant deux cas : cas de gisement de Djebel Salah qui est constitué par l'ensemble de deux substances utiles (des calcaires et des argiles) et le cas de gisement de Hamma Bouziane constitué par un autre type d'argile.

Le sujet abordera les points suivants :

- Localiser, sur une carte topographique, le site retenu,
- Etudier les différentes méthodes d'exploitation appliquées à ce site, et montrer l'impact sur l'environnement,
- Examiner la réglementation en vigueur en matière d'exploitation des mines et/ou des carrières, et son application sur le terrain.
- Etudier la pollution de l'air par les poussières fines (PTS) issues de ces méthodes d'extraction,
- Mettre une stratégie pour la limitation de ces émissions et enfin la remise en état du site après la cessation des travaux d'extraction.

3. Plan de travail suivi

Pour bien éclairer et faciliter la compréhension du contenu de ce travail aux lecteurs et en particulier aux géologues, on a suivi le plan de travail suivant :

- Généralités,
- Géologie du secteur d'étude,
- L'exploitation à ciel ouvert des gisements de Djebel Salah,
- L'impact de l'exploitation des carrières sur l'environnement,
- La pollution de l'atmosphère,
- La prévention de la pollution par les poussières (les solutions envisagées),
- Conclusion générale.

3.1. Généralités

Dans cette partie on a invoqué les caractères et la situation géographique ainsi que l'historique des travaux géologiques et miniers dans le secteur d'étude.

3.2. Géologie du secteur

A cette partie on a mis le secteur dans son cadre géologique à différentes échelles ; régionale et locale.

- La géologie régionale : on l'a précisé par la géologie du constantinois, qui se caractérise par une lithostratigraphie allant au Trias jusqu'au Mio-Pliocène.

De point de vu tectonique, la région a été affectée par plusieurs phases tectoniques, qui sont par ordre chronologique :

- La phase tectonique du jurassique inférieur,
- La phase de tectonique du jurassique supérieure,
- La phase tectonique de l'aptien,
- La phase tectonique de l'Albien,
- La phase tectonique du Crétacé supérieur,
- La phase Atlasique,
- La phase Alpine,
- La phase Astracienne,
- La phase Tortonienne,
- La phase du Miocène supérieur.

- La géologie locale : elle est apparue dans le massif de Djebel Salah et la plaine du Hamma, sa lithostratigraphie allant du Crétacé inférieur jusqu'au Mio-plio-quadernaire.

De point de vue tectonique, le secteur montre une forme de grabben, il est affecté par un réseau de faille de différentes directions, qui lui divisé en quatre grands compartiments (CI, CII, CIII et CIV).

3.3. L'exploitation à ciel ouvert du gisement de Djebel Salah

Dans ce chapitre on a deux parties ;

- Une partie théorique, qui se particularise par la définition de l'exploitation à ciel ouvert, ces différents types, la notion d'une carrière, les paramètres techniques de l'exploitation d'une carrière, les étapes de l'exploitation à ciel ouvert et enfin les méthodes d'exploitation à ciel ouvert.
- Une partie pratique qui comprend la description de la géologie, la minéralogie et les réserves géologiques des gisements ainsi que les méthodes appliquées pour l'extraction de ces matières premières.

3.4. L'impact de l'exploitation des carrières sur l'environnement :

Ce chapitre comprend deux parties :

- La première partie, montre de façon générale les différents impacts de l'exploitation à ciel ouvert sur l'environnement avoisinant ainsi que les nuisances produisent lors de cette opération.
- La deuxième partie, examine en vigueur les réglementations Algériennes sur la matière d'exploitation des carrières et son impact sur l'environnement.

3.5. La pollution de l'atmosphère :

Ce chapitre comprend deux parties aussi :

- Une partie théorique : qui se particularise par quelques notions de la pollution atmosphérique, les différents types des polluants, les échelles spatiales et temporelles des phénomènes de pollution et enfin les paramètres influençant la pollution de l'air.
- Une partie pratique : qui comprend quatre parties :
 - La première partie présente des notions sur les poussières, sa composition chimique, sa classification, son transport, ces effets sur l'écosystème et enfin leurs sources dans les carrières.

- La deuxième partie, est une quantification des émissions de poussières pendant l'opération d'extraction et de concassage des matières premières pour l'année 2005.
- La troisième partie, comprend l'analyse de la qualité de l'air.
- La quatrième partie, est une modélisation de la concentration des poussières émises selon leurs sources dans la carrière.

3.6. La prévention de la pollution par les poussières (les solutions envisagées)

Ce chapitre comprend deux parties :

- La première partie, représente les différentes préventions et solutions envisagées pour la limitation et/ou la minimisation des émissions de poussières, par les opérations d'extraction des matières.
- La deuxième partie, explique la façon de la remise en état finale de la carrière après la cessation des travaux d'exploitation.

I. Généralités

I.1. Situation et caractères géographiques

I.1.1. Situation géographique

Le secteur d'étude ou Djebel Salah est situé à 4 km au Nord de la ville de Constantine, avoisinant la commune de Hamma Bouziane. (Fig.1).

Ces coordonnées Lambert sont : $x = 852.6$ et $y = 353.7$, D'après la carte topographique au 1/50000 d'El Aria.

Il est limité à l'Ouest et au Nord par la voie ferrée Constantine – Skikda, à l'Est par Djebel Kelal, au Sud– Est, le secteur est traversé par un grand talweg d'orientation générale NE-SO et au Sud – Ouest par le détroit séparant Djebel Salah du plateau de Békira.

I.1.2. Climat et végétation

- Le climat au niveau du groupement de Constantine a quelques particularités ; en effet la pluviométrie varie dans l'espace et dans le temps. La partie septentrionale du groupement étant la zone la plus arrosée, la pluviométrie sur les hauteurs peut atteindre jusqu'à 1200 mm.

Par contre plus on se dirige vers le Sud, plus les précipitations diminuent, on passe facilement à 500 mm.

A caractère orageux, les précipitations sont irrégulièrement réparties dans l'espace et varient d'une année à l'autre.

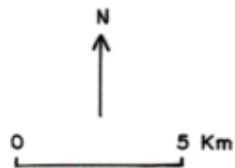
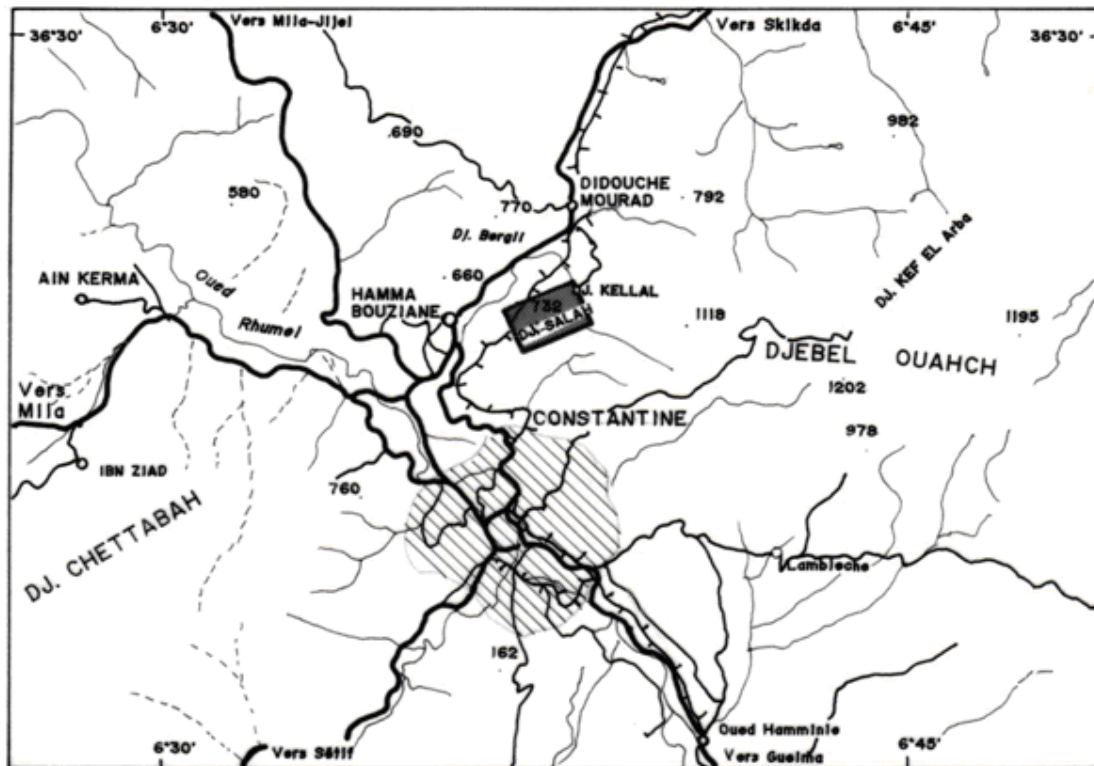
Les inondations sont constatées annuellement à travers le groupement et particulièrement au niveau de la ville de Constantine.

Les températures sont marquées par des variations saisonnières. Les moyennes mensuelles observées correspondent à :

- 2,9 ° C pour les minima en hiver,
- 32,8 °C pour les maxima en été.

- La végétation est caractérisée par des petits endroits boisés des oliviers et des céréales...etc. Le couvert végétal est presque absent sur les Djebels Salah et Kelal.

En surface, certaines zones sont cultivées (blé principalement) et d'autres ne le sont pas à cause de la nature très caillouteuse des sols.



Source : extrait de la carte topographique de la feuille de Constantine au 1/200 000.

-  Zone d'étude
-  Route nationale
-  Route
-  Voie ferrée
-  Ville de Constantine
-  Point coté
-  Oued
-  Agglomération

Fig. 1 : Situation Géographique et réseau hydrographique de la région d'étude.

I.1.3. Hydrographie

La plaine du Hamma appartient au bassin versant de oued El Rhumel, dont les principaux affluents, présents dans le secteur d'étude sont :

Prenant naissance au pied du Djebel Kelal, l'oued El Hamma est alimenté par les sources de Ain Skhouna et Ain Hammam Zouaoui, situé au NO du Djebel Salah selon une direction SE-NO qui devient SW-NE au Nord du Hamma.

L'oued Zied (SE de Djebel Salah) et l'oued El Annka (au NE), ont respectivement un sens d'écoulement Sud vers l'oued El Rhumel et NO vers l'oued El Hamma.

De nombreuses sources surgissent au sein des formations mio-pliocènes recouvrant les piémonts des massifs.

I.2. Historique des travaux et de recherches géologiques et minières :

I.2.1. Travaux antérieurs sur la région de Constantine

Plusieurs études et travaux de recherche ont été effectués dans la région :

- En 1868 (Hardouin), en 1881 (Tissot), en 1889 (Pomel) puis en 1900 (Ficher) ont faits des levés de l'ensemble à petite échelle (levé de Constantine au 1/25000 et carte de Constantine au 1/50000).
- En 1912, L. Joleaud dans sa monographie accompagnée d'une carte au 1/200000 a réalisé les levés des plusieurs cartes au 1/5000 en donnant une stratigraphie sommaire de la géologie de constantine.
- En 1948, J. Elandrin a fait l'étude du tertiaire ancien du Nord Constantinois.
- En 1960-1969, M. DURAN Delga et en collaboration avec d'autre géologues français (J. F. Raoult, J. P. Bouillin...etc.) ont entrepris des études sur l'Est et le Nord de Constantine (levés réguliers au 1/50000).
- En 1973, R. Guiraud a fait l'étude de néritique constantinoise.
- En 1980, J.M. Vila a étudié sur une plus grande échelle le néritique constantinois dans sa thèse sur la chaîne alpine d'Algérie Nord Orientale et des confins Algéro-Tunisiens.
- En 1987, J.C. Lahondere a étudié les environs de Constantine et a introduit la notion du peni tellien.
- En 1992, P. E. Coiffait a établis une étude sur le bassin de Constantine.
- En 1994, les travaux de Y. Arris ont contribué à l'étude des déformations tectoniques de la région à partir de la micro-tectonique.

I.2.2. Travaux antérieurs sur le secteur d'étude

Pour une raison industrielle, la plaine de Hamma et le massif de Djebel Salah ont fait l'objet des recherches et des études pour l'investigation des ressources en eau et des matériaux de construction. Parmi ces études :

- En 1955-1960, G. Durzoy a étudié la plaine de Hamma et quelques massifs du néritique constantinois.
- De 1973 à 1980, la société nationale des matériaux de construction (SNMC) a lancé des travaux de prospection pour la recherche des gisements pour la cimenterie de Constantine. Ils sont entrepris par :
 - La SONAREM, en 1973 à 1974 qui a identifié quatre (04) indices d'argiles miocènes, dont deux pour la fabrication du ciment et deux pour la fabrication de briques.
 - De 1974 à 1975, la société française Creusot-Loire-Entreprise (C.L.E) réalisatrice de cimenterie de Hamma Bouziane, a repris les études géologiques de la SONAREM afin de définir des gisements optimisant les facteurs de faisabilité (qualité, quantité, exploitabilité et proximité des infrastructures de transport).

II. Géologie de Djebel Salah

Pendant la phase tectonique alpine, le Nord Algérien est structuré en deux chaînes : la chaîne atlasique au Sud et la chaîne tellienne au Nord. L'ensemble est constitué par la superposition anormale des plusieurs types de formations, allant en général du Trias au Priabonien. Elles font parfois partie d'un socle paléozoïque, ou plus ancien, de nature cristallophyllienne complexe.

D'après W. Wildi (1983), la chaîne tellienne est structurée en quatre grands domaines distincts (fig. 2) :

- Le domaine interne,
- Le domaine des flyschs,
- Le domaine tellien,
- Le domaine de l'avant pays para-autochtone et autochtone.

Le secteur d'étude fait partie des structures des avants pays plissés et écaillés vers le sud, du domaine de l'avant pays para-autochtone et autochtone, qu'il est représenté par l'unité néritique Constantinoise, qui affleure sur une superficie d'environ 600 km², les plus importants affleurements se trouvent dans les régions de : Guelma, Constantine et Ain M'lila.

J. M. Vila (1980) place au Nord les séries néritiques Constantinoises qui sont constituées essentiellement par des reliefs calcaires et au Sud la série de type Sellaoua qui est constituée par des marno-calcaires du Crétacé.

II.1. Géologie du constantinois

Par leur affinité africaine, les monts de Constantine se rattachent aux zones externes septentrionales de la chaîne des maghribides, d'Algérie Nord orientale.

II.1.1. Les ensembles lithostratigraphiques

La colonne lithostratigraphique de ce domaine représenté au niveau du rocher du Constantine, permet de distinguer de bas en haut (Fig. 3) :

II.1.1.1. Le Trias

Le Trias forme les dépôts les plus anciens des zones externes. Il est évaporitique, sous forme de pointements diapiriques et en lames éjectées le long des accidents (présence anormale). Il contient des masses de gypse parfois exploitable (au Sud de Constantine dans la région des lacs d'Ain Mlila).

II.1.1.2. Le Jurassique

Il affleure au massif de Chettaba, ou il est représenté par une série de calcaires massifs intercalés par des niveaux de calcaire fin à fossiles Jurassiques supérieures.

II.1.1.3. Le Crétacé

Les terrains crétacé affleurent dans la région de Constantine, débutent par des faciès néritiques de plate forme carbonatée, puis passent à des ensembles marno-calcaires qui forment la couverture de la série calcaire Jurassico-crétacée. Il se distingue :

a. Le crétacé inférieur

Il affleure au Sud et au SW de Constantine (Dj. Meimel), au SE (Dj. Oum Settaset Dj. Mazela). Au Dj. Chettaba, il s'agit de calcaire massif, de marno-calcaire et de marnes.

b. Le crétacé supérieur

b.1. Le Cénomanién

Affleurant au rocher de Constantine et au Djebel Karkara (à l'Ouest de la ville de Constantine) au Djebel Salah et Djebel Kelal, au nord.

Il est représenté des faciès de plate forme qui forment d'épaisses séries de calcaire blanc massif et de faciès de bassins représentés par des marnes et de marno-calcaires.

b.2. Le Turonien

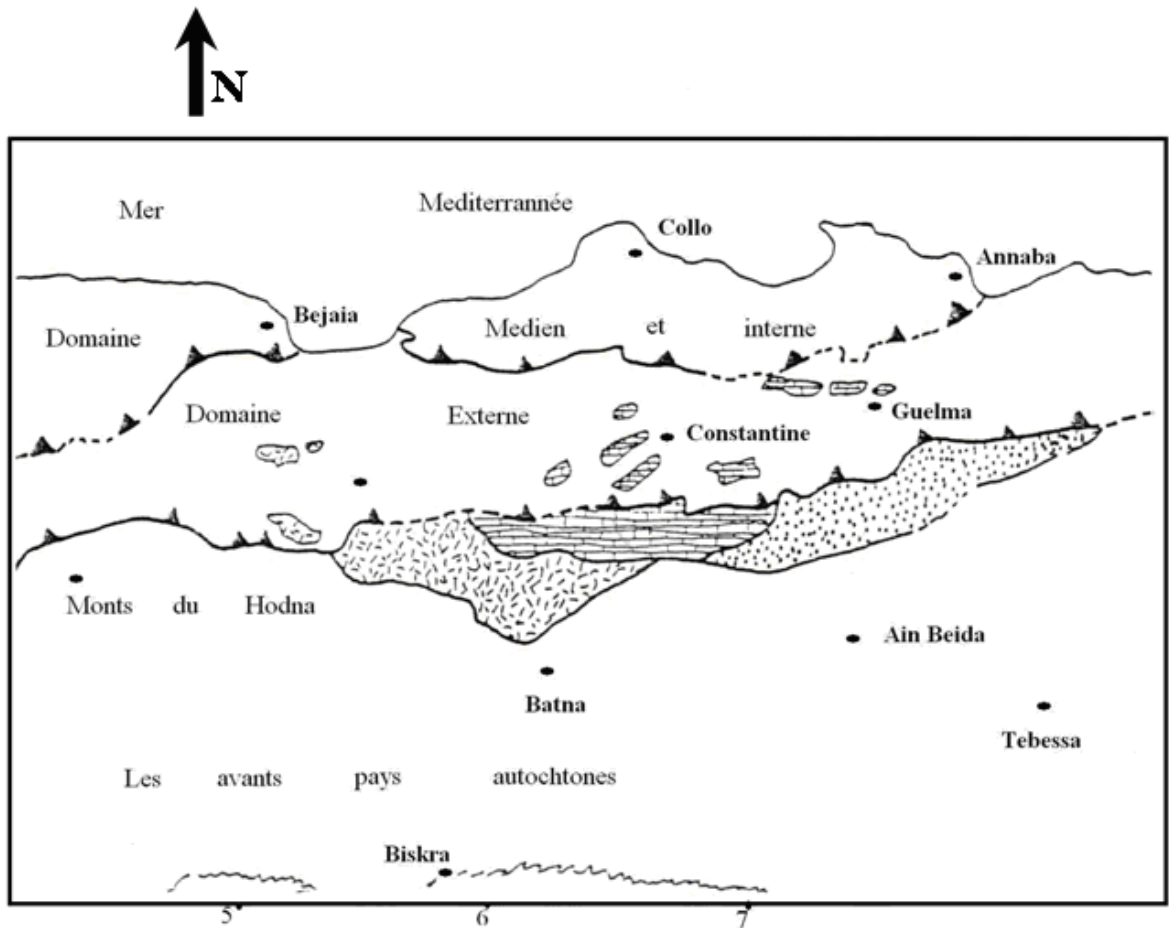
Il correspond à des calcaires à silex dans le Djebel Chettaba et à des calcaires blancs et fins au Djebel Salah, qui font l'objet d'exploitation pour la fabrication du ciment.

b.3. Le Sénonien

Il s'agit essentiellement de marno-calcaires, affleurant à Djebel Tikbeb au Sud de Constantine.

II.1.1.4. Le Paléogène

Dans les monts de Constantine, le paléogène est représenté par une épaisse série de marnes, de calcaires phosphatés et de calcaire à silex. L'un de ces affleurements, c'est le djebel Tikbeb au sud de constantine.



Les avants pays parautochtones :










-  **Unité néritique Constantinoise**
-  **Unité Sud setifienne**
-  **Unités écaillées des Sellaouas**
-  **Chevauchement**
-  **Limite du domaine**
-  **Limites probables sous quaternaire et nappe numidienne**
-  **Accident Sud-Atlasique**

Fig. 2 : Esquisse structurale du Nord-Est Algérien.
D'après W. Wildi, 1983.

UNITE	ETAGE	COUPE	LITHOLOGIE
	IV ^{aire}		éluvion
			travertin
	Mio - pliocène		Argile et marne
			Conglomérats et sable
			marnes parfois gypsifères
			grès
			marnes et argiles
			microbrèches
	UM		
	NAPPE TELLIENNE	UT	
ensemble écaillé ultra-tellien		Priabonien	argiles
		Santonien	marno-calcaire
		Aptien	marnes grises
Barrémien			intercalation de calcaire dans les marnes
		Barrémo-aptien	
unité tellienne SS			marnes
		Yprésien	calcaires clairs à silex noirs
		Paléocène	marnes
		Maestrichtien inf et sup	marnes noires à boules jaunes
NAPPE NERITIQUE CONSTANTINOISE	Cénomien	calcaires	
	Turonien	calcaires parfois dolomitiques	
	Cénomaniens inférieur	calcaires blancs massifs	
	Aptien	calcaires	
	Barremien	calcaires dolomitiques	
	Trias	argile et gypse broyés blancs ou noirs	

Fig.3 : Log lithostratigraphique du rocher de Constantine
(J. M. Vila, 1980).

II.1.1.5. Le Mio-Pliocène continental

Recouvrant la majorité des massifs calcaires, au Nord et au Sud de Constantine, il est essentiellement représenté par des conglomérats et des grès noyés dans les argiles rouges.

II.1.2. Le dispositif structural Constantinois

Ce dispositif structural est le résultat de la superposition de plusieurs phases tectoniques qui se sont succédées du Crétacé supérieur jusqu'au Pliocène et même jusqu'à l'actuel, avec des manières et d'intensités diverses :

- ***La phase tectonique du jurassique inférieur*** : cette phase s'est conjuguée par la distinction de la plateforme constantinoise dès la fin du lias en haut fonda sedimentation carbonatée (P. Deleau ; 1938, C. Voûte ; 1967, J.R. Van de Fliert ; 1955, G. Durozoy ; 1960 in H.Lebied ; 2002).

- ***La phase de tectonique du jurassique supérieure*** : souligne la fin d'une période distensive et subsidente (J. Proust & al ; 1977, in H. Lebied ; 2002).

- ***La phase tectonique de l'aptien*** : caractérisé par une tectonique de cisaillement sénestre avec répercussion dans la partie médiane de la plaque africaine, cette tectonique est le résultat du rapprochement entre les plaques Africaine et Européenne (M.Cornacchia & al ; 1983 in H.Lebied ; 2002). Selon R.Marmi, cette phase a conduit à l'apparition de plusieurs lacunes dans les séries sédimentaires au niveau de l'Aptien et parfois l'Albien.

- ***La phase tectonique de l'Albien*** : caractérisé par une variation d'épaisseur observé dans les formations albiennes, résultat d'une instabilité antérieure a synchrone aux dépôts de l'Albien (R. Aris ; 1994).

- ***La phase tectonique du Crétacé supérieur*** : durant cette phase le domaine constantinois a connu une instabilité quasi-permanente dans la plus importante correspondait au Cénomaniens inférieur. Cette instabilité se trouve marqué par le changement radical de sédimentation qui, de néritique devient pélagique d'où les marnes succèdent au calcaire de plateforme (P. E. Coiffait ; 1992); cette phase Cénomaniens a été suivie par un évènement au Santonien ou a la limite Santonien-Campanien (H. Lebied ;

2002) et un autre au Maestrichtien qui correspondait à l'enfoncement des derniers massifs du mole néritique du constantinois.

- **La phase Atlasique** : l'absence de formations d'âge Eocène supérieur et Oligocène dans la région d'étude est interprétée (J.M.Vila; 1976) par l'effet de la phase atlasique qui est très vraisemblablement responsable de l'émersion du domaine néritique septentrional et du développement d'une surface d'érosion sur laquelle viendront reposer ces nappes au Miocène moyen. Elle a aussi abouti à des plis (affectant la région des sellaoua et celle des lacs).

- **La phase Alpine** : elle est responsable des grands chevauchements, notamment les mouvements tangentiels qui ont engendré le recouvrement du domaine néritique par les différentes nappes de charriage, y compris la nappe numidienne au burdigalien moyen à supérieur.

- **La phase Astracienne** : elle a abouti à la structuration en horst des massifs calcaire des bordures du bassin constantinois et à l'écaillage de la nappe numidienne (J. M. Vila ; 1980)

- **La phase Tortonienne** : elle a provoqué des écaillages dans la région des sellaoua et des chevauchements modérés de certains massifs néritiques.

- **La phase du Miocène supérieur** : elle est principalement traduite par une érosion généralisée de la région du bassin de Constantine avec une sédimentation plus au nord en méditerranée, ou plus au sud dans des cuvettes, cette phase tectonique est compressive dans toute l'Algérie nord orientale (raccourcissement N-S), (J. P .Boullin ; 1977 & 1979, J. M. Vila ; 1980).

Une vigoureuse néotectonique est responsable de la surrection des massifs néritiques, Celle-ci s'effectue par des failles inverses limitant des blocs surélevés (J. M. Vila, 1977). Ainsi, ces blocs rigides vont percer les nappes dominante marneuse que l'érosion va dégager, ce qui a pour conséquence le comblement des bassins mio-pliocènes que les phases tectoniques tardives et actuel , vont déformer .

II.2. Géologie locale

II.2.1. Généralité

Le secteur d'étude est fait partie de la plate forme néritique constantinoise appartenant au domaine septentrional de l'avant pays (J. M. Vila, 1980). Il est composé de deux (02) grands ensembles :

- Le massif carbonaté du Djebel Salah (Fig. 4), limité par des falaises et recouvert à ça partie Sud par des argiles rouges sableuses, forme avec Djebel Kelal le prolongement Nord du rocher de constantine.
- La plaine ou dépression périphérique du Hamma, comblée par des matériaux détritiques, forment des « collines molles » au pied Nord et ouest du massif du Djebel Salah.

Les formations sont d'âge allant du Crétacé inférieur jusqu'au Mio-plio-quaternaire.

II.2.2. Description lithostratigraphique

La coupe synthétique des formations en présences dans le secteur d'étude est représentée par la lithostratigraphie suivante (Fig. 5) :

II.2.2.1. Le crétacé

Formant l'ossature du Djebel Salah, les formations carbonatées du Crétacé sont représentées par les calcaires et les dolomies infracénomaniennes, l'ensemble se présente sous la forme d'un monoclinal avec de bas en haut :

a. Le crétacé inférieur :

Il s'agit d'une dolomie massive, de couleur gris claire, de texture grenue à saccharoïde, qui forme le substratum de calcaires sus-jacents.

b. Le crétacé supérieur

b.1. Le cénomanien (e=45m)

Il est formé de calcaires dolomitiques qui constituent un faciès de transition entre les dolomies et les calcaires. Une stratification en bancs métriques met en évidence un pendage subhorizontal.

b.2. Le turonien (e=70m)

Constituant le faciès entièrement exploitable, il est formé par des calcaires massifs sans stratification apparente, de couleur gris foncée ; et à texture microcristalline à sublithostratigraphique. Ce calcaires sont karstifiés au sommet (ou du moins ceux dépourvus de couverture argileuse) et montre une série de cavernes visibles aux pieds des falaises au contact avec les dolomies.

b.3. Le sénonien (e=45m)

Il est représenté par des argiles et des marnes noires, irrégulièrement réparties dans ce secteur et qui ne se manifestent que sur les parties effondrées des calcaires reconnues par sondage. Ces formations présentent une différenciation verticale due à un remaniement superficiel engendrant de haut en bas les faciès suivants :

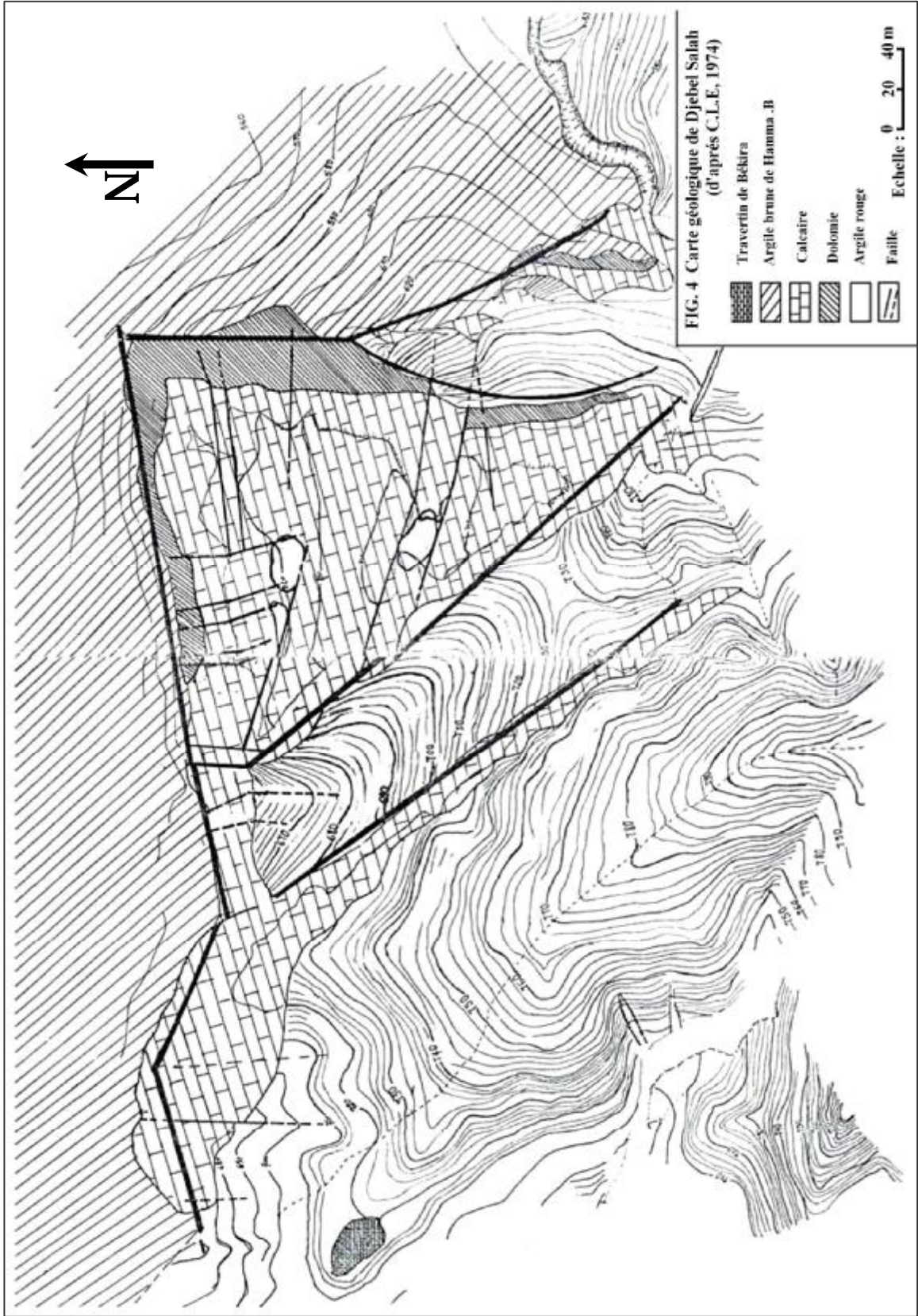
- Des argiles de transition, brunes rougeâtres, plastiques peu ou pas gypsifères d'une épaisseur de 6 à 10m.
- Des argiles gypsifères, d'aspect marneux d'une épaisseur de 5 à 6m.
- Des argiles noires indurées, à débit en feuillets, à rares filonnets de gypses et à quelques grains de pyrite. Elles ont de 18 à 23m d'épaisseur.
- Des argiles noires à fragments calcaires du contact argiles-calcaires, très pyriteuses, d'une épaisseur de 3 à 6m).

II.2.2. Le paléogène

Il est représenté par l'éocène formé d'argiles noires et de grès. C'est un faciès de transition de faible épaisseur.

II.2.3. Le néogène

Les formations détritiques du mio-pliocène continental aussi la dépression du Hamma que les zones effondrées des massifs où elles atteignent leurs épaisseurs maximales. Elles recouvrent également la partie Sud du Djebel Salah.



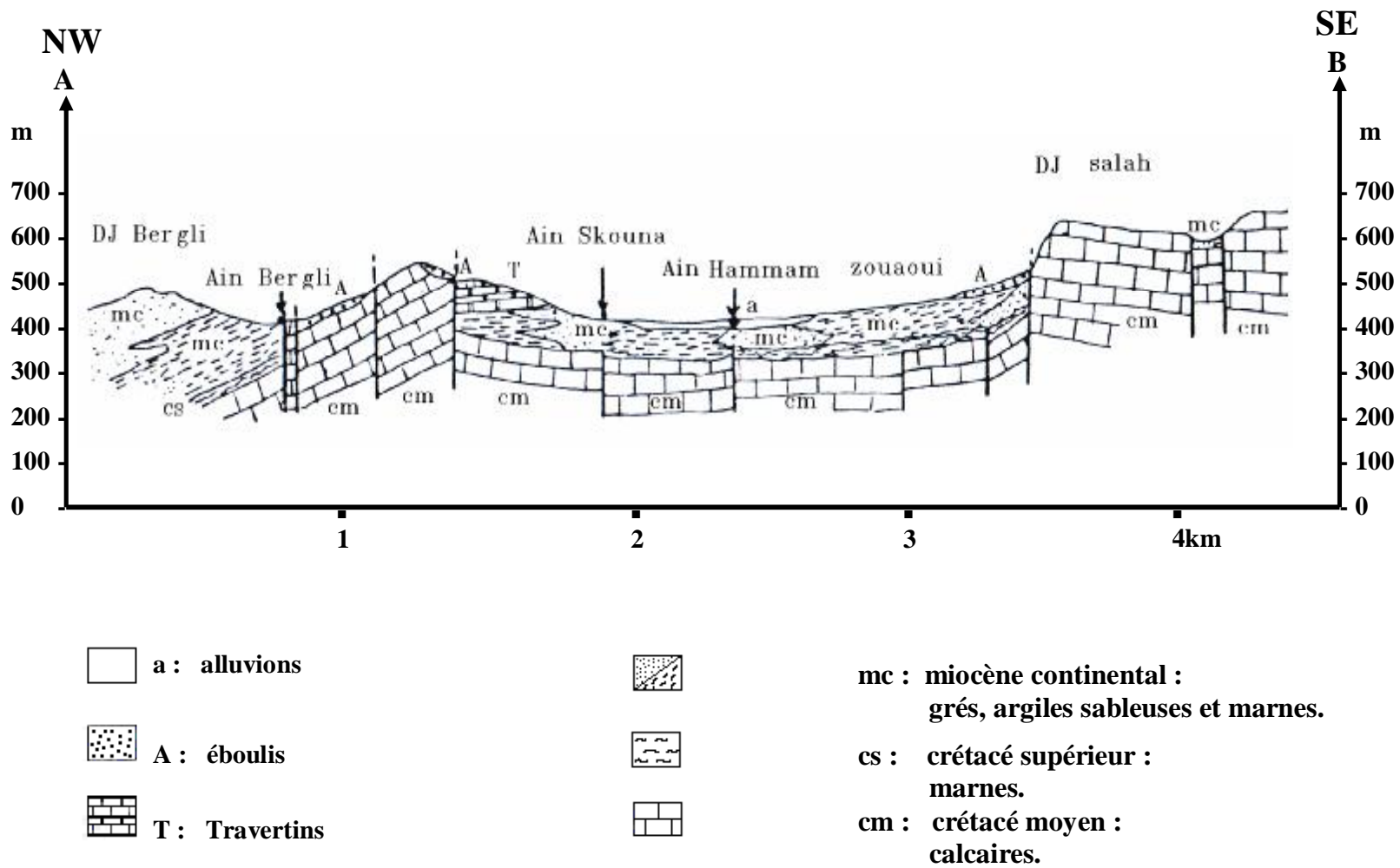


Fig. 5 : Coupe géologique montrant le contact structural entre le Djebel Salah et la plaine de Hamma (G. Durozoy, 1950).

II.2.3.1. Le miocène

a- Le miocène inférieur (e = 20m)

Il recouvre la majorité du Djebel Salah et la dépression du Hamma, les formations du miocène inférieur sont les produits du démantèlement du Djebel Ouach.

Il s'agit d'alternances de niveaux détritiques fins et grossiers des lentilles Sablo-gréseuses roses, noyées dans une matrice Sablo-argileuse rouge. Les faciès grossiers reposent sur les calcaires suivant leur topographie et y remplissent les creux, alors que les éléments plus fins recouvrent le tout. Les passages les plus grossiers constitués de grés blancs et durs apparaît en surface.

b. Le miocène supérieur (e = 45m)

Les formations qui lui correspondent recouvrent le pied Nord et Ouest du Dj Salah et comblent la dépression du Hamma d'où cette dénomination.

Il s'agit d'une argile brune foncée à brune verdâtre, aleuritique, faiblement calcareuse et compacte. Cette argile renferme des interlits de grés argileux fins qui diminuent en nombre et puissance vers le Nord du gisement.

Au sud apparaissent les filonnets de gypse dont le nombre est fonction de la roche encaissante. Ces filonnets augmentent dans les argiles faiblement sableuses et diminuent dans les alternances d'argile et de sables.

Une étude plus détaillée sur la partie Est du gisement, effectuée lors des travaux de prospection sur cette partie rattachée à la briqueterie de Didouche Mourad, a montré l'existence de trois (03) faciès lithologiques qui sont de bas en haut :

- **Faciès inférieur (e = +30m) :** c'est une alternance d'argile de type kaolinite et de grés à ciment argileux ou gypsifère.
- **Faciès intermédiaire (e = 30 à 35m) :** argiles brunes aleuritiques à interlits de grés.
- **Faciès supérieur (e = 32m) :** argiles de type kaolinite faiblement sableuse renfermant des interlits de gypses fibreux, qui apparaissent dans le niveaux supérieurs sous d'autres formes (lentilles, nids,...etc.).

II.2.3.2. Le pliocène

Presque identique au miocène, il montre au sommet des niveaux de travertins à empreintes végétales.

II.2.4. Le quaternaire (e = 4 à + 20m)

Il est représenté par les alluvions de l'Oued Hamma et les formations superficielles des versants (éboulis, éluvions et colluvions).

II.2.3. Tectonique de Djebel Salah

Le Djebel Salah est limité au Nord et à l'Ouest par des falaises qui sont des traces de deux (02) failles d'effondrement (grabben) NS et EO, et qui mettent en contact le crétacé supérieur avec le miocène moyen et supérieur.

Il est découpé en quatre (04) compartiments (CI, CII, CIII, CIV) (fig. 6) par une troisième famille de failles sécantes NE-SO.

Le Djebel Salah est séparé du Djebel Kelal par des gorges marquant une zone de failles d'orientation EO.

Il est caractérisé par un réseau de fracturation qui est composé par deux systèmes :

1. Le système diagonal (NE-SO, NO-SE),
2. Le système orthogonal (NS-EO).

II.2.3.1. Le système diagonal (NE-SO, NO-SE)

Il est composé par l'ensemble de deux familles de failles.

a. La famille NO-SE

La grande concentration est au niveau de Djebel Salah. L'étendue moyenne est de 250 m, quelques accidents ont une étendue régionale.

Les accidents appartenant à cette famille affectent aussi bien les formations crétaées que celles Mio-Plio-Quaternaires.

Au niveau de Djebel Salah ces accidents découpent la crête ainsi que le grabben central, par une série d'accidents parallèles.

Au Djebel Kelal, la plupart des ces accidents présentent des coulissages au niveau de la crête.

b. La famille NE-SO

La grande concentration est au niveau des formations calcaires (d'âge Cénomano-Turonien). L'étendue moyenne est de 800m avec une direction générale N 120°E.

Au niveau de Djebel Salah, cette famille d'accident est la cause principale pour l'apparition et l'évolution des compartiments CII, CIII, CIV.

II.2.3.2. Le système orthogonal (NS-EO)

C'est l'ensemble de deux familles de failles :

a. La famille N-S

Les accidents appartenant à cette famille se localisent au niveau de Djebel Salah. L'étendue moyenne est de 1000 m.

La dénivelée entre les calcaires cénomano-turonien de Djebel Salah et les formations mio-plio-quadernaires dépassent les 100 m.

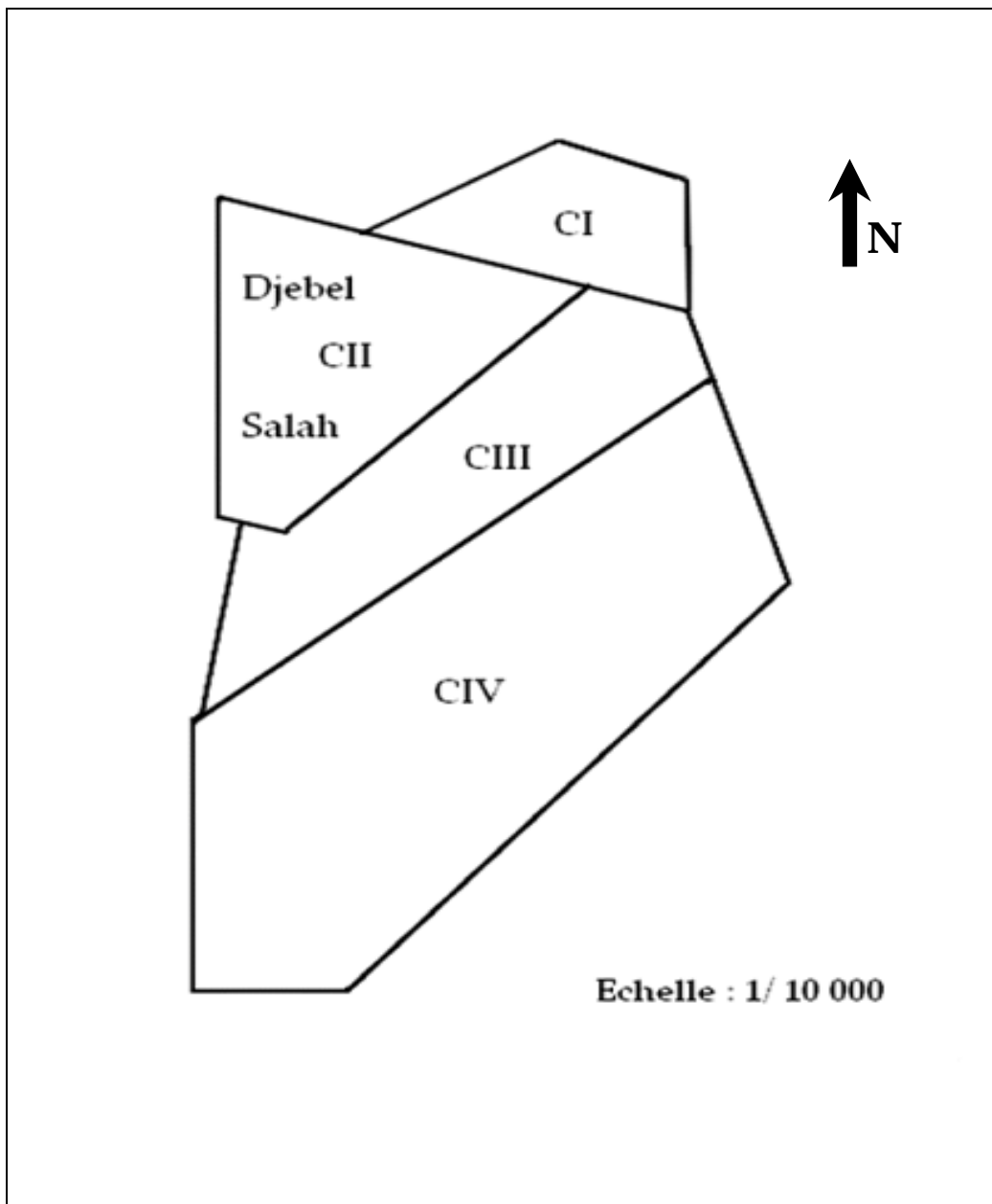
Au niveau de Djebel Kelal, ces accidents N-S ont une étendue ne dépassent pas les 200 m.

b. La famille E-O

Les accidents appartenant à cette famille se localisent au compartiment CI de Djebel Salah ainsi que à la terminaison occidentale de Djebel Kelal. L'étendue moyenne est de 200 m et une équidistance très faible.

Certain de ces accidents mettent en contact les formations cénomano-turonien avec les formations mio-plio-quadernaires.

Les accidents de direction E-O semblent intimement liés aux accidents de direction N-S.



CI : compartiment n°1,

CII : compartiment n°2,

CIII : compartiment n°3,

CIV : compartiment n°4.

Fig. 6 : Les différents compartiments de Djebel Salah.

III. EXPLOITATION A CIEL OUVERT DES GISEMENTS DE DJEBEL SALAH

III.1. Définition

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les stériles de recouvrement et à accéder au gisement à partir du jour. On l'appelle également découvertes.

Selon le pendage ; les gisements en découvertes se classent de la façon suivante :

- § Gisements plats de 0 à 10°,
- § Gisements inclinés de 10 à 30°,
- § Gisements dressants plus de 30°.

III.1.2. Différents types d'exploitation à ciel ouvert

Le secteur d'exploitation à ciel ouvert englobe toutes les formes d'extraction de matières premières minérales à partir de gisements affleurants. Le gisement est mis à nu par enlèvement des roches de recouvrement ou morts-terrains (déblais) pour permettre la récupération du minerai. Selon les propriétés physiques du matériau brut et les contraintes imposées par la nature du site, il existe différents types d'exploitation de mines à ciel ouvert:

III.1.2.1. L'extraction à sec

Elle caractérise les substances tendres ou dures. Si les matériaux sont trop durs pour pouvoir être excavés directement, ceux-ci doivent d'abord être abattus. Il sont ensuite chargés mécaniquement et transportés vers les ateliers de préparation mécanique. Les exploitations de surface pratiquant l'extraction à sec nécessitent des dispositifs d'exhaure évacuant les infiltrations d'eau.

III.1.2.2. Le dragage

Il caractérise les gisements alluvionnaires, où les matériaux non consolidés sont récupérés par voie mécanique ou hydraulique, puis transportés vers la phase de préparation. L'ensemble de l'équipement du dragage se trouve généralement dans l'eau. Il s'agit souvent d'installations flottantes travaillant sur des cours d'eau ou des lacs artificiels.

III.1.2.3. L'exploitation marine

C'est la récupération de matériaux non consolidés sur le plateau continental, c'est-à-dire à proximité de la côte (gisements alluvionnaires marins), les travaux se faisant aussi

par voie mécanique ou hydraulique, et d'autre part les exploitations dans les régions abyssales, où les matériaux sont remontés des fonds marins.

III.1.3. Notion d'une carrière

La carrière est l'ensemble des ouvrages destinés à l'exploitation du gisement en découvertes (fig. 7).

Une carrière à ciel ouvert est exploitée à l'air libre, soit à flanc de colline, soit dans une fosse qui va en s'approfondissant et en s'élargissant. Le profil d'une telle carrière montre des gradins constituant le front de taille et progressant horizontalement dans le matériau. La hauteur des gradins va de 10 m à 20 m, la pente du talus limitant un gradin est de 60° à 80°, elle est dépendante de la tenue des terrains.

Entre chaque gradin, il existe des banquettes horizontales réunies entre elles par des rampes, assurant ainsi la circulation des camions qui évacuent les matériaux.

Avant d'ouvrir une telle carrière, il faut savoir si le volume de stériles ou morts terrains à extraire n'est pas trop important par rapport au volume de matériaux. De plus, ce type de carrière montre quelques avantages par rapport à l'exploitation souterraine : le gisement peut être exploité à son maximum, il n'y a pas d'espaces semi-abandonnés, comme pour les exploitations souterraines, à la fin de l'extraction.

- Eléments du gradin de la carrière

Le gradin est une tranche du minerai ou du stérile ayant la surface de travail sous forme d'une marche d'escalier.

On distingue les éléments suivants du gradin (fig. 8) :

a = plate-forme inférieure ;

b = plate-forme supérieure ;

c = arête supérieure ;

d = arête inférieure ;

e = talus ;

β = angle de talus;

h = hauteur de gradin.

III.1.4. Paramètres et techniques d'exploitation d'une carrière

Les paramètres principaux de l'exploitation de la carrière sont :

- Hauteur du gradin,

- Largeur de la plate-forme de travail,
- Longueur du bloc,
- Longueur et sens de marche du front de travail.

Ils sont commandés par la nature du gisement et dans une très large mesure, par des engins de déblayement et de transport.

III.1.4.1. Hauteur du gradin

Elle est choisie en fonction des paramètres de travail d'excavateur, de l'organisation des travaux de forage et de tir, de la sécurité de travail et d'autres facteurs.

Dans les roches tendres exploitées sans foisonnement préalable, la hauteur du gradin ne doit pas dépasser la hauteur du creusement maximum de l'excavateur. Dans les terrains meubles ou dans les roches dures, mais bien fragmentées par tir à explosif, la hauteur du gradin ne doit pas être supérieure à 1,5 la hauteur du creusement maximum.

III.1.4.2. Largeur de la plate forme

Elle est ordonnée selon les dimensions des engins de déblayement, de transport et par la technique de tir.

Lorsque l'abattage se fait à l'explosif, la largeur minimale de la plate-forme de travail est appréciée par la formule suivante :

$$L_{p.t.} = \sum Z + T + C + X + A, \text{ [m].}$$

Où :

Z : la largeur du prisme éventuel d'éboulement, [m].

Elle est donnée par : $Z = h (\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \delta)$, [m].

h : la hauteur du gradin, [m].

α : l'angle de talus de gradin en exploitation ($60^\circ - 80^\circ$).

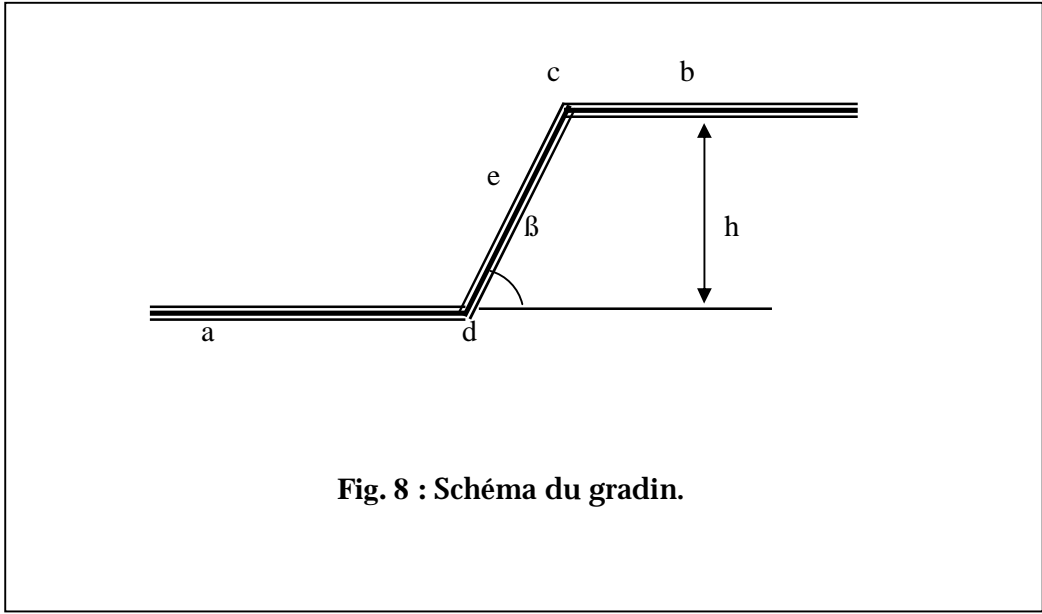
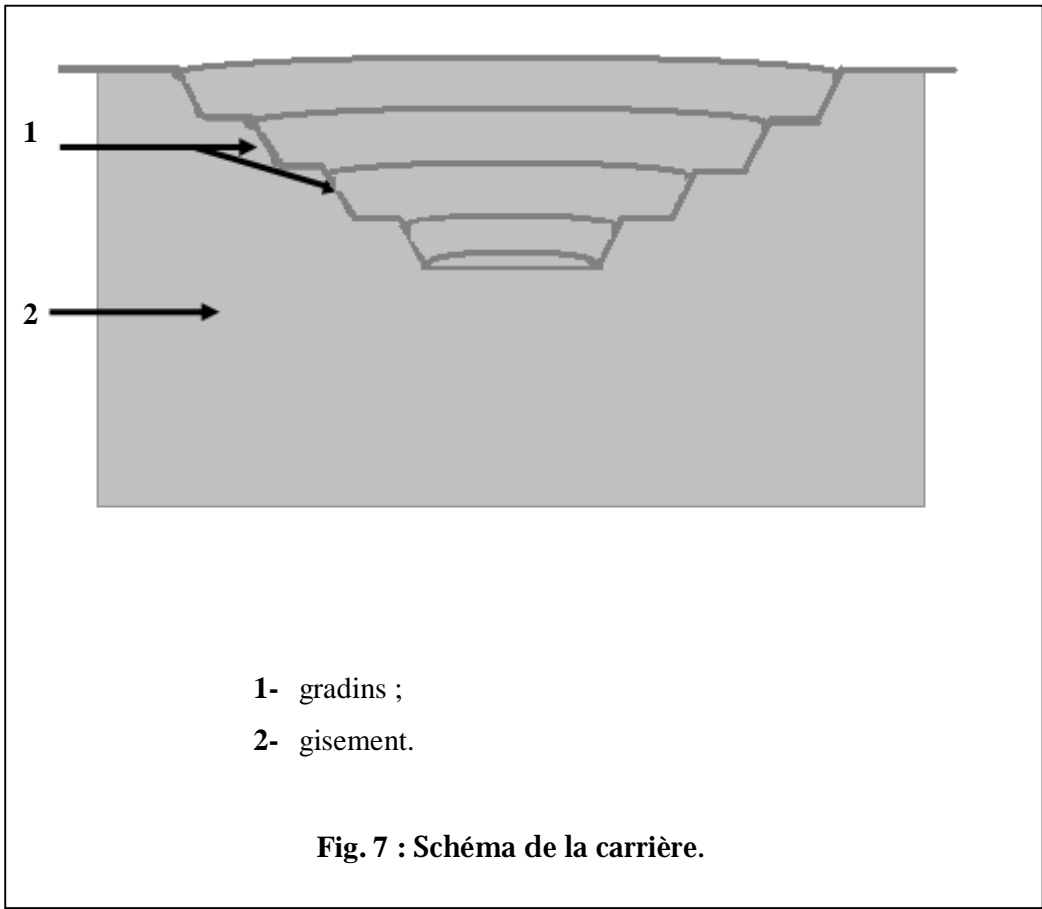
δ : l'angle de talus de liquidation ($35^\circ - 60^\circ$).

T : la largeur de la voie de transport, [m].

C : la distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport (2 - 2,5), [m].

X : la largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure, [m].

A : la largeur de l'enlevure en massif, [m].



La largeur X dépend de la hauteur du gradin, de la nature de terrain, des paramètres des travaux de forage et de tir. Elle est précisée par des essais sur place (exemple ; pour le gradin de 10 à 15 m de hauteur elle est de l'ordre de 20 à 25 m).

En terrains tendres, la largeur de la plate-forme de travail se détermine par analogie.

III.1.4.3. Longueur du bloc

Suivant la longueur, un gradin peut être divisé en blocs qui s'exploitent par des moyens d'abattage et de chargement indépendants. La longueur du bloc est de 200 à 400 m lors du transport par wagons et locomotives et de 100 m à 250 m lorsque le transport se fait par camions.

III.1.4.4. Déplacement du front de taille

Le front de travail peut se déplacer parallèlement, en éventail ou radialement.

Dans le premier cas, la progression de tous les points du front se fait avec une même vitesse. Les gradins sont exploités par enlevures de même largeur. Le déplacement parallèle est pratiqué dans les gisements d'étendue considérable. Les outils de l'exploitation sont généralement des pelles en combinaison avec transport par camions, convoyeurs ou par train.

Lors de déplacement du front en éventail, la vitesse de progression de différents points varie de zéro (0) jusqu'à un maximum à l'extrémité du gradin est variable. Le déplacement en éventail est commode pour les excavateurs à chaîne à godets avec transport par wagons et locomotives. Le ripage des voies ferrées se fait alors par transporteurs à fonctionnement continu.

Le déplacement du front en éventail est appliqué également lorsqu'on ouvre le gisement par tranchée spirale.

Le déplacement radial est caractérisé par la variation de l'étendue du front de travail à chaque gradin durant toute la période de l'exploitation de la carrière. On l'emploie pour les gisements pentés, de faible étendue afin de réduire le volume des travaux d'ouverture et de préparation.

III.1.5. Les étapes de l'exploitation à ciel ouvert

Elles sont les suivantes:

- Préparation de la surface à l'emplacement du gisement qui comprend le défrichage, l'assèchement des marécages, le déplacement des roches, la démolition des différentes constructions,

- Assèchement du champ de carrière et prise de mesures contre l'afflux d'eau qui consiste à protéger l'inondation de la carrière par des eaux de pluies ou par celles souterraines. On le fait par creusement des fossés d'évacuation ou d'un réseau des voies de drainages souterraines ou encore par sondages équipés de pompes,

- Ouverture du champ de carrière qui a pour but de réaliser l'accès aux moyens de transport à partir de la surface jusqu'aux niveau de travail,

- Enlèvement des stériles de recouvrement qui est destiné à dégager la substance à exploiter,

- Enlèvement de la substance utile en conformité de la production prévue de la carrière et des exigences émises à la qualité des produits extraits.

III.1.6. Les méthodes d'exploitation à ciel ouvert

Selon le type de matériau à exploiter, il existe trois méthodes d'extraction ou d'abattage d'une mine à ciel ouvert :

III.1.6.1. Méthode à l'explosif

C'est la méthode la plus usitée. L'abattage en masse de blocs à l'explosif concerne essentiellement les roches dures, elle se fait dans des gradins prédécoupés par des forages, sur 10 mètres de paroi au maximum. Dans les forages, on place les explosifs caractérisés par une forte puissance ; l'explosion interne développe une pression de gaz pouvant dépasser quelques centaines de milliers de bars.

Lors de l'explosion des charges, les fissures créées par la multiplication des forages se rejoignent facilement et rapidement, induisant ainsi un basculement des blocs. En fait, l'explosif ne fait que révéler les fissures naturelles du massif (s'il est très fissuré, on obtiendra de petits blocs).

III.1.6.2. Méthode du sciage par le câble diamanté

La méthode est utilisée pour le découpage de blocs de forme bien définis dans un matériau non fissuré tel que le marbre ou le calcaire durs (les calcaires coralliens). Ce découpage est réalisé à l'aide d'un fil, d'un câble très rouillé utilisé comme support d'abrasif (sable).

Le câble peut être remplacé par un toron (assemblage de plusieurs gros fils tordus ensemble) et chaque câble constitutif peut en permanence être rempli de sable par envoi d'eau, le maintenant dans les trous du câble. Par contre, si le matériau est fissuré, l'eau et le sable entrent dans les fractures et la méthode devient alors inefficace.

III.1.6.3. Méthode du ripage

Cette méthode consiste à déplacer, à enlever ce qui gêne à l'aide d'une ripe (griffe ou engin plus puissant). Quant à la laque, elle enlève les matériaux gênants, travaille les blocs résistants, notamment en agrandissant les fissures ; (cette méthode peut également être utilisée lors de la remise en place des terres pendant le réaménagement : la ripe décompacte les terrains tassés par le passage des engins).

Quant aux matériaux tendres, l'abattage (et même le chargement) est fait par une machine telle que :

- la pelle à godet,
- l'excavateur à godet,
- la dragline,
- la roue –pelle.

III.2. Exploitation de la carrière de Djebel Salah

Le gisement de Djebel Salah est constitué par l'ensemble de deux matières premières ; des calcaires d'âge turonien et des argiles rouges de recouvrement d'âge miocène, qui sont des matières essentielles pour la fabrication du ciment (pour l'alimentation de la cimenterie de Hamma Bouziane).

Ce gisement est divisé en quatre (04) indices :

- Premier indice : son exploitation n'est pas rationnelle.
- Deuxième indice : il est exploitable, la découverte est absente.
- Troisième indice : il est situé au Sud du deuxième indice. Les calcaires sont recouverts par des argiles noires et rouges.

A la suite des déformations tectoniques l'indice s'est affaissé de 35 m à 40 m par rapport aux indices avoisinants.

- Quatrième indice : il est situé au Sud des indices susmentionnés. Le compartiment CIV fait l'objet d'extraction de calcaires et argiles rouges, les calcaires sont recouverts de ces argiles.

Ce gisement comprend deux (02) compartiments (CII et CIV), seulement le compartiment CIV qui est en cour d'exploitation à l'air libre (carrière à ciel ouvert), le compartiment CII est considéré comme un futur projet.

III.2.1 Réserves géologiques et minéralogie du gisement

III.2.1.1. Le calcaire

Les réserves de gisement en calcaire ont été estimées de 67 millions de tonnes.

Trois types de calcaire d'âge turonien sont bien individualisés dans le gisement de Djebel Salah :

- Des calcaires supérieurs (CS) avec une épaisseur de 40 à 70 m,
- Des calcaires dolomités moyens (CDM) qui renferment une teneur élevée en MgO (0,5 à 3,97 %) avec une épaisseur de 1 à 13 m,
- Des calcaires inférieurs (CI) d'une épaisseur de 10 à 30 m.

Le poids volumique et l'humidité naturelle des calcaires sont respectivement de 2,5 t/m³ est de 1,5% à 2%.

La composition chimique de ces calcaires est reprise dans le tableau suivant :

Elements constituant	Teneur en %
CaO	55,30
SiO ₂	0,13
Al ₂ O ₃	0,20
MgO	1,35
K ₂ O	0,00
Na ₂ O	0,01
SO ₃	0,02
Cl	0,01
P ₂ O ₅	0,05

Tableau n° 1: Pourcentage des éléments constituant le calcaire.

III.2.1.2. L'argile rouge

L'argile rouge (Fig. 9), constitue le recouvrement des formations calcaires, ses réserves ont été estimées de 04 millions de tonnes.

L'épaisseur de cette argile sableuse d'âge miocène varie de 0 à 50 m selon une distance d'orientation Nord-Ouest, Sud- Est.

Le volume de la terre végétale recouvre l'ensemble de ces matières premières s'élève à 77,760 m³ avec une épaisseur varie de 0 à 0,5 m en moyen.

Le poids volumique de l'argile est de 2,1 t/m³.

La composition chimique de l'argile rouge est reprise dans le tableau suivant:

Elements constitutants :	Teneur en % :
CaO	9,20
SiO ₂	64,75
Al ₂ O ₃	8,80
MgO	0,55
K ₂ O	0,53
Na ₂ O	0,05
SO ₃	0,04
Cl	0,01
P ₂ O ₅	0,52
TiO ₂	0,52
P ₂ O ₅	0,07

Tableau n° 2 : Pourcentage des éléments constituant l'argiles rouge.



Fig. 9 : Gisement de l'argile rouge de recouvrement.

III.2.2. Les méthodes d'exploitation du gisement

Les calcaires sont exploités par quatre (04) gradins et l'argile rouge par un seul gradin qui surmonte ces derniers, la méthode d'exploitation diffère selon le type de la matière (Fig.10).

III.2.2.1. L'extraction des calcaires

Selon leurs propriétés physico-mécaniques les calcaires (supérieur, dolomitiques moyen, inférieur) exige un ameublement préalable à l'explosif pour leur extraction.

L'extraction ou l'abattage du calcaire se fait par la méthode des explosifs.

Sur le plan pratique d'extraction, les paramètres techniques d'exploitation des calcaires sont les suivants :

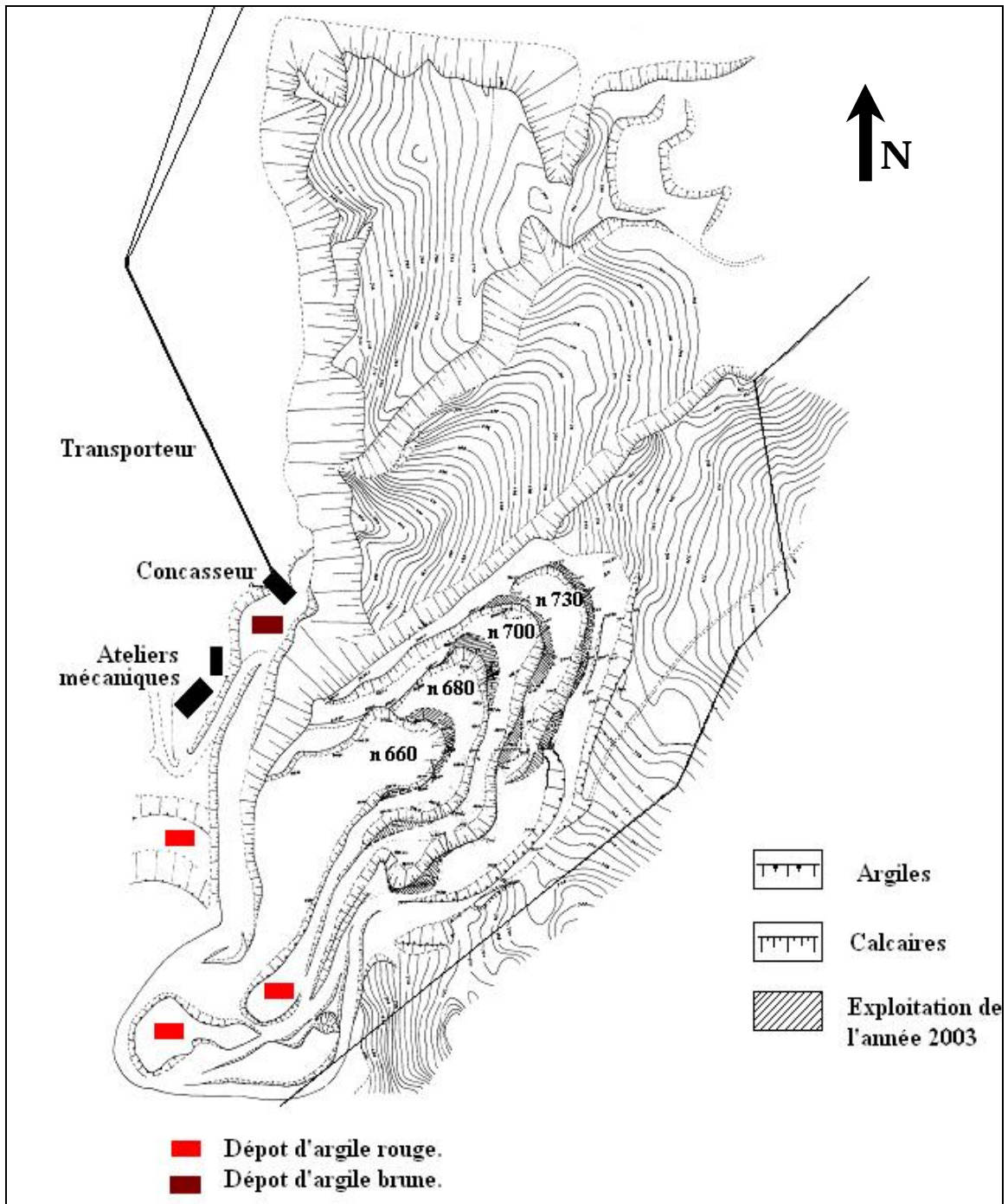
- Les gradins (les niveaux) en cour d'exploitation sont : 660 m (plancher de la carrière), 680 m, 700 m, 730 m. (Fig. 11),
- Hauteur du gradin : 15 m à 20 m. (Fig. 12),
- Angle de talus d'abattage : 70° à 80°,
- La largeur des plates formes de travail du gisement de calcaire est de 30 à 40 m, (Fig. 11).

- Travaux d'abattage des calcaires

Le foisonnement préalable des calcaires se fera par le procédé de forage (Fig. 13) et de tir, les diamètres utilisés à l'opération de foration sont : Ø de 65 mm, Ø de 89 mm et Ø de 160 mm.

Les gros blocs de calcaires qui se trouvent hors gabarit seront abattus par le pétardage secondaire.

Les différents paramètres techniques de foration sont représentés dans le tableau suivant :



Echelle : 1/2 000

Fig. 10 : Plan d'exploitation de calcaire de l'année 2003
(d'après A. ADJADI, 2003).

Paramètres des travaux	U. M	Calcule en fonction de la hauteur du gradin		
		5 m	10 m	20 m
Inclinaison du trou	Degré (°)	90	90	90
Diamètre du trou	Ø	65	89	160
Capacité spécifique de 1 m/trou	Kg/m	3,15	5,9	10
Consommation spécifique d'explosif	Kg/ m ³	0,78	0,33	0,67
Distance entre les trous	m	2	4,5	6
Volume du matériau sauté dans un trou	m ³	18	253	600
Poids de la charge d'explosif dans un trou	Kg	14	83,5	402
Longueur du bourrage	m	1,8	3,75	5
Sur profondeur	m	0,5	1,5	1,56
Longueur totale du trou	m	5,5	16,5	21,56
Quantité d'explosifs par trou	Kg	11,65	71	298
Nombre de trou de mines par semaine	Unité	480	34	22
Consommation d'explosifs par semaine	Kg	5592	2427	6556
Métrage à forer par semaine	m	2637	561	474
Métrage horaire	m	38	08	6,78

Tableau n° 3 : Paramètres techniques des travaux de foration et de tir de mine.

Remarques :

- Les trous de mines peuvent être disposés en deux (02) rangées et plus.
- La consommation spécifique d'explosifs a été déterminée d'après les calculs suivants :
 - Pour un trou de diamètre (Ø) de 65 mm d'un gradin de 5 m, nécessite une quantité de 05 kg/m.

- Pour un trou de diamètre (\emptyset) de 89 mm d'un gradin de 15 m, nécessite une quantité de 1.5 kg/m.
- Pour un trou de diamètre (\emptyset) de 160 m d'un gradin de 5 m, nécessite une quantité de 1.56 kg/m.

III.2.2.2. L'extraction des argiles rouges

Avant l'exploitation des argiles de recouvrement, il y a lieu de décaper la terre végétale qui a une puissance (épaisseur) de 0,3 m (en moyenne). La terre végétale est alors entassée et évacuée vers un lieu bien déterminé (à l'extérieur des réserves exploitables). L'argile rouge est ripée et refoulée en un seul gradin (niveau) de 10 m de hauteur (Fig.14).

III.2.3. Capacité et régime de fonctionnement de la carrière

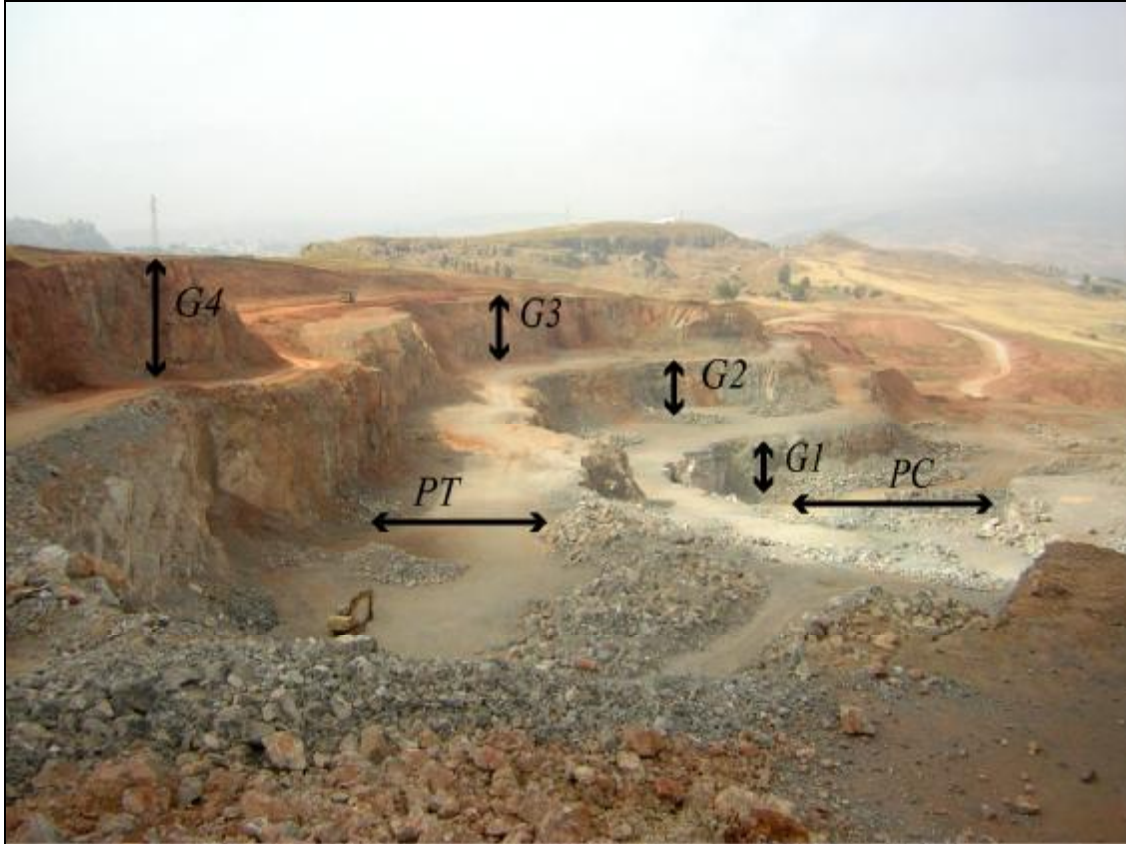
La quantité de calcaire exploité du gisement de Djebel Salah est de 994.980 t/an et celle de l'argile rouge est de 172.270 t/an.

- Nombre de jours ouvrable par an : 230 j.
- Nombre de jours ouvrable par semaine : 05 j.
- Nombre de postes de travail par jour : 02 P.
- Nombre d'heures de travail par poste : 07 h.

La capacité de production de la carrière de calcaire du Djebel Salah est donnée dans le tableau suivant :

Matière première	Unité de mesure	Capacité de production de la carrière			
		Annuelle	Journalière	Postière	Horaire
Calcaire (Djebel Salah)	t	994 980	4326	2163	309
Argiles rouges (Djebel Salah)	t	172 270	749	749	107

Tableau n° 4 : La capacité de production de la carrière de calcaire de Djebel Salah en tonne.



G1: gradin n°1

G2: gradin n°2

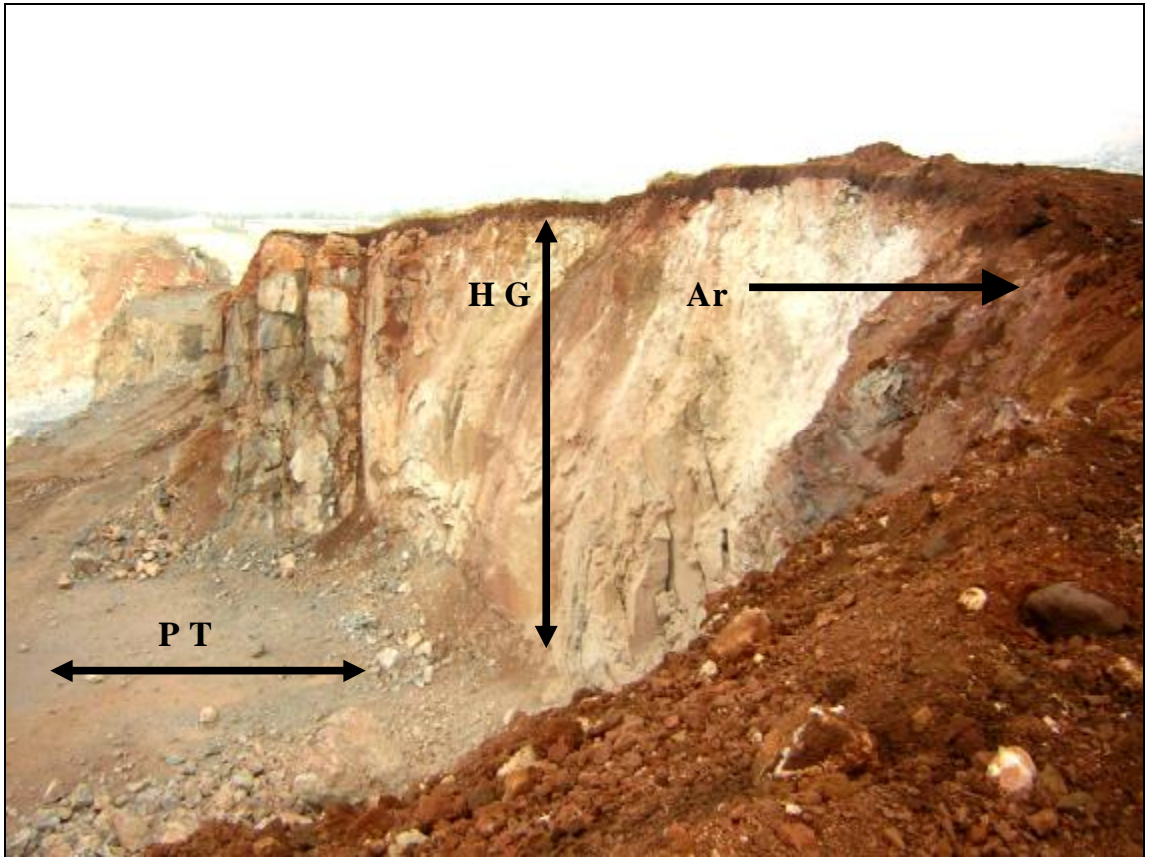
G3: gradin n°3

G4: gradin n°4

PC : plancher de la carrière

PT : plate forme de travail

Fig. 11 : Vue panoramique de la carrière de Djebel Salah.

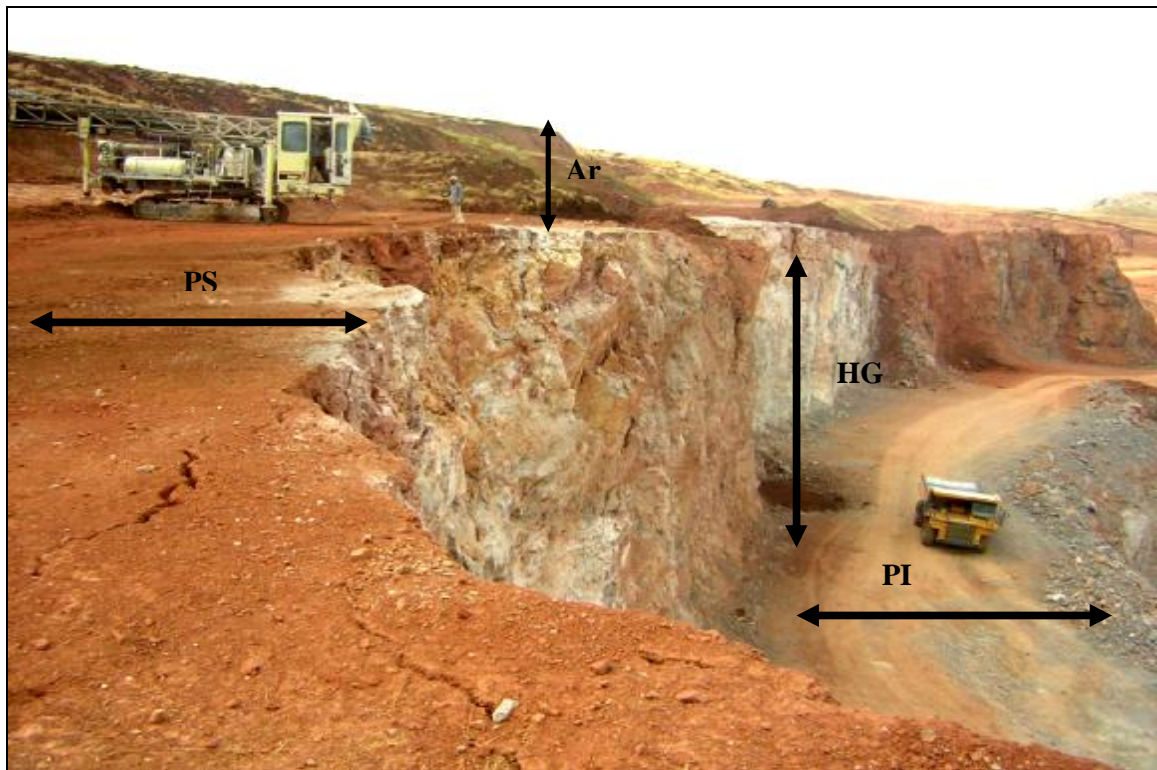


HG : hauteur de gradin n° 4,

PT : plate forme de travail,

AR : gisement d'argile rouge (argile de recouvrement).

Fig. 12 : Gradin n° 4 avec recouvrement d'argile rouge.



- HG** : hauteur du gradin n°4,
AR : argile rouge de recouvrement,
PS : plate forme supérieure (niveau 720),
PI : plate forme inférieure (niveau 700).

Fig. 13 : Opération de foration sur le gradin n°4.



G 4 : gradin de calcaire n°4,

GAr : gradin d'argile rouge.

TV : Terre végétale.

Fig. 14 : Couverture de calcaire par les argiles rouges et la terre végétale.

III.3. Exploitation de la carrière d'argiles brunes de Hamma Bouziane

Les argiles brunes de Hamma forment un petit gisement autonome au Nord du gisement de calcaire de Djebel Salah. Se sont des dépôts du miocène supérieur et du quaternaire.

Ces argiles utilisées comme ajout aux calcaires de Djebel Salah, pour la fabrication du ciment.

L'exploitation de cette matière première est en arrêt dans leur développement par la présence d'une décharge publique au niveau du plancher.

Une grande opération des travaux de décapage et de rénovation a été planifiée, après décapage, ripage et refoulement des ordures de la décharge publique sur le périmètre du plancher de la carrière (niveau +550 m).

III.3.1. Réserves géologiques et minéralogie du gisement

L'argile brune de Hamma présente un faciès brun, plastique et légèrement sableux avec un poids volumique de 2.16 t/m^3 . Elle est moins siliceuse que l'argile rouge du Djebel Salah.

L'assise productive est constituée par des argiles poussiéreuses parfois sableuses, brunâtres avec de rares passages de sables et de grés (Fig. 15).

Le pourcentage de sable et de grés dans l'argile est de 2 à 3%.

Les réserves de ces argiles ont été estimées à 15 millions de tonnes au total pour le flanc Est et Ouest du gisement.

Leurs compositions minéralogiques respectives sont rappelées dans le tableau suivant :

Éléments constituants :	Teneur en % :
SiO ₂	56,10
Al ₂ O ₃	16,90
Fe ₂ O ₃	6,00
CaO	3,60
Cl	0,02 à 0,06 (augmente avec la profondeur).

Tableau n° 5 : Pourcentage des éléments constituant les argiles brunes.

III.3.2. La méthode d'exploitation

En raison de la présence des niveaux gypseux gênant et la présence de la décharge publique, la carrière est exploitée sélectivement par la méthode de ripage et de refoulement des argiles.

Les argiles brunes de Hamma ont fait l'objet d'une extraction au niveau + 550 m qui est considéré comme étant le plancher de la carrière.

Le plans de l'exploitation de la carrière est représenté par quatre gradins (04 niveaux d'exploitation) : 550 m (la plancher), 560 m, 570 m, 580 m, 590 m.

L'exploitation de ce gisement de l'argile est caractérisée par les paramètres techniques suivants :

- Hauteur du gradin : 10 m
- Banquette de travail : 5 m
- Angle de talus : 30°
- Angle de liquidation : 45°
- Largeurs des plates formes de travail : 40 m
- Longueur des fronts de travail : varie de 160 m à 260 m

III.3.3. Capacité et régime de fonctionnement de la carrière

Il est à signifier que le tonnage des argiles brunes à extraire est de 184. 800 tonnes.

Le régime actuel de la carrière est illustré dans le tableau suivant :

- Nombre de jours ouvrables par an : 240 jours.
- Nombre de jours ouvrables par semaine : 5 jours.
- Nombre de postes de travail par jour : 1 poste.
- Nombre d'heures de travail par jour : 7 jours.

Matière première	Unité de mesure	Capacité de production de la carrière		
		horaire	journalière	annuelle
Argile brune de Hamma	t	110	770	184 800

Tableau n° 6 : Capacité de production de la carrière en tonne.

Prof (m)	Lithologie	Description	Subdivision
0		Sol Zone d'enrichissement secondaire en gypse (nodules, lentilles,...etc.).	Formation superficielle
13		Argiles sableuses et grés fins.	
45		Argiles renfermant des interlits d'argiles brunes verdâtres et grises verdâtres.	Faisceau supérieur
80		Alternance d'argiles brunes foncées aleuritiques et de grés fins faiblement cimentés et irrégulièrement répartis.	Faisceau intermédiaire
110		Alternance de grés à ciments sableux-gréseux et d'argiles brunes foncées compactes.	Faisceau inférieur
121		Argiles brunes rougeâtres peu ou pas gypsifères.	Argiles noires du Sénonien
143		Argiles noires indurées à rares filonnets de gypse et quelques grains de pyrite.	
154		Argiles noires très pyriteuses à fragments de calcaires.	
		Substratum calcaire de Turonien.	

Fig. 15 : Log lithostratigraphique des argiles du Hamma

(D. Bouhila et N. Bouhrour, 1998).

IV. L'impact de l'exploitation à ciel ouvert sur l'environnement

IV.1. Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement

L'impact d'une carrière sur l'environnement avoisinant peut être direct ou indirect. Il est très variable en fonction du type de matériau, du type d'exploitation et de l'environnement du site.

IV.1.1. Impact socio-économique

Les activités d'exploitation des carrières ont un impact social tel que les répercussions sur la santé des personnes employées et des habitants au voisinage, des modifications induites dans l'environnement et dans les conditions de vie des populations locales.

Un impact économique tel que ; l'aménagement de nouvelles voies de transport et de communication, l'occupation des sols, notamment lorsque le site fait déjà l'objet d'une mise en valeur agricole ou forestière.

IV.1.2. Impact hydrogéologique

Du fait de l'excavation engendrée, une carrière peut avoir un impact direct non négligeable sur l'écoulement souterrain des eaux. Ainsi, si l'exploitation se poursuit dans une nappe phréatique ou à proximité de celle-ci, le rabattement engendré pourrait, selon les cas, provoquer l'assèchement des puits ou cours d'eaux environnants, donc il peut résulter une modification de la piézométrie et un abaissement du niveau de la nappe phréatique, ainsi qu'une altération de la qualité des eaux souterraines.

IV.1.3. Impact hydrologique

Il est très fréquent qu'une carrière engendre des rejets d'eau au milieu naturel. On distingue deux origines à ces eaux :

- L'eau d'exhaure qui n'est présente que si l'excavation a rencontré un réservoir souterrain.
- L'eau météorique qui peut s'accumuler en fond de fouille après avoir ruisselé sur les pistes, les fronts de taille ou les stocks de matériaux.

L'impact produit est :

- La déviation des cours d'eaux,
- La modification des éléments constitutifs,

- La pollution par des eaux usées contaminées et la pollution due au renforcement de l'érosion

IV.1.4. Impact biologique

Le développement de l'activité d'extraction des matériaux dans une région est de nature à détruire la flore et écarter (faire migrer) la faune.

IV.1.5. Impact sur l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certain élément peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation.

Dans le cas des carrières à ciel ouvert, la précarité de l'atmosphère est due aux :

- Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif et le trafic routier,
- Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'ignition spontanée de terrils et les échappements des engins et des automoteurs,

IV.1.6. impact sur le paysage

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

- La forme de l'excavation,
- L'aspect des fronts de taille,
- Le stockage des remblais en particulier laisse des cicatrices dans le paysage,
- Les contrastes de forme et de couleur,
- La position de l'installation de traitement,
- Le déboisement.

IV.1.7. impact sur les infrastructures

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

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

IV.2. Les nuisances dues à l'exploitation d'une carrière

Les nuisances qui peuvent être occasionnées au cours des opérations de l'exploitation sont dues essentiellement aux polluants atmosphériques (poussières et affluents gazeux), aux bruits, aux vibrations, aux rejets liquides et aux solides divers.

IV.2.1. les polluants atmosphériques

Ces polluants concernent ; les poussières, les oxydes de carbone (CO, CO₂) et les oxydes de l'azote (NO, NO₂). Ce sont généralement des produits des tirs de mines (Fig. 16), des échappements des moteurs diesels et des opérations d'extraction de la matière.

IV.2.2. Les matériaux divers

Ces matériaux concernent généralement les produits accidentellement introduits lors de l'excavation ou à l'occasion de l'entretien et la réparation des engins de la carrière. On peut citer à titre d'exemple : les rejets de l'exploitation, les huiles et les huiles de vidange et même pour la ferraille provenant des réparations.

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

IV.2.3. Les nuisances sonores et les vibrations

Il s'agit, avec les vibrations liées aux tirs de mines, de la nuisance la plus fortement ressentie par les riverains.

On peut distinguer trois sources de bruits :

- Les bruits liés aux tirs de mines,
- Les installations de traitement,
- Les moteurs des engins en circulation et les avertisseurs de recul des engins qui sont indispensables à la sécurité du personnel.

L'impact sonore d'une exploitation dépend également fortement du sens du vent et du relief du terrain. Le bruit est d'autant plus ressenti par les riverains que les carrières se trouvent bien souvent dans des zones rurales relativement calmes.



EG : émission des gaz,

EP : émission de poussières,

FT : Front de taille.

Fig. 16 : Emissions des polluants atmosphériques lors de tir de mine.

IV.3. Cadre l'égal et réglementation Algérienne sur l'exploitation à ciel ouvert et son impact sur l'environnement

Décret exécutif n° 04-95 du 11 safar 1452 correspondant au 1 avril 2004 fixant les règles de l'art minier

- Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;
- Vu la loi n° 83-13 du 2 juillet 1983, modifiée et complétée, relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles ;
- Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux ;
- Vu la loi n° 84-12 du 23 juin 1984, modifiée et complétée, portant régime général des forêts ;
- Vu la loi n° 87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire ;
- Vu la loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail ;
- Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune ;
- Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya ;
- Vu la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière, notamment son article 56 ;
- Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Vu le décret n° 85-231 du 25 août 1985 fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et des secours en cas de catastrophes ;
- Vu le décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophes ;
- Vu le décret présidentiel n° 90-198 du 30 juin 1990, modifié et complété, portant réglementation des substances explosives ;
- Vu le décret présidentiel n° 03-208 du 3 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 5 mai 2003 portant nomination du Chef du Gouvernement ;
- Vu le décret présidentiel n° 03-215 du 7 Rabie El Aouel 1424, modifié, correspondant au 9 mai 2003 portant nomination des membres du Gouvernement ;

- Vu le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement ;
- Vu le décret exécutif n° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail ;
- Vu le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, complété, réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs, et particules solides des installations fixes ;
- Vu le décret exécutif n° 96-214 du 28 Moharram 1417 correspondant au 15 juin 1996 fixant les attributions du ministre de l'énergie et des mines ;
- Vu le décret exécutif n° 02-65 du 23 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 6 février 2002 définissant les modalités et procédures d'attribution des titres miniers ;
- Vu le décret exécutif n° 02-66 du 23 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 6 février 2002 fixant les procédures d'adjudication des titres miniers ;
- Vu le décret exécutif n° 02-469 du 20 Chaoual 1423 correspondant au 24 décembre 2002 relatif à l'activité minière de ramassage, de collecte et/ ou de récolte ;
- Vu le décret exécutif n° 02-470 du 20 Chaoual 1423 correspondant au 24 décembre 2002 portant modalités d'application des dispositions relatives aux autorisations d'exploitation des carrières et sablières ;

Décrète :

Article. 1.

En application de l'article 56 de la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1421 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière, le présent décret a pour objet de fixer les règles de l'art minier applicables aux travaux d'exploitation des substances minérales qu'ils soient réalisés à ciel ouvert ou en souterrain ainsi qu'aux dépendances légales de ces exploitations.

Article. 2.

Les règles de l'art minier consistent en des règles techniques et des méthodes d'exploitation à respecter dans l'exercice de toute activité minière réalisée à ciel ouvert ou en souterrain pour valoriser le potentiel du gisement et relatives aux conditions d'hygiène

et de sécurité publique et industrielle et de protection de l'environnement immédiat et riverain.

TITRE I

Exploitation à ciel ouvert

Article. 3.

Le projet de développement et d'exploitation à ciel ouvert du gisement que le titulaire du titre minier ou de l'autorisation fournit dans le dossier de demande doit être élaboré par un expert en études géologiques et minières agréé par l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et comprendre les paramètres suivants :

- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du gisement ;
- Les méthodes d'exploitation utilisées ;
- Les caractéristiques géométriques des ouvrages miniers : gradins, bermes, talus d'exploitation, pistes déroulage, décharges et déblais ;
- Les installations d'électricité, d'eau et d'air comprimé ;
- L'organisation des opérations d'extraction (abattage, chargement, transport);
- Les effectifs et la qualification du personnel ;
- La nature et les caractéristiques des équipements principaux ;
- Les mesures de sécurité et d'hygiène envisagées. Le projet de développement et d'exploitation sera soutenu par les plans ci-après :
 - Un levé géologique du gisement à l'échelle appropriée matérialisant les travaux d'exploration effectués ;
 - Un plan d'exploitation à une échelle appropriée matérialisant la disposition des fronts d'exploitation, leurs directions, les pistes d'accès, la disposition des engins et le réseau d'utilité installé.

Article. 4.

Dans les cas d'une exploitation industrielle ou d'une petite ou moyenne exploitation minière, le projet visé ci-dessus sera complété par :

- Les études relatives à la stabilité des sols,
- Les dispositions pour l'évacuation des eaux,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et plus généralement les conditions de tir,
- Les techniques de purge age,

- Le programme de soutènement additionnel du front,
- Le programme de contrôle du front.

Article. 5.

Les conditions et les règles techniques relatives aux paramètres spécifiques miniers liés à la conduite de l'exploitation à ciel ouvert seront fixées par des arrêtés du ministre chargé des mines. Celles relatives aux autres paramètres seront fixées par des arrêtés conjoints entre le ministre chargé des mines et le ministre concerné.

Article. 6.

Dans le cadre de la préservation de la sécurité dans le travail, tout titulaire d'un titre minier d'exploitation à ciel ouvert est tenu de déposer avant le démarrage de son exploitation, auprès de l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier, les consignes d'exploitation relatives aux éléments ci-après :

- La disposition des engins d'abattage ou de chargement par rapport au front et les conditions de leur déplacement,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et, plus généralement, les conditions de tir,
- Les conditions de circulation des engins servant à l'évacuation des produits,
- Les conditions de circulation du personnel,
- Les conditions de mise en œuvre d'un plan de secours d'urgence.

Les agents chargés de la police des mines veilleront à la conformité de ces consignes avec les dispositions réglementaires prévues à cet effet, et contrôleront leur application.

Article. 7.

Pour la conduite de l'exploitation en conformité avec les règles de l'art minier, telles que définies dans le présent décret et les arrêtés pris pour son application, le titulaire du titre minier doit désigner un agent responsable qualifié, dont le nom, porté dans la convention ou le cahier des charges, sera communiqué à l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et au(x) wali(s) territorialement compétent(s).

A défaut, l'exploitant est réputé être chargé de la conduite des travaux et responsable de l'application de la présente réglementation.

TITRE II

Concernant l'**exploitation souterraine (mines souterraines)**, il comprend six (06) articles :

Article. 8, Article .9, Article .10, Article .11, Article .12 et l'Article. 13.

TITRE III

Dispositions diverses

Article. 14.

Les dispositions des titres I et II ci-dessus prendront effet :

- Dès leur publication pour les exploitations en cours de réalisation ;
- Un an après leur publication pour les gisements en cours d'exploitation.

Article. 15.

Tout exploitant de substances minérales doit tenir à jour les registres et les plans d'exploitation et notamment :

- Le registre des entrées et sorties des substances explosives ;
- Le registre d'extraction des matériaux ;
- Les plans actualisés des avancements des fronts.

Article. 16.

Les dispositions du décret exécutif n° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail demeurent applicables pour les installations de surface.

Article. 17.

Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 11 Safar 1425 correspondant au 1er avril 2004.

V. La pollution de l'atmosphère

V.1. Définition

V.1.1. Définition de la pollution atmosphérique

- Pour l'O.M.S

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

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

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

- Pour l'Algérie :

La pollution atmosphérique, au sens de la loi no 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, et l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumée ou de particules solides ou liquides, corrosives, toxiques ou odorantes de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monument ou au caractère des sites (J.O.R.A, 1983).

- Pour les scientifiques

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

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

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

Pour chacun des polluants, les niveaux atteints sont comparés aux références disponibles. Celles-ci peuvent être des valeurs limites qui doivent obligatoirement être

respectées, et dont le dépassement implique l'élaboration de plans de réduction visant à diminuer la pollution.

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

V.1.2. Les polluants atmosphériques

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

V.1.2.1. Les aérosols : Ils sont formés de particules solides ou liquides de dimension inférieure à 100 μm . La définition stricte est la suspension, dans un milieu gazeux, de particules solides ou liquides présentant une vitesse de chute négligeable.

Les aérosols correspondent donc aux plus fines particules, ils sont des particules non sédimentables

V.1.2.2. Les fumées noires (Black Smoke) : Se sont des particules carbonées noirâtres, présentant des dimensions suffisamment petites (de diamètre inférieur à 5 μm jusqu'à 0,1 μm environ). Pour demeurer en suspension dans l'air; ses composants sont principalement des produits de combustion.

V.1.2.3. Les poussières : C'est une fine poudre de débris en suspension dans l'air. Elles sont faites de particules solides inférieures à 75 μm , les plus grosses retombant près de la source d'émission et les plus fines transportant dans l'air. Elle se produisent dans l'atmosphère de sources variées : le poussières du sol soulevées par le vent, les éruptions volcaniques et les poussières d'origine anthropique.

NB :

Air ambiant : Air extérieur de la troposphère.

Polluant : Toute substance introduite directement ou indirectement par l'homme dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement dans son ensemble.

Niveau : Concentration d'un polluant dans l'air ambiant ou son dépôt sur les surfaces en un temps donné.

Evaluation : Toute méthode utilisée pour mesurer, calculer, prévoir ou estimer le niveau d'un polluant dans l'air.

Valeur limite : Niveau fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble.

Valeur cible (valeur guide) : Niveau fixé dans le but d'éviter d'avantage à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

Seuil d'alerte : Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine.

Seuil d'information : Niveau au-delà duquel il existe des effets limités et transitoires pour la santé humaine en cas d'exposition de courte durée pour des catégories de population particulièrement sensibles.

Seuil de protection de la santé : Niveau qui ne devrait pas être dépassé afin de sauvegarder la santé humaine en cas d'épisodes prolongés de pollution.

Seuil de protection de la végétation : Niveau au-delà duquel la végétation peut être affectée.

V.1.3. Echelles spatiales et temporelles des phénomènes de pollution atmosphérique

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

V.1.3.1. L'échelle locale

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

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

V.1.3.2. L'échelle régionale

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

V.1.3.3. L'échelle continentale

S'étendant de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres. Ce qui s'appelle le transport à longue distance des polluants peut contribuer de manière sensible aux teneurs mesurées. Ceci explique que l'on puisse trouver une pollution en des points éloignés de toutes sources même modestes. Cet apport contribue largement à ce que l'on appelle la pollution de fond (background).

V.1.4. Les paramètres influençant la pollution de l'atmosphère

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

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

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

V.1.4.1. La topographie locale

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

V.1.4.2. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques tiennent une part importante dans la dispersion des polluants atmosphériques.

a. le vent

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

Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluants. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. Un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants. La vitesse du vent augmente avec l'altitude

b. L'état thermique de l'atmosphère

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

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

- La situation instable : si la température diminue plus vite que le neutre; un volume d'air s'élevant aura tendance à être plus chaud que l'air avoisinant, donc plus léger, et tendra à accélérer de plus en plus. Il apparaît alors des phénomènes de courants verticaux (Fig. 17).

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

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

c. Les inversions de la température

L'état d'inversion de température est caractérisé par une augmentation de température au fur et à mesure que l'altitude augmente. C'est un état thermique stable que l'on observe généralement par temps clair et ensoleillé.

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

d. Les précipitations et l'humidité

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

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

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

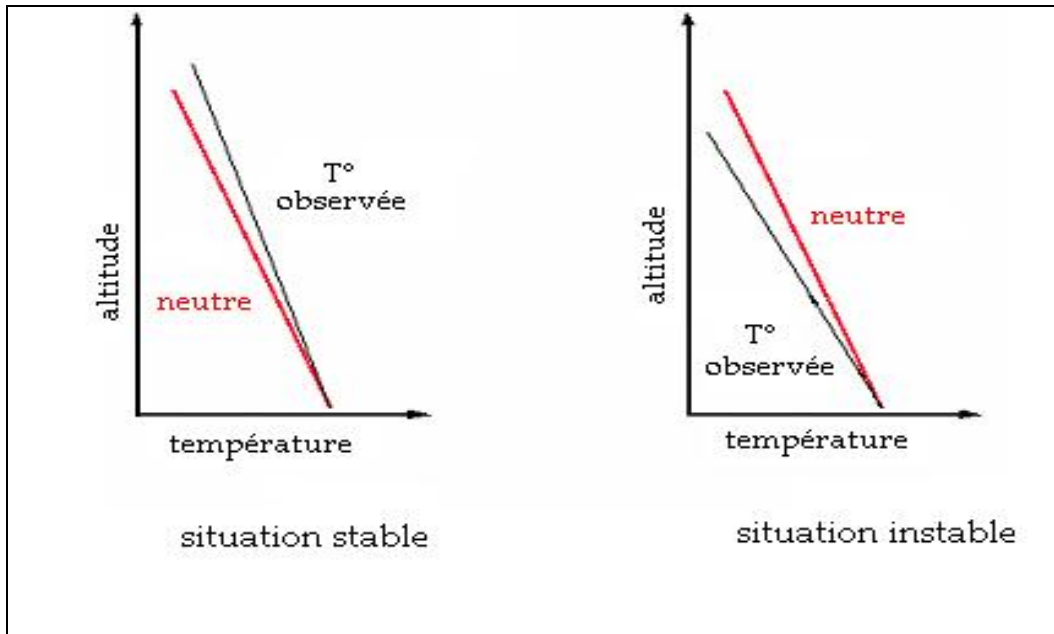


Fig. 17 : Stabilité thermique.

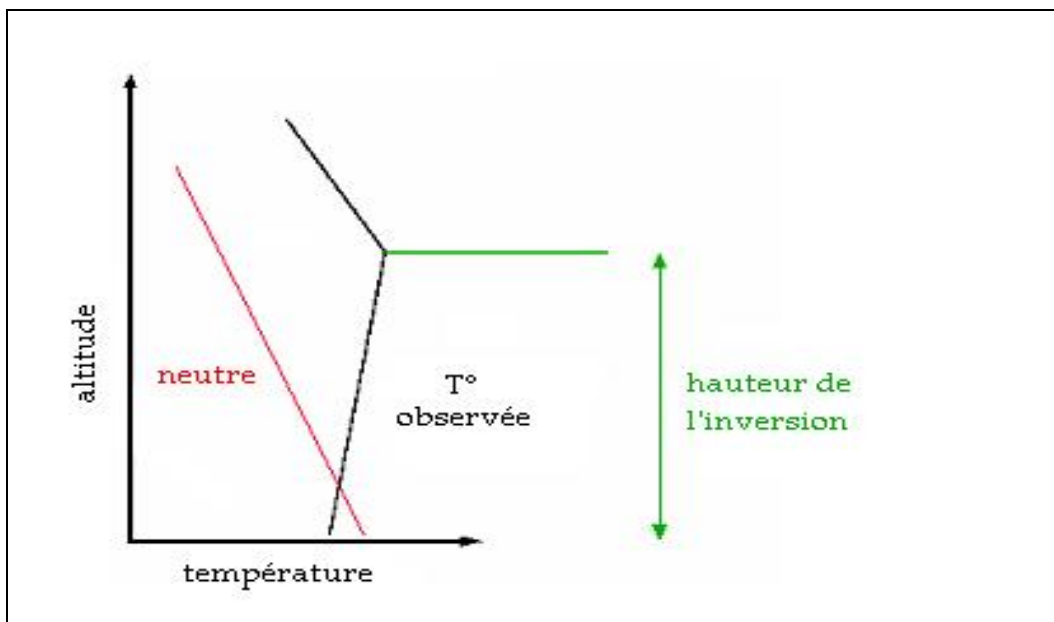


Fig. 18 : Inversion de la température.

V.2. Etude de la pollution par les poussières générées par l'exploitation de la carrière de Djebel Salah

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

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

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

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

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

V.2.1. Poussières et particules minérales

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

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

Les fibres inhalables sont celles dont le diamètre est inférieur à 3 μm et la longueur supérieure à 5 μm (définition O.M.S).

V.2.2. Composition chimique des poussières :

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

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

V.2.3. Classification des poussières

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

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

V.2.3.1. Classification selon les critères de taille, de masse et de composition

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

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

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

V.2.3.2. Classification selon la vitesse de sédimentation

On peut les classer en deux grandes catégories :

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

- Les poussières sédimentables

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

- Les particules en suspension totale (PTS) :

Elles ont une longue durée de vie dans l'air ambiant et ont un domaine de dimension granulométrique qui s'étend sur 5 ordres de grandeur, depuis 10 à 3 µm (agrégat moléculaire) jusqu'à 100 µm (poussière industrielle ou naturelle).

Elles sont émises par certains procédés industriels (sidérurgie, minéraux non-ferreux, engrais), par les installations de combustion et par les véhicules automobiles. Pour ces derniers, elles résultent d'une combustion incomplète du carburant (notamment pour les véhicules diesel) et de phénomènes d'usure et de frottement.

V.2.4. Le transport des particules

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

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

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

Les vitesses de chute peuvent être estimées en fonction du diamètre aérodynamique des particules, les exemples suivants sont destinés à fournir une idée des ordres de grandeur de ces vitesses (Tableau n° 7).

Diamètre aérodynamique (μm)	vitesse de chute (m/ jour)
0,1	0,01
0,25	0,04
0,5	0,1
2,5	1
5	10
10	30
20	100

Tableau n° 7 : Vitesse de chute des particules.

V.2.5. Effet des poussières sur l'écosystème

Les effets des poussières sur l'écosystème sont variables en fonction de leur composition, de leur taille et en particulier de la présence des éléments nuisibles tel que ;

les métaux lourds et les composés organiques persistants absorbés.

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

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

V.2.6. Les principales sources des poussières dans les carrières

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

Ces poussières se génèrent de :

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

V.3. Quantification des émissions de poussières pendant l'opération d'extraction et de concassage des matières premières à la carrière de Djebel Salah pour l'année 2005

V.3.1. Pertes en matières premières lors de son exploitation

Pour estimer les pertes en matières premières il faut d'abord connaître les quantités produites :

- Les quantités de la matière extraite pendant l'année 2005

Les quantités des matières premières (calcaire et argiles) extraites pendant l'année 2005 est repris dans le tableau suivant :

Matière	Stock initial (en tonne)	Stock final (en tonne)	Production de l'année 2005 (en tonne)
Carrière d'argile brune	3368	-	296 976
Carrière de calcaire et argile rouge	13475	51000	933 737

Tableau n° 8 : Quantité en tonne d'argiles et de calcaire extraite pendant l'année 2005.

- Les quantités de la matière concassée pendant l'année 2005

Les quantités des matières premières (calcaire et argiles) concassées pendant l'année 2005 est repris au tableau suivant :

Matière	Stock initial (en tonne)	Stock final (en tonne)	Concassage de l'année 2005 (en tonne)
Concassage d'argile brune	3368	-	233 434
Concassage de calcaire et d'argile rouge	13475	51000	875 000

Tableau n° 9 : Quantité en tonne d'argiles et calcaire concassée pendant l'année 2005.

- Les quantités de la matière stockée pendant l'année 2005

Les stocks de matières premières au 31/12/2004 et au 31/12/2005 figurent au tableau suivant:

Matières	Stock initial au 31/12/2004 (en tonne)	Stock final au 31/12/2005 (en tonne)
Argile rouge	640 000	500 000
Argile brune	1 000	20 000
Calcaire abattu	20 000	25 000

Tableau n° 10 : Stock en tonne de matières premières pour l'année 2005.

V.3.1.1. Pertes en matière d'argile brune au niveau de la carrière :

Les principales sources de perte d'argile dans la carrière sont :

- Pertes au niveau des godets des chargeurs (débordement),
- Pertes au niveau du concasseur.

On peut les estimer comme suite :

Pertes en matière d'argile brune = (quantité extraite - quantité produite) + (stock initial - stock final)

$$PAb = (296\ 976 - 241\ 313) + [(3\ 368 + 1\ 000) - 20\ 000] = 40\ 031 \text{ tonnes}$$

V.3.1.2. Pertes en matière de calcaire et argile rouge au niveau de la carrière :

Les principales sources de perte en matière de calcaire pendant les différentes opérations d'exploitation de cette dernière dans la carrière, sont :

- Pertes au niveau des godets des chargeurs (débordement),
- Pertes au niveau du concasseur,
- Pertes durant le transport.

On peut les estimer comme suite :

Pertes en matière de calcaire et argile rouge = (quantité extraite - quantité consommée) + (stock initial - stock final)

$$PCA = (933\ 737 - 875\ 000) + [(13\ 475 - 51\ 000) + (640\ 000 + 20\ 000) - (500\ 000 + 25\ 000)] = 156\ 212 \text{ tonnes.}$$

V.3.1.3. Pertes totales :

Pertes totales = pertes en matière de calcaire et d'argile rouge + pertes en matière d'argile brune.

$$PT = 156\ 212 + 40\ 031 = 192\ 243 \text{ tonnes.}$$

Ces pertes servent en fait de matières premières car elles sont récupérées pour être intégrées dans le circuit de production (concassage).

V.3.2. Quantification des émissions des poussières selon leurs sources :

Pour évaluer l'impact des émissions sur l'environnement, il est nécessaire d'estimer les quantités de polluants rejetés au niveau de chaque source. Cette estimation peut être réalisée à l'aide des facteurs d'émissions.

V.3.2.1. Définition du facteur d'émission :

Le facteur d'émission est la quantité de polluant émise par unité de production (exemple : kg de poussière/tonne de matière concassée).

Les facteurs d'émission publiés dans la littérature scientifique sont généralement soit estimés soit déduits à partir de mesures expérimentales effectuées sur d'autres sites.

Les facteurs d'émission varieront selon le type de contrôle existant au niveau de la source d'émission (cyclone, électrofiltre, filtre à manche...).

Généralement, les équations critérielles permettent de calculer les facteurs d'émission et la quantité d'émission, sont les suivantes :

$$E_x = QB \times FEC_x$$

Où

$$FEC_x = FE_x (100 - EC_x) / 100$$

E_x : émission du contaminant x, en kg,

QB : taux d'activité ou quantité de base, en unité de quantité de base,

FEC_x : facteurs d'émission après épuration du contaminant x, en kg/unité de quantité de base, (Cette valeur dépend du dispositif antipollution externe installé),

FE_x : facteur d'émission avant épuration du contaminant x, en kg/unité de quantité de base,

EC_x : efficacité globale du dispositif antipollution pour le contaminant x, en %.

V.3.2.2. Pertes au niveau du concasseur muni d'un filtre à manches :

En raison de dépoussiérage, le concasseur utilisé dans la carrière pour le traitement des matières premières est muni d'un filtre à manches avec un taux d'épuration de 60% (rendement de 60%).

Sa capacité de concassage est de 1200 t/h de mélange en matières premières composé d'environ 70% de calcaire et 30% d'argiles et de la réduire à une granulométrie de 0-25 mm.

Le facteur d'émission relatif aux poussières ainsi que les quantités de poussières émises dans l'air par le concasseur de matières premières sont repris dans le tableau suivant :

Procédé	Facteur d'émission (kg/t)	Rejets dans l'air Année 2005 (tonne)
Concasseur muni d'un filtre à manches (rendement de 60%)	0,2	175

Tableau n° 11 : Quantité des poussières émises dans l'air par la cheminée du concasseur de matières premières dans la carrière.

V.3.2.3. Quantification des émissions de poussières totales en suspension (PTS) selon leurs sources d'émission dans la carrière :

L'empoussièremement de l'air qui résulte de différentes opérations appliquées sur la matière première, a de nombreuses sources dans la carrière.

Les différentes sources et opérations approvisionnant l'empoussièremement de l'air (fig. 19) et (fig. 20), sont reprises dans le tableau suivant, ou les quantités de poussières générées y sont estimées :

Source/opération	Facteur d'émission	Conversions	Quantité annuelle (année 2005)
Foration de trous	0,59 kg/trou	1 an = 780 trous	0,46 t
Extraction au bulldozer (roche de calcaire)	13,54 kg/h	1 an = 14 h/j × 365 j = 5 110 h	69,2 t
Tas de minerai stockés (érosion du vent)	0,3 kg/h	1 an = 24 h × 365 j = 8760 h	2,63 t
Manipulation des tas (chargement, transfert, trafic dans la zone de stockage)	0,003 kg/t	Manipulation de 1 365 713 t de matière produite par an.	4,10 t
Emissions liées au trafic (Kg/km) sur la piste	4,07 kg/km	1 j = 400 km 1 an = 264 j = 105600 km	429,8 t
Total			506,2 t

Tableau n° 12 : Emission de poussières totales en suspension (PTS) par les sources fugitives au sein de la carrière.

V.3.4. Autres sources de pollution dans la carrière :

Parmi les sources importantes de pollution dans la carrière on cite:

- Les tirs de mines :

Les polluants générés par un tir de mine sont, par ordre d'importance:

- * Le monoxyde et dioxyde de carbone (CO et CO₂),
- * Les poussières,
- * Les oxydes de l'azote (NO_x),
- * Hydrocarbures imbrûlés (essentiellement CH₄),

- * Dioxyde de soufre (SO₂),
- * Sulfure d'hydrogène (H₂S),
- * Ammoniac (NH₃).

Les quantités annuelles (année 2005) émises de certains de ces polluants (fig. 21) sont consignées dans le tableau suivant :

Explosif / Gaz	Facteur d'émission (kg/trou)	Conversions	Quantité annuelle (t)
Poussières	3,078 kg/trou	1 an = 780 trous	24,01
CO	5,667 kg/trou		4,42
NOx	1,435 kg/trou		1,12
SO₂	0,187 kg/trou		0,146
totale			29,696

Tableau n° 13 : Estimation des émissions (en tonne) lors des tirs de mines pendant l'année 2005.

NB : Le facteur d'émissions de chaque opération a été défini expérimentalement.

V.3.5. Conclusion :

Les sources d'empoussièrement les plus importantes dans la carrière sont celles liées aux :

- Emissions liées au trafic,
- A l'extraction de la matière première par les engins excavateurs (type bulldozer),
- Au concassage de la matière première,
- Aux tirs de mine.

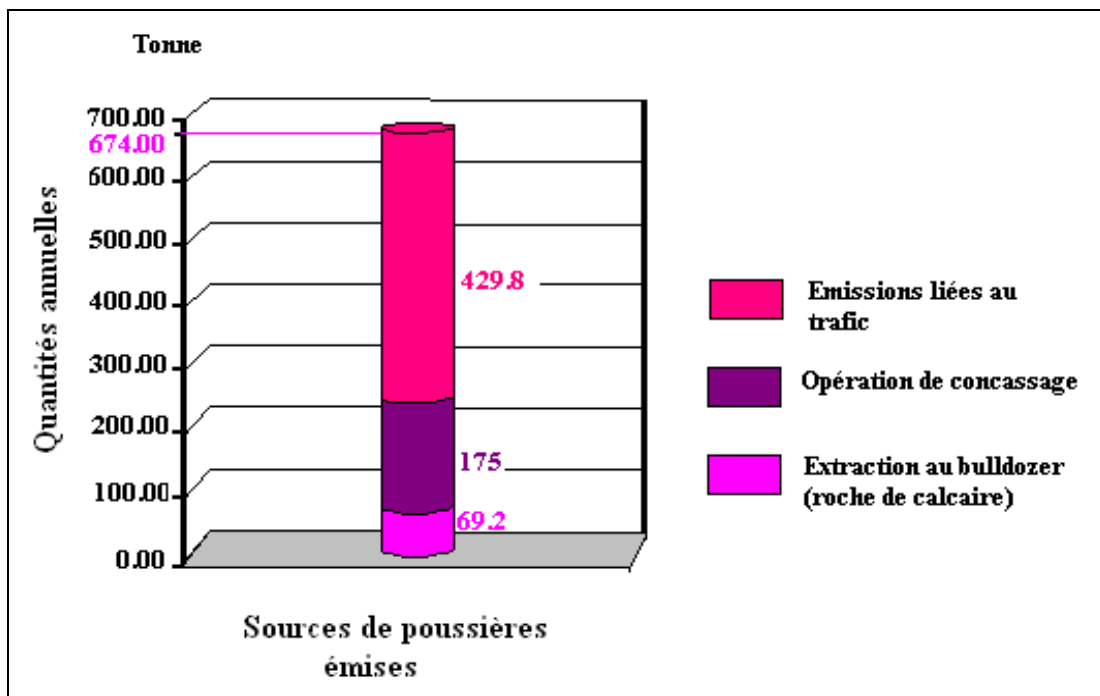


Fig. 19 : Quantités annuelles (année 2005) des poussières émises (en tonne) selon leurs sources.

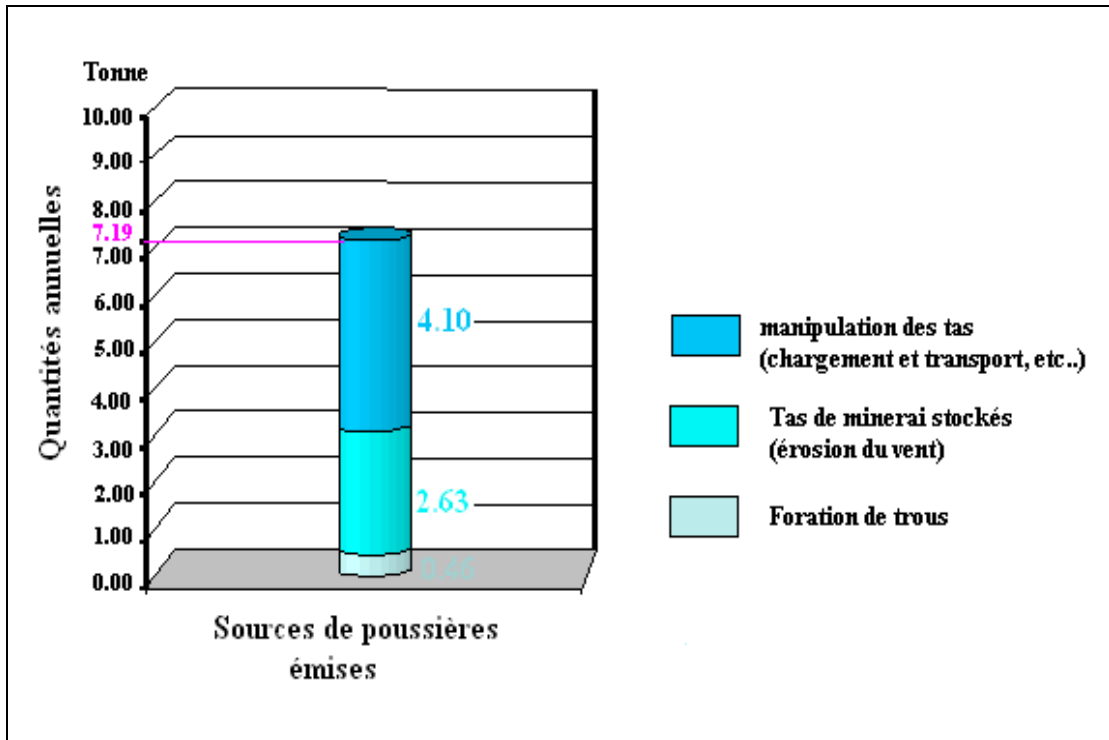


Fig. 20 : Quantités annuelles (année 2005) des poussières émises (en tonne) selon leurs sources.

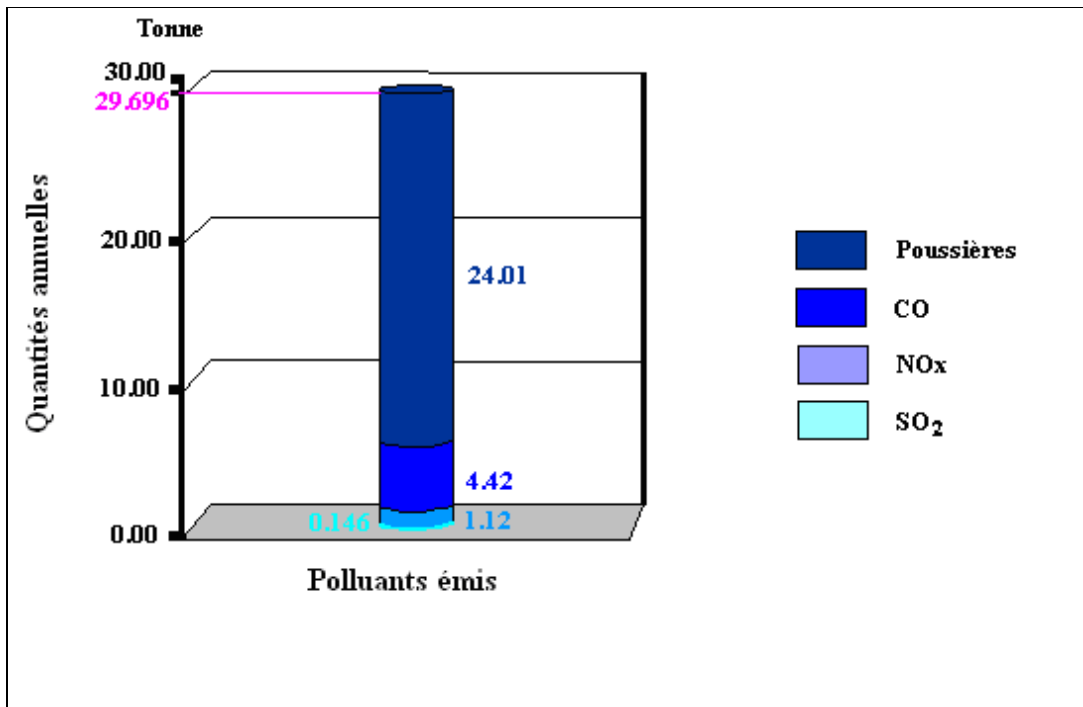


Fig. 21 : Quantités annuelles (année 2005) des polluants émis (en tonne) lors des tirs de mines.

V.4. Analyse de la qualité de l'air :

V.4.1. Composition de l'air ambiant :

L'air est un mélange de gaz constituant l'atmosphère terrestre. Il est inodore et incolore.

L'air sec est composé d'environ 78% de diazote en volume, 21% de dioxygène en volume et 1% d'autre gaz dont : les gaz rares (principalement de l'argon) et d'autres gaz (dioxyde de carbone,...).

A la température de 40°C, l'air peut contenir de 0 à 7 % de vapeur d'eau.

Cette composition varie avec l'altitude, le taux de dioxyde de carbone (CO₂) varie avec le temps.

La composition de l'air sec est reprise dans le tableau suivant :

Composition de l'air sec		
Nom	Formule	Proportion
Diazote	N ₂	78,08 % en vol
Dioxygène	O ₂	20,95 % en vol
Argon	Ar	0,934 % en vol
Dioxyde de carbone	CO ₂	382 ppm en vol
Néon	Ne	18,18 ppm en vol
Hélium	He	5,24 ppm en vol
Monoxyde d'azote	NO	5 ppm en vol
Krypton	Kr	1,14 ppm en vol
Méthane	CH ₄	1,7 ppm en vol
Dihydrogène	H ₂	0,5 ppm en vol
Protoxyde d'azote	N ₂ O	0,5 ppm en vol
Xénon	Xe	0,087 ppm en vol
Dioxyde d'azote	NO ₂	0,02 ppm en vol
Ozone	O ₃	0 à 0,01 ppm en vol
Radon	Rn	6,0×10 ⁻¹⁴ ppm en vol

Tableau n° 14 : Composition de l'air sec.

V.4.2. Matériels:

V.4.2.1. Description de l'échantillonneur de poussières : le collecteur à grand volume (HVS : High Volume Sampler) (Fig. 22)

Le collecteur portable à grand volume de marque Andersen est une unité compacte qui consiste principalement en :

- Un logement protecteur,
- Un moteur électrique,

- Un ventilateur à grand débit (1,1-1,7 m³/min)
- Un support capable de porter un filtre de 20 cm x 25 cm
- Un sélecteur de débit/indicateur de temps de débit

Les particules en suspension totale (PTS) aspirées et entrent à travers l'espace situé entre le couvercle et la structure de soutien du support de filtre.

L'entrée de l'air dans le collecteur est uniforme sur tous ses côtés. La vitesse de l'air nécessaire à un captage efficace des particules en suspension totale (PTS) est comprise entre 20 et 35 cm/s. La forme du toit du collecteur permet à l'air aspiré d'être bien distribué sur la surface d'un filtre en fibre de verre G810 où les PTS sont piégées. L'efficacité de captage des poussières est de plus de 99%. Les filtres en fibre de verre permettent de piéger les particules de moins de 100 µm. Le débit d'aspiration est compris entre 1,1 et 1,7 m³/min. Après l'échantillonnage des poussières, les filtres sont emmenés au laboratoire. Les pesées ne sont effectuées qu'après une période de 24 h permettant aux filtres d'atteindre un équilibre relatif aux conditions de pression et de température dans un dessiccateur. Les pesées sont réalisées grâce à une balance de marque Sartorius (modèle BP61) possédant une précision de 0,1 mg.

L'échantillonneur de PTS est homologué par l'U.S.E.P.A (United States Environmental Protection Agency).

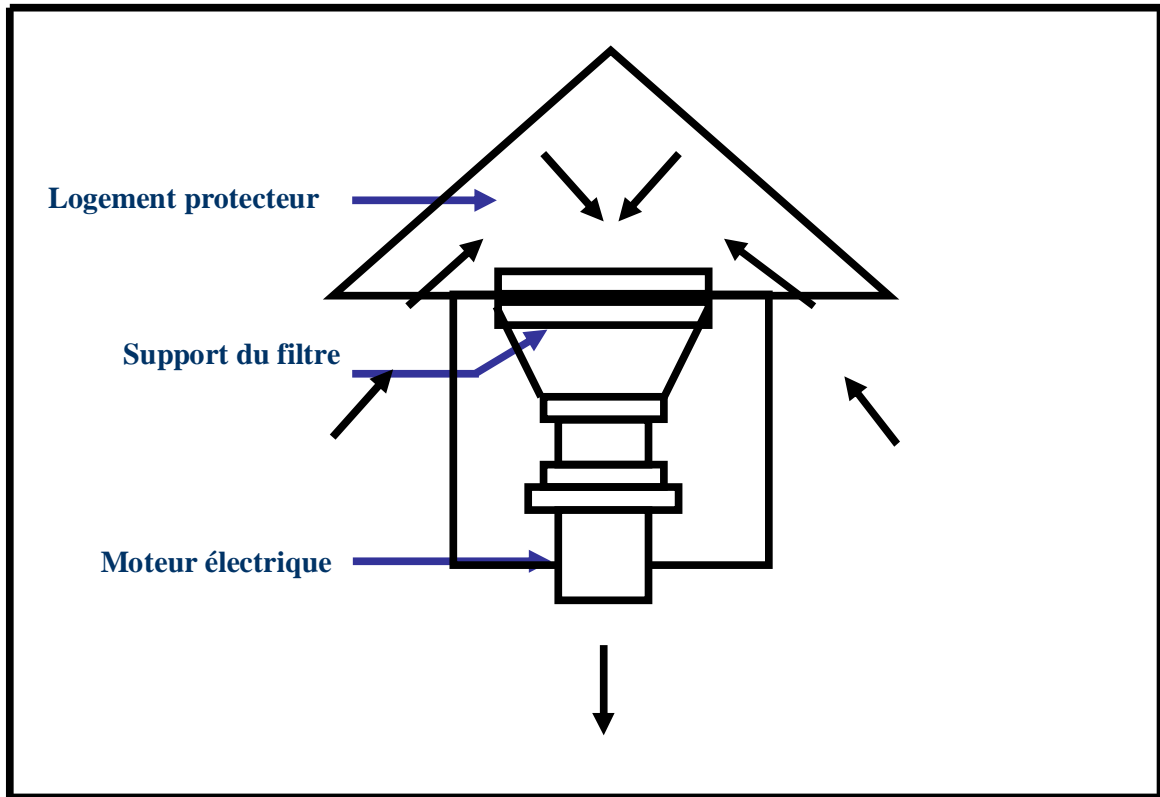


Fig. 22 : Schéma du collecteur à grand débit.

V.4.2.2. Choix des points d'échantillonnage :

Les points d'échantillonnage sont choisis en tenant compte de la sécurité de l'appareil et de façon à être aussi représentatifs que possible du niveau d'exposition des travailleurs et de la population. Le premier site de mesure est en exposition de la population, il se trouve sur le toit de la caserne de la garde communale de Békira, à 2500 m au Sud Ouest de la carrière, le deuxième est un peu loin de la population, il se trouve au niveau du toit du pont bascule au niveau de la sortie de la cimenterie et le troisième site avoisinant le deuxième, il se trouve au niveau du toit d'un atelier de l'entreprise de maintenance de l'Est située à l'Ouest de la cimenterie (Fig. 23).

V.4.2.3. Etalonnage de l'appareil :

L'échantillonneur est étalonné à chaque fois qu'il est déplacé en un point de mesure. Les accessoires d'étalonnage comprennent l'orifice d'étalonnage, cinq disques portant les

numéros 5, 7, 10, 13 et 18 représentant le nombre de trous dans chacun d'eux et un manomètre à eau possédant une gamme de mesure comprise entre 0 et 400 mm Hg. Les pertes de charge à travers l'orifice et à travers le moteur d'aspiration sont mesurées à l'aide du manomètre à eau.

V.4.3. Résultats des prélèvements de poussières en suspension totale :

Les concentrations des particules en suspension totale (PTS) au niveau des sites sus mentionnés (fig. 24), (fig. 25) et (fig. 26), sont consignées au tableau suivant :

Site de prélèvement				
Cimenterie : pont bascule		Date	Société de maintenance de l'Est	Garde communale de Békira
Date	Concentration (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Concentration (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
15-16/8/2006	332,30	1-2/9/2006	226,92	71,37
19-20/8/2006	295,83	4-5/9/2006	178,35	94,35
24-26/8/2006 (week-end)	115,96	7-8/9/2005	143,52	84,06
28-29/8/2006	280,69	10-11/9/2006	364,40	100,29
		13-14/9/2006	131,99	29,45

Tableau n° 15 : Concentrations des PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées au voisinage de la cimenterie et de la carrière.

V.4.4. Interprétation des résultats :

Les résultats des concentrations quotidiennes moyennes des PTS au niveau du premier site de mesure situé au niveau de la caserne de la garde communale Békira et qui est en exposition de la population, ont des valeurs inférieures par rapport à la norme allemande de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{jour}$ et la norme proposée par l'Union européenne, valeur limite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{jour}$ (24 heures).

Les concentrations quotidiennes moyennes des PTS au niveau des autres sites (la cimenterie et la société de maintenance de l'Est) sont peu considérables par rapport à ces normes, ce qu'il explique que la cimenterie est la source d'empoussièrement de l'air.

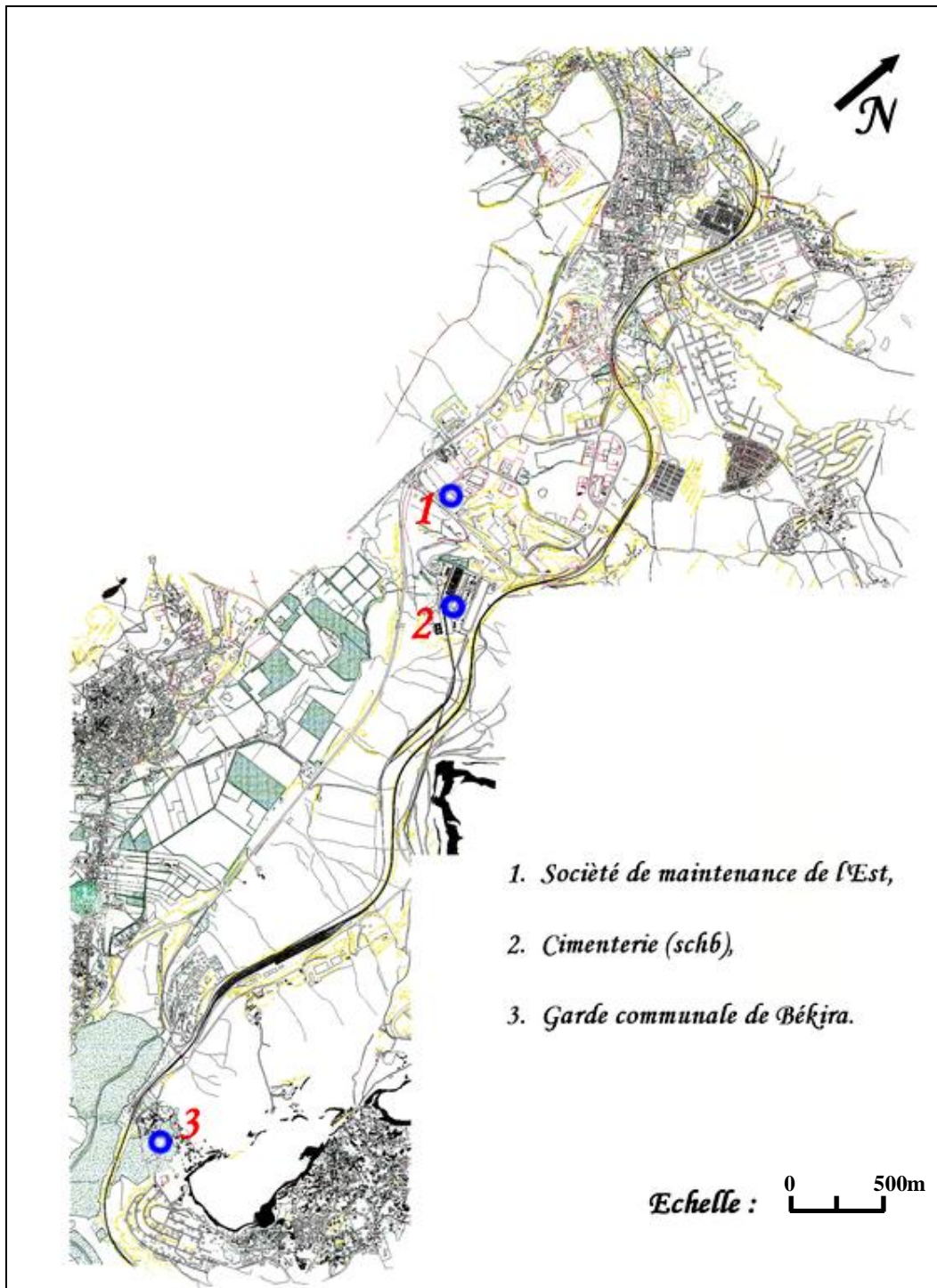


Fig. 23 : Carte indiquant les sites des prélèvements.

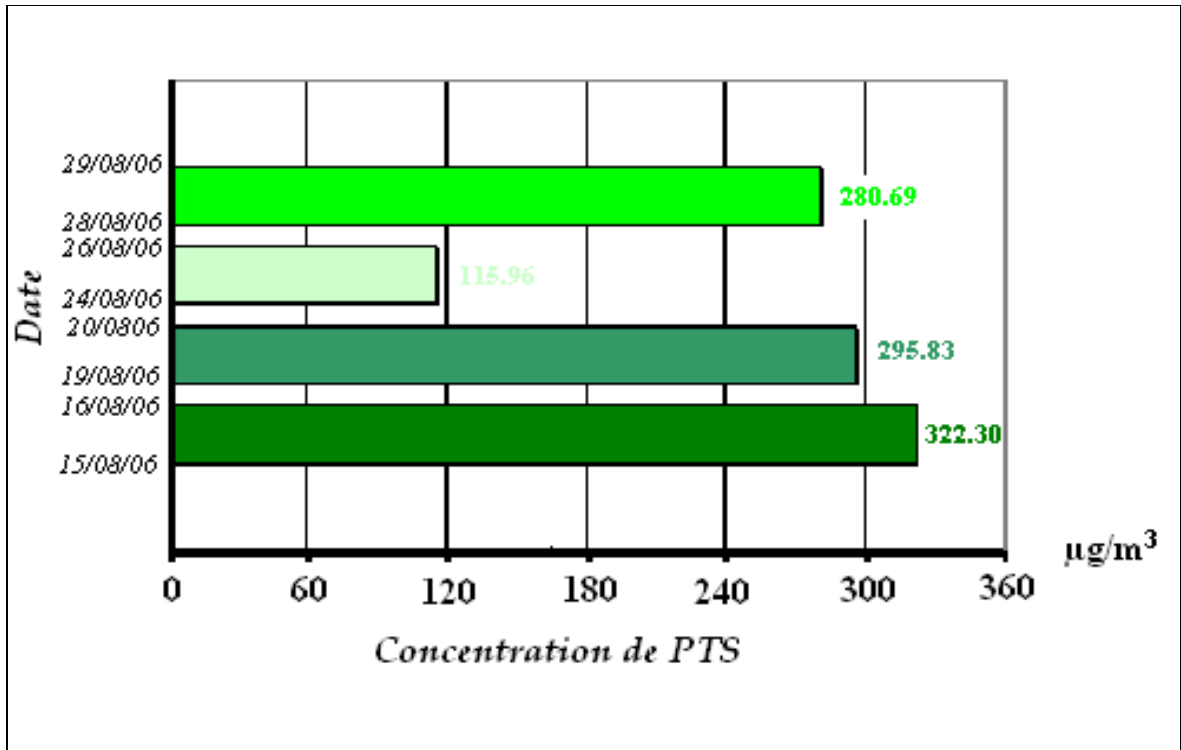


Fig. 24 : Concentrations des PTS (µg/m³) au voisinage de la cimenterie.

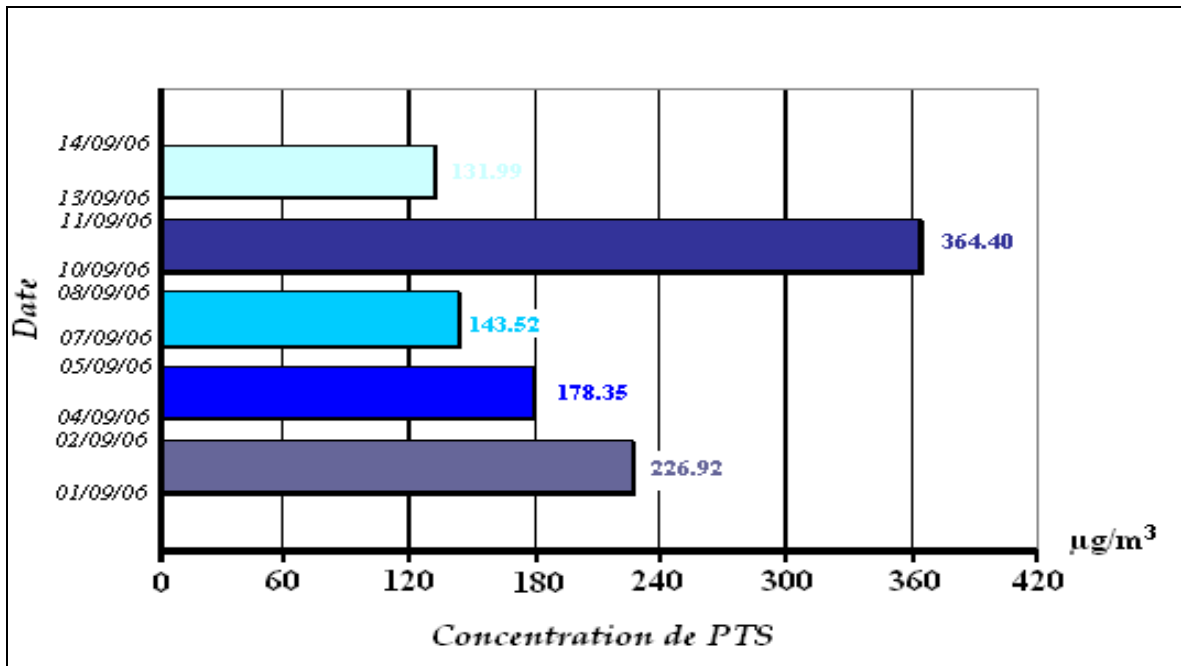


Fig. 25 : Concentrations des PTS (µg/m³) au voisinage de la société de maintenance de l'Est.

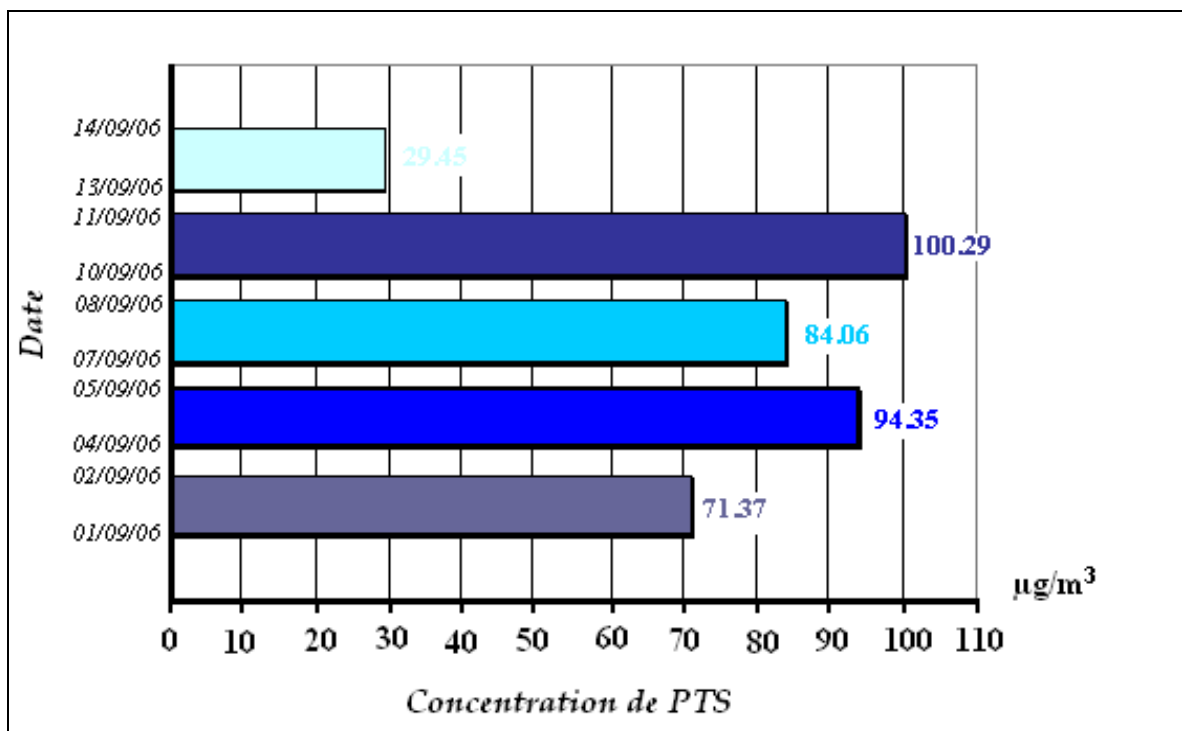


Fig. 26 : Concentrations des PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) au voisinage de la garde communale de Békira.

V.5. Modélisation de la concentration des poussières émises selon leurs sources :

L'objectif de la modélisation est d'estimer les concentrations des poussières émises dans l'air ambiant, pendant les différentes étapes d'exploitation.

Cette modélisation a été faite par le logiciel (DEM converter) qui fonctionne à base des données topographiques numérisées.

C'est un outil de conversion qui permet de convertir les données topographiques numérisées X, Y, et Z en format USGS DEM (United States Geological Survey Digital Elevation Models).

Ces données topographiques numérisées ont été déterminées par la méthode des profils topographiques et ont concerné une zone de 100 km² autour de la zone d'étude principale (carrière).

Des cartes topographiques disponibles auprès de l'Institut National de la Cartographie ont été utilisées à cet effet.

La résolution de la numérisation a été de 100 m. Cela a nécessité l'identification des coordonnées X (longitude), Y (latitude) et Z (altitude) de 10201 points exprimées en mètres. Une telle résolution est suffisante pour les besoins de cette étude.

- un réseau de récepteurs discrets a été défini (10 au total).

V.5.1. Modélisation de la concentration des poussières issues des activités d'extraction des engins (type bulldozer) sur la roche de calcaire :

V.5.1.1. Données d'entrée du logiciel :

Les données d'entrée du logiciel sont les suivantes :

- Le type de site sélectionné est rural.
- L'option de la déposition par voie sèche des poussières du panache a été retenue.
- Le temps moyen de modélisation est : 24 h
- Le terrain sélectionné est de type élevé.
- Les poussières ont un diamètre aérodynamique de 20 µm.
- La densité des particules issues de la roche de calcaire est de 2,5 (déterminée expérimentalement).
- Le facteur d'émission des poussières émises par les activités d'extraction est de 13,4 kg/h. Le facteur d'émission surfacique calculé est de 0,194 g/m².s.
- Les dimensions de la partie de la carrière en exploitation sont : Longueur (L = 90 m), largeur (l = 5 m), hauteur (h = 30 m).

V.5.1.2. Résultats de la modélisation :

Les figures (27 et 28) illustrent les contours de pollution quotidienne moyenne au voisinage de la carrière.

Les résultats de la simulation sont consignés dans le tableau suivant :

Site récepteur	Concentrations quotidiennes moyenne en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ecole primaire	0,97
APC Didouche Mourad	9,76
CEM	3,29
Château d'eau	0,61
APC Hamma Bouziane	1,65
Garde communale Békira	4,56
Cité des enseignants	3,77
Cimenterie Djouad Tahar	0,02
Békira centre-ville	33,89
Carrière	497,83

Tableau n° 16 : Concentrations quotidiennes simulées autour de la carrière des poussières issues des activités d'extraction du calcaire.

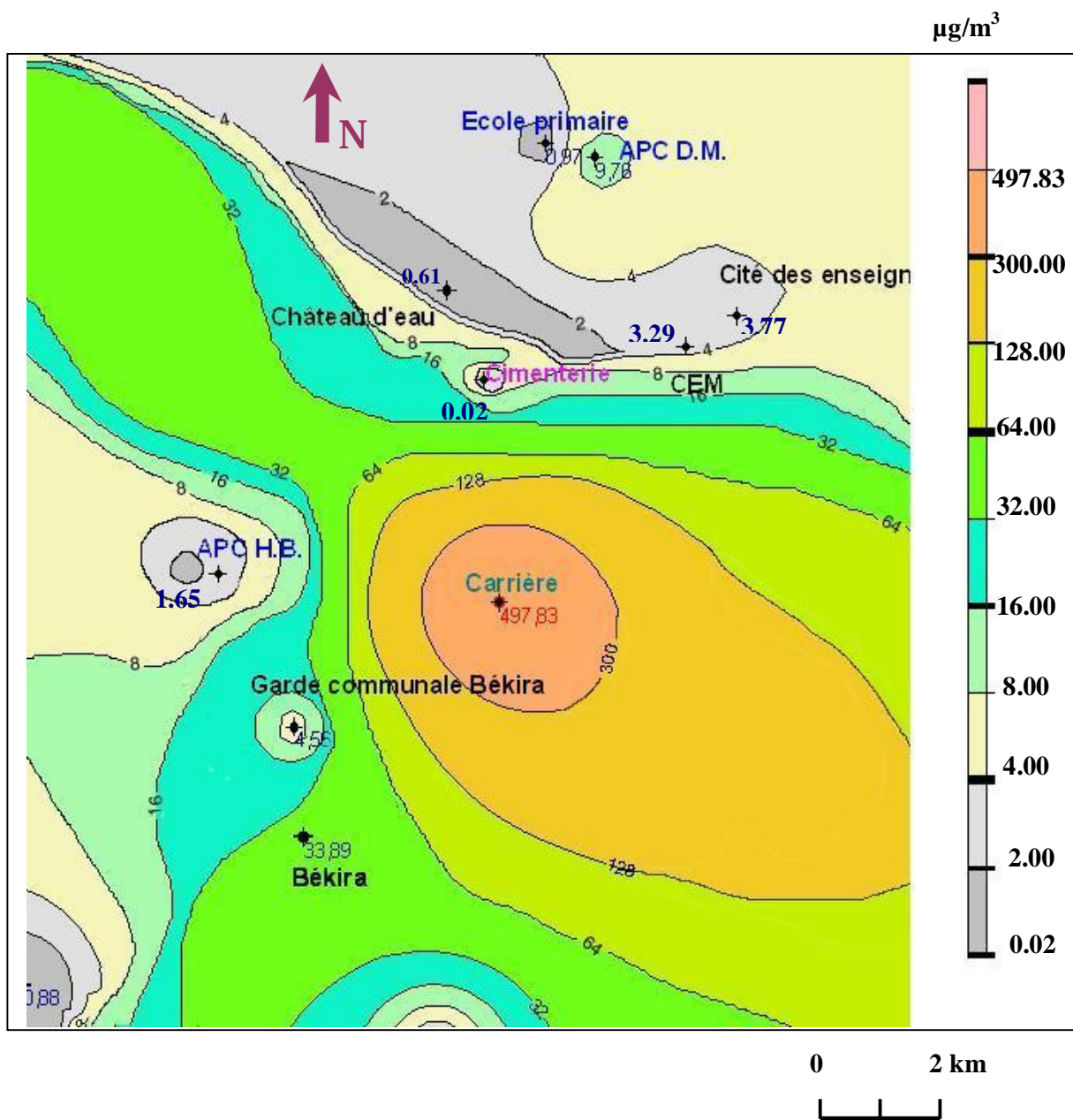


Fig. 27 : Concentrations quotidiennes maximales de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux émissions liées aux activités d'extraction du calcaire durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.

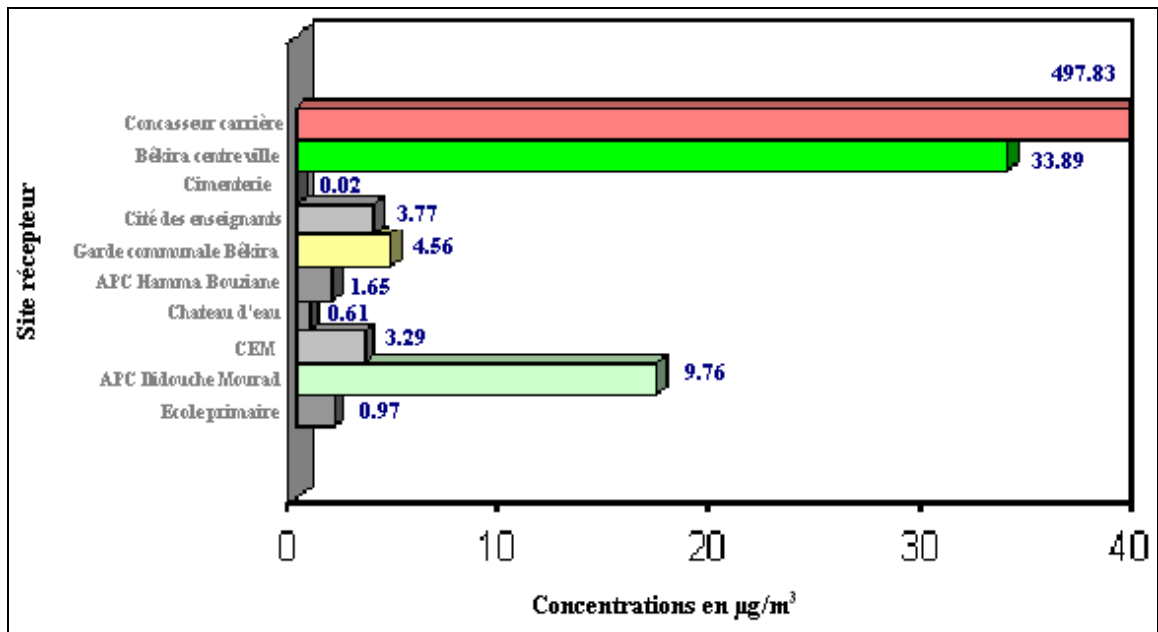


Fig. 28 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) issues des activités d'extraction du calcaire durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.

V.5.1.3. Interprétation des résultats :

L'impact de l'extraction de la roche de calcaire est plus important que celui lié aux autres sources d'émissions de poussières dans la carrière.

A part la carrière ces résultats sont relativement négligeables par rapport aux normes mondiales (valeurs guides en Allemagne) : seuil de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{jour}$ et $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{jour}$ (valeur limite de l'Union Européen) et les valeurs simulées sont loin de refléter les valeurs mesurées (voir tableau).

On peut conclure que l'extraction de matières premières n'exerce aucune influence dans le voisinage de la carrière.

V.5.2. Modélisation de la concentration des poussières issues du conduit du concasseur :

V.5.2.1. Données d'entrée du logiciel :

Les données d'entrée du logiciel sont les suivantes :

- Le type de site sélectionné est rural.
- L'option de la déposition par voie sèche des poussières du panache a été retenue.
- Le temps moyen de modélisation est de 24 h.
- Le terrain sélectionné est de type élevé.
- Le diamètre moyen admis des particules émises est de 20 microns.
- La densité des particules de ciment est de 0,9 (déterminée expérimentalement).
- Les données à l'émission horaires sont calculées en admettant un rendement de captage de 60% des poussières. Le facteur d'émission des poussières par le concasseur de matières premières est de 0,2 kg de poussières/tonne de matières premières. Un taux de production moyen de 25,6 tonnes de matières concassées par une heure a été retenu.
- La température de sortie des gaz est de 25°C .
- Le débit des gaz est de $50\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (vitesse de sortie actuelle = $17,7 \text{ m}/\text{sec}$).
- Le diamètre interne de la cheminée est de 1 m.

Un réseau de récepteurs discrets a été défini (10 au total).

V.5.2.2. Résultats de la simulation :

Les figures (29 et 30) illustrent les contours de pollution quotidienne moyenne issue de conduit du concasseur.

Les résultats de la simulation sont consignés dans le tableau suivant.

Site récepteur	Concentrations quotidiennes moyennes (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ecole primaire	0,08
APC Didouche Mourad	0,44
CEM	0,00
Château d'eau	1,66
APC Hamma Bouziane	0,34
Garde communale Békira	0,27
Cité des enseignants	0,34
Cimenterie	2,90
Békira centre-ville	0,20
Concasseur carrière	0,10

Tableau n° 17 : Concentrations quotidiennes moyennes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ simulées autour de la carrière.

V.5.2.3. Interprétation des résultats :

Il apparaît clairement que les concentrations quotidiennes sont insignifiantes par rapport à la norme quotidienne allemande de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.jour et celle de l'Union Européen de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.jour.

La contribution de la carrière aux niveaux des concentrations observées au niveau de la garde communale de Békira (voir tableau) est tout à fait insignifiante.

On peut conclure que le concassage de matières premières n'exerce aucune influence dans le voisinage de la carrière.

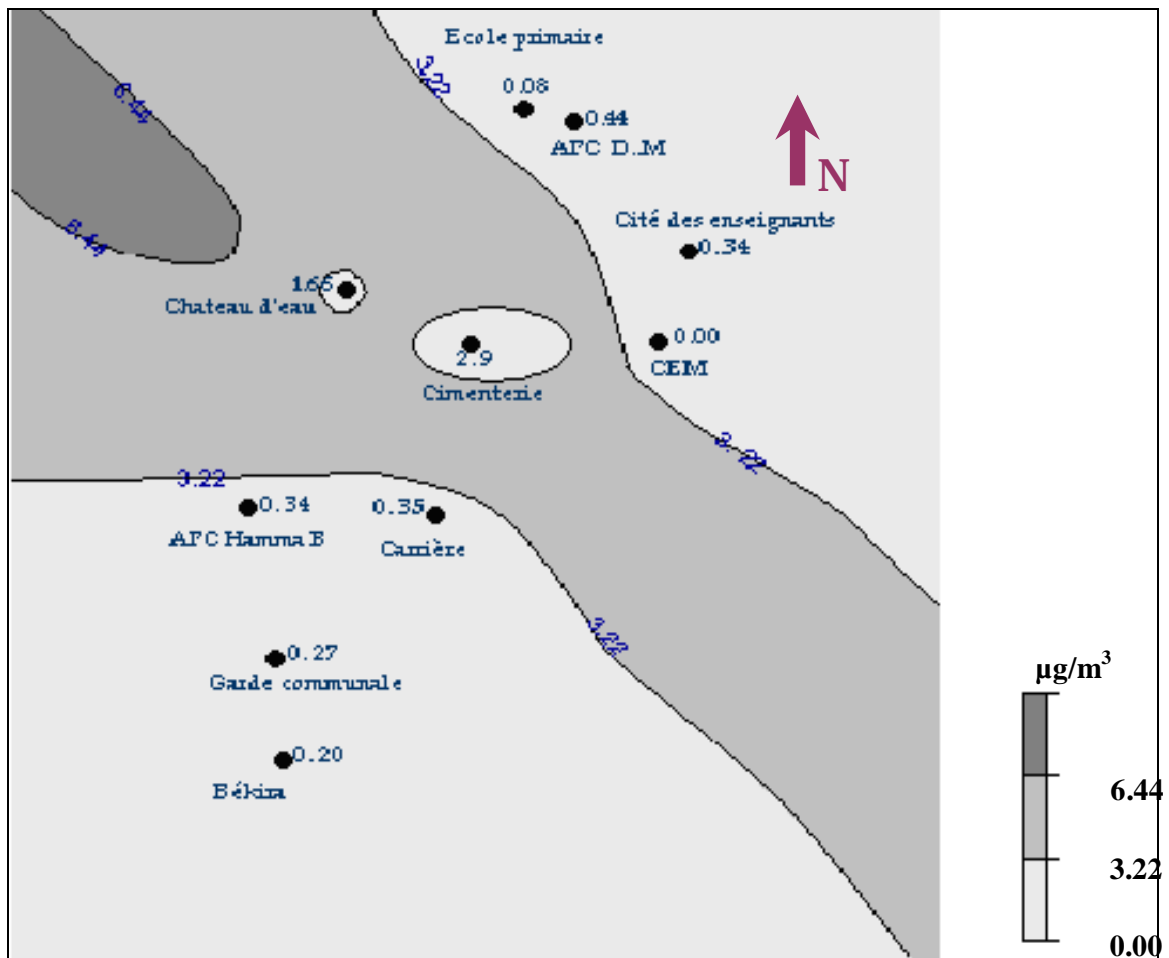


Fig. 29 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux rejets du conduit du filtre à manches du concasseur durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.

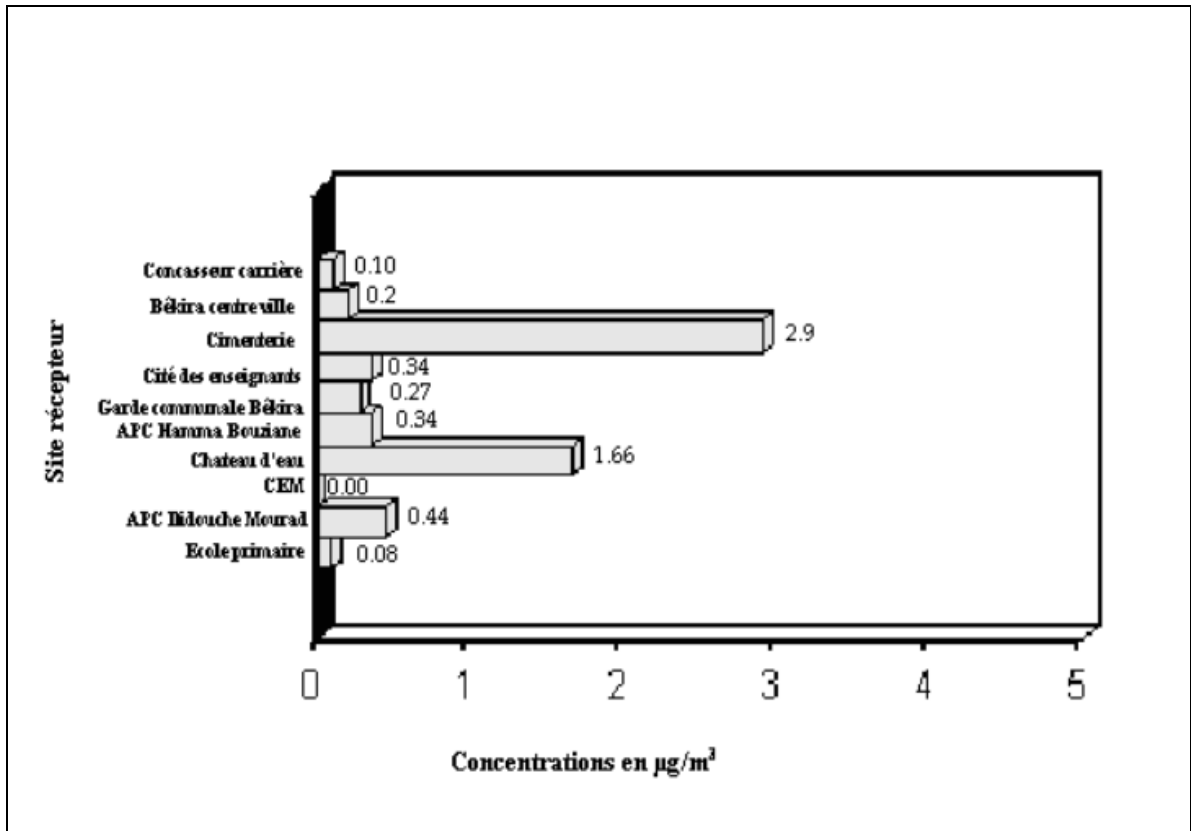


Fig. 30 : Concentrations quotidiennes moyennes de PTS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liées aux rejets du conduit du filtre à manches du concasseur durant la période allant du 01/9/2006 au 16/9/2006.

VI. Prévention de la pollution par les poussières (les solutions envisagées) :

La répercussion sur l'écosystème par les poussières émises dans les différentes opérations de l'exploitation de la carrière sont seulement temporaires mais peuvent avoir un impact sur un temps plus long que la durée de l'exploitation.

Il est difficile d'éliminer ce genre de nuisance pendant la durée de l'extraction mais il peut être contrôlé et faire diminuer son impact.

La pollution par les poussières générées par l'exploitation de la carrière de Djebel Salah est peu importante à l'échelle régionale (par rapport aux normes mondiales), par contre son incidence à l'échelle locale (au niveau de la carrière) est considérable.

D'après les résultats obtenus, les sources d'empoussièrement les plus importantes sont celles liées aux (par ordre d'importance) :

- Emissions liées au trafic,
- Au concassage de la matière première,
- A l'extraction de la matière première,
- Aux tirs de mine.

VI.1. Tentative de limitation des émissions liées au trafic induit :

Les émissions liées au trafic induit (circulation et manipulation des engins sur les pistes ainsi que le transport de la matière première) dans la carrière qui ont été calculées à l'aide de facteur d'émission, sont les plus importantes par rapport aux autres sources d'empoussièrement.

Pour réduire, limiter l'envol des poussières et obtenir des seuils de pollution non dommageable, il est prévenu de :

- Avoir des courtes distances (des raccourcis) entre la carrière et la zone de stockage de la matière première, pour l'utilisation des bandes transporteuses,
- Dans le cas des longues distances ou l'utilisation des engins transport est nécessaire, le chargement par la matière première ne doit pas dépasser le niveau supérieur de la ridelle d'engins, ainsi que le bâchage de cette matière est prévu surtout aux périodes sèches,
- Traitement des pistes principales par enrobé, dalles en béton, treillis métallique, et avoir revêtir les pistes secondaires et les voies d'accès à la carrière, par couches de granulats. Il faut noter que ces investissements conduisent à une économie de carburant, de pneus, et à un meilleur rendement,

- Nettoyage et arrosage régulier des voies de transport non revêtues, des plates formes de travail et des surfaces exposées aux agents météoriques (amas de déblais),
- Le stockage de la matière première dans des hangars ou des espaces clos,
- Aménagement d'une station de lavage des véhicules et autres moyens de transport,
- Plantation d'une couverture végétale à croissance rapide sur les surfaces exposées ; tel que les morts terrains et les contours de la carrière.

VI.2. Tentative de limitation des émissions liées au concassage de la matière première :

D'après les résultats de l'estimation qui a été faite à l'aide de facteur d'émission, le concassage des matières premières présente par ordre d'importance, la deuxième source d'empoussièrement de l'air dans la carrière, même si le concasseur est équipé par un filtre à manche d'un taux d'épuration de 60%.

Pour la réduction et la limitation de ces émissions, il est nécessaire de faire :

- Augmentation de rendement du filtre à manche par le bon entretien et le nettoyage régulier, et de préférence le changer par un autre ayant un taux d'épuration de 100%.
- Faire capoter les différents appareils, notamment les installations de concassage, de broyage et les bandes transporteuses,
- Eviter de surcharger le concasseur par la matière première,
- Séchage de la matière première (argiles) avant le concassage pour éviter le bourrage et le dysfonctionnement du concasseur.

VI.3. Tentative de limitation des émissions liées à l'extraction de la matière première et aux tirs de mine :

Si l'extraction se fait par ripage sur la matière argileuse et par arrachement des blocs de calcaires crevassés suite à l'opération de tir de mine, les émissions locales des poussières sont importantes.

Il est difficile d'éliminer ces émissions, mais elles peuvent être contrôlées et limitées par la prise des mesures ponctuelles telles que :

- L'arrosage des terrils, des blocs hors gabarits et des plates formes de travail,
- Le nettoyage de matériels et des engins utilisés,
- Réduction des poussières ambiantes par la pulvérisation d'eau avec ou sans additifs anti-poussière.

Dans le cas où l'extraction des roches calcaires se fait par abattage à l'explosif, la limitation des émissions de poussières est définie par :

- Foration des trous de mine par l'utilisation marteaux perforateurs équipés de l'eau (transformation des poussières en boue), ou équipés d'aspirateurs (récolte des poussières),
- Pulvérisation d'eau avec ou sans additifs anti-poussière, pour empêcher les particules volantes (particules en suspension totale),
- Arrosage des surfaces préparées (fronts de taille) par l'eau avant le tir,
- Réduction des quantités d'explosif par optimisation de la maille de foration et du bourrage,

VI.4. Réaménagement de la carrière, la phase après-carrière :

La meilleure façon de dissimuler l'impact et les cicatrices engendrées sur le paysage par les travaux d'extraction, c'est la remise en état de lieu puis le réaménagement et la création d'un bon aspect paysagère.

La remise en état est l'ensemble des travaux destinés à effacer, ou limiter, les traces de l'exploitation et à favoriser la réinsertion des terrains dans le site, ou plus généralement, dans le milieu environnant.

Le terme réaménagement est défini comme l'opération qui vient compléter la remise en état des lieux et qui suppose la mise en place d'un processus complémentaire à la remise en état.

Les principales possibilités d'aménagement des carrières après son exploitation sont les suivantes :

- Réaménagement et mise en valeur agricole, forestière et industrielle,
- Réaménagement en espaces naturels (paysagère),
- Réaménagement en espace de détente et de loisirs,
- Réaménagement en décharge contrôlée et équipements divers.

VI.4.1. Remise en état de la carrière de Djebel Salah :

La remise en état par remblayage assure la mise en sécurité des gradins finis ainsi que la stabilité des fronts de taille et la création d'un bon aspect paysagère.

Une opération de remblaiement par matériaux inertes, a été planifiée pour le compartiment (CIV) de la carrière de Djebel Salah, après la cessation des travaux d'exploitation.

Il est préférable que cette opération soit réalisée au fur et à mesure de la progression de l'exploitation de la carrière et lorsque les fronts de travail atteignent leur position définitive.

Après le nettoyage de l'ensemble des terrains et la mise à niveau des plates formes de travail, le remblayage se fera par des matériaux inertes qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante et donc ne produisent aucune réaction de nature à nuire l'environnement.

Ces matériaux peuvent être extraits du site (terre arable de sous-sol et de morts terrains) ou des matériaux d'origine extérieure tel que ; les produits de terrassements et les matériaux de démolition triés.

Le remblayage s'effectue à partir des carreaux ou par le haut des fronts de taille, par couches successives de remblais de 3 mètres d'épaisseur au maximum, compactées par roulage d'engins en laissant une pente des talus entre 40° à 45° et la protection des pieds des talus par enrochement.

La rectification et le talutage des fronts de taille pendant le remblayage, en pente de 50° à 60°.

La diminution des hauteurs des fronts de taille par la création des gradins intermédiaires et des merlons de protection.

Le contrôle d'écoulement des eaux par l'aménagement d'un réseau de drainage selon les lignes d'écoulement des eaux. Ce réseau doit acheminer les eaux de ruissellement hors la zone des remblaiements.

L'exploitant doit procéder un contrôle et suivi technique de tout les étapes de remblaiement, contrôle des apports extérieurs (leur provenance, leur destination, leurs quantités et leurs caractéristiques).

La création d'un soutien naturel après l'opération de remblaiement, par boisement d'espèces végétales locales pour la stabilisation des fronts de taille et des gradins intermédiaires.

VI.4.2. Réaménagement de la carrière :

D'après la nature rurale du site d'emplacement de la carrière, il est possible de le réaménager et de le mettre en valeur agricole.

Ce type de réaménagement est le mieux adapté pour cette carrière en raison de ;

- il est moins coûteux,
- l'importance de son intérêt économique,

- il est facile à maîtriser.

Il nécessite un remblaiement complémentaire des matériaux inertes par une couche de terre végétale (sols fertiles) d'une épaisseur de 50 cm au minimum, qui sera nivelée et répartie sur toute la surface remblayée afin de favoriser la plantation (exploitation agricole).

Conclusion générale :

Le secteur d'étude est fait partie de la plate forme néritique constantinoise appartenant au domaine septentrional de l'avant pays. Il est composé de deux (02) grands ensembles :

- Le massif carbonaté du Djebel Salah limité par des falaises et recouvert à ça partie Sud par des argiles rouges sableuses,*
- La plaine du Hamma, comblée par des matériaux détritiques.*

Le Djebel Salah est limité au Nord et à l'Ouest par un grabben, il est découpé en quatre (04) grands compartiments (CI, CII, CIII, CIV) par un réseau de failles.

Le Djebel Salah forme un gisement constitué par l'ensemble de deux substances utiles ; des calcaires d'âge Turonien et des argiles rouges d'âge Miocène.

Pour une raison industrielle, ce gisement est fait l'objet d'une exploitation à ciel ouvert de ces matières.

La méthode d'exploitation diffère selon le type de substance exploitée, l'extraction des calcaires se fait par la méthode de l'abattage à l'explosif et celle des argiles se fait par ripage par engins excavateurs.

Les argiles brunes de Hamma forment un autre gisement autonome, elles sont exploitées à ciel ouvert par la méthode de ripage mais de façon sélective en raison de la présence d'une décharge publique au niveau du plancher de la carrière et de la présence des couches gypseuses gênantes.

Les méthodes d'exploitation de ces carrières, ont un impact direct et indirect sur l'environnement avoisinant.

Les nuisances occasionnées lors des opérations d'extraction sont dues aux polluants atmosphériques, aux vibrations et aux bruits.

Les poussières sont les rejets les plus importants dans la carrière, le degré d'importance d'émission diffère selon la nature de la source d'émissions.

Les mesures des concentrations des particules en suspension totale (poussières volantes) au niveau de la carrière et ces périmètres, ont montré que les sources les plus importantes sont celles liées au émissions liées au trafic, à l'extraction de la matière première par des engins, au concassage de la matière première, et aux tirs de mine.

Les résultats obtenus de ces mesures, ont montré que les concentrations quotidiennes en (PTS) au niveau da la carrière sont importantes et dépassent les valeurs limites des normes internationales, mais au contraire ces concentrations au voisinage de

la carrière, sont négligeables par rapport à ces normes. Ce qui explique que l'impact par ces polluants (PTS) est local.

La pollution par les poussières dans la ville de Hamma Bouziane et celle du Didouche Mourad, ne sont pas liées aux rejets de la carrière, mais elles sont liées aux rejets de la cimenterie et aux poussières d'origine anthropique.

La limitation et le contrôle des émissions de poussières se fait par la prise de certaines mesures, tel que le bon entretien de matériels et l'arrosage par l'eau, selon le type de la source d'émissions.

La remise en état par remblaiement des deux carrières est nécessaire, après la cessation des travaux d'extraction, pour les réintégrer dans le paysage et faire disparaître les déformations engendrées sur le site.

Bibliographie :

1. Belala. A. et Debbih. W., (2003) : Pollution particulaire et métallique aéroportée dans la ville de Didouche Mourad. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine.
2. Bouhrour N. et Bouhbila. D., (1998) : Contribution à l'étude géologique et minière des gisements de Djebel Salah. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine.
3. Bouillin. Jean pierre, (1977) : Géologie alpine de la petite kabyle dans les régions de Collo et d'El-Milia. Thèse de magistère, Paris VI.
4. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées -226- Mai - Juin 2000 – REF. 4324 - : Réaménagement des carrières et maîtrise des risques environnementaux de l'industrie des granulats. Deux occasions de créer de nouvelles richesses.
5. Chibka. N (1980) : Exploitation des gisements métallifères.
6. Collection Microsoft ® Encarta ® 2005 : Les carrières à ciel ouvert.
7. Dellaa. Y, 2003 : Utilisation des végétaux dans l'approche écotoxicologique dans la pollution atmosphérique de Constantine. Thèse de magistère. Université de constantine.
8. Durand. Delga. M., 1969 : Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berberie. Pub. Serv. Carte géologique de l'Algérie. NS. Bull n°9. PP 89-131. Alger.
9. Durozoy. G, (1960) : Etude géologique de la région de chateaudun du Rhumel. Pub. du serv de la carte géologique de l'Algérie. Nouvelle série. Bull n° 22.
10. Ferfar. A., 2003 : Etude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie Hamma Bouziane. Mémoire Ingénieur. Université de Constantine.
11. L. Callier, P. Charbonnier, 2000 : Rapport B.R.G.M/ RP-5011-FR : Remblaiement des gravières, carrières et plans d'eaux. Doc. Pdf.
12. Pré-rapport de SOCOTEC (1975) : Etude géotechnique du site de Hamma Bouziane.
13. R. Chartier, M. Lansart, 2004 : Rapport B.R.G.M/ RP- 53246-FR : Document d'orientation sur les risques sanitaires liés aux carrières ; Réflexions sur les composantes sources de dangers et transferts dans les études d'impact. Doc. Pdf.
14. Rapport cabinet d'expertise E.H.S, (2006) : Rapport sur l'audit environnemental et l'étude de danger de la carrière de la cimenterie de Hamma Bouziane.
15. Rapport de (S.C.H.B), 2004 : plan annuel d'exploitation de carrière de calcaire de Djebel Salah et de carrière d'argile brune de Hamma Bouziane.
16. Rapport de Creusot-Loire Entreprise (C.L.E), 1974 : Cimenterie de Constantine : Etude géologique des gisements de Djebel Salah.

17. U. S. Environmental Agency. Office of Air Quality Planning and Standards. 2007: Emission factor uncertainty assessment. Doc. Pdf.
18. Vila. J. M. (1980) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins Algéro-Tunisiens. Thèse Sc. Paris VI.
19. Wagner. G.R., 1998 : Exposition des travailleurs aux poussières minérales: dépistage et surveillance. Rapport OMS-WHO.
20. Wildi. W (1983) : La chaîne tellorifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Revue géol. Dyn. Géogr. Phys ; vol 24.
21. www.centrdire.gouv.fr : Après l'exploitation.
22. [www. Wikipédia. Com.](http://www.Wikipédia.Com)