

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECOLE DOCTORALE INGENIERIE ET ENVIRONNEMENT

Option : Mines et Environnement

Intitulé

*Impact des activités minières sur l'environnement en
Algérie: Plan d'action de remise en état des lieux*

Présenté par:

M^r CHENINI Nadir

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

Soutenu le 12 Mai 2010 devant le Jury:

	Nom	Prénom	Etablissement
Président	BALI	Abderrahim	Professeur à l'ENP.
Rapporteur	OMRACI	Kamel	Maître de conférences à l'ENP.
Examineurs	SEBAI	Amar	Maître de conférences à l'ENP.
	LOUNICI	Hakim	Professeur à UMMTO.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères que je possède au monde :

A mon père qui, par ses conseils judicieux, ses encouragements et sa tendresse m'a mené sur le chemin de la réussite. Qu'il trouve dans ce travail, une bien mince récompense ainsi que le témoignage de ma gratitude éternelle, pour tout ce qu'il a fait pour moi.

A ma mère qui, par sa douceur et son amour sans limite, a su m'inculquer le sens du devoir, de la persévérance et des responsabilités. Qu'elle trouve dans ce modeste ouvrage ma reconnaissance et mes vifs remerciements, pour sa compréhension, sa patience et sa confiance en moi. A ma très chère épouse et ma fille « Mariam Malak » que Dieu les garde.

A mes frères et mes sœurs, pour leur soutien moral et leurs tendresses.

A toutes les familles CHENINI et DEHANE et particulièrement mon grand père et ma grand mère.

A tous mes collègues de travail et d'études et tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Mes louanges à ALLAH le tout puissant qui m'a aidé et qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au sein du département de Génie Minier de L'École Nationale Polytechnique (ENP).

Je tiens tout d'abord à remercier Mr OMRACI Kamel, Maître de conférences à l'ENP, pour m'avoir suivi et dirigé tout le long de ce travail et pour l'ensemble des connaissances qu'il m'a transmis.

A Mr BALI Abderrahim et a mes examinateurs Messieurs SEBAI Amar (Maître de conférences à l'ENP) et LOUNICI Hakim (Professeur à l'Université mouloud Maâmeri de TIZI-OUZOU) et je leurs dis que c'est un honneur pour moi de vous avoir comme jury de ma soutenance.

Je voudrais également remercier Messieurs Chabou Moulley Charaf et Chanane Larouci, Saada Abdelhafid du département de génie minier de l'ENP pour leur aide.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire, dont je suis honoré de dire qu'il est le fruit de multiples soutiens apportés par toutes les équipes du département Génie Minier.

LISTE DES FIGURES :

Fig.2.1	La pollution par les métaux dans l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne).....	18
Fig.2.2	Le déversement de DMA dans un fleuve adjacent (l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne)).....	18
Fig.2.3	Schéma du processus de formation du DMA sur un site minier donné, pour un parc à résidus ou une halde de stériles (qui constituent les deux sources les plus importantes)	19
Fig.2.4	Le transfert de la contamination pour métaux lourds dans le milieu aquatique (BRGM, 2004)	20
Fig.2.5	Précipitation d'hydroxydes de fer dans un affluent du Missouri recevant des DMA d'une mine de charbon (rivière se jetant dans le Mississippi (USA))	21
Fig.2.6	Phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane française (MIRAMOND N & al, 2006)	21
Fig.2.7	Destruction d'une zone de la forêt amazonienne	25
Fig.2.8	Une mine de fer à ciel ouvert dans la Sierra dos Carajas, au Para, Brésil	25
Fig.2.9	Emission de poussière par foration, poussière des trous de mines	31
Fig.2.10	Emission de poussière lors du chargement des camions	31
Fig.2.11	Emission de poussières dans la station de concassage	31
Fig.2.12	Emission de poussière par circulation de camions	31
Fig.2.13	Emission de poussière par les stocks (action du vent)	31
Fig.2.14	Emanation de poussière lors d'un tir de mines. Photo prise à environ 600 m de distance	31
Fig.2.15	La cimenterie de Rais Hamidou et son voisinage (habitat)	34
Fig.2.16	Carrière d'agrégat de l'ECAVA (Bab l'oued, Alger)	34
Fig.3.1	Carte des Potentialités Minières en Algérie (ORGGM, 2001).....	41
Fig.3.2	Titres miniers ; par destination valides au 31/12/2008 (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).....	42
Fig.3.3	Titres miniers ; par destination valides au 31/12/2008 (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).....	43
Fig.3.4	Impact environnemental dans la région de Ain-Azel (mine de Zinc).....	45

Fig.3.5	Cartes de situation des niveaux d'eau (D'après ENOF 2006).....	46
Fig.3.6	Situation des ouvrages (Forages & Piézomètres, d'après ENOF 2006).....	47
Fig.3.7	Carte piézométrique et présence des failles du terrain (d'après ENOF 2006).....	47
Fig.3.8	Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (d'après ENOF 2006).....	48
Fig.3.9	Arbre pulmonaire (Claude GARDIA).....	50
Fig.3.10	Représentation graphique de la quantification des poussières selon l'éloignement (Khelifa R & al., 2005).....	57
Fig.3.11	Influence de la pollution sur la longueur des épis de blé près d'une Cimenterie (Khelifa R & al., 2005)	59
Fig.4.1	Abattage des poussières par pulvérisation d'eau (AZREUG .M ,2009).....	65
Fig.4.2	Humidification des poussières par pulvérisation d'eau (d'après RAMENVIRONNEMENT ,2009).....	65
Fig.4.3	Installation à l'abri des vents dominants (AZREUG .M ,2009).....	66
Fig.4.4	Capotage des convoyeurs (AZREUG .M ,2009)	66
Fig.4.5	les bassins de décantation composée.....	68
Fig.4.6	Schéma de collecte des eaux de pluie d'un stock stérile.....	68
Fig.4.7	la forme d'une excavation dans une carrière à ciel ouvert en Algérie.....	72
Fig.4.8	schéma du merlon paysager planté.....	72
Fig.4.9	Banquette en préparation avec merlon aval et tranchée amont.....	73
Fig.4.10	Préparation d'un site de stockage sur un sol imperméable.....	74
Fig.4.11	Optimisation des intervalles de temps entre lignes et trous par SMH.....	76
Fig.4.12	Schéma d'un profil de sol reconstitué.....	78
Fig.4.13	Réaménagement d'un site d'Uranium abandonné site du puy de l'Age (Haute-Vienne en France).....	80
Fig.4.14	Exemples de remodelage des fronts de taille.....	82
Fig.4.15	Stabilisation des banquettes, remblayage et apport de terre végétale.....	82
Fig.4.16	Aménagement des carrières en roche massive.....	83
Fig.4.17	Réaménagement de qualité d'un front de taille (Photo Cemagref Delory I)....	84

Fig.4.18 Schéma d'un réaménagement forestier à l'avancée (VANPEENE BRUHIER .P & al., 2003).....	85
Fig.4.19 : Photo aérienne de la carrière de l'ECAVA (Alger)	86
Fig.4.20: Hauteurs des gradins en fin d'exploitation du site Nord (gradins en liquidation).	89
Fig.4.21: Schéma type de l'enlèvement des volumes	90
Fig.4.22: Enlèvement des volumes pour diminuer l'impact paysager	90
Fig.4.23: schéma type de plantation des arbres et enrochement	91
Fig.4.24 : Image reconstituée du site Nord après réaménagement	92
Fig.4.25: Aspect du site Nord après le réaménagement proposé	92
Fig.4.26 : Les étapes du plan d'action envisagé pour la réhabilitation du site	93
Fig.4.27: Décapage de la couche végétale et la couche stérile sur le site Sud	94
Fig.4.28 : Vue de site avant et après le réaménagement proposé	95

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 2.1	Principaux effets sur la santé humaine des métaux observés dans le drainage minier	22
Tableau 2.2	Tableau représentant les zones de sécurités entre le site de tir et les habitats ou les routes les plus proches	30
Tableau 2.3	Les valeurs limitent des paramètres de rejets atmosphériques en Algérie (Sommet mondial pour le développement durable à Johannesburg, 2002)...	33
Tableau 3.1	Tableau des substances minérales et leur nombre de sites (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).....	39
Tableau 3.2	Tableau de la superficie des sites miniers en Algérie (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).....	42
Tableau 3.3	Principales normes de l'atmosphère d'une mine souterraine.....	51
Tableau 3.4	Prélèvement des poussières déposées dans les bacs.....	56
Tableau 3.5	Composition chimique des poussières.	57
Tableau 3.6	Analyse chimique des différents échantillons de sols.....	58
Tableau 3.7	Résultats de mesures des longueurs des épis en fonction de l'éloignement,.	59
Tableau 4.1	Différents minéraux et leur pouvoir tampon (Haque, 1992).	71

ملخص:

هذا العمل، بالأساس مرجعي يهدف إلى دراسة تأثير المناجم على البيئة في الجزائر، من خلال الأمثلة التي نشرت في المجلات العلمية، مثل حالة مصنع الاسمنت في باتنة و منجم الزنك تحت الأرض بخرزة يوسف (سطيف).
توجهنا لدراسة تأثير محاجر الحصى ومصانع الاسمنت لأنها الأكثر انتشارا في الوقت الراهن بالجزائر. الرخص المنجمية الممنوحة لاستغلال الحصى ومواد البناء تقدر بنحو 92.8 ٪ مقارنة بالرخص المنجمية الممنوحة في عام 2008، مما يدل على أهمية النشاط المنجمي، هذا النشاط يصاحب عادة باستغلال التربة و إحداث تغيير جذري في المنظر و خلل في النظام الإيكولوجي. هذا التغيير والاضطراب يظهر في الهواء والتربة والمياه وكذا الحيوانات والنباتات سيتأثرون وبالتالي سوف تتأثر كائنات البشرية. خطة عمل لإعادة تأهيل المواقع بعد الاستغلال أصبحت ضرورة لمسير الصناعات.
من خلال هذه المذكرة تم مناقشة تلوث الجو عن طريق الغبار، صرف المياه الحمضية المنجمية التي تلوث المياه الجوفية، والقضاء على المناظر الطبيعية للغابات عن طريق وضع منشآت منجمية .

كلمات مفاتيح : أثر، التلوث، البيئة والصرف الحمضي، المحاجر الحصى، خطة العمل، النظام الإيكولوجي، وإعادة التهيئة

Résumé :

Ce travail, essentiellement bibliographique a pour but d'étudier l'impact des activités minières sur l'environnement en Algérie à travers des exemples publiés dans des journaux scientifiques comme le cas de la cimenterie de Batna et la mine souterraine de zinc de Kherzet Youcef (W. Sétif).

Nous avons volontairement orienté l'étude de l'impact des carrières de granulats et les cimenteries car elles sont les plus dominantes à l'heure actuelle en Algérie. Les titres miniers octroyés pour l'exploitation des granulats et matériaux de construction sont estimés à 92,8 % par rapport aux titres miniers octroyés en 2008, démontrant ainsi l'activité minière la plus importante. Cette activité accompagne généralement une occupation du sol et d'une modification radicale du paysage et d'un dérèglement de l'écosystème. Cette modification et ce dérèglement vont s'observer dans l'air, le sol et l'eau. La faune et la flore vont également subir ce dérèglement. Par voie de conséquence, l'être humain en sera affecté. Un plan d'action pour la remise en état des lieux après exploitation est devenu une nécessité pour les acteurs industriels.

La pollution atmosphérique par les poussières, le drainage minier acide et la pollution des nappes souterraines, l'éradication des paysages forestiers par l'installation des chantiers d'extraction minière sont quelques exemples traités dans ce mémoire.

Mots clés : impact, pollution, environnement, drainage acide, carrière de granulats, plan d'action, écosystème, réaménagement.

Abstract

This work, mainly literature aims to study the impact of mining on the environment in Algeria through examples published in scientific journals like the case of the cement company of Batna and the underground mine zinc Kherzet Youcef (W. Setif).

We have voluntarily guided the study of the impact of aggregates quarries and cement plants because they are more dominant at present in Algeria. The mining rights granted for the use of aggregates and building materials are estimated at 92.8% compared to mining titles granted in 2008, showing the most important mining activity. This activity usually accompanies a land and a radical change of scenery and a disruption of the ecosystem. This change and disruption will occur in air, soil and water. The wildlife will also suffer about this disorder. Consequently, human beings will be affected. An action plan for rehabilitation of sites after exploitation has become a necessity for industry actors.

Air pollution by dust, acid mine drainage and pollution of groundwater, the eradication of forest landscape by installing the mining sites are some examples discussed in this memory.

Key words: impact, pollution, environment, acid drainage, aggregates quarry, action plan, ecosystem, rehabilitation.

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
<u>CHAPITRE I : Politique environnementale relative aux activités industrielles</u>	
I. HISTORIQUE	4
II. ANALYSE DU CADRE REGLEMENTAIRE	5
II.1. Sur le plan international	5
II.1.1.La Charte mondiale de la nature	5
II.1 .2.La Convention d'Espoo	9
II.2. Au plan national	9
III. CONCLUSION	15
<u>CHAPITRE II : Impact des activités minières sur l'Environnement</u>	
I. INTRODUCTION	17
II. LES DIFFERENTS IMPACTS DES MINES (OU CARRIERES) SUR L'ENVIRONNEMENT	17
II.1- Impact sur les eaux	17
II.2 - L'impact sur les sols	23
II.3 - L'impact sur la faune, la flore	23
II.3.1- Les milieux agricoles	23
II.3.2- Les milieux forestiers	24
II.4 - L'impact sur le paysage	26
II.5- L'impact par les bruits	27
II.6- Impact par les vibrations	27
II. 7- L'impact par les poussières	30
III. CONCLUSION	36
<u>CHAPITRE III : L'activité minière en Algérie et son incidence sur l'environnement</u>	
I. INTRODUCTION	38
II. L'ACTIVITE MINIERE DE 2008 EN CHIFFRES	39
III. QUELQUES EXEMPLES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES ACTIVITES MINIERES EN ALGERIE	43
III.1- L'impact environnemental suite à l'exploitation du gisement de Chaabet El Hamra.....	44
III.1.1- L'exhaure	45
III.1.2- Les poussières	49

III.1.2.1- La silicose	49
III.1.2.2- La surdité de perception	51
III.2- L'impact des cimenteries sur l'environnement : Le cas de la cimenterie de Ain- Touta (BATNA)	52
III.2.1- La pollution des sols	52
III.2.1.1- types de polluants rejetés dans l'atmosphère	53
III.2.1.2- Aérosol atmosphérique	54
III.2.1.3- La quantification des poussières	55
III.2.1.4- L'effet de l'éloignement de la carrière	56
III.2.1.5- L'effet de la direction des vents	57
III.2.1.6- L'analyse des poussières	57
III.2.2- Impact des poussières sur le sol	58
III.2.3- Impact des poussières sur la végétation	58
III.2.3.1- Discussion	59
IV. CONCLUSION	60

CHAPITRE IV : Plan d'action lors d'une exploitation et remise en état des lieux

I. INTRODUCTION	62
II. NUISANCES ET ACTIONS PREVENTIVES	62
II.1- Le bruit	62
II. 1.1- Le bruit lié à l'extraction des matériaux.....	62
II.1.3- Le bruit lié aux installations de traitement	63
II.1.4 - Le bruit lié à la circulation des engins de transport	63
II.2- Les poussières	63
II.2.1- Les poussières liées à l'extraction	64
II.2.2- Les poussières dans les ateliers de traitement	64
II.2.3- Les poussières dues au transport des matériaux	65
II. 3- Pollutions des eaux	66
II.3.1- Les pollutions physiques ou mécaniques	67
II.3.2- Les pollutions chimiques	68
II.4- Aspect paysager	71
III. ACTION CONTRE D'AUTRES NUISANCES	74
III.1- Les ébranlements du sol	74
III.2- La dégradation des voiries	76
III.3- Les rejets des huiles usagées	76

VI- REMISE EN ETAT DES SITES ET REAMENAGEMENT	77
VI.1- Buts du réaménagement	79
VI.2- Principaux aménagements	81
VI.3- Aménagement des carrières en roche massive	81
V. ETUDE D'UN CAS (carrière de l'ECAVA)	85
V.1- Reconnaissance du site	85
a- <i>Situation géographique</i>	85
b- <i>Topographie</i>	86
c- <i>Hydrogéologie, hydrologie</i>	87
d- <i>Aspect paysager</i>	87
V.2- REMISE EN ETAT DES LIEUX	87
a- <i>Procédure de réaménagement</i>	87
b- <i>Plan d'action</i>	93
IV- CONCLUSION	96
CONCLUSION GENERALE	97
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	100
ANNEXE	103

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'activité minière joue un rôle essentiel dans le développement futur, et en particulier pour l'amélioration et le maintien des niveaux de vie dans le monde entier. L'explosion de la demande sur le ciment dans les pays en plein développement comme l'Algérie, les projets de infrastructure telle que les logements, l'autoroute Est-Ouest et les barrages d'eau,...etc, nécessitent des quantités importantes en matériaux de construction (4,14 millions de m³ en 2001 et 41,6 millions de m³ en 2008). Pour satisfaire ces besoins, les titres miniers octroyés pour l'exploitation des granulats et matériaux de construction sont estimés à 92,8 % par rapport aux titres miniers octroyés en 2008 et démontrent l'activité minière la plus importante.

C'est pour cela, nous avons volontairement orienté le travail sur l'impact des carrières de granulats sur l'environnement vu que celles ci sont les plus importantes en Algérie. Cette activité accompagne généralement une occupation du sol (la superficie des sites miniers en Algérie 909 143 ha en 2008), qui cause une modification radicale du paysage et un dérèglement de l'écosystème. Lorsqu'elles sont mal gérées, les activités minières peuvent aussi avoir des effets notables au-delà du site, par le fait notamment du déversement d'un drainage contaminé par des sédiments, des produits chimiques et des métaux, ou à l'acidité modifiée. Le défi majeur des sociétés minières consiste donc à délimiter, extraire et traiter les ressources minérales, tout en causant le moins de bouleversement possible à notre écosystème.

En Algérie un important arsenal juridique a été mis en place pour assurer la prise en charge des questions environnementales dans la perspective d'un développement durable. Une Loi relative aux activités minières n°01-10 du 03 juillet 2001 met l'accent sur la protection de l'environnement ; les dispositions de la loi stipulent dans son article 150 que : « l'étude doit, outre l'appréciation des effets de l'activité minière sur l'environnement, inclure tous les aspects relatifs à la protection de l'environnement en général et notamment :

- Les conditions techniques de travail qui garantissent la stabilité et l'équilibre du milieu ambiant ;
- Les mesures d'atténuation de l'impact de l'activité minière sur l'environnement ;
- Les mesures retenues pour la remise en état graduelle des lieux pendant toute la durée de l'activité minière. »

La question environnementale en Algérie est insuffisamment prise en charge. A cet effet, il faut et il faudra encore de la volonté et du temps pour que les risques santé et environnement soient connus et maîtrisés.

INTRODUCTION GENERALE

Ce travail, essentiellement bibliographique a pour but d'étudier l'impact des activités minières sur l'environnement en Algérie (cas des carrières de granulats, cimenteries et la mine souterraine de Chaabet El-Hamra (Ain Azel, W. Sétif)). Nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres.

Chapitre I : Politique environnementale relative aux activités industrielles, une présentation générale des quelques protocoles et conventions qui concernent l'environnement.

Chapitre II : Impact des activités minières sur l'environnement, une synthèse des impacts des activités minières sur l'environnement en donnant quelques exemples étrangers et algériens.

Chapitre III : L'activité minière en Algérie et son incidence sur l'environnement, où l'on relève quelques impacts sur l'environnement des industries minières en Algérie.

Chapitre IV : Plan d'action lors d'une exploitation et remise en état des lieux, où l'on met l'accent sur le respect des règles de l'art minier dans la conduite de l'exploitation pour limiter les dégâts sur l'environnement lors et après l'exploitation minière.

Ce travail, s'achève par une conclusion générale dans laquelle nous synthétisons les principales idées développées dans ce mémoire.

Chapitre I

Politique environnementale relative aux activités industrielles

I. HISTORIQUE :

L'exploitation minière comporte toujours des perturbations de l'environnement, soit à la surface avec les mines à ciel ouvert ou souterraine, avec les mines profondes, et dans la plupart des cas, les minéraux recherchés ne représente qu'une petite partie du matériel qui doit être déplacé, avec le résultat que de vastes quantités de déchets doivent être gérés. Depuis de nombreuses années et dans la plupart des régions du monde, l'exploitation minière a été menée avec peu d'égard pour la protection de l'environnement ou pour la santé et la sécurité des mineurs ou de la culture et le bien-être des communautés locales. Toutefois, l'image des entreprises d'exploitation minière avec peu d'égard pour la nature ne sont plus exacts [5].

Face à l'ampleur inquiétante de certaines catastrophes écologiques, les Etats durent prévoir les conséquences de leurs actes et mirent leurs efforts et leurs connaissances en commun.

L'Etude d'Impact sur l'Environnement née en Amérique du Nord dans les années 1970, a été introduite progressivement dans les législations des pays développés et émergents. Instituée comme procédure nationale en premier lieu, elle a été intégrée peu à peu aux rapports entre les Etats.

L'application de l'Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) a commencé timidement sur le plan international en raison des réticences de certains pays. Il est vrai que, pour être efficace et prévenir les phénomènes divers résultant d'activités de l'homme, la procédure d'EIE requiert un investissement considérable, tant sur le plan des ressources financières que des ressources humaines.

Il est important d'avoir un accès efficace à cet instrument, car, s'il est utilisé systématiquement et rigoureusement, on constate qu'il empêche réellement que des activités de l'homme dégradent le milieu de leur implantation. Il est indispensable de prendre en considération cette procédure, afin d'éviter des détériorations irréversibles sur l'environnement que les générations futures auraient à subir.

C'est ainsi qu'en 1969, une loi sur la politique de l'environnement a été promulguée NEPA (National Environmental Policy Act). Par cet acte, s'inscrit la volonté d'intégrer systématiquement l'étude d'impact en matière d'environnement avant toute prise de décision.

Parallèlement, à partir de 1970, de nombreuses institutions politiques se mirent en place dans le monde entier, reflétant souvent le modèle américain. Dans l'enthousiasme général, les

Etats développèrent nombre d'expériences pilotes, sentant la nécessité croissante de fixer et de généraliser la procédure d'étude d'impact.

Progressivement, la perspective purement nationale ne suffit plus à assurer une approche systématique de l'étude d'impact. Avec le développement des relations internationales, il parut indispensable d'introduire également ce concept dans les instruments internationaux. Cela va se concrétiser en 1972, dans la Déclaration de Stockholm, puis dans la Convention de Rio et son plan d'action, et va être repris dans les lignes directrices du Programme des Nations Unies pour l'environnement, et dans les instruments à caractère plus " philosophique ", comme la Charte mondiale de la Nature.

II. ANALYSE DU CADRE REGLEMENTAIRE :

II.1- Sur le plan international [18]:

II.1.1 - La Charte mondiale de la nature :

La Charte mondiale de la Nature, approuvée par l'Assemblée Générale des Nations Unies en 1982, a une valeur juridique importante au sein du droit international coutumier. Cherchant davantage à susciter plutôt qu'à inciter, elle a soulevé moins de méfiance de la part des Etats, jaloux de leur souveraineté.

Cet acte préconise une analyse précise sur des activités qui auraient des conséquences potentiellement dommageables sur la nature. De plus, elle invite les Etats à ne pas sous-estimer ou minimiser les effets susceptibles de nuire à l'environnement sur la base de ces analyses.

Le Principe 11 de la Charte, consacre l'étude d'impact sur l'environnement de façon graduelle : les activités envisagées sont celles dont les effets sont susceptibles de causer des dommages irréversibles à l'environnement, puis viennent les activités qui comportent un degré élevé de risque pour la nature. Dans ce cas, il s'agit de procéder à une balance des bénéfices pour les promoteurs d'une part, des conséquences pour l'environnement d'autre part. La décision est prise selon que les intérêts de l'un l'emportent sur ceux de l'autre. Enfin, les activités dont l'impact est moins important doivent également faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement.

Quant au Principe 16, il fait référence à la volonté de cibler de façon stratégique les mesures de protection de la nature et d'établir des études sur les conséquences nuisibles à la

nature. Ce Principe, en rapport avec le Principe 21 a, prévoit la participation effective du public, permettant un échange d'information et de consultation en vue de la modification ou de l'amélioration d'un projet.

II.1 .2 - La Convention d'Espoo (ci-après, Convention) s'applique à l'ensemble du territoire de chaque Etat contractant (également aux eaux territoriales, l'air, aux zones souterraines). Elle s'applique également aux zones sur lesquelles l'Etat exerce une souveraineté exclusive particulière.

La Convention d'Espoo est entrée en vigueur le 10 septembre 1997. Il s'agit cependant de savoir si la Convention peut être appliquée avant son entrée en force, ce que la Finlande, par exemple, a fait. En général, on peut considérer que, même si un plan d'une activité a été élaboré avant l'entrée en vigueur de la Convention et qu'il n'a pas fait lui-même l'objet d'une EIE, l'activité projetée rentre potentiellement dans le champ de la Convention (à condition de figurer dans les Appendices).

La Convention parle d'un impact transfrontière préjudiciable important sur l'environnement que certaines activités pourraient avoir. Par "activité", on entend une activité qui doit faire l'objet d'une décision d'une autorité compétente, conformément à la procédure nationale établie dans le pays. Cela signifie que les administrations nationales compétentes en matière d'environnement vont définir les activités qui doivent faire l'objet d'une décision et donc qui rentrent dans le champ d'application de la Convention. Cependant, les Etats ne sont pas totalement libres d'adopter un système national d'autorisation des activités, puisqu'ils doivent prendre en compte au moins les activités prévues à l'Appendice I. Le terme "activité" s'applique aussi aux politiques, plans et programmes.

L'impact est défini très largement, sans préciser quels types d'effets l'activité doit engendrer. Il n'y a donc pas de catégories limitées d'effets, et les dégradations de l'environnement dues au bruit, par exemple, pourraient être comprises également dans ces effets.

Le concept de l'environnement couvre de nombreux domaines : il comprend notamment des atteintes à la santé, la sécurité, la faune et la flore, etc. L'interaction entre ces derniers facteurs, les monuments historiques ou autres constructions sont aussi pris en compte. Le patrimoine culturel et les conditions socio-économiques sont inclus, mais indirectement ; ils

ne sont pris en considération que dans la mesure où ils résultent de la modification des facteurs principaux.

Un certain nombre de protocoles et de conventions ont vu le jour et dont les plus importants sont :

- ✓ Le Protocole de Montréal (Canada, 1987) est un accord international visant à réduire et à terme éliminer complètement les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En 2009, 191 pays sont signataires du Protocole de Montréal. Ce protocole impose la suppression de l'utilisation des CFC (chlorofluorocarbure) sauf pour des utilisations qualifiées de critiques ou essentielles, de halons, bromure de méthyle et autres substances appauvrissant la couche d'ozone (hydrochlorofluorocarbure (HCFC), tétrachlorométhane, bromochlorométhane, hydrobromofluorocarbure, méthylchloroforme). En 2009, les CFC sont définitivement supprimés, à l'exception de quantités très minimes et indispensables (utilisation en médecine).
- ✓ Les directives de Londres (version modifiée, 1989) applicables à l'échange de renseignements sur les produits chimiques qui font l'objet du commerce international. La Directive requiert des États membres, d'intégrer dans le processus de prise de décision, une procédure d'évaluation des impacts de certains projets publics et privés sur l'environnement. Cependant, elle ne prétend pas imposer une décision finale sur l'activité à réaliser à l'issue de la procédure d'EIE. Elle tend seulement à garantir qu'une telle procédure sera menée, et que le public sera informé à temps.
- ✓ La convention de Bâle (Suisse, 1989) relative au contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, Il s'agissait plus particulièrement d'éviter le transfert de déchets dangereux des pays développés vers les Pays en développement (PED). La convention a aussi pour but de réduire au minimum la quantité et la toxicité des déchets produits, et d'aider les PED à gérer de façon raisonnable les déchets, nocifs ou pas, qu'ils produisent.
- ✓ La Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (Rio de Janeiro, 1992). Cette convention est la première tentative, dans le cadre de

l'Organisation des Nations Unies (ONU), pour tenter de mieux cerner ce qu'est le changement climatique et comment y remédier.

Elle reconnaît trois grands principes :

- le principe de précaution ;
- le principe des responsabilités communes mais différenciées ;
- le principe du droit au développement.

✓ La Convention sur la diversité biologique (CDB) est un traité international adopté lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, avec trois buts principaux :

1. la conservation de la diversité biologique (ou biodiversité) ;
2. l'utilisation durable de ses éléments ; et
3. le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques.

Autrement dit, son objectif est de développer des stratégies nationales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Il est considéré comme le document clé concernant le développement durable.

- ✓ Le protocole de Kyōto (Japon, 1997) est un traité international visant à la réduction des gaz à effet de serre, dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques dont les pays participants se rencontrent annuellement depuis 1995. Signé le 11 décembre 1997 lors de la 3^{ème} conférence annuelle de la Convention (COP 3) à Kyōto, il est entré en vigueur le 16 février 2005 et a été ratifié à ce jour par 183 pays, à l'exception notable des États-Unis.
- ✓ Le Protocole d'Aarhus (Danemark, 1998), entré en vigueur en Octobre 2003, son objectif est de contrôler, de réduire ou d'éliminer les rejets, les émissions et les pertes, de polluants organiques persistants dans l'environnement.
- ✓ La Convention de Stockholm (2001) est un traité mondial dont l'objectif est de protéger la santé humaine et l'environnement contre les Polluants Organiques Persistants (Pop's).

- ✓ Le Protocole de Göteborg (Suède, 2005), qui fixe de nouvelles limitations d'émission pour plusieurs polluants atmosphériques en Europe, aux Etats-Unis et au Canada. Les obligations du protocole devraient être réalisées grâce à une application conséquente de la législation actuelle sur la protection de l'air. La mise en œuvre de l'accord en Europe aura des effets positifs en Suisse. Les réductions des émissions transfrontières de soufre, d'oxydes d'azote, des composés organiques volatils, d'ammoniac, à réaliser d'ici 2010, diminueront l'ozone estival et la pollution due aux poussières fines.
- ✓ La conférence de Copenhague (Danemark) a été la 15^{ème} « Conférence des parties » (COP 15) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Elle s'est tenue à Copenhague, du 7 au 18 décembre 2009. 192 pays ayant ratifié la Convention, de renégocier un accord international sur le climat remplaçant le protocole de Kyoto, initié lors de la COP 3 en 1997 et dont la première étape prend fin en 2012. la COP 15 a abouti au « premier accord réellement mondial » (selon le secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies) visant à limiter et réduire les émissions de gaz à effet de serre pour ne pas dépasser une augmentation moyenne de 2 °C en 2100 par rapport à l'ère pré-industrielle.

II.2- Sur le plan national :

Sur le plan réglementaire, un important arsenal juridique a été mis en place afin de permettre à l'Algérie de se mettre en conformité avec les engagements internationaux auxquels l'Algérie a souscrit afin d'assurer la prise en charge des questions environnementales dans la perspective d'un développement durable.

Ainsi, les grands principes de droit environnemental en Algérie sont consacrés dans trois textes de loi :

La Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement et au développement durable, consacre les principes généraux d'une gestion écologique rationnelle :

- Le principe de préservation de la diversité biologique, selon lequel toute action doit éviter d'avoir un effet préjudiciable notable sur la diversité biologique.

- Le principe de non dégradation des ressources naturelles, selon lequel il est interdit de porter atteinte aux ressources naturelles telles que l'eau, l'air, les sols et sous sols qui, en tout état de cause, font partie intégrante du processus de développement et ne doivent pas être prises en considération isolément pour la réalisation d'un développement durable.
- Le principe de substitution, selon lequel si, à une action susceptible d'avoir un impact préjudiciable à l'environnement, peut être substituée une autre action qui présente un risque ou un danger environnemental bien moindre, cette dernière action est choisie même, si elle entraîne des coûts plus élevés, dès lors que ces coûts sont proportionnés aux valeurs environnementales à protéger.
- Le principe d'intégration, selon lequel les prescriptions en matière de protection de l'environnement et de développement durable, doivent être intégrées dans l'élaboration et la mise en œuvre des plans et programmes sectoriels.
- Le principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles, à un coût économiquement acceptable, et qui impose à toute personne dont les activités sont susceptibles d'avoir un préjudice important sur l'environnement, de prendre en considération les intérêts d'autrui, avant d'agir.
- Le principe de précaution, selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves à l'environnement à un coût économiquement acceptable.
- Le principe de pollueur payeur, selon lequel toute personne dont les activités causent ou sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement, assume les frais de toutes les mesures de prévention de la pollution, de réduction de la pollution ou de remise en état des lieux et de leur environnement.
- Le principe d'information et de participation, selon lequel toute personne a le droit d'être informée de l'état de l'environnement et de participer aux procédures préalables à la prise de décisions susceptibles d'avoir des effets préjudiciables à l'environnement.

Cette loi consacre d'une manière significative un élément nouveau, qui est celui de la participation effective du citoyen à l'amélioration du cadre de vie, à travers l'information obligatoire et la possibilité de saisir la justice pour toute dégradation relative à l'environnement.

A travers la formule du pollueur payeur, elle fait obligation également aux entreprises industrielles de prendre en charge le volet environnemental, par le biais de l'auto contrôle et de l'auto surveillance.

La stratégie gouvernementale pour la protection de l'environnement est basée sur six axes:

1. Renforcement du cadre juridique et institutionnel ;
2. Réduction des pollutions et nuisances ;
3. Préservation de la diversité biologique et des espaces naturels ;
4. Formation, information et sensibilisation ;
5. Renforcement de l'organisation et des moyens de fonctionnement ;
6. Dynamisation de la coopération internationale.

La Loi n°01-10 du 03 juillet 2001 relative aux activités minières met l'accent sur la protection de l'environnement ; les dispositions de la loi stipulent dans son article 150 que : l'étude d'impact doit, outre l'appréciation des effets de l'activité minière sur l'environnement, inclure tous les aspects relatifs à la protection de l'environnement en général et notamment :

- Les conditions techniques de travail qui garantissent la stabilité et l'équilibre du milieu ambiant ;
- Les mesures d'atténuation de l'impact de l'activité minière sur l'environnement ;
- Les mesures retenues pour la remise en état graduelle des lieux pendant toute la durée de l'activité minière.

L'article 24 de la Loi minière donne les définitions suivantes :

- **Audit environnemental** : Démarche tendant à la connaissance de la situation d'une entreprise, d'un site ou de leur exploitation au regard de l'environnement pour :
 - Mesurer et analyser les impacts que peuvent avoir les activités d'exploitation (mines artisanales, moyenne ou industrielle, carrières et sablières) sur un ou des aspects du milieu ;
 - Apprécier la conformité par rapport aux prescriptions de la Loi, de la réglementation et des engagements contractuels ;
 - Prescrire des mesures de gestion ou de remise en état selon la phase en cours au site d'exploitation audité.
- **Étude d'impact environnemental** : l'analyse des effets de l'exploitation de tout gîte minier sur les composantes de l'environnement, y compris sur les ressources en eau, la qualité de l'air et l'atmosphère, le sol et le sous-sol, la nature, faune et flore, ainsi que sur les établissements humains à proximité du gîte minier du fait des émissions de bruits, poussières, odeurs et vibrations et leurs effets sur la santé publique des populations avoisinantes.

L'étude d'impact sur l'environnement comporte un plan de gestion de l'environnement et est préparée selon une procédure établie par les lois et règlements en vigueur, au moment du début des travaux d'exploration et/ou exploitation.
- **Plan de gestion environnementale** : un document défini à l'issue de l'étude d'impact sur l'environnement et en faisant partie, qui comporte les engagements du titulaire du titre minier en matière de protection de l'environnement sur l'ensemble de l'assiette foncière du gîte minier. Ces obligations concernent toutes les actions que le titulaire du titre minier mettra en œuvre pour prévenir, réduire, supprimer ou compenser les effets néfastes de ses activités minières sur l'environnement et sur la santé des populations riveraines du gîte minier.
- **Règles de l'art minier** : sont les conditions techniques et méthodes d'exploitation pour mieux valoriser le potentiel du gisement, ainsi que pour optimiser la productivité et les conditions de sécurité, tant industrielle que publique, et de protection de l'environnement.

L'Article 45, Il est institué une Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier, autorité administrative autonome, chargée, en sus des missions citées à l'article 40 :

- de mettre en place le service géologique national ;
- de la surveillance administrative et technique des exploitations minières souterraines ou à ciel ouvert et chantiers de recherche minière ;
- du contrôle du respect de l'art minier, dans un souci de récupération optimale des ressources minérales et des règles d'hygiène et de sécurité tant publique qu'industrielle ;
- du contrôle des activités minières de manière à préserver l'environnement, conformément aux dispositions et normes prévues par la législation et la réglementation en vigueur ;
- de l'organisation et du contrôle de la réhabilitation des sites miniers, ainsi que du suivi de la remise en l'état des lieux au niveau des gisements miniers après exploitation ;
- du contrôle de la gestion et de l'utilisation des substances explosives et des artifices de mise à feu ;
- d'émettre les documents de perception relatifs à la redevance d'extraction prévue à l'article 159 de la présente loi ;
- du contrôle du versement de la provision pour remise en état des lieux, prévue à l'article 176 de la présente loi, dans un compte spécial ouvert auprès du Trésor au nom de l'entreprise ;
- du suivi et publication des statistiques concernant les activités minières y compris celles relatives aux accidents de travail et maladies professionnelles dans le secteur des mines ;
- de l'agrément des experts en mine et géologie ;
- de l'exercice de la police des mines avec le pouvoir de constatation des infractions.

L'Article 59 de la loi minière stipule que : nul ne peut abandonner un puits, une galerie, une tranchée, un siège d'extraction, sans avoir été préalablement autorisé par l'ANGCM (Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier).

Avant l'abandon ou la cessation d'activité, le titulaire de l'autorisation est tenu d'exécuter immédiatement les travaux prescrits par l'ANGCM, en vue, notamment, de la

remise en état des lieux, de la conservation du gisement, de la protection des nappes d'eau et de la préservation de la sécurité publique.

L'Article 61 stipule que : Pendant la durée des travaux d'exploitation et de recherche, les titulaires de titres miniers ou autorisations adressent chaque année à l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier, un rapport relatif à leur activité, ainsi que les incidences sur l'occupation des sols et les caractéristiques du milieu environnant.

Conformément à cette loi (article 176), il est exigé à l'entreprise une provision financière pour remise en état des lieux fixée à 0.5 % du chiffre d'affaire annuel (hors taxes).

Dans cette loi minière notamment par ses articles : 24 – 44 – 59 – 61 – 66 – 149 à 153 – 176 – 180 , l'exploitation des carrières est soumise à une réglementation nationale exigeante qui prend en compte l'objectif économique et l'impératif environnemental.

Sur le plan économique, différents instruments viennent compléter les actions réglementaires et institutionnelles tels que :

- La Taxe forfaitaire affectée qui représente une taxe sur les activités polluantes ou dangereuses ;
- Les Taxes exercées pour les industries minières :
 - L'impôt sur les bénéfices miniers (IBM), dont le taux est de 33% ;
 - 30 % au profit du budget de l'Etat ;
 - 3 % au profit des collectivités locales.
 - Le droit d'établissement d'acte perçu à l'occasion de l'établissement, de la modification et du renouvellement des titres et autorisations miniers ;
 - La taxe superficielle est perçue sur la base d'un barème fixé dans la loi minière ;
 - La redevance d'extraction qui est perçue sur la base du barème fixé dans la loi minière, dont :
 - Un abattement de 30% de la redevance d'extraction est accordé aux titulaires de permis d'exploitation de petite ou moyenne exploitation minière ;
 - Un abattement de 50 % de la redevance d'extraction est accordé aux titulaires de permis d'exploitation minière artisanale.

- Les Taxes écologiques d'orientation spécifique définies par :
- La Taxe d'incitation au " déstockage" des déchets industriels ;
 - La Taxe d'incitation au déstockage des déchets liés aux activités de soins ;
 - La Taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle ;
 - La Taxe relative aux activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement (TAPD) ;
 - Le fond pour l'environnement et la dépollution (FEDEP) qui a pour principale mission l'incitation à la reconversion des installations existantes obsolètes et polluantes vers des technologies de production plus propres et l'encouragement des projets d'investissement intégrant des processus qui tiennent compte de la protection de l'environnement.

III. CONCLUSION :

L'arsenal juridique établi pour la protection de l'environnement, en rapport avec l'activité industrielle qui se traduit par les multiples conventions, montre un éveil de conscience particulier dont chaque pays porte une responsabilité dans ses activités de développement industriel. L'Algérie n'est pas en reste puisque plusieurs lois ont été promulguées pour la protection de l'environnement en rapport avec l'activité industrielle et en particulier les exploitations minières que ce soit à ciel ouvert ou souterraines.

Les problèmes de pollution sont devenus actuellement un sujet constant de préoccupation dans les pays industrialisés. Au cours de la dernière décennie, d'innombrables réunions d'experts, de nombreux colloques ou congrès scientifiques, une multitude d'articles de presse, ont contribué à vulgariser la notion de pollution et ont aussi conduit de nombreux pays à prendre conscience des nuisances qui sévissent parfois de longue date.

Chapitre II

Impact des activités minières sur l'Environnement

I. INTRODUCTION:

Comme les autres activités de l'homme, l'industrie minière pose aujourd'hui des problèmes d'environnement très aigus. La difficulté majeure que pose l'approche des problèmes de l'environnement dans l'industrie minière vient de l'extrême diversité des situations rencontrées, ce qui implique des solutions particulièrement variées, faisant souvent appel à des compétences et à des technologies très spécifiques, le plus souvent inexistantes dans les pays en voie de développement.

L'étude d'impact sur l'environnement est un outil de base pour la mise en œuvre de la protection de l'environnement.

Avant d'étudier les impacts d'une exploitation, on doit étudier l'état initial du site qui représente une situation de référence qui subira ultérieurement l'impact du projet ; cet état initial est caractérisé essentiellement par sa sensibilité qui se définit par rapport à la nature même de ses composants, mais aussi par rapport à la nature des agents agresseurs. Parmi les impacts prévisibles associés à l'exploitation d'une carrière ou d'une mine à ciel ouvert, on retiendra les perturbations et les déséquilibres qui sont susceptibles d'affecter non seulement l'écosystème air-eau-sol, mais également l'environnement humain.

II. LES DIFFERENTS IMPACTS DES MINES (OU CARRIERES) SUR L'ENVIRONNEMENT:**II.1- Impact sur les eaux:**

L'industrie minière rejette plusieurs milliers de tonnes de stériles et de résidus chaque année. La majeure partie de ces rejets provient de l'exploitation de dépôts sulfurés desquels est extrait l'or. Ces résidus miniers sont exposés à l'air et à l'eau, où ils s'oxydent en présence de certaines bactéries, comme le thiobacillus ferrooxidans. Les eaux de ruissellement entraînent avec elles ces produits de l'oxydation, de l'acide sulfurique et des métaux sulfurés nouvellement formés, les libérant dans l'environnement sous forme de drainage acides. Ce phénomène aboutit à la formation d'eaux acides qui véhiculent des métaux lourds dont certains sont particulièrement dangereux pour la santé humaine et animale. Ces effluents acides peuvent atteindre la nappe souterraine et entraîner ainsi une contamination des eaux profondes.

Par ailleurs, d'autres effets sur les eaux superficielles et/ou profondes situées dans le voisinage d'un gisement, peuvent entraîner des modifications des débits du système

hydraulique local ou apporter des changements dans la qualité des eaux (PH, anions et cations, matières en suspension, etc...).

La pollution par les métaux est aussi ancienne que l'activité minière. Dans l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne, cf figure 2.1), petit fleuve acide qui draine la plus grosse minéralisation sulfurée du monde, un sondage a recoupé un horizon contaminé contenant des sables à sulfures avec des scories et des charbons datés de l'âge du cuivre (-2500 ans). Ce type de pollution a longtemps été occulté pour ne pas entraver le développement industriel : la prise de conscience est assez récente. En fait, il a fallu deux accidents majeurs pour que cette problématique touche l'opinion mondiale : sur le site de la mine d'Aznalcóllar (Espagne), en 1998, l'effondrement d'un terril a entraîné le déversement de 4 millions de m³ de DMA dans un fleuve adjacent (cf figure 2.2) [8].



Fig.2.1 : La pollution par les métaux dans l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne).



Fig.2.2 : le déversement de DMA dans un fleuve adjacent (l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne)).

Un drainage minier (DMA) ou encore drainage rocheux acide (DRA) sont une source de pollution acide et métallique pour les milieux aquatiques et les aquifères (cf figure 2.3). Ils sont capables, pour les cas les plus sévères, de libérer plusieurs tonnes de composés métalliques toxiques par jour dans le système hydrographique [1].

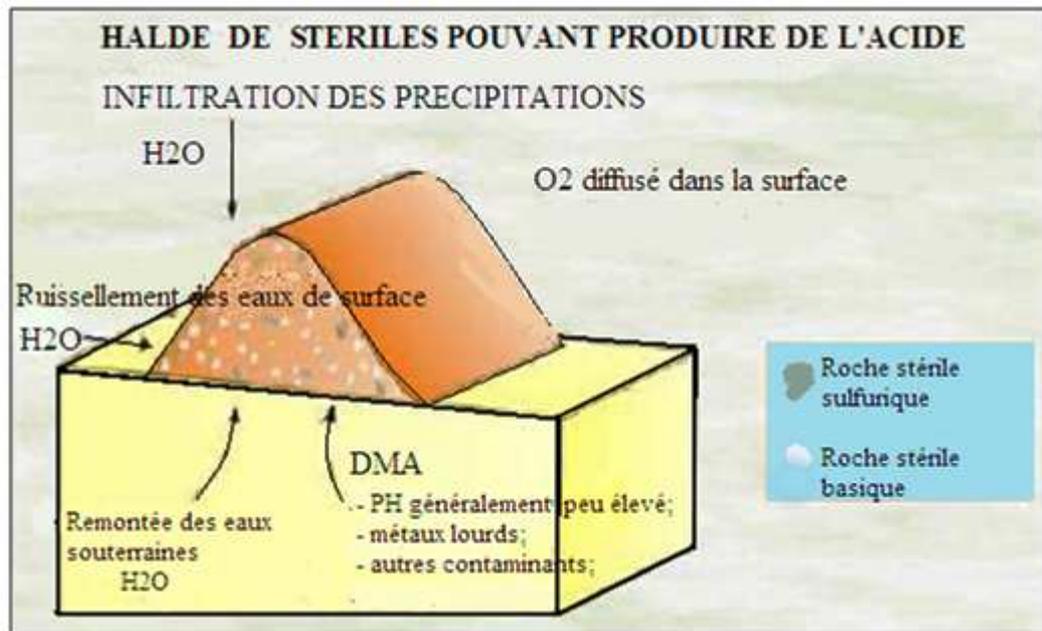


Fig.2.3 : Schéma du processus de formation du DMA sur un site minier donné, pour un parc à résidus ou une halde de stériles (qui constituent les deux sources les plus importantes) ; (AUBERTIN, 2002).

Origine du phénomène

Les minéralisations du sous-sol sont dues à des circulations de fluides qui transportent des cations métalliques qui vont être piégés dans les horizons réducteurs. Or l'exploitation minière va brusquement modifier les conditions d'oxydo-réduction à l'origine du gisement en dénoyant les roches et en les exposant à l'air. Une mine exploitée représente en effet plusieurs kilomètres de galeries. Ce sont autant de conduits susceptibles d'apporter de l'eau et de l'oxygène au contact du minerai. Quant aux matériaux des mines à ciel ouvert et des carrières, ils sont par définition soumis aux conditions atmosphériques. Les DMA se forment alors, soit dans les galeries ennoyées, soit par percolation d'eau sur les tas de solides excavés contenant des sulfures.

Ces matériaux extraits de la mine sont de diverses natures : encaissant parfois relativement riche en sulfures (stérile franc), minerais pauvres en sulfures (halde, stérile de sélectivité) ou encore rejets de traitement pauvres en métaux précieux mais riches en sulfure. Les quantités produites et stockées peuvent atteindre plusieurs millions de tonnes. Ainsi, les déchets de flottation de la plus grande mine de cuivre au monde, Chuquicamata au Chili,

occupent une surface de 48 km². Ces produits, déjà stockés humides, reçoivent aussi les pluies. Le phénomène biologique et chimique de formation des DMA s'enclenche alors par suintement ou ruissellement sur le lieu de stockage (cf figure 2.4).

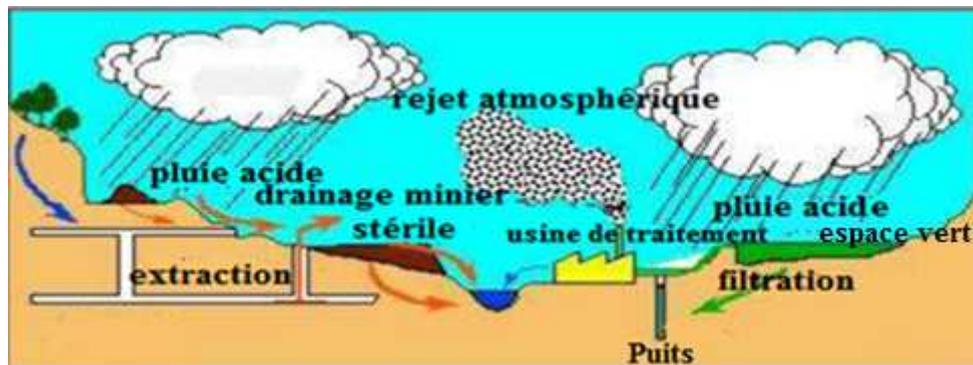


Fig.2.4: Le transfert de la contamination pour métaux lourds dans le milieu aquatique (BRGM, 2000).

L'apparition des DMA est favorisée par la présence de microorganismes qui tirent l'énergie nécessaire à leur croissance des réactions d'oxydoréductions métalliques. Ces bactéries agissent comme de véritables catalyseurs des réactions chimiques qui se déroulent à la surface des minéraux et en solution. Les détails de ce phénomène sont encore mal compris et font l'objet de polémiques pour déterminer la réaction prédominante entre oxydation directe et indirecte (c.à.d. avec contact direct ou non des bactéries à la surface des sulfures) [1].

Les problèmes de DMA sur l'écologie :

- Dans les organismes aquatiques peuvent être plus affectés par petites concentrations d'éléments lourds. Les organismes aquatiques peuvent supporter certaines valeurs déterminées de toxicité sans qu'ils meurent, mais ils développeraient une série de problèmes physiologiques et métaboliques. Il y a des organismes qui peuvent réguler les concentrations des métaux lourds dans leurs tissus.
- Dans l'eau il y a libération des cations Fe^{2+} ou Fe^{3+} et augmentation de l'acidité. Mais un autre phénomène plus grave pour la santé humaine sont les autres minéraux sulfurés qui sont présents dans les déchets des stériles, ils s'oxydent et livrent des métaux lourds solubles de très grande dangerosité dans les cours d'eau en surface et en souterrain (nappes).
- Dans le sol la désertification est le principal problème de l'accumulation d'éléments métalliques toxiques dans les horizons prospectés par les racines des végétaux. La diversité de la végétation s'appauvrit, les peuplements survivants se raréfient et

disparaissent progressivement, laissant un sol nu et dégradé sans activité microbiologique.

L'exemple de l'impact de DMA dans le système hydrographique est présenté dans les figures suivantes.



Fig.2.5 : Précipitation d'hydroxydes de fer dans un affluent du Missouri recevant des DMA d'une mine de charbon (rivière se jetant dans le Mississippi (USA)).



Fig.2.6 : Phénomène Drainage Minier Acide des mines d'or primaire en Guyane française (MIRAMOND N & al, 2006) [10].

Le drainage minier s'accompagne d'une mise en solution d'éléments plus ou moins néfastes pour la santé humaine, corrosifs pour les infrastructures et les canalisations. La solubilisation des métaux lourds accrue dans le cas d'un DMA représente le danger majeur pour la santé humaine du fait des possibles intoxications par voie indirecte (Voir tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Principaux effets sur la santé humaine des métaux observés dans le drainage minier.

Elément	Effet sur la santé humaine
Arsenic – As	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aux faibles doses contenues dans l'eau : risques de cancers de la peau, affection des muqueuses (rhinites, gingivites, ...), atteintes sanguines (anémie, ...) et digestives (gastro-entérites, atteintes hépatiques, ...); ✓ Absorption quotidienne de 3 à 6 mg ou absorption d'une dose de 70 à 180 mg : poison mortel ;
Cadmium - Cd	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposition chronique : altérations de l'appareil digestif, des poumons et surtout des reins ;
Chrome – Cr	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cr (VI) : risque cancérigène important pour les embryons et fœtus ; ✓ Cr (III) : effets toxiques non démontrés ; ✓ Intoxications chroniques : altérations du tube gastro-intestinal ;
Cobalt - Co	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposition chronique : ralentissement de l'activité de la glande thyroïde, et conséquences sur le système nerveux. Possibilités de cardiomyopathies ;
Mercure – Hg	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposition chronique : altérations du système nerveux et des reins. Toxique pour les enfants et les fœtus ;
Nickel – Ni	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Le Ni lui-même n'est pas toxique mais certains composés organiques le sont, comme le nickel tétracarboyle, et possèdent un fort potentiel allergène et mutagène ;
Plomb – Pb	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposition chronique : effets toxiques sur le système nerveux central et périphérique. Risque de développer le saturnisme chez les enfants. Troubles de la reproduction, insuffisances rénales et encéphalopathies chez l'adulte, à fortes doses ;
Zinc – Zn	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Troubles digestifs et nausées ; ✓ L'ingestion de chlorure de zinc peut entraîner des lésions caustiques sérieuses du tube digestif ;

Dans les régions constituées de terrains acides, l'acidité des eaux est conservée et les métaux sont transportés sous forme soluble à grande distance. Dans les régions constituées de terrains calcaires (basiques), en revanche, les eaux acides sont rapidement neutralisées par les roches carbonatées, et la plupart des métaux deviennent insolubles et précipitent. Lors des crues, les particules solides riches en métaux (fragments détritiques de minerai ou minéraux métalliques précipités) seront entraînées très loin en aval et peuvent parfois redevenir solubles si les caractéristiques des eaux changent. C'est le cas du cadmium de la Gironde (France): provenant d'un site métallurgique du district de Decazeville (bassin du Lot), il est solubilisé dans l'estuaire et peut être transporté sur la côte atlantique et se retrouver dans des huîtres à plus de 400 km de sa source.

Quant aux sulfates, présents en forte teneur, ils induisent une pression osmotique importante, qui va déshydrater les êtres vivants.

Enfin, les DMA ont également un impact visuel sur les paysages : les dépôts de couleur rouille, sur plusieurs kilomètres de cours d'eau, ou l'aspect dénudé des stocks de déchets miniers sont notables.

II.2 - L'impact sur les sols:

Les sols constituent l'épiderme vivant de la croûte terrestre. Ils sont composés de particules minérales, de matière organique, d'eau et de gaz et abritent de nombreux organismes vivants. La formation des sols est le résultat d'interactions complexes entre la géologie, le relief, le climat, la végétation, et l'activité biologique. En outre, l'utilisation des terres peut en modifier certaines caractéristiques, ce qui fait que le sol est un milieu extrêmement variable, et on recense des différences marquées en termes de propriétés chimiques, physiques et biologiques.

La réalisation des travaux miniers sur les sols conduit à:

- ✓ Un déboisement massif avec comme conséquences ;
 - une accélération des phénomènes d'érosion ;
 - la perturbation de la diversité biologique et du couvert végétal ;
 - des glissements de terrain ou des affaissements de sols ;
- ✓ Sédimentation et compactage ;
- ✓ La salinisation des terres agricoles;
- ✓ La remontée du niveau des nappes phréatiques sur les terres cultivées ;

II.3 - L'impact sur la faune, la flore:

Les activités minières, à cause de l'ouverture des carrières, de l'utilisation d'engins lourds et d'autres types de machines, sont susceptibles d'entraîner un important déséquilibre de l'environnement naturel, en affectant la végétation locale, l'habitat naturel et la vie animale. La faune, la flore sont des ressources biologiques auxquelles sont associées de nombreuses valeurs essentielles.

II.3.1- Les milieux agricoles :

Les milieux ouverts constituent l'ensemble des espaces non urbanisés et non boisés. Ils correspondent aux espaces agricoles (champs, prairies, chemins ...) et pelouses. Les pratiques pastorales et agricoles extensives du passé ont permis le développement de milieux ouverts riches et variés, dont certains seraient restés marginaux en l'absence d'intervention humaine. De très nombreuses espèces de la flore et de la faune sauvages s'y sont développées. Aujourd'hui, cependant, l'étendue, la variété et la qualité de ces habitats spécifiques ont été fortement altérées en raison de l'abandon ou du boisement des terres peu fertiles, mais aussi de l'intensification agricole. Outre une augmentation des pressions exercées par l'agriculture, cette dernière a entraîné un certain niveau d'homogénéisation dans les interventions sur le

milieu et réduit la variété des niches écologiques disponibles. Etroitement liés aux actions de l'homme, le maintien et le développement des potentialités d'accueil de la vie sauvage en milieux ouverts vont dépendre des modalités de gestion qui seront favorisées.

II.3.2- Les milieux forestiers :

En dépit des modifications importantes qu'elle a subi au cours du temps en termes de composition et de structure, nombre d'espèces forestières sont particulièrement menacées. Le maintien des massifs feuillus anciens, l'adoption de pratiques de gestion plus en accord avec la nature dans les forêts de production ainsi que le développement d'un réseau d'aires protégées en forêt constituent les enjeux majeurs permettant d'assurer la survie à long terme de ces espèces.

Les hommes coupent les arbres pour installer des bâtiments, des mines qui permettront de favoriser l'accès aux métaux. Mais pour arriver à extraire ou à transporter les métaux, les hommes construisent en plus des voies de communications (routes, chemin de fer,...). L'homme, par ses activités, blesse la forêt tropicale amazonienne d'une profonde cicatrice (cf figure 2.7). 13 millions d'hectares de forêts tropicales disparaissent chaque année, alors que celles-ci jouent un rôle essentiel pour la régulation climatique et le maintien de la biodiversité.

Or, cuivre, diamants, et autres pierres et métaux précieux sont des ressources importantes trouvées dans les forêts tropicales à travers le monde. L'extraction de ces ressources naturelles est souvent une activité destructrice qui endommage l'écosystème de la forêt tropicale et causes des problèmes aux personnes vivant aux alentours et en aval des opérations minières. Dans la forêt Amazonienne, pour nous cette forêt représente le poumon de la Terre elle recouvre 7 millions de Km². Au début des années 1980, la mine à ciel ouvert du Fer de Serra dos Carajás, a causé la destruction de 150 000 Km² de forêt (cf figure 2.8).



La forêt amazonienne vue en avion en 1975

Et voilà la même zone en 2001

Fig.2.7: Destruction d'une zone de la forêt amazonienne [19].



Fig.2.8: Une mine de fer à ciel ouvert dans la Serra dos Carajas, au Para, Brésil [20].

Les forêts pourraient jouer un rôle important dans la lutte contre l'effet de serre. Plusieurs études internationales soulignent que leur impact est sous-estimé car elles absorberaient beaucoup plus de gaz carbonique que prévu. Les arbres échangent une quantité considérable d'éléments (CO₂, azote, phosphore) par l'intermédiaire de leurs racines et des minuscules champignons qui les colonisent. En formant des filaments dans tout le sous-sol, ceux-ci permettent à des plants à priori défavorisés de recevoir des éléments nécessaires à leur croissance. Une meilleure gestion de ces écosystèmes (arrêt des opérations de déforestation dans les zones tropicales, reboisement) permettrait donc de compenser jusqu'à 15% des émissions internationales de gaz carbonique entre 1995 et 2050 (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1995) [21].

L'impact des travaux miniers sur la faune et la flore se traduit par:

- L'évaluation importante des surfaces agricoles décapées et forestières déboisées ;
- La vulnérabilité et la sensibilité des cultures et des forêts aux émanations de poussières ;
- Disparition au cours du temps ;
- Diminution de la productivité et mauvaise qualité des produits d'agriculture ;
- Retard dans la croissance des plantes.

L'impact que peut avoir la réalisation d'une exploitation minière sur la faune et la flore est à prendre en considération, particulièrement en ce qui concerne les espèces menacées, écologiquement et économiquement ou esthétiquement souhaitables.

II.4 - L'impact sur le paysage:

L'exploitation minière à ciel ouvert engendre le déplacement d'importantes quantités de roche, de stériles ou de déchets qui sont déposés au-dessus du sol sous forme de terrils, entraînant des impacts visuels et la création « d'aspect lunaire » dans tout le paysage. Ces impacts qui sont inhérents à l'exploitation elle-même, sont corrigés dans certains cas par des travaux de restauration et de réhabilitation des sites. Les grandes excavations des mines à ciel ouvert, les terrils et les installations de surface sont souvent autant de plaies qui défigurent le paysage.

II.5- L'impact par les bruits:

Le bruit environnant représente une source de pollution sonore qui peut causer des effets psychologiques (sentiment d'inconfort, nervosité ...) et physiologiques (troubles du sommeil, maladies cardiovasculaires ...) chez les êtres humains, et qui peut également perturber la vie de la faune.

Le bruit est un mélange de sons qui se caractérise par sa fréquence et son niveau.

Le son, produit par un phénomène vibratoire, se propage dans l'air et exerce une pression sur notre oreille. L'oreille ne capte que certains sons ou ondes acoustiques dans une vaste gamme de fréquences. Seuls les sons compris entre 20 Hz et 20000 Hz sont perçus par l'oreille.

L'échelle de bruit est une classification acoustique répertoriant les différents niveaux de bruits du seuil minimal au seuil maximal, en passant par le seuil dit de danger de 90 dB et le seuil dit de douleur de 120 dB.

Dans l'exploitation minière, les opérations faisant l'objet de sources de bruit sont les suivantes :

- la foration des trous de mine;
- le tir de mine;
- le concassage – broyage –criblage des matériaux ;
- la marche du brise-bloc (marteau hydraulique);
- la marche du compresseur ;
- la circulation des camions de transport des produits et déplacement des engins.
- le bruit de la roche tombant dans la benne d'un camion vide.

II.6- Impact par les vibrations:

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

Compte tenu de la fréquence des tirs (une fois par mois, deux fois par mois etc...) cet impact aura un effet dans le voisinage (fissure des infrastructures, fissures sur les routes et habitats...).

L'environnement des tirs de mines doivent limiter au maximum les nuisances telles que le bruit, le dégagement des gaz nocifs (CO, NO_x, SO_x) ; mais également les vibrations dans le sol. Donc faire un choix correcte des paramètres les mieux adaptés permettant de minimiser l'énergie des explosifs générant des nuisances dissipées dans la nature (l'environnement immédiat du site de l'explosion).

Les méthodes modernes de conception des tirs s'appuient sur les notions de la détonique et les mécanismes reconnus qui en résultent. Dans les années 70 les grandeurs telle que charge et distance entre la source d'exploitation et le géophone (qui capte les vibrations) permettent d'approcher la notion de vitesse particulière caractérisée par une amplitude de vibration de l'ordre de quelque mm/s et de très courte période (quelque Hz à quelques dizaines de Hz).

Une loi empirique d'amortissement formulée par (Chapot ; 1981) [4] en D/\sqrt{Q} est de la forme :

$$V = K * \left(D/\sqrt{Q} \right)^{-b} \quad (2.1)$$

où K, b : des valeurs qui correspondent aux caractéristiques géologiques de la roche.

Avec :

V : la vitesse particulière de vibration (mm/s).

D : la distance du point de mesure du lieu de l'explosion (m).

Q : est la charge unitaire représentative par délai (kg).

Remarque sur la valeur de b :

Le coefficient b représente l'atténuation de l'onde considérée en fonction de la distance, où V est proportionnelle à $(1/D)^b$ dont par ailleurs, l'équation générale de l'élasticité pour un système homogène isotrope et infini dans l'espace donc :

- Pour une onde de surface en 2D, $b=1,5$.
- Pour une onde de volume en champ lointain, $b=2,0$.
- Et pour une onde de volume en champ proche ou une onde conique, $b=3,0$.

Pour les calcaires : $K= 1000$ à 2500 et $b= 1,8$.

La formule la plus utilisée est celle proposée par LANGEFORS et KIHLSSTROM, 1967 [9]; combinant à la fois la vitesse d'oscillation, la charge instantanée et la distance entre le tir et le point de mesure.

$$V_{\max} = K * \left(R/Q^n \right)^{-m} \quad (2.2)$$

Avec :

V_{\max} : vitesse particulière de vibration (mm/s);

Q : la charge instantanée (kg);

R : distance entre le tir et le point de mesure (m);

n : exposant de la charge (on prend en pratique $n=1/2$) ;

m : coefficient fonction de l'état de fissuration du terrain et la durée de l'impulsion de l'onde.

K : paramètre lié essentiellement aux caractéristiques du terrain;

K=400 pour les roches dures;

K=200 pour les roches tendres;

K=100 pour les terrains de couvertures;

Une autre méthode de calcul citée par [9] :

➤ pour un tir instantané :

$$V_{ins} = K * \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.5} \quad (2.3)$$

➤ tir à retard ou microretard :

$$V_{mr} = K * \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.5} * f(m_z \tau) \quad (2.4)$$

$$\text{ou : } \begin{cases} f(m_z \tau) = 1 - 12,9(m_z \tau)^2 & , m_z \tau \leq 0,153. \\ f(m_z \tau) = \frac{0,275}{\sqrt{m_z \tau}} & , m_z \tau > 0,153. \end{cases} \quad (2.5)$$

Avec :

τ : Intervalle de retard (ms) ;

m_z : nombre de degré de retard.

Il y a des normes ou bien des intervalles pour la vitesse de vibration (oscillation) nécessaires [9]:

0,2 cm/s: les appareils peuvent bouger ;

0,2 ÷ 0,4 cm/s : sensation épisodique ;

0,4 ÷ 0,8 cm/s: quelques personnes peuvent sentir l'explosion ;

0,8 ÷ 1,5 cm/s : sensation senti par plusieurs personnes et éclatement des vitres

1,5 ÷ 3 cm/s : la vitesse de tremblement, les bâtiments peuvent se détruire ;

Donc, plus la vitesse est forte plus la destruction s'en suit.

La charge explosive préparée est le centre d'une zone dangereuse. Le rayon de la dite zone qui est la distance de sécurité jusqu'aux routes et habitations, est selon la formule en vigueur :

$$D = 44 * Q^{1/3} \quad (\text{limite acceptable pour les nuisances de tir}) \quad (2.7)$$

Où : D = distance de sécurité en mètre;

Q = charge d'explosive instantanée en Kilogramme;

La classification des dommages prévisibles en cas d'explosion accidentelle aux personnes et aux biens sur la base de la réglementation de l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 2.2 : tableau représentant les zones de sécurité entre le site de tir et les habitats ou les routes les plus proches [14].

Zone	Distance D	Dommages prévisibles aux personnes	Dommages prévisibles aux biens
Z1	$0 < D \leq 5Q^{1/3}$	Blessures mortelles dans plus de 50%	Dégâts très graves
Z2	$5Q^{1/3} < D \leq 8Q^{1/3}$	Blessures graves pouvant être mortelles	Dégâts importants
Z3	$8Q^{1/3} < D \leq 15Q^{1/3}$	Blessures	Dégâts moyens
Z4	$15Q^{1/3} < D \leq 22Q^{1/3}$	Possibilité de blessures	Dégâts légers
Z5	$22Q^{1/3} < D \leq 44Q^{1/3}$	Très faibles possibilité de blessures légères	Dégâts très légers

II.7 - L'impact par les poussières:

L'activité minière à ciel ouvert est une source d'émission de poussière qui provient généralement des opérations suivantes :

- Décapage et de la découverte stérile par bulldozer ou un autre engin ;
- foration des trous de mines (cf figure 2.8) ;
- l'abattage, chargement et déchargement du minerai et des terres de découverte (cf figure 2.9);
- l'installation de traitement, station de concassage et notamment des opérations de concassage-broyage à sec et du criblage du minerai (cf figure 2.10) ;
- le transport (circulation des engins et camions en carrière, cf figure 2.11);
- les stocks (action du vent, cf figure 2.12) ;
- lors d'un tir de mine (cf figure 2.13).



Fig.2.9 : émission de poussière par foration des trous de mines.



Fig.2.10 : émission de poussière par chargement des camions.



Fig.2.11 : émission de poussières par station de concassage.



Fig.2.12: émission de poussière par circulation de camions.



Fig.2.13 : émission de poussière par les stocks (action du vent).



Fig.2.14 : émanation de poussière lors d'un tir de Mines. Photo prise à environ 600 m de distance.

Cette pollution atmosphérique a en outre, des effets néfastes sur l'agriculture en raison des émissions de poussières et de gaz toxiques qui affectent directement les rendements agricoles. Aussi, aux alentours des grandes concentrations industrielles, la qualité de l'air a tendance à se dégrader de jour en jour. Des mesures réalisées dans certaines zones industrielles, ont révélé des concentrations de polluants toxiques dans l'air qui dépassent les seuils de tolérance: l'exemple d'Alger, les concentrations de polluants atmosphériques enregistrés durant l'été sont récapitulées dans le tableau 2.3.

Les rejets dans l'atmosphère de gaz et de poussières par les unités industrielles ont créé des situations particulièrement alarmantes dans de nombreuses autres régions du pays. A titre d'exemples, on citera les cas du complexe « engrais phosphatés » d'Annaba, et de l'usine « Electrolyse de Zinc » de Ghazaouet qui émet des gaz toxiques, qui recouvrent souvent ces deux villes de brouillards photochimiques très dangereux, notamment pour les enfants et les personnes âgées. La pollution due à la combustion des déchets contribue aussi à la nuisance atmosphérique des villes algériennes, sous l'effet des vents les concentrations des polluants dépassent les valeurs limites d'exposition qui calculent la qualité de l'air (sur un rayon 10 KM des décharges les valeurs sont 4 à 6 fois plus élevées que la norme admise) [18].

Tableau 2.3: Les valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques en Algérie (Sommet mondial pour le développement durable à Johannesburg, 2002)

Polluants	Taux d'émission estimés (mg/m ³)	Concentration à 1 km (mg/m ³)	Concentration à 10 km (mg/m ³)	Valeur limite (mg/m ³)
Oxyde de carbone (CO)	500 à 1200	457	81	55
Méthane (CH ₄)	9 à 660	3.024	0.558	-
Oxyde de soufre (SO ₂ -SO ₃)	300 à 1000	158	28	10
Oxyde d'azote (NO-NO ₂)	100 à 400	38.6	7	6
Chlore (HCl)	340 à 2000	158	28	7
Fluor (HF)	0.5 à 2	0.151	0.028	2.5
Poussières	0.002 à 0.015	788	139.5	15
Ammoniac	20	-	-	-
Aluminium	400	158	28	10
Zinc	60	23.5	4.185	5
Plomb	9	3.02	0.558	1.05
Cuivre	4	1.51	0.279	1
Chrome	3	0.75	0.223	1
Cadmium	1	0.34	0.056	0.05

Un exemple remarquable d'un impact sur l'environnement causé par les activités minières est celui qui se trouve dans la commune de Rais HAMIDOU (Ouest d'Alger), une cimenterie (cf figure 2.15) et une carrière de granulats, implantées dans la capitale. Leurs existences sont une « mauvaise implantation ». La dégradation de l'espace boisé est très visible (cf figure 2.16), les cimenteries sont les plus polluantes, du fait de l'importance des quantités de ciment produites et des roches utilisées pour sa production.



Fig.2.15 : La cimenterie de Rais Hamidou et son voisinage (habitat).



Fig.2.16 : Carrière d'agrégat de l'ECAVA (Bab l'oued, Alger).

On détermine la teneur de la poussière dans l'atmosphère minière grâce au passage de l'air à travers un filtre qui retient les poussières, cette teneur est donnée en mg/m^3 . D'autres méthodes de mesure des poussières sédimentables existent comme la méthode des plaquettes de dépôt (la norme AFNOR NF X 43-007), constituées de plaques minces en aluminium (ou acier inoxydable) de $5 \times 10 \text{ cm}$ recouvertes d'un film de corps gras qui retient les poussières sédimentables sèches. Elle permet de mesurer les retombées de poussières recueillies dans l'atmosphère. Après exposition pendant 1 ou 2 semaines (Maximum pour éviter le lessivage

par les intempéries), les plaquettes sont envoyées en laboratoire où les particules sont récupérées après séparation d'avec le corps gras dans un solvant. On dispose ainsi de données quantitatives exprimées en $g/m^2/j$. Le principal inconvénient de l'utilisation de ce système vient du fait que les plaquettes subissent également l'action des intempéries : lessivage par la pluie, neutralisation par le givre ou la neige, et également le masquage par les chutes de feuilles ou autres dépôts...

La production de la poussière dans une station de concassage est estimée, selon des statistiques en France, entre 7 et 84 $g/m^2/$ mois, dans un rayon de 100 à 200 mètres. Le reste des sources de poussière a peu d'impact sur l'environnement.

Cependant, l'impact des poussières est étroitement lié au relief et aux conditions climatiques. C'est ainsi que le vent, par son intensité et sa direction, est un élément essentiel dans la répartition des poussières dans la zone. Plus la vitesse des vents est faible, plus la concentration est importante à proximité de la source.

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

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

III- CONCLUSION

Les mines et les carrières que ce soit à ciel ouvert ou souterrain sont des installations ayant des impacts multiples et très importants sur l'environnement. Avant l'exploitation, les impacts sont surtout faunistiques et floristiques, principalement par décapage des sols. Au cours de l'exploitation, les impacts sont importants au niveau du bruit et des vibrations (tirs de mines, transports des matériaux, engins de terrassement), au niveau de l'empoussièremment, au niveau des aquifères, etc. Après l'exploitation, les anciennes mines ou carrières sont inondées et couvertes de stériles, deux facteurs peu propices à un retour aux écosystèmes initiaux.

La pollution de l'environnement apparaît lorsqu'une substance chimique ou physique donnée est présente dans l'environnement, mettant la vie ambiante en danger. Cela implique que tout élément ou composant chimique est partiellement polluant, pour autant qu'il soit présent dans l'environnement en concentration élevée. L'impact de cette activité est très variable en fonction du type de matériau, du type d'exploitation, de l'environnement du site.

Chapitre III

L'activité minière en Algérie et son incidence sur l'environnement

I- INTRODUCTION :

L'activité minière a été de longue date l'un des piliers fondamentaux de l'économie algérienne ; le secteur des mines en Algérie continue d'enregistrer des taux de croissance positifs, pour les principales substances minérales, et notamment pour celles destinées à la fabrication des matériaux de construction, nécessaires à la réalisation des nombreux et importants projets de développement inscrits dans les différents programmes du gouvernement.

Les efforts déployés par le Ministère de l'Energie et des Mines ont permis notamment au cours de l'année 2008 l'entrée en production de 102 nouvelles exploitations minières pour la production des agrégats, des argiles, du carbonate de calcium , du sable naturel etc.

Pour la seule année 2008, 434 titres miniers ont été octroyés et 1 143 unités de production ont été recensées confirmant ainsi le regain de l'activité minière grâce :

- à l'attractivité du secteur, induite par le nouvel environnement législatif et réglementaire mis en place ;
- au potentiel minéral important du pays ;
- à l'organisation régulière des opérations d'adjudications de sites miniers par l'Agence Nationale du Patrimoine Minier.

L'année 2008 confirme la tendance à la hausse constatée depuis ces dernières années de la production nationale des substances minérales, destinées notamment à répondre aux besoins croissants de l'économie nationale.

Depuis l'année 2001 la croissance la plus spectaculaire concerne les agrégats et le sable concassé. En effet de 4,14 millions de m³ en 2001, la production des agrégats a été multipliée par 10 atteignant les 41,6 millions de m³ en 2008. Par rapport à l'année 2007 elle est en augmentation de + 52,8 %.

Depuis l'année 2005, année où a commencé la comptabilisation de la fraction sable concassé, la production de ce produit a été multipliée par plus de 4, passant de 2,72 millions de m³ à près de 10,5 millions de m³ en 2008. Par rapport à l'année 2007, la production a ainsi augmenté de +81,7 %.

Ce haut niveau de production va :

- renforcer la disponibilité de ce produit ;
- répondre aux besoins importants des projets de développement en sable ;
- favoriser son utilisation en substitution aux sables des oueds et des plages ;
- contribuer à la protection de leurs environnements et écosystèmes.

II-L'ACTIVITE MINIERE DE 2008 EN CHIFFRES [15] :

Les travaux de recherche qui ont été fait sur tout le territoire du pays a permis de découvrir de nombreux sites de substances minérales qui sont citées dans le tableau 3.1. Ces travaux occupent une superficie importante (voir le tableau 3.2).

Tableau 3.1 : Tableau des substances minérales et leur nombre de sites (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009)

Substance(s)	Utilisation(s)	Nombre de sites
Andésites	Agrégats	13
Quartzites	Agrégats	2
Antimoine	Entre dans la composition des caractères d'imprimerie.	1
Aragonite	Pierre Décorative	1
Argile	Produits rouges et céramique	265
Attapulgite	Industrie	2
Argent	Divers	1
Baryte	Boue de forage	14
Basalte	Agrégats	9
Bentonite	Boue de forage	2
Calcaire	Agrégats- ciment- pierre décorative	1300
Carbonate de Calcium	Divers	4
Celestine	Boue de forage	1
Cipolin	Agrégats	1
Conglomérat	Agrégats	1
Cuivre	Divers	4
Or	Divers	11
Dacite-andésite	Agrégats	1
Diamant	Joaillerie	2
Dolomie	Agrégats et produits réfractaires	16
Eboulis	Agrégats	2
Feldspaths	Céramique	5
Fer	Métallurgie/sidérurgie et industrie	11
Fer-calcaire	Ciment/agrégats	1
Gneiss	Agrégats	1
Granite	Agrégats et pierre décorative	11

Granodiorite	Agrégats, pierre décorative	5
Grès	Verrerie-abrasifs, pierre décorative, construction	29
Gypse	Plâtre et ciment	106
Kaolin	Céramique	5
Kieselghur	Divers	2
Manganèse	Industrie	1
Marbre	Granulés et poudre-agrégats-pierre décorative	24
Marnes	Agrégat et ciment	2
Mercure	Divers	3
Onyx	Pierre décorative	2
Perlite	Divers	1
Plomb-Zinc	Divers	8
Polymétaux	Divers	4
Phosphate	Industrie chimique	4
Pouzzolane	Ciment-agrégat-ajout pour ciment	10
Rhyolite	Céramique et pierre décorative	2
Sable	Construction-ajout dégraissant et ciment	157
Sable des mers	Construction	22
Sable siliceux	Verrerie, fonderie, ajout dégraissant, Bloc Silico-Calcaire et fonderie	32
Schistes	Céramique	2
Sel	Sel alimentaire et industriel	24
Serpentine	Pierre décorative	2
Travertin	Pierre décorative	5
Tuf	Travaux publics et ciment	39
Wolfram	Industrie	2

La répartition des substances minérales en Algérie autre que les substances de carrières est représentée dans la figure 3.1 ci-dessous :

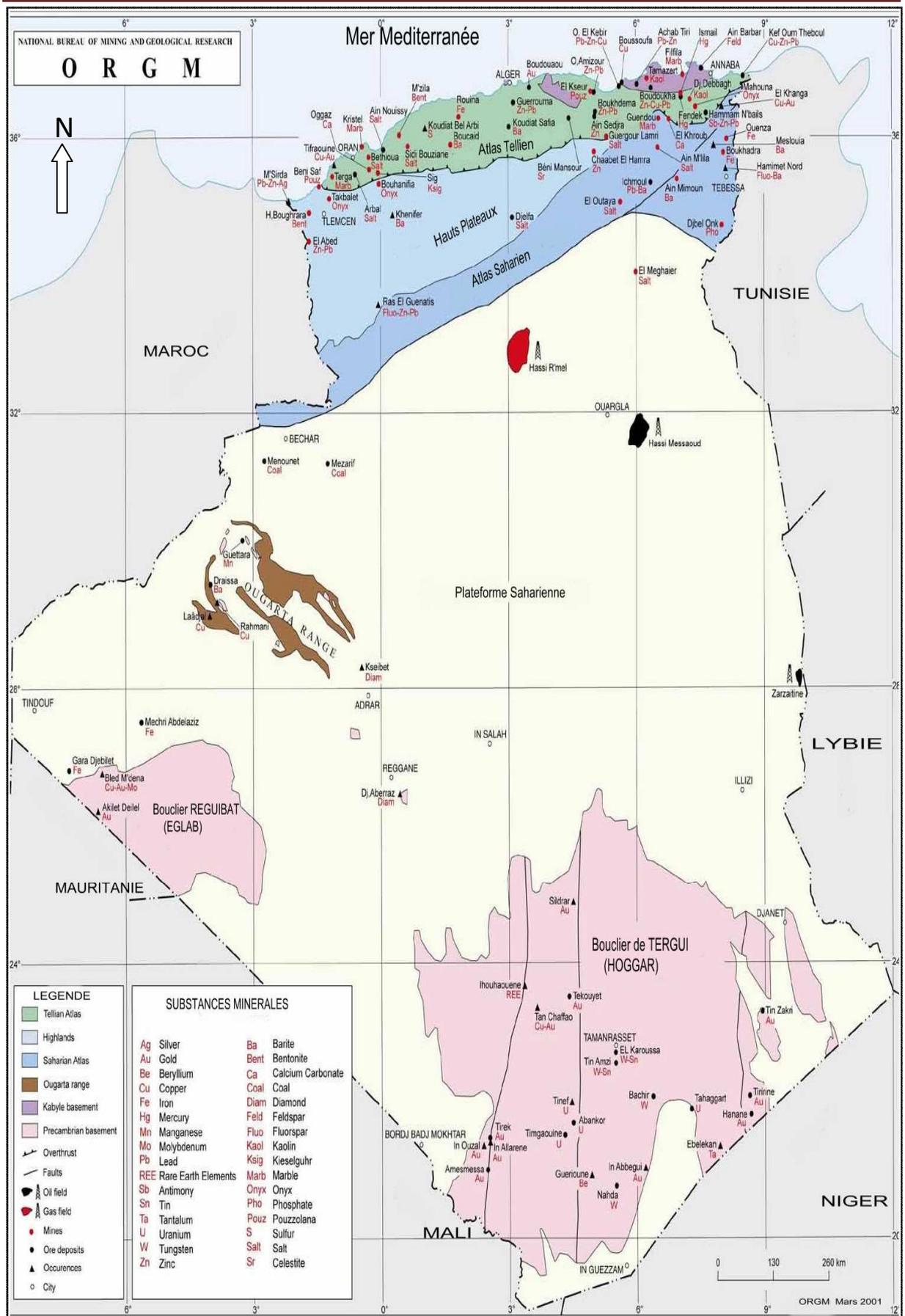


Fig.3.1: Carte des Potentialités Minières en Algérie (ORGM, 2001).

Tableau 3.2 : Tableau de la superficie des sites miniers en Algérie (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).

2363 titres miniers en vigueur	Superficie totale : 909 143 Ha
Dont : 365 titres miniers en exploration	Pour une Superficie de 354 130 Ha
25 autorisations de prospection	Pour une Superficie de 302 285 Ha
	Soit exploration plus prospection 656 415 Ha
2073 titres miniers en exploitation	Pour une Superficie de 253 728 Ha

Au 31/12/2008, le domaine minier national, pour les principales substances minérales était constitué de 2206 titres miniers en vigueur octroyés pour 47 substances minérales, dont 2048 concernent les substances destinées à la fabrication des matériaux de construction représentant 92.8 % du nombre total des titres miniers octroyés (cf. figure 3.2).

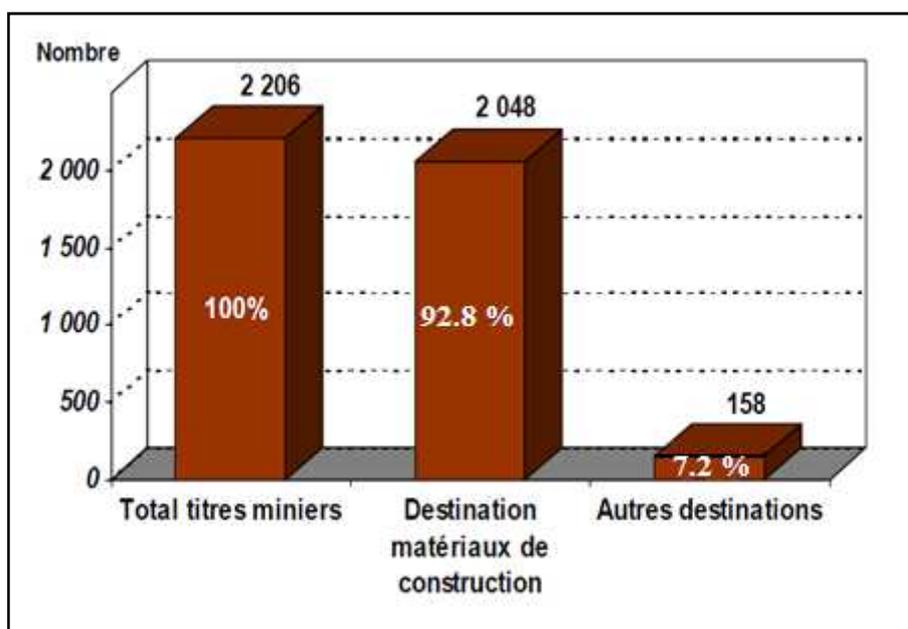


Fig.3.2 : Titres miniers ; par destination valides au 31/12/2008 (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).

La production des granulats (agrégats et sable concassé), à cause de la forte demande, est la destination la plus importante avec 1307 des titres miniers, suivis des argiles principalement pour la fabrication des produits rouges avec 267 titres miniers, du sable naturel avec 199 titres miniers, etc. (voir la figure 3.3)

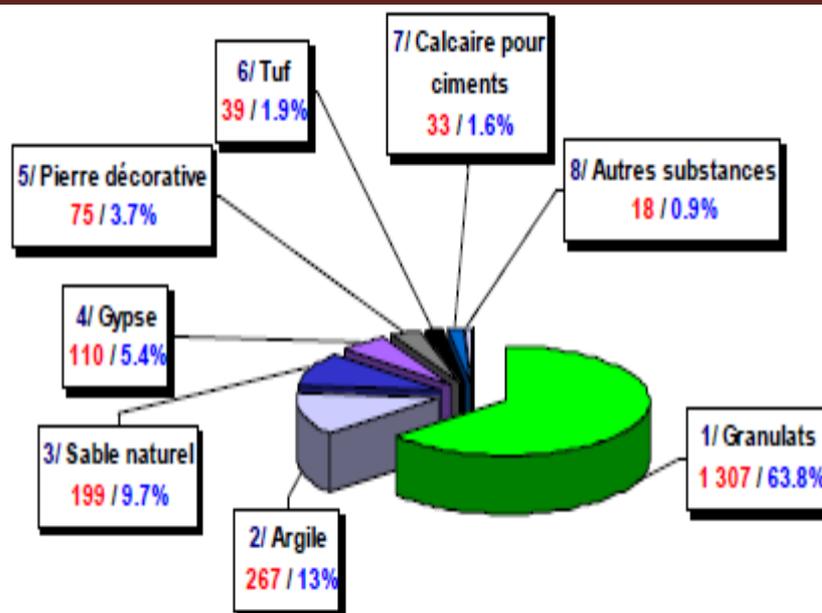


Fig.3.3 : Titres miniers ; par destination valides au 31/12/2008 (bilan d'activités minières année 2008 ; Direction Générale des Mines, édition 2009).

III. QUELQUES EXEMPLES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES ACTIVITES MINIERES EN ALGERIE:

Comme toute industrie extractive, l'exploitation des ressources minérales (extraction et valorisation) en Algérie génère à tous les stades un certain nombre d'impacts environnementaux et porte atteinte aux différents éléments de l'environnement par ses effets directs et indirects.

Cette activité peut bouleverser le milieu terrestre : sol, air et eau. Le défi majeur des sociétés minières modernes consiste donc à délimiter, extraire et traiter les ressources minérales, tout en causant le moins de bouleversement possible à notre écosystème.

En Algérie, la question sécuritaire et environnementale est encore insuffisamment prise en charge. A cet effet, il faut et il faudra encore de la volonté et du temps pour que les risques santé et environnement soient connus et maîtrisés.

La tragique catastrophe qui a touchée dans un passé récent la mine de Kherzet Youssef, accident dû à une infiltration des eaux et à l'effondrement des galeries et les conséquences dramatiques sur les ouvriers est un exemple, qui doit inciter à accorder une priorité aux problèmes liés à l'environnement lors des travaux d'exploitations.

III.1- L'impact environnemental suite à l'exploitation du gisement de Chaabet El Hamra [11] ;

En raison de l'absence des installations de traitement et d'élimination des déchets dans notre pays, les usines de traitement des minerais étaient contraintes depuis plusieurs années à stocker les rejets les plus toxiques au sein des sites industriels qui les produisaient. Ces rejets stockés dans de mauvaises conditions occasionnent une importante pollution des sols environnants, de l'atmosphère, et des nappes d'eaux, ce qui a causé de graves maladies à la population contrainte, malgré elle à respirer et à inhaler tout genre de poussières toxiques, ce qui est le cas de la région de Ain Azel.

L'impact environnemental suite à l'exploitation du gisement de Chaabet El-Hamra est celui de la digue des stériles stockés à l'air libre dans le complexe minier de Kherzet-Youssef près d'une nappe d'eau (cf figure 3.4). Les dépôts des stériles rejetés par l'usine de traitement, sont saturés de produits toxiques tels que le cyanure (xanthate), et sulfate de cuivre, En effet l'utilisation des produits chimiques à base de cyanure est très répandue dans l'industrie minière pour l'enrichissement des minerais sulfurés. De façon typique, le tout venant de la mine est finement broyé puis agité pendant des heures dans une solution contenant une quantité du cyanure (xanthate), après la récupération du zinc, Une solution contenant une quantité importante de cyanures libres est obtenue, elle est dite 'solution stérile', cette dernière est déposée à l'air libre, sur des terrains vagues, subissant ainsi des aléas climatiques et est souvent lessivée par des pluies.

Les lixiviats ainsi formés sont riches en cyanure, pénètrent en profondeur, provoquant la pollution du sol et des nappes d'eaux souterraines peu profondes, ce qui présente un très grand danger sur la santé des habitants du village et sur la flore et la faune.

L'eau de l'exhaure est rejetée directement dans l'oued le plus proche de la mine ces eaux polluées ont été toujours utilisées pour l'irrigation des terres par les paysans depuis l'ouverture de la mine.

De plus le climat de la région de Ain-Azel est caractérisé par des vents forts qui entraînent ainsi une pollution de l'atmosphère marquée par un grand brouillard blanc de poussières toxiques qui proviennent de la digue des stériles du complexe minier de Kherzet Youssef.

Pendant l'exploitation de la mine de Chaabet El- Hamra, les activités d'extraction ont un effet direct sur la morphologie des lieux en créant des fosses d'exploitation, des piles de roche stérile et de minerai ou des orifices à flanc de coteau servant d'entrée de mine. Ces infrastructures engendrent des modifications aux configurations hydrographiques et peuvent

même parfois affecter les micro-climats. L'activité sur les sites génère de la poussière, du bruit et nécessite l'utilisation d'eau et d'énergie pour les forages. La détérioration de la qualité des eaux de surface, la perte d'habitats autant pour la faune que pour la flore, le surpompage des nappes d'eau souterraine, les risques d'érosion, d'éboulis ou affaissement, de déversement d'hydrocarbure sont des impacts potentiels à considérer. Malgré leur classement comme déchets inertes dans la loi relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (Loi 01-19), certains rejets miniers sont réactifs et génèrent un lixiviat potentiellement dangereux pour l'environnement.



Fig.3.4 : Impact environnemental dans la région de Ain-Azel (mine de Zinc).

III.1.1- L'exhaure :

La poursuite des travaux d'extraction du Zinc sous le niveau hydrodynamique est conditionnée par la réalisation d'une exhaure rationnelle qui permettra le rabattement du niveau d'eau sous le mur de la minéralisation (cf figure 3.5).

La préparation et la mise en exploitation des réserves situées sous le niveau exigent la réalisation d'un système d'exhaure (5 forages et 3 piézomètres de 250 m de profondeur pour chacun, cf figure 3.6) pour permettre un rabattement du niveau hydrodynamique au dessous des niveaux prévus pour l'exploitation des minerais.

Les données géologiques et hydrogéologiques confirment l'existence de deux nappes libres (cf figure 3.7):

- Dans la partie centrale du gisement, existe une nappe contenue dans les formations hauteriviennes carbonatées à perméabilité de fissure.
- Dans la partie Nord-Ouest du gisement une nappe aquifère est reconnue dans les formations barrémiennes. Cet aquifère est associé aux grès dolomitiques.

- Dans la partie Est du gisement deux sondages hydrogéologiques ont été exécutés, ces derniers ont donné des résultats négatifs et une absence de venues d'eau a été notée. Les travaux miniers réalisés par l'ENOF ont confirmé qu'il n'y a pas de niveau aquifère dans la partie Est.

Le système d'exhaure proposé est situé en dehors des travaux miniers et l'eau est puisée directement de l'aquifère sans passage dans les travaux miniers.

Les données inhérentes à l'hydrogéologie confirment que l'aquifère est développé au voisinage des failles et des zones fissurées. Cet aquifère est de " type fissural ". Il est considéré comme nappe libre avec une formation valanginienne (marne) comme substratum (cf figure 3.8) [16].

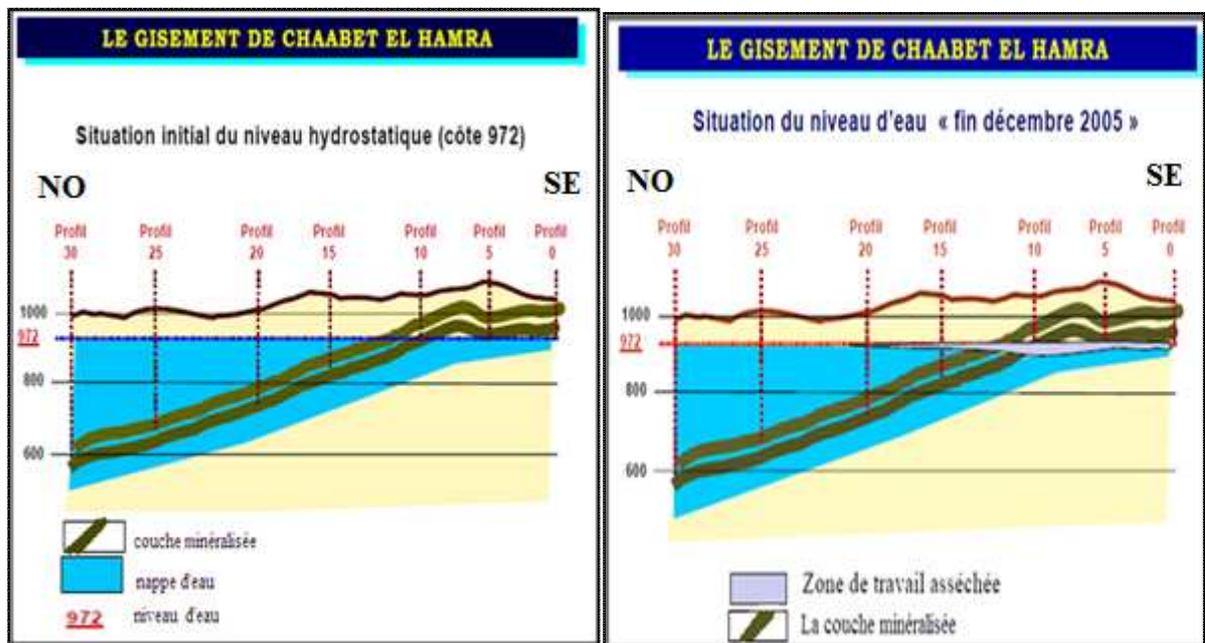


Figure 3.5 : Cartes de situation des niveaux d'eau (D'après ENOF 2006).

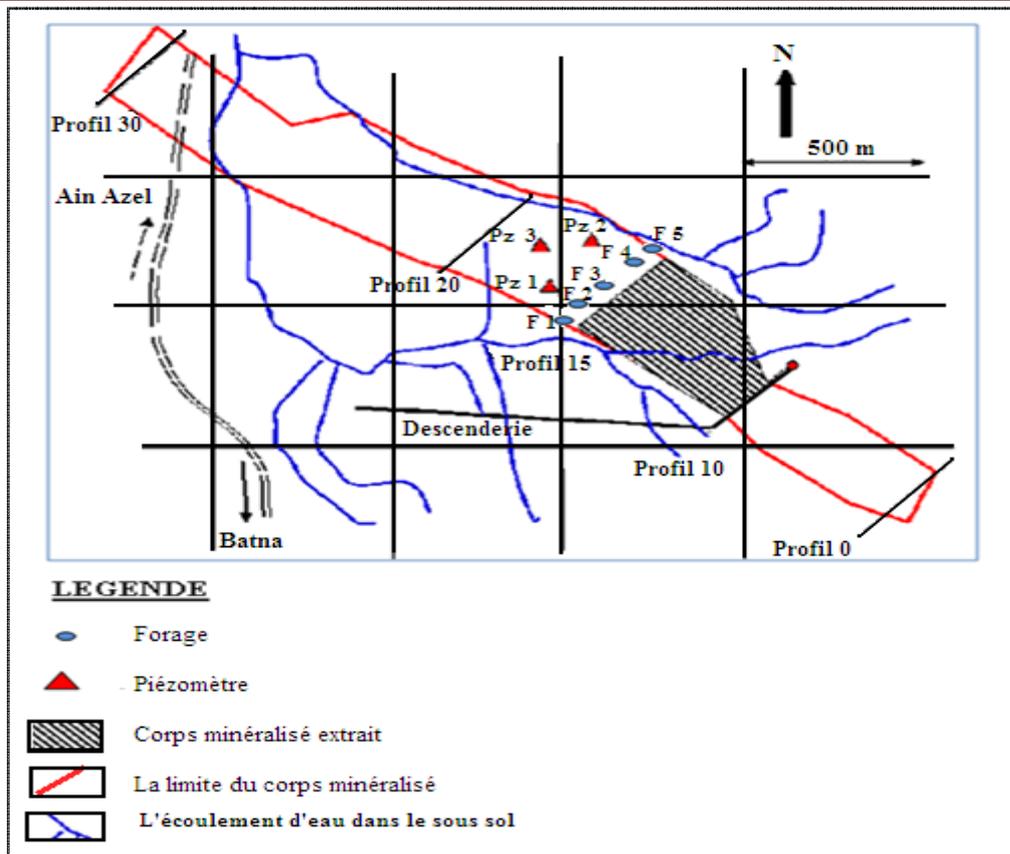


Fig.3.6: Situation des ouvrages (Forages & Piézomètres, d'après ENOF 2006).

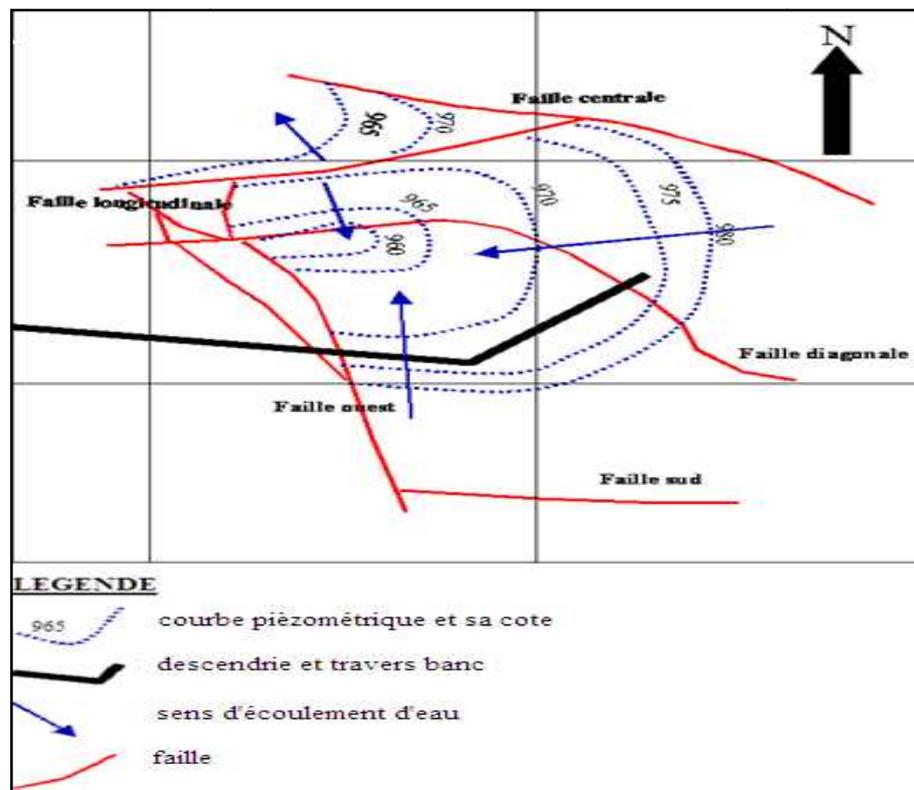


Fig.3.7: carte piézométrique et présence des failles du terrain (d'après ENOF 2006).

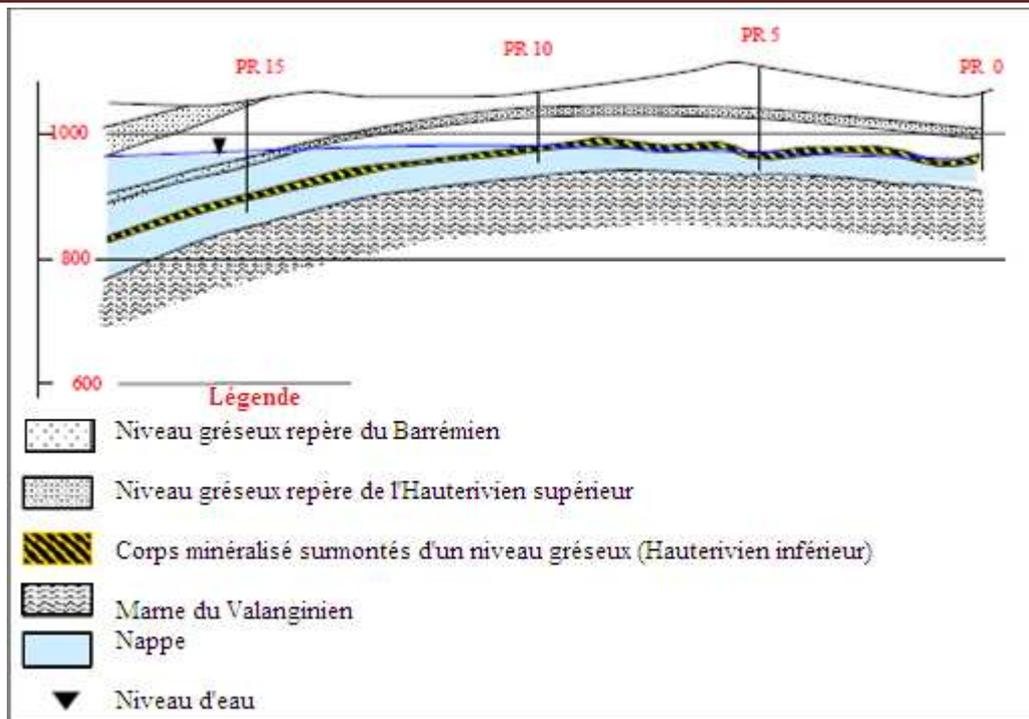


Fig.3.8: Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (d'après ENOF 2006).

L'Analyse physico-chimique de l'eau (Tableau A1 en Annexe) donne :

- Puits de la mine : L'eau du puits présente une teneur élevée en sulfates (SO_4), supérieure à la valeur recommandée par l'OMS (400 mg/l), très dure (TH = $79^\circ F$).
- Forage- Piscine : Teneur élevée en nitrates (NO_3) dépassant la valeur recommandée par l'OMS (44mg).
- Forage Chaabet El Hamra : L'eau présente une teneur élevée en nitrites (NO_2) et en phosphates (PO_4) indiquant une pollution.

Eau très trouble (turbidité = 34,8 NTU).

NTU : Unité standard utilisée par la plupart des agences et organisations de captation d'eau.

Pour les métaux lourds :

- Pour les éléments Mn, Zn, Cu : les teneurs sont dans les normes (OMS).
- Pour le plomb (Pb) : les teneurs sont à la limite de la valeur maximale admissible (0,050 mg/l) pour les points suivants : forage de Chaabet El-Hamra et la station mais supérieur à 0,050 mg/l pour le puits de la mine.

De plus, l'exploitation au dessus d'une nappe fissurale n'est pas sans danger pour les ouvriers car l'utilisation de l'explosif pour l'abattage risque une inondation de la mine par l'ouverture des failles. L'instabilité des piliers est également à étudier avec beaucoup de rigueur.

III.1.2- Les poussières :

La technologie des exploitations minières est liée à l'abattage des roches qui s'accompagne d'un dégagement d'une quantité importante de poussière, une partie de celle-ci se dépose sur le sol et l'autre partie reste en suspension dans l'air dont la dimension est inférieure à 5 µm.

Les poussières sont à l'origine de plusieurs maladies professionnelles, la médecine du travail s'inscrit dans le cadre plus général des actions préventives qui contribuent au maintien de la bonne santé et de l'hygiène de la population, telles que les vaccinations systématiques ou le dépistage de certaines maladies (tuberculose, cancer). Elle a vocation de veiller à la bonne santé de l'homme au travail.

Pour cela, des visites médicales périodiques, semestrielles et annuelles sont effectuées systématiquement aux différents services de la mine de Chaabet El- Hamra permettant ainsi d'avoir un aperçu global sur le climat et les facteurs de nuisance qui peuvent influencer directement sur les travailleurs et leur rendement.

Au niveau de la mine de Chaabet El-Hamra, la plupart des mineurs sont atteints de *la* silicose ou la surdité de perception qui sont des maladies à caractère professionnel déclarées, ils sont atteints par des maladies chroniques telles que:

- Le post- stress.
- L'hypertension.
- Le diabète.
- L'anxiété.
- Les dermatoses telles que l'eczéma de contact causé par l'eau acide et les huiles des engins miniers.
- Les vertiges dus à la descente au fond de la mine et le mauvais éclairage.
- Les maladies oculaires telle que la myopie qui est due principalement à la visibilité limitée au fond de la mine (mauvais éclairage).

III.1.2.1- La silicose :

La silicose est la maladie la plus connue chez les mineurs, elle fait partie des pneumoconioses qui signifient "poussières dans les poumons". Ces maladies du poumon sont dues en majorité, à une exposition professionnelle responsable d'accumulation de particules dans les poumons.

La maladie appelée silicose est due à l'inhalation de poussières de silice libre cristalline, de dimension inférieure à $5\ \mu\text{m}$ (cf figure 3.9)...

La silice cristalline libre est l'un des matériaux les plus abondants, on la trouve dans les sables, le charbon, les minerais métalliques et dans certaines roches telle que le granite, les grès et les silex. Elle se libère au cours des opérations d'abattage, concassage et broyage. Ces poussières pénètrent jusqu'à l'alvéole pulmonaire, empêchant ainsi les échanges respiratoires. La toxicité des poussières n'est pas la même d'une mine à l'autre.

La silice a un pouvoir de destruction du poumon et peut déterminer une fibrose pulmonaire (destruction irréversible du poumon) ou l'emphysème pulmonaire.

Parmi les causes fréquentes de décès chez les mineurs atteints de la silicose sont :

- La tuberculose pulmonaire.
- L'insuffisance cardiaque.
- L'insuffisance respiratoire due à la fibrose et à l'emphysème.

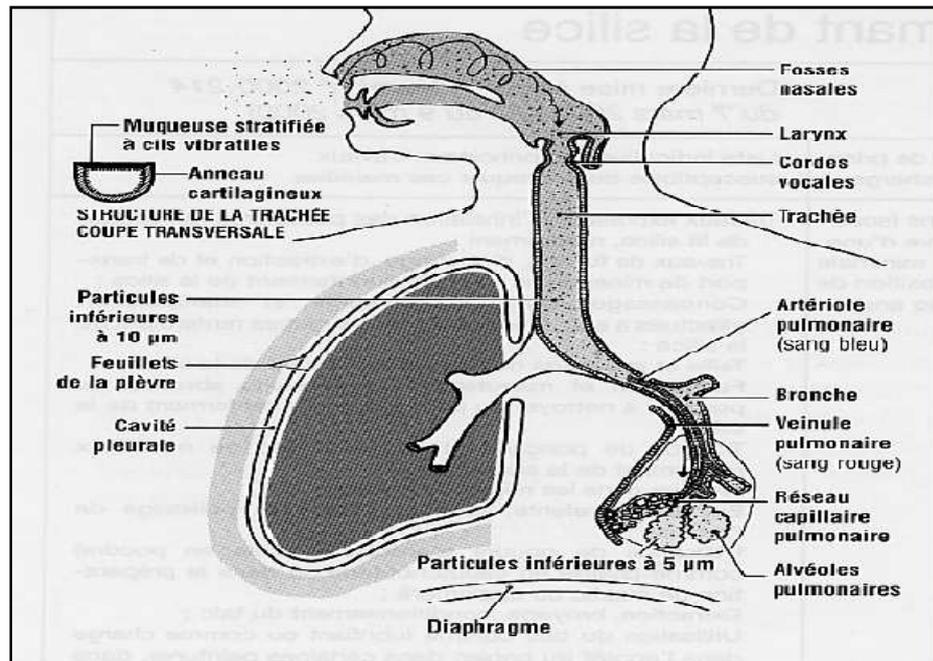


Fig.3.9 : Arbre pulmonaire (Claude GARDIA) [6].

Une norme sanitaire de la teneur de la poussière dans l'air pour les roches contenant plus de 10 % de silice SiO_2 est fixée à $2\ \text{mg}/\text{m}^3$ et pour les poussières provenant des autres minéraux, la teneur en poussière ne doit pas dépasser $10\ \text{mg}/\text{m}^3$ (voir le tableau 3.3).

Le tableau 3.3 : principales normes de l'atmosphère d'une mine souterraine [11].

Eléments	Normes
O ₂	> 20 %
CO ₂	<0.5 %
CO	<0.0016 %
NO , NO ₂	<0.001 %
H ₂ S	<0.00066 %
SO ₂	<0.00035 %
CH ₄	<0.75 %
Température	<26 °C
Humidité	<90 %
Vitesse de l'air	< de 3 à 6 m/s suivant les cas. > de 0.15 à 0.25 m/s suivant les cas.
Poussière (> 70% SiO ₂)	<1 mg/m ³
Poussière (10 - 70% SiO ₂)	<2 mg/m ³
Poussière (< 10% SiO ₂)	<4 mg/m ³
Poussière (sans SiO ₂)	<10 mg/m ³

III.1.2.2- La surdité de perception :

De façon très généraliste, on peut définir la surdité comme étant une diminution de l'audition, voire même une suppression de la capacité d'entendre des sons.

La surdité de perception est la plus fréquente des surdités .Elle touche l'oreille interne, c'est-à-dire la cochlée et le nerf auditif. En général, la surdité de perception ne peut pas être soignée par voie médicale, mais elle est souvent efficacement corrigée avec des appareils auditifs.

La surdité de perception peut être causée par :

- Variation brutale de la pression.
- Traumatisme crânien.
- Agresseurs chimiques tels que : le plomb, le mercure, l'arsenic.
- Une exposition prolongée aux bruits très forts.
- Perte du pavillon de l'oreille.
- Brûleurs thermiques ou électriques.

Il est important de savoir que la surdité n'est pas une maladie, mais bien un handicap à vie.

III.2- L'impact des cimenteries sur l'environnement : Le cas de la cimenterie de Ain-Touta (BATNA)

Le phénomène d'aérosol atmosphérique est le plus développé, il affecte directement les sols avoisinant la cimenterie. Les résultats chimiques montrent une corrélation entre la quantité des poussières déposées et les proportions des différents constituants de matière dans les sols.

La nocivité des cimenteries serait moindre si ces usines étaient installées dans des régions à faibles densité humaines et sur des terres non agricoles. Néanmoins l'exigence actuelle est d'orienter les investissements vers la protection de l'environnement et de mettre en œuvre le système de management environnemental.

La cimenterie de Ain Touta, commune de Tilatou, à 35 km de Batna (Est algérien), couvre une superficie de 20 hectares. C'est une usine à voie sèche dont les matières sont constituées de calcaire et d'argile. Elle est entrée en phase de production en 1986 et depuis, elle n'a cessé d'augmenter sa capacité de production de ciment afin de satisfaire les besoins nationaux d'une manière générale et locaux d'une manière particulière.

Des signes de déséquilibre écologique ont été remarqués :

- au niveau atmosphérique, ces signes se traduisent par une couche poussiéreuse résultant des rejets de la cimenterie et de sa carrière,
- au niveau de l'agriculture par une diminution sensible de la production potagère et végétale,
- au niveau sanitaire par la multiplication de cas de maladies liées à cette industrie, tel l'asthme et autres maladies respiratoires.

III.2.1- La pollution des sols :

D'une manière générale, la pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous produit de l'action humaine par des effets directs ou indirects.

La pollution est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale.

III.2.1.1- Types de polluants rejetés dans l'atmosphère :

Dans l'industrie du ciment, les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson mais surtout par les émissions de poussières à tous les niveaux de production du ciment.

Les polluants contenus dans les gaz de combustion dépendront de la nature du combustible utilisé (charbon, fuel ou gaz naturel) et de la composition du minerai.

Les principaux polluants rencontrés dans l'industrie du ciment sont :

- Le dioxyde de soufre (SO₂) émis principalement par la combustion au niveau du four et se transforme en SO₃ dans l'atmosphère et en présence d'humidité ; il peut provoquer des pluies acides.

Les émissions du SO₂ sont considérablement réduites car la plupart des cimenteries du pays fonctionnent au gaz naturel.

- L'oxyde d'azote (NO₂) produit au niveau du four pendant la combustion. Sa formation est favorisée par un excès d'oxygène, et surtout par la température de la flamme. Il continue à s'oxyder dans l'atmosphère pour former lui aussi des pluies acides.
- Le monoxyde de carbone (CO) produit au niveau du four lorsque la combustion est incomplète ou lorsque le four est mal réglé. Il est très toxique. Ses émissions sont très réduites lorsque le four fonctionnant au gaz naturel puisque la combustion est toujours complète.
- Le dioxyde de carbone (CO₂) produit quand la combustion est complète (avec suffisamment d'air). Le CO₂ est également rejeté durant la calcination suite à la décarbonatation du calcaire contenu dans la matière première. Le CO₂ n'est pas officiellement un polluant mais son augmentation dans l'atmosphère pose le problème actuel de l'effet de serre.
- Les poussières représentent la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. Elle est plus ressentie par la population pour des raisons physiologiques et psychologiques. Leur granulométrie est un facteur important, les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses se déposent sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille.

Les effets des poussières sur la santé dépendent essentiellement de trois facteurs [7]:

- le niveau de concentration auquel est exposé l'organisme (milieux professionnels)
- la durée d'exposition ou le temps durant lequel l'ouvrier ou l'habitant est exposé à ce milieu ;
- l'effort physique qui s'accompagne d'une augmentation de la ventilation pulmonaire.

❖ A COURT TERME :

- Le SO₂ provoque une irritation des muqueuses de la gorge et une inflammation des bronches. Quand il est associé aux particules, il peut affecter tout l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles.
- Le CO se fixe sur les globules rouges du sang et empêche le transport de l'oxygène vers les cellules. A forte dose, il peut causer une asphyxie mortelle.
- Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.
- Les poussières fines (<5µ) atteignent les alvéoles et peuvent pénétrer dans le sang. Elles peuvent transporter d'autres polluants qui y sont adsorbés et causent des décès pour raison d'accidents cardio-vasculaires.

❖ A LONG TERME

Ces polluants peuvent provoquer des maladies respiratoires telles que l'asthme, les bronchites (SO₂, Poussières), allant jusqu'au cancer des poumons (NO₂, particules).

III.2.1.2- Aérosol atmosphérique [17]:

Le phénomène d'aérosol atmosphérique est le plus développé dans la région de Ain Touta, il affecte directement les sols avoisinant la cimenterie. Ce sont des particules liquides, solides ou mixtes en suspension dans l'atmosphère. Elles sont présentes en très grand nombre et leur concentration varie de plusieurs puissances de 10 en fonction du lieu et du temps. Leur diamètre effectif varie de 1/1 000 000 m à 5/100 mm. Elles jouent un rôle primordial dans le phénomène de la condensation nuageuse, elles peuvent être retenues par les voies respiratoires et en concentration élevée, elles peuvent être gênantes, voire nocives et dangereuses et constituent alors un facteur de pollution.

Les poussières provenant des cimenteries peuvent être émises avant, pendant et après la cuisson du clinker depuis l'extraction au niveau de la carrière jusqu'à l'ensachage et le chargement du ciment.

Deux processus de pollution sont distingués :

- Le transport: les particules, suffisamment petites pour rester longtemps en suspension dans l'air, peuvent être transportées par les vents sur de grandes distances. Ce processus de transport implique en général la dilution des polluants et empêche les produits transportés d'atteindre des concentrations nocives suffisamment loin des sources. Mais il contribue aussi à donner au problème de la pollution une dimension régionale plutôt que local.
- Le dépôt: Il se déclenche lorsque la vitesse du vent tombe en dessous de la vitesse limite nécessaire au transport. Il s'effectue en général par piégeage des éléments grossiers.

Une étude d'impact des poussières sur les sols, les céréales et la santé a été réalisée (par Khelifa R et al, 2005) en fonction de:

- la direction principale qu'elles prennent ;
- la continuité de leurs dépôts sur les sols ;
- Leur distribution sur les sols en fonction de la distance à partir de la cimenterie.

Les résultats de cette étude sont donnés ci-après.

III.2.1.3- La quantification des poussières :

Il s'agit de quantifier les poussières déposées dans des bacs et d'estimer en moyenne ce dépôt en t/ha. Chaque bac déposé a une surface de 0,0314 m².

Les valeurs des quantités des poussières récupérées sont consignées dans le tableau 3.4.

Tableau 3.4 : prélèvement des poussières déposées dans les bacs [7].

Station	Eloignement (m)	Direction du vent	Prélèvement (g)	Prélèvement (g/m ²)	Prélèvement (t/ha)
S ₁	20	-	4.58	145.85	1.4585
S ₂	500	SW-NE	3.06	97.66	0.9766
S ₃	1000	SW-NE	2.73	87.17	0.8717
S ₄	2000	SW-NE	2.21	70.38	0.7038
S ₅	500	NE-SW	2.24	71.33	0.7133
S ₆	1000	NE-SW	2.03	64.74	0.6474
S ₇	2000	NE-SW	1.07	34.07	0.3407
S ₈	500	S-N	1.51	48.08	0.4808
S ₉	1000	S-N	1.10	35.03	0.3503
S ₁₀	2000	S-N	0.32	10.19	0.1019
S ₁₁	500	E-W	1.36	43.31	0.4331
S ₁₂	1000	E-W	1.01	32.16	0.3216
S ₁₃	2000	E-W	0.19	6.05	0.0605

La station (S₁) distante de 20 m, a pour but d'évaluer les quantités de poussières déposées à l'entourage proche de la cimenterie.

III.2.1.4- L'effet de l'éloignement de la carrière :

L'éloignement de la carrière s'accompagne d'une diminution progressive des quantités de poussières déposées sur les sols.

La figure 3.10 montre que sur un rayon de 2000 m de la cimenterie, et dans chaque direction du vent, une diminution significative des quantités des poussières est observée. La cimenterie et sa carrière d'agrégats sont donc les sources principales d'émission de ces poussières sur les sols voisins.

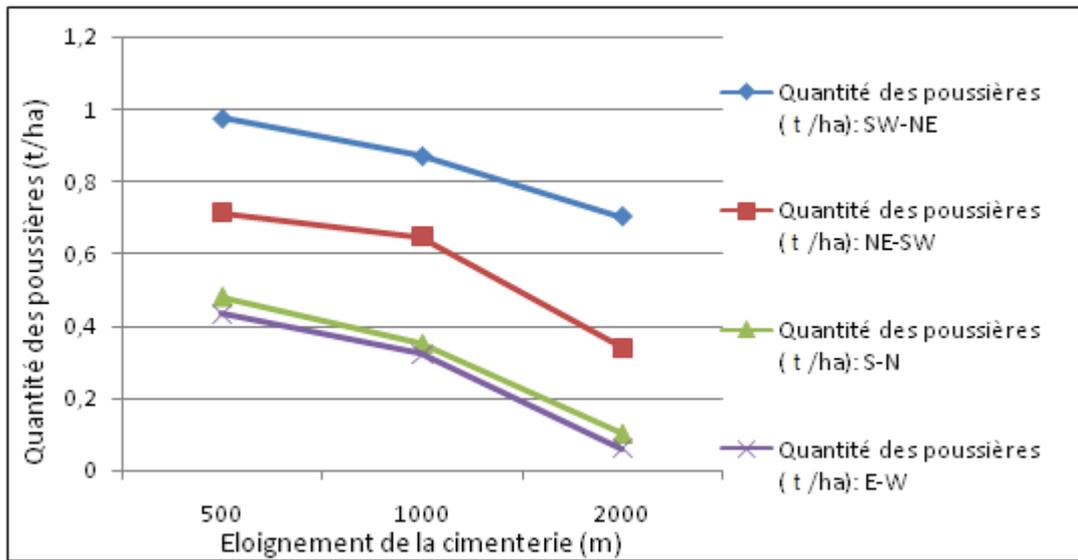


Fig.3.10: Représentation graphique de la quantification des poussières selon l'éloignement [7].

III.2.1.5- L'effet de la direction des vents :

La figure 3.10 montre aussi que les grandes quantités des poussières se dirigent dans la direction SW-NE, qui est celle des vents dominants de la région.

Les zones qui sont épargnées plus ou moins par le rejet des poussières émises par la cimenterie sont celles qui se situent dans les couloirs des vents E-W et S-N.

III.2.1.6- L'analyse des poussières :

La composition chimique des poussières déposées dans les bacs de mesures (en pourcentage massique) est donnée dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5 : composition chimique des poussières sédimentables dans les bacs.

Désg	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	Total
%	20.10	2.81	2.09	64.95	0.35	0.20	0.08	0.83	0.004	91.41

L'échantillon de poussière analysé présente une très forte teneur en CaCO₃ (calcaire) de par sa présence en grand pourcentage dans le ciment. Il contient aussi une teneur assez élevée en SiO₂ (silice) et une présence de moyenne à faible en Al₂O₃ (alumine), en Fe₂O₃ (oxyde ferrique) et en MgO (magnésie). Elles sont dues à la présence de l'argile dans le clinker (de 22% à 25%).

III.2.2- Impact des poussières sur le sol :

Des échantillons de 10 g chacun, ont été séchés, broyés et passés au QCX (Quality Control by computer and X-ray) pour analyse et a donné les résultats suivants (tableau 3.6).

Tableau 3.6 : analyse chimique des différents échantillons de sols [7].

Désign	Ech.1 S (1000 m)	Ech.2 S-W (5000 m)	Ech.3 E (1000 m)	Ech.4 N-E (300 m)	Ech.5 W (5000 m)	Ech.6 W (1000 m)
SiO ₂	39.3	64.5	49.3	46.6	48.3	49.3
Al ₂ O ₃	15.08	18.5	12.16	16.48	17.51	19.55
Fe ₂ O ₃	5.94	7.18	5.45	6.22	6.87	7.19
CaO	13.3	7.1	13.1	8.3	5.9	1.9
MgO	2.69	3.32	2.4	2.69	2.92	3.11
K ₂ O	2.45	3.12	1.22	2.28	2.56	2.86
Na ₂ O	0.6	0.72	0.65	0.65	0.68	0.68
SO ₃	0.98	0.97	0.83	0.93	0.95	0.97
Cl	0.009	0.008	0.005	0.008	0.008	0.008

Les résultats chimiques de la poussière et des sols montrent une corrélation entre la quantité des poussières déposées et les proportions des différents constituants calcaires dans les sols. Elle peut être mise en évidence sous deux aspects : l'éloignement de la cimenterie et l'action des vents. Ce qui confirme que cette pollution provient des poussières dégagées par la cimenterie en question.

III.2.3- Impact des poussières sur la végétation :

Les poussières déposées sur les plantes les empêchent de respirer et peuvent causer leur mort progressive. A la longue, cela provoque la disparition de toutes les espèces végétales avoisinantes.

Les différentes études de recherche ont montré que certains rejets chimiques comme le SO₂, le fluor et le peroxy acétyl nitrate avaient des effets néfastes sur la végétation. Les plantes affectées sont aussi rendues plus sensibles aux infections cryptogamiques, ce qui entraîne avec le temps une réduction du rendement des cultures.

Pour constater l'effet des poussières sur la céréaliculture, des mesures de longueur des épis (en fonction de l'éloignement de la cimenterie) ont été prises dans la parcelle céréalière (tableau 3.7).

Tableau 3.7 : résultats de mesures des longueurs des épis en fonction de l'éloignement.

Eloignement de la cimenterie (m)	20	250	500	1000
Longueur totale de l'épi de blé selon la direction du vent Sud/Nord (cm)	15.80	24.15	25.45	46.17
Longueur totale de l'épi de blé selon la direction du vent Est/Ouest (cm)	17	26	33.85	41

La représentation des résultats du tableau 3.7 est illustrée par la figure 3.11.

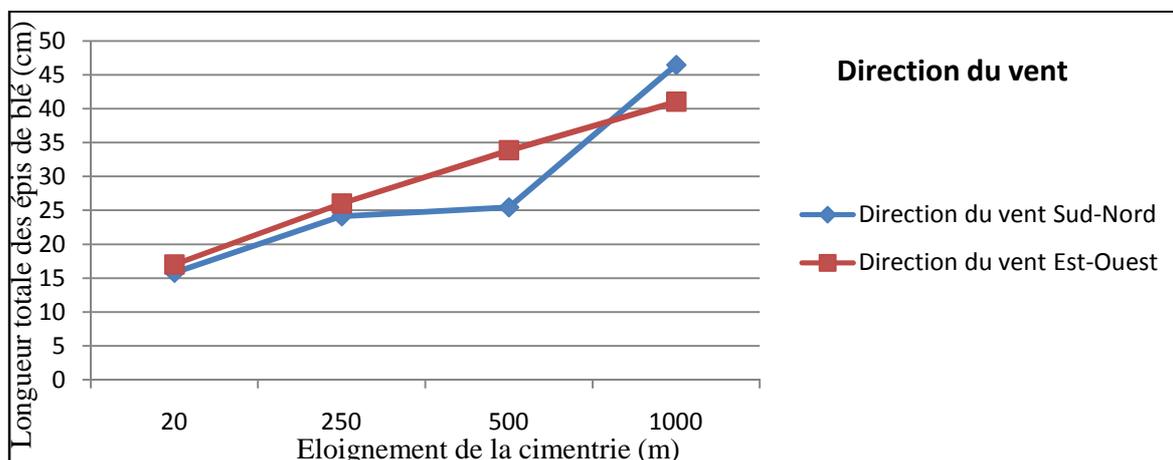


Fig.3.11: influence de la pollution sur la longueur des épis de blé près d'une cimenterie [7].

III.2.3.1- Discussion :

Une diminution des longueurs des épis est plus importante dans la direction Sud-Nord car elle est conséquente de l'effet des poussières. Une augmentation progressive de la longueur des épis dans les deux directions (Sud-Nord et Est-Ouest) est constatée. Ceci semble montrer l'influence des poussières émises par la cimenterie sur la qualité de la production céréalière.

IV- CONCLUSION

Les ciments et les granulats sont des matériaux indispensables pour la construction et le développement de tous les pays, mais les poussières et les gaz dégagés depuis leurs l'extraction jusqu'aux stockages polluent l'atmosphère et mettent en danger la vie humaine et l'agriculture avoisinante, malgré l'avis contraire émis par les cimenteries qui affirment que les particules dégagées sont inoffensives.

D'après les analyses des sols faites au laboratoire, il ressort que les teneurs en silice, en alumine et en calcaire sont très forte, affirmant qu'il y a des apports extérieurs de ces matières dont la source principale est la poussière et les gaz dégagés de la cimenterie, d'où la dépollution dans cette zone devient aujourd'hui une nécessité pour éviter plus de pollution et une mort progressive des sols qui l'avoisinent. Des dépoussiéreurs appropriés doivent être mis en place, de sorte que les poussières ne peuvent s'échapper dans l'atmosphère.

Les activités d'extraction de Kherzet Youcef ont un effet direct sur la morphologie des lieux en créant des fosses d'exploitation, des piles de roche stérile et de minerai ou des orifices à flanc de coteau servant d'entrée de mine. Ces infrastructures engendrent des modifications aux configurations hydrographiques. L'activité sur les sites génère de la poussière, du bruit et nécessite l'utilisation d'eau et d'énergie pour les forages. La détérioration de la qualité des eaux de surface, la perte d'habitats autant pour la faune que pour la flore, le surpompage des nappes d'eau souterraine, les risques d'érosion, d'éboulis ou affaissement, de déversement d'hydrocarbure sont des impacts potentiels à considérer.

La nocivité des travaux miniers serait moindre si ces usines et leurs sites d'extractions étaient installés dans des régions à faibles densité humaines, sur des terres non agricoles et leurs rejets n'affectent pas l'écosystème aquatique.

CHAPITRE IV

Plan d'action lors d'une exploitation et remise en état des lieux

I. INTRODUCTION :

Les travaux miniers ont des conséquences directes et parfois durables sur l'environnement. La demande grandissante d'une réglementation visant la protection de l'environnement, s'appuyant sur des programmes d'études d'évaluation des principaux impacts environnementaux des carrières va dans le sens d'atténuer les effets et stress importants que fait subir cette exploitation à l'écosystème sur le plan physique, chimique et biologique.

II. NUISANCES ET ACTIONS PREVENTIVES :

Les nuisances des travaux miniers sont très variables en fonction du type de matériau, du type d'exploitation, de l'environnement du site. On distingue les nuisances principales :

II.1- Le bruit: Les installations de traitements, l'extraction des matériaux et la circulation des engins de transport sont à l'origine de bruits dont les caractéristiques sont variables par leur nature et leur position. Ces bruits ne sont pas identiques et surtout pas continus, pour atténuer cet effet il faut entrevoir les actions suivantes:

II. 1.1- Le bruit lié à l'extraction des matériaux :

Le bruit est engendré lors de l'extraction des matériaux par des engins (brise-roche, bulldozer, foreuse, etc.). La foration des trous de mine pour l'extraction des roches dures atteint un niveau d'intensité acoustique proche du seuil de douleur (110 dB). Le port d'un casque est donc nécessaire pour le personnel utilisateur de ces outils, afin d'éviter des risques de lésions dans l'appareil auditif. On rappelle que, sans protection, la zone de sécurité est comprise entre 0 et 80 dB, que la zone de danger va de 80 à 120 dB, où commence alors la zone nuisible ; avec protection, la zone de sécurité peut aller jusqu'à 110-120 dB. Certains engins ont leur niveau sonore réglementé (par exemple les groupes motocompresseurs). Ces engins doivent être entretenus notamment au niveau des silencieux d'échappement.

La principale source de nuisance des carrières de roches massives est le tir de mine, elle est source d'inquiétude pour les riverains des carrières car elle provoque un bruit d'explosion, un effet de surprise et parfois un effet de souffle. Il est recommandé de se concerter avec les habitants des alentours pour les choix des heures de tirs afin de diminuer l'effet de surprise, parfois dangereux pour les personnes âgés, malades ou cardiaques.

II.1.2- Le bruit lié aux installations de traitement :

Les installations de traitements sont à l'origine de bruits dont les caractéristiques sont variables par leur nature et leur position. Ces bruits ne sont pas identiques et surtout pas continus, Afin de limiter ces nuisances, l'exploitant mettra en place les dispositions suivantes :

- Capotage des éléments les plus bruyants (concasseurs, convoyeurs) ;
- Le site fonctionnera uniquement les jours ouvrables et en période de jour;
- Les avertisseurs des engins ne seront utilisés que pour prévenir un accident ;
- Hormis les systèmes d'alarme de sécurité, sirènes et hauts parleurs seront proscrits ;
- Mise en place des murs écrans aménagés autour des installations, des obstacles naturels...

On rappelle que le niveau sonore perçu par les habitants des alentours ne doit pas dépasser 40 dB; C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en place des dispositifs élastiques antichocs. Ceci, en l'absence d'écrans naturels, permet une distance entre installations et habitations de 500 m. L'exploitation d'une carrière sans usage d'explosif à moins de 300 m des habitations est possible si un talus de 20 m comporte une plantation serrée d'arbres (ANGCM ,2004).

II.1.3 - Le bruit lié à la circulation des engins de transport :

Les camions et autres engins empruntent si possible des itinéraires hors agglomération. Quand ils sont obligés de passer dans les agglomérations, ils ne circulent pas la nuit ; l'aménagement des plages horaires telles que 8H-18H pourrait ne pas trop gêner les habitants des agglomérations traversées [14].

II.2- Les poussières :

Les poussières ont des taux de pollution dans l'air à faire respecter. Ainsi, lors de l'extraction, du traitement ou du transport des matériaux, il est nécessaire de limiter la pollution de l'air par les poussières, Des normes algériennes limites les paramètres de rejets atmosphériques voir l'annexe (tableau A2).

L'extraction, la transformation et le déplacement des ressources minérales sur et hors sites engendrent l'émission de poussière. Cette dernière doit être identifiée et calculée son taux déposé sur le sol (en gr/m^2) en fonction des distances et directions des vents. La vérification serait périodique dont le résultat est consignée dans un registre.

II.2.1- Les poussières liées à l'extraction :

On utilise des marteaux perforateurs qui sont soit :

- équipés à l'eau : les poussières dues au forage sont immédiatement transformées en boues ;
- soit équipés d'aspirateurs montés sur l'appareil : les poussières sont récoltées dans un sacnet ;

Des émulsions faisant obstacle au dégagement de poussières provenant de produits pulvérulents ont été mises au point (exemple : additifs antipoussières Téflon K (USA), solutions avec émulsions de bitume, de polymères et autres (ex-URSS), ...).

I.2.2- Les poussières dans les ateliers de traitement :

Le dépoussiérage se fait :

- par pulvérisation d'eau (cf figure 4.1), cette technique consiste à humidifier les poussières par pulvérisation d'un mélange d'eau et d'additif chimique (agent tensioactif) entraînant une sédimentation immédiate et totale des poussières (cf figure 4.2) ;
- par bardage (couverture des installations) ;
- par aspiration à voie humide ou à rejet des poussières dans un filtre à manche ;
- par des silos ; Le stockage des produits dans des silos de stockage multi-compartiments, chaque compartiment étant muni d'un filtre à manche qui auront une efficacité permettant de garantir un rejet en poussières inférieur à 30 mg/ m^3 ¹, les silos permettant de réduire les envois de poussières.

¹ Air normalisé (Nm³) : volume d'air ramené aux conditions normales de température (273 K, soit 0°C) et de pression (101,3 kPa, soit 760 mm Hg), suivant la loi des gaz parfait PV= NRT.



Fig.4.1: Abattage des poussières par pulvérisation d'eau (AZREUG .M ,2009).

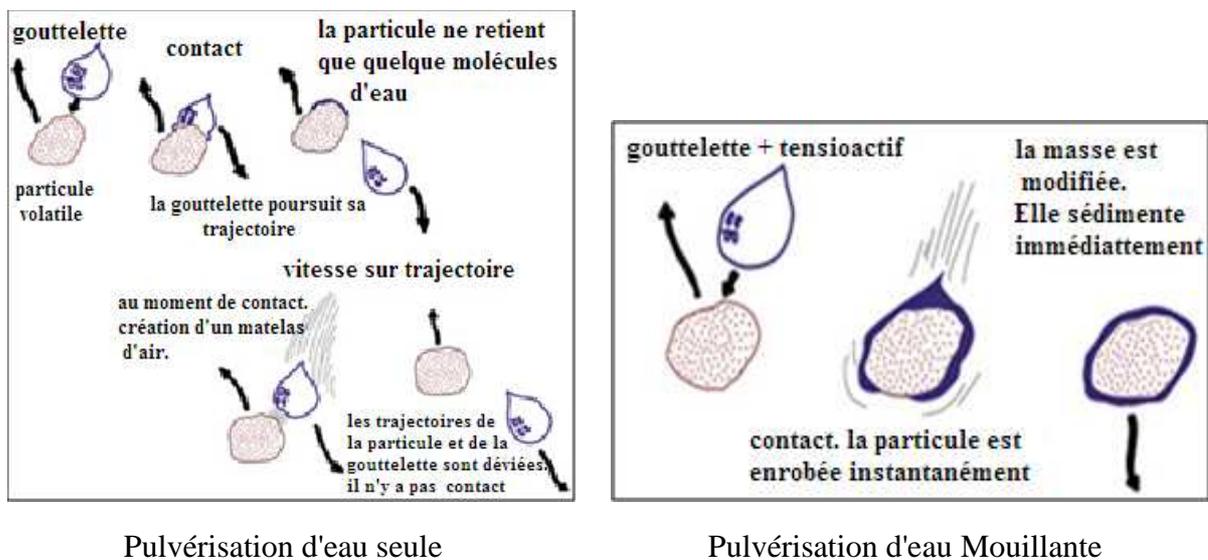


Fig.4.2: Humidification des poussières par pulvérisation d'eau (d'après ramenvironnement ,2006).

II.2.3- Les poussières dues au transport des matériaux :

- Pour une courte distance, on préfère utiliser les bandes transporteuses (leur installations à l'abri des vents dominants cf figure 4.3 ou capoter cf figure 4.4);
- Pour des distances plus longues, on utilisera le camion, en faisant attention à l'envol des poussières :
 - les pistes principales sont traitées par enrobé, dalles en béton, treillis métallique, Il faut noter que ces investissements conduisent à une économie de carburant, de pneus, et à un meilleur rendement;
 - les pistes principales et secondaires non traitées sont arrosées régulièrement avec de l'eau;

- le chargement de sable ou graviers fins ne doit pas dépasser le niveau supérieur de la ridelle, le bâchage est nécessaire pour le transport sur la voie publique ;



Fig.4.3 : Installation à l'abri des vents dominants (AZREUG .M ,2009).



Fig.4.4: Capotage des convoyeurs (AZREUG .M ,2009).

II-3. Pollution des eaux [14]:

Les carrières et mines sont consommatrices d'eau et peuvent exercer des pressions environnementales sur le milieu récepteur et le réseau hydrographique : pompage en eau de surface (prise d'eau), rejets d'eaux usées ou d'eau d'exhaure, modification du réseau hydrographique. Les eaux superficielles peuvent être polluées sur les plans physique et chimique.

II-3-1. Les pollutions physiques ou mécaniques :

Une exploitation peut rejeter dans un oued, un cours d'eau ou un lac voisin des solides en suspension. Ce rejet augmente la turbidité de l'eau, ce qui peut entraîner une diminution plus ou moins rapide de la demande biologique en oxygène, et une réduction de la pénétration de la lumière dans l'eau, et donc de la photosynthèse.

Pour pallier à cette pollution très nuisante, il est nécessaire de protéger l'eau de toute pollution, des normes algériennes donnent des limites aux paramètres de rejets d'effluents liquides industriels voir l'annexe (tableau A3).

Différentes techniques de traitement ont été mises au point pour le recyclage intégral des eaux de lavage des matériaux. En effet, les matériaux sont lavés, d'abord pour enlever les éléments enrobant les produits sains (argiles ou produits fins adhérents, déchets organiques ou minéraux), puis pour trier ou classer granulométriquement les matériaux. Si ces eaux de lavage étaient rejetées, il y aurait accroissement de la turbidité. Ces eaux sont alors traitées :

- en bassin de décantation simple : dans des fosses rectangulaires creusées à même le sol, les particules les plus lourdes de ces eaux chargées se déposent, les limons sont rejetés. Une fois le bassin rempli, son curage est difficile. Cette méthode à une efficacité limitée, le recyclage de l'eau n'est cependant pas convenable malgré son coût peu élevé.
- en bassin de décantation composé : en régime permanent, c'est un système à deux bassins qui fonctionne (cf figure 4.5), l'un étant en clarification et l'autre en séchage en vue d'un curage. Dans les eaux de lavage amenées, des flocculants sont ajoutés.

Ils provoquent l'agglomération des particules très fines dispersées dans les eaux, formant ainsi des floques ou flocons, de taille supérieure, dont la vitesse de sédimentation est plus élevée.

Il faut recycler les eaux d'abattage des poussières et de débouillage des matériaux par la mise en place de bassins de décantation et leur fonctionnement en circuit fermé.

- par les panneaux tamiseurs : des matériaux fins peuvent être récupérés, ce qui réduit de moitié ou de deux tiers la quantité des produits à curer.



Fig.4.5 : les bassins de décantation composée (d'après ramenvironnement, 2006).

II.3.2- Les pollutions chimiques :

Dans une carrière, elles peuvent être dues au déversement d'huile des engins d'extraction et aux rejets de produits chimiques utilisés pour séparer certaines substances.

Il est interdit de déverser ces rejets dans l'oued ; on peut mettre en place une barrière de protection (faite par remblayage de matériaux imperméables).

L'exploitant est tenu de prendre les mesures nécessaires pour que le stockage des stériles potentiellement acides et des effluents miniers provenant du traitement des minerais altèrent le moins possible la qualité des eaux souterraines et du sol en prévoyant un système de gestion des résidus approprié, porté à la connaissance de l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier qui peut y apporter toutes les améliorations que les Ingénieurs chargés de la Police des mines jugeront opportunes.

Le sommet du dépôt des rejets stériles doit avoir une pente pour éviter les stagnations d'eau de pluie et gérer les écoulements d'eau de pluie (cf figure 4.6).

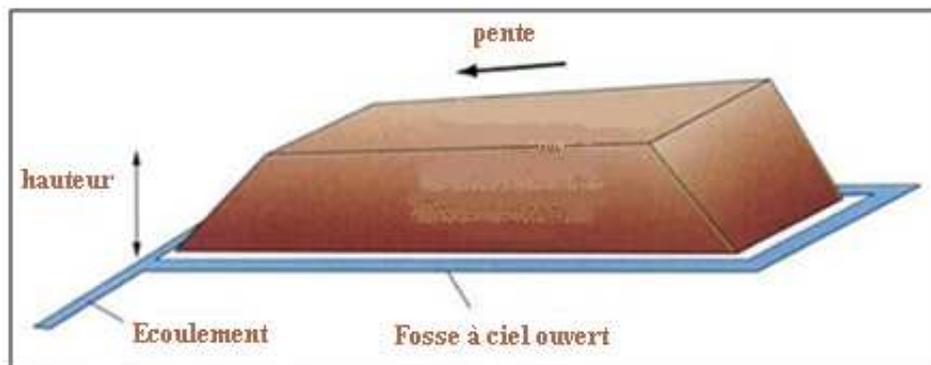


Fig.4.6 : Schéma de collecte des eaux de pluie d'un stock stérile.

Recouvrant les stocks de déchets miniers d'une couverture imperméable : film plastique, épandage de goudron ou de Chaux et de polymère hydrophobe. La couverture peut aussi être naturelle, permettant une revégétalisation et donc une protection contre l'érosion : couches superposées d'argile et de terre, dépôts de tourbière (riches en matière organique et réducteurs).

De même, le traitement du filtrat acide provenant des amas de déchets miniers est coûteux et de longue durée. Certains systèmes de traitement ont été mis au point afin de traiter le filtrat acide. Ils peuvent être classés en deux catégories : les systèmes actifs et les systèmes passifs. Les systèmes actifs utilisent l'action de la chaux pour neutraliser les eaux acides dans des usines traditionnelles de traitement des eaux usées. Les systèmes passifs utilisent la capacité des écosystèmes à se régénérer eux-mêmes de façon naturelle.

De nos jours, l'accent est mis sur la compréhension et l'utilisation des systèmes passifs. Cette recherche est du domaine de la biotechnologie et explore les propriétés naturelles des bactéries, des plantes, de divers matériaux organiques et des marais de rétention.

- Les bactéries :

La biodégradation bactérienne est utilisée pour nettoyer les sols et l'eau souterraine contaminés. Dans certaines conditions, les bactéries peuvent aussi être utilisées pour récupérer des métaux.

Par exemple, certaines bactéries se nourrissent en réduisant des composés d'arsenic. Ces composés peuvent alors être récupérés par lavage et traités.

- Les plantes :

Les plantes peuvent être utilisées pour extraire le métal du sol, soit comme mesure économique ou pour réduire la contamination des sols.

Au Royaume-Uni, des essais ont démontré que certaines plantes de la famille du cresson ont la capacité d'extraire le zinc, le cadmium et le nickel des sols. Lorsque ces plantes sont recueillies et incinérées, leurs cendres peuvent contenir jusqu'à 20 % d'oxyde de métal qui peut alors être récupéré par des méthodes de concentration traditionnelles. Ce mécanisme est si efficace, qu'une fois traité, on pense que le sol devrait être propice à l'agriculture.

En Californie, la même approche est essayée afin de récupérer le nickel et le cobalt du sol à l'aide de la moutarde sauvage. Les chercheurs espèrent que les cendres de la

plante contiendront de 15 à 20 % de nickel, qui pourra alors être récupéré en utilisant les méthodes de lixiviation traditionnelles.

- Les matériaux organiques divers :

On étudie les performances de divers matériaux organiques (tourbe, compost provenant de déchets solides municipaux et boues d'égout neutralisées à la chaux) comme couverture afin de réduire la production acide dans les déchets miniers. Cette nouvelle approche utilise un type de déchets pour éliminer les problèmes générés par un autre type de déchets.

- Les marais de rétention :

Un mécanisme efficace pour traiter les eaux d'écoulement des sites miniers consiste à les filtrer dans un étang biologique avant de les libérer dans l'environnement. L'eau est amenée dans un marais ou un marécage. Les métaux lourds présents dans l'eau sont absorbés par les plantes. Une fois ces contaminants éliminés, l'eau filtrée peut être libérée dans l'environnement. Cette méthode est autonome et peut fonctionner sans intervention humaine pendant de nombreuses années.

Les recherches ont démontré que plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques contribuent à améliorer la qualité de l'eau à mesure que celle-ci circule dans le marais de rétention.

Le processus physique le plus simple est la propriété de filtrage du système racinaire des plantes qui retient les solides en suspension et les particules agglomérées lors de leur passage dans le marais de rétention.

Le processus le plus important de nettoyage des métaux toxiques en solution est l'action de bactéries spécifiques. Par exemple, une bactérie spécifique peut oxyder jusqu'à 90 % du fer disponible en solution qui est alors précipité sous forme d'hydroxyde de fer au fond du marécage. D'autres bactéries spécifiques entraînent la production de précipités insolubles qui demeurent enfouis dans le substrat organique du marais.

Haque (1992) a répertorié les principaux minéraux possédant un pouvoir tampon. Ce dernier est exprimé sous forme de potentiel de consommation d'acide, implique: la masse de minéral requise pour avoir la même capacité de neutralisation que 100 g de calcite (tableau 4.1). Plus ce nombre est faible, meilleure est la capacité tampon massique. On note que plusieurs minéraux ont une capacité tampon massique plus importante que celle de la calcite.

Tableau 4.1 : Différents minéraux et leur pouvoir tampon (Haque, 1992).

Minéraux	Composition	Potentiel de consommation d'acide
Chaux	CaO, Ca(OH) ₂	56,74
Calcite	CaCO ₃	100
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	92
Magnésite	MgCO ₃	84
Whiterite	BaCO ₃	196
Gibbsite	Al(OH) ₃	26
Brucite	Mg(OH) ₂	29
Ankerite	CaFe(CO ₃) ₂	108
Goethite	FeOOH	89

Tout changement de procédé de traitement risquant d'entraîner une émission plus grande, un rejet contaminant l'environnement ou une modification de la qualité du milieu ambiant, ne peut être mis en œuvre qu'après autorisation de l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier.

I.4- Aspect paysager :

La configuration particulière du gisement permet la confection d'une carrière particulière évoluant dans un intérieur pratiquement fermé assurant la protection de l'environnement et non visible de l'extérieur. L'origine des effets :

- la forme de l'excavation (voir la figure 4.7);
- le défrichement;
- la position de l'installation de traitement;
- les positions et dimensions des stocks de matériaux extraits et de découverte;
- l'aspect des fronts de taille;
- les contrastes de forme et de couleur;
- le déboisement.



Fig.4.7: la forme d'une excavation dans une carrière à ciel ouvert en Algérie.

Afin de corriger l'inconvénient visuel d'une carrière, une des solutions consiste à créer un merlon paysager, c'est-à-dire une petite colline artificielle qui abrite l'installation industrielle des regards. De surcroît, la création de ce merlon fournit un emploi utile aux stériles et à la terre végétale qui ont dû être décapés pour accéder au gisement (cf figure 4.8).

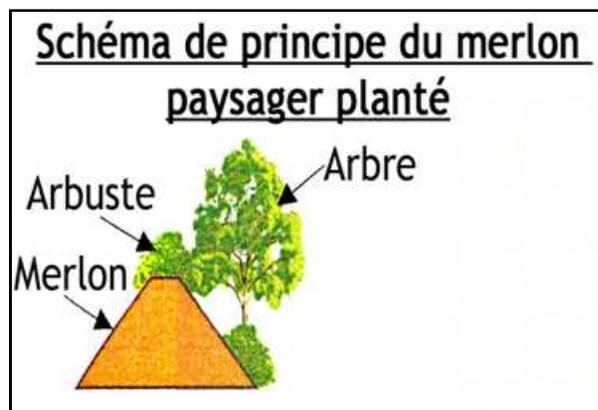


Fig.4.8 : schéma du merlon paysager planté.

La topographie des sites permet la confection d'une carrière particulière évoluant de telle sorte qu'elle soit visible à une distance proche. En effet cet impact sera réduit par :

- Une orientation des fronts d'extraction et limitée sa hauteur ;
- Eloignement du site par rapport au riverain ;
- L'installation de l'usine de traitement en fosse (éviter les inondations) ;
- Clôturer le site par rideau (ex : les arbres).

Les éléments les plus hauts sur les sites des travaux miniers seront :

- les bâtiments (bâtiment des installations) ;
- les installations (la station de concassage, les silos, les fours surtout verticaux) ;
- Le front de taille;
- le stockage des produits (les matières abattus, les produits finis, stériles et déchets ...) aura une hauteur maximale limitée.

Quand le climat est pluvieux, une tranchée amont au pied du gradin permet d'évacuer les eaux excédentaires vers un exutoire et sert de piège à cailloux afin de protéger les plants des chutes de pierres provenant du gradin. Dans certain cas de front de taille dans une roche gélive ou fragmentée, les chutes de bloc peuvent détruire les plants installés sur la banquette en contrebas. Un grillage ancré en haut et en bas du gradin peut à la fois stocker les cailloux, donc protéger les plants et servir de tuteur pour des plantes grimpantes.

Un petit merlon doit être créé sur la banquette bordant le vide afin de permettre de déposer une épaisseur suffisante de substrat et de terre sur la banquette (cf figure 4.9) .



Fig.4.9 : Banquette en préparation avec merlon aval et tranchée amont.

Ce merlon empêche en effet les éboulements de terre en contrebas de la banquette. Il permet en outre un travail sur la banquette dans de meilleures conditions de sécurité.

Le modelage des banquettes avant la fin de l'exploitation permet de créer des topographies en accord avec le paysage environnant et des conditions d'exposition et de profondeur de sol variées. Sur les banquettes horizontales, la roche doit être fissurée et une épaisseur suffisante de sol doit être déposée afin de créer des conditions favorables pour la croissance des plantations.

Le talus final sera graduellement réaménagé et reboisé afin de redonner au site un aspect paysager adéquat.

Les dépôts de terre sont à installer sur un sol propre, décapé et nivelé. Afin de limiter les altérations, l'institut agricole de l'état de Fribourg (Suisse) préconise, si le sous-sol est peu perméable, de creuser des fossés à ciel ouvert autour des dépôts pour détourner l'eau et, si le fond est très imperméable, de le recouvrir de 0,15 m de gravier et d'y incorporer des drains (cf figure 4.10).

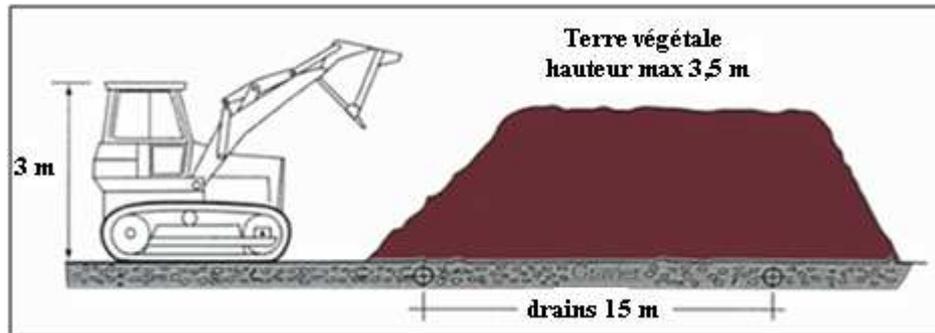


Fig.4.10: Préparation d'un site de stockage sur un sol imperméable (VANPEENE-BRUHIER .S et al., 2003)

Les conditions de stockage doivent privilégier le maintien d'une vie biologique du sol, et donc les tas doivent être larges et peu élevés pour maintenir au maximum l'aération du sol.

Les zones libérées par l'exploitation seront au fur et à mesure réaménagées par remblayage des terres de découverte et par nivelage de la plate-forme inférieure de la carrière.

III. ACTION CONTRE D'AUTRES NUISANCES :

III.1- Les ébranlements du sol:

Ils sont provoqués par les tirs de mines. Les bâtiments voisins peuvent être endommagés par fissurations, voire effondrements. Pour réduire cet impact, il faut minimiser la vitesse particulière de propagation des tirs de mines.

Dans la pratique, moyennant certaines hypothèses, la modélisation sismique hybride permet, à partir de l'enregistrement in situ des signatures sismiques, d'une ou plusieurs charges types, de modéliser un tir de production. Cet outil se révèle être particulièrement bien adapté à l'optimisation de la séquence de mise à feu. C'est grâce au « partenariat informel » avec LAFARGE CEMENTS que YSO Consultants a développé ces moyens de modélisation pour réduire les vibrations induites par les tirs de mines en environnement sensible. Il s'agit d'une combinaison hybride de mesures in situ et de simulations par ordinateur. Cette méthodologie est désormais applicable pour toute configuration de tir [3].

Lors de tirs de charges unitaires, des mesures de vibrations sont enregistrées selon différents profils, variant en direction et en distance, de sorte à caractériser les différentes signatures sismiques unitaires de chaque charge type. Les signaux sismiques produits par la détonation de charges unitaires sont enregistrés dans les conditions de propagation, réelles, spécifiques du site. Ces enregistrements contiennent les informations relatives d'une part, au mécanisme complexe du rayonnement de l'énergie sismique d'une source explosive artificielle et d'autre part, à l'effet de filtre dû à la propagation du signal dans le massif.

Exemples pratiques [3] :

L'exemple décrit ci après montre l'effet prépondérant de la géologie (c'est-à-dire l'influence des fonctions de Green) dans la restitution fréquentiel du signal enregistré et la validation d'une multi MSH avec plusieurs charges unitaires types.

Dans le cadre de la réalisation d'un talus, les charges sont décroissantes pour permettre aux engins de terrassement de réaliser une pente donnée. Les signaux unitaires de trois charges types différentes respectivement de 63, 43 et 25 kg avec un diamètre de 165mm ont été enregistrés dans la direction du tir en champ éloigné. Le contenu fréquentiel à ces stations, prises comme références pour la multi-MSH, reste sensiblement identique, par contre, on constate une décroissance de la vitesse; par ailleurs, cela permet d'établir une « loi » empirique d'amortissement en $\frac{D}{\sqrt{Q}}$ de la forme :

$$V \text{ calculée} = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-b} \quad (4.1)$$

où $K=500$ et $b=1,60$. Il est donc possible à partir de quelques tirs unitaires types d'obtenir une collection de signaux corrigés par une « loi » pour des charges différentes, à la station considérée, et ainsi modéliser l'ensemble du tir de production.

Dans ce cas particulier, les lignes de l'exploseur séquentiel sont disposées perpendiculairement à la face libre; l'intervalle entre lignes est réglé par l'exploseur à 82 ms; l'intervalle de 50 ms entre chaque trous d'une ligne est obtenu avec des détonateurs pyrotechniques. Si on admet une précision électronique pour 82 ms avec l'exploseur séquentiel, la figure 4.11 montre qu'il est possible de rester dans la plage de 2,0 à 2,5 mm/s (zone rouge). Dans ces conditions les microretards pyrotechniques de 50 ms entre trous peuvent varier de ± 5 ms sans affecter le résultat; ce qui est tout à fait réaliste pour des détonateurs électriques. Ceci est encore mieux vérifié avec un système d'initiation non électrique où le délai de surface reste constant lorsqu'il provient d'un même lot de fabrication.

Dans ce dernier cas il serait judicieux de choisir un intervalle entre lignes de 72 ms et un délai de surface non électrique de 42ms (connecteur standard).

Pour le tir de production les vitesses particulières enregistrées aux stations modélisées ont été respectivement de: 5,00 mm/s et 2,40 mm/s pour des prévisions de 5,0 à 6,0 mm/s et 2,0 à 2,5 mm/s.

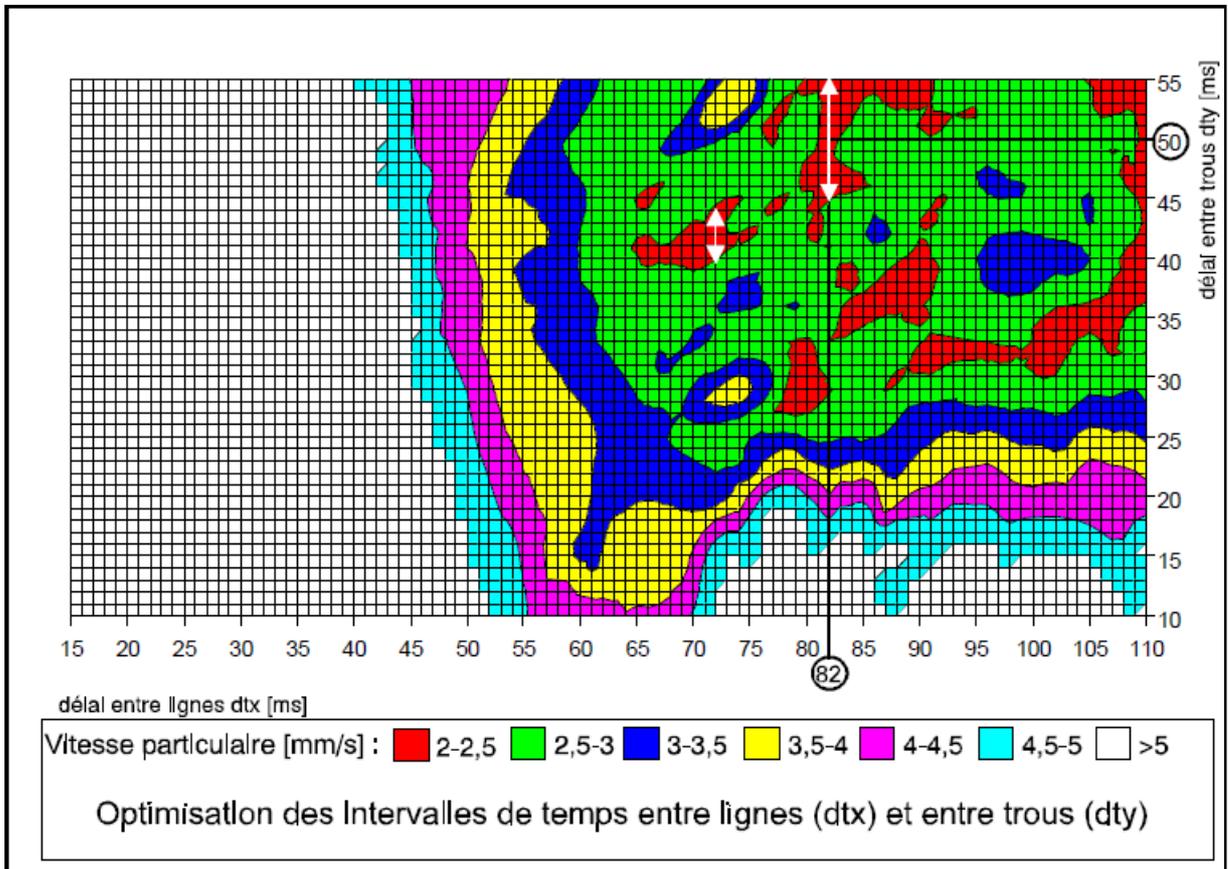


Fig.4.11 : Optimisation des intervalles de temps entre lignes et trous par SMH
(BERNASCONI .P, SIFRE .Y, 2006)

III.2- La dégradation des voiries:

Les voiries sont endommagées par le transport des matériaux. 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.

Les roues de camions devraient être lavées à chaque sortie de la carrière.

III.3- les rejets des huiles usagées :

Le stockage des huiles usagées sera interdit dans la zone de la carrière comme seront interdites la vidange des moteurs des engins et le lavage des véhicules. Ces

opérations ne seront réalisées qu'en atelier. Les huiles usagées seront stockées dans des fûts. Leur élimination sera effectuée dans des sites réservés à cet effet.

VI- REMISE EN ETAT DES SITES ET REAMENAGEMENT :

L'exploitation d'une carrière constitue une occupation temporaire du sol. A son issue, cet espace doit retrouver sa vocation d'origine ou une utilisation précisée dans le projet.

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 réaménagement est l'opération qui suppose la mise en place d'un processus complémentaire à la remise en état, dépassant le cadre de l'exploitation de la carrière et relevant de la seule volonté du propriétaire ou du futur gestionnaire du foncier. Il apporte à la zone exploitée une vocation nouvelle créatrice d'avantages d'ordre économique ou écologique;

La loi minière algérienne n°01-10 a mis l'accent sur la remise en état des lieux notamment dans son article 152. Par ailleurs l'article 176 fait obligation à tout exploitant de constituer annuellement avant détermination des résultats bruts une provision pour remise en état des lieux fixé à 0,5% du chiffre d'affaire annuel (hors taxes). Cette provision doit être placée dans un compte de consignation ouvert auprès du Trésor Public. Le montant de cette provision servira exclusivement à financer les travaux de remise en état des lieux.

L'objectif de la remise en état est donc multiple :

- mettre en sécurité le site (limiter les risques de chutes de blocs, d'éboulements, de noyades...);
- redonner une vocation au site qui ne doit pas devenir une friche mais doit être réaffecté à d'autres usages (agricole, touristique, loisirs, pêche, écologique...);
- assurer un environnement satisfaisant en recréant un cadre de vie adapté au milieu et cohérent avec l'aménagement du secteur;
- faciliter l'acceptation des exploitations de carrières;
- combler ou égaliser au fur et à mesure de l'avancement des travaux tout vide occasionné.

Pour les carrières en fosse la remise en état doit permettre après exploitation du gisement, de reconstituer sur le fond de fouille un sol ne présentant pas de facteurs limitant le développement de la végétation, c'est-à-dire qui assure :

- La création d'une bonne structure fragmentaire de la terre végétale permettant la pénétration des racines, de l'air et de l'eau;

- Une bonne richesse minérale et organique afin de satisfaire les besoins nutritifs des arbres ;
- Le développement d'une vie biologique indispensable à la fertilité des sols.

Pour cela, différentes couches de matériaux sont à remettre en place, car deux ou trois niveaux composeront le sol reconstitué :

- L'horizon organo-minéral ou terre végétale ;
- L'horizon minéral ou stériles ;
- Eventuellement une couche de remblais en sous-couche ;

Selon les cas, le réaménagement se fera en décaissé (le niveau du sol reconstitué étant alors sous le niveau initial) ou à niveau si tout le volume du gisement exploité est comblé par des matériaux (cf figure 4.12).

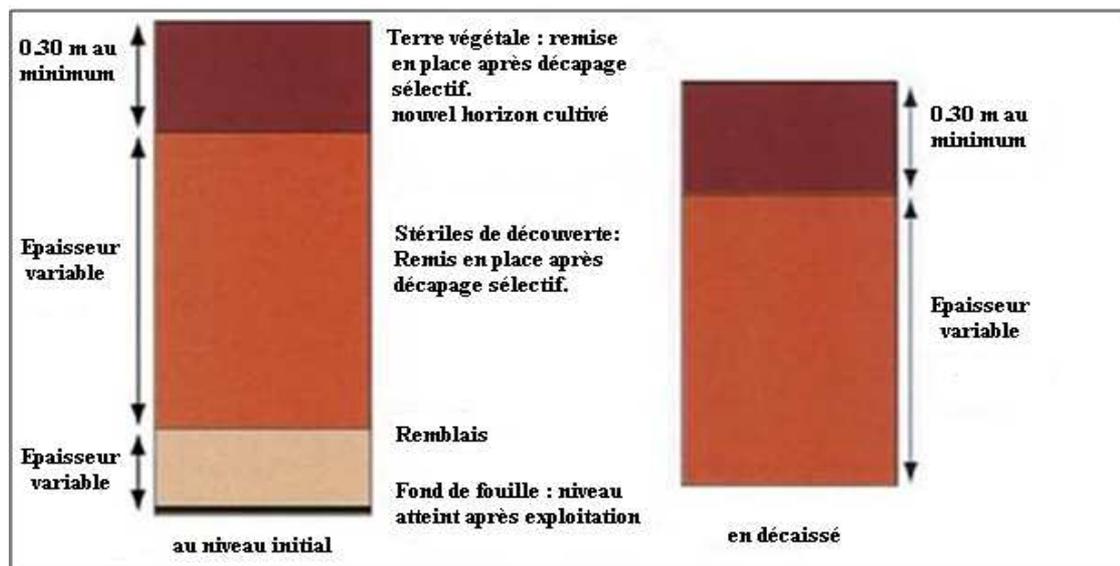


Fig.4.12: Schéma d'un profil de sol reconstitué.

Cette mise en place doit se faire sans compaction ni destruction du sol. En effet, la compaction du sol a plusieurs effets :

- Elle diminue la pénétration de l'eau dans le sol. Elle augmente donc les risques de stagnation d'eau (mouillères). Paradoxalement, elle augmente aussi les risques de pénurie hydrique estivale car les pluies hivernales ne peuvent pas s'infiltrer correctement pour reconstituer la réserve en eau du sol ;
- Elle diminue la zone de prospection par les racines et donc les capacités de nutrition minérale et hydrique des arbres.

La dégradation de la structure du sol augmente les risques d'érosion, de constitution d'une croûte de battance si le sol reste nu et de compaction ultérieure lors des passages de tracteur pour travaux d'entretien de la plantation.

L'aménagement implique des travaux complémentaires permettant de valoriser les terrains bien au-delà parfois de la valeur initiale.

Il est le prolongement normal de l'activité extractive: il poursuit un double objectif; une insertion satisfaisante des sols dans l'environnement et le cas échéant la mise en valeur des sites prenant en compte le besoin de la collectivité.

VI.1- Buts du réaménagement :

Le réaménagement poursuit un double objectif :

- en premier, parachever la réinsertion de l'ancienne exploitation dans son environnement. Bien sûr, la nature peut, en quelques années, effacer les traces laissées par des carrières abandonnées pour le retour à l'état initial (cf figure 4.13). Il faut cependant éviter la tentation de considérer ces zones comme "sacrifiées", tentation qui conduit les hommes, par facilité ou négligence, à y entasser sources de pollution et atteintes aux paysages. Contre une telle tentation, rien de tel qu'un nouvel usage régulier des ces terrains et une présence permanente sur ces sites.
- ensuite, lutter contre le gaspillage de l'espace. Nous avons pris conscience que nos ressources n'étaient pas illimitées, que le développement économique consommait de manière souvent irréversible des biens de plus en plus rares, l'eau, l'air, l'espace, les paysages ou certaines richesses naturelles. Cet ensemble de biens, rassemblés parfois sous le vocable très général d'environnement, était d'autant plus menacé qu'aucune évaluation et quantification de la valeur de ces consommations n'apparaissait dans le calcul économique. Ce comportement à courte vue, s'il se poursuivait, ne pourrait que compromettre les progrès et le développement des générations futures. Désormais, il nous faut mettre fin à ces gaspillages, car il y va de notre confort, de notre bonheur, mais aussi de notre efficacité dans l'avenir.



Avant réaménagement



Après réaménagement

Fig.4.13: Réaménagement d'un site d'Uranium abandonné site du puy de l'Age (Haute-Vienne en France) [23].

Le réaménagement des carrières se situe donc à la jonction des exigences des sociétés et des impératifs de l'économie.

VI.2- Principaux aménagements :

Il existe, pour chaque lieu, une formule de réutilisation principale et même, selon sa taille, une combinaison des différents facteurs entre eux.

L'aménageur doit réaliser son exploitation dans une optique de réaménagement et garantir, à long terme, l'utilisation de ces sites aux fins envisagées. En fonction de leurs objectifs, on peut distinguer les aménagements de base suivants :

- remise en état agricole ;
- remise en état écologique ;
- remise en état en décharge contrôlée ;
- remise en état à des fins de reboisement ;

VI.3- Aménagement des carrières en roche massive : (le plus dominant)

L'exploitation de carrières en roche massive peut créer des fronts de taille de grande hauteur, d'aspect artificiel, parfois visibles de très loin. Chaque fois que cela sera possible, l'exploitation en "dent creuse" ou le maintien d'écran naturel seront recherchés. Le réaménagement de ces carrières devra permettre de concilier la sécurité et l'intégration paysagère, ceci sans attendre la fin de l'exploitation. Il nécessite :

- d'assurer la stabilité des fronts sur le long terme;
- de limiter la hauteur des fronts en créant éventuellement des gradins intermédiaires ;
- de casser la monotonie des gradins horizontaux qui soulignent le front de la carrière, par une alternance d'éboulis;
- de revégétaliser les banquettes et fronts de taille par la plantation d'espèces locales et adaptées.

Ce dernier point constitue l'une des principales difficultés des réaménagements de ce type d'exploitation. Son objectif est double : contribuer à stabiliser les fronts de taille, et donc apporter un élément de mise en sécurité, mais surtout atténuer l'impact visuel de la carrière.

Plusieurs techniques peuvent être conjuguées pour faciliter l'implantation de la végétation :

- le remodelage des fronts de taille qui permet à la fois de minimiser les risques de chutes, de diminuer l'impact paysager et de favoriser la recolonisation végétale en amenant des matériaux meubles et perméables sur les banquettes (cf figure 4.14) ;

- la reconstitution, sur les banquettes, de pseudo-profils pédologiques par remblayage et apport de terre végétale (cf figure 4.15) ;
- la mise en place, si nécessaire, de systèmes de drainage des banquettes.

Les espèces végétales qui seront implantées seront issues des peuplements locaux et choisies en tenant compte de l'effet visuel recherché.

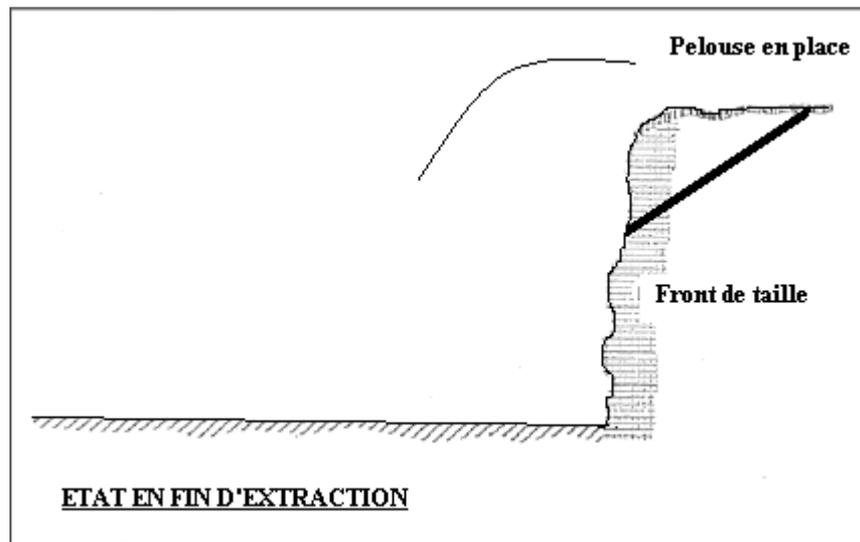


Fig.4.14: Exemples de remodelage des fronts de taille.

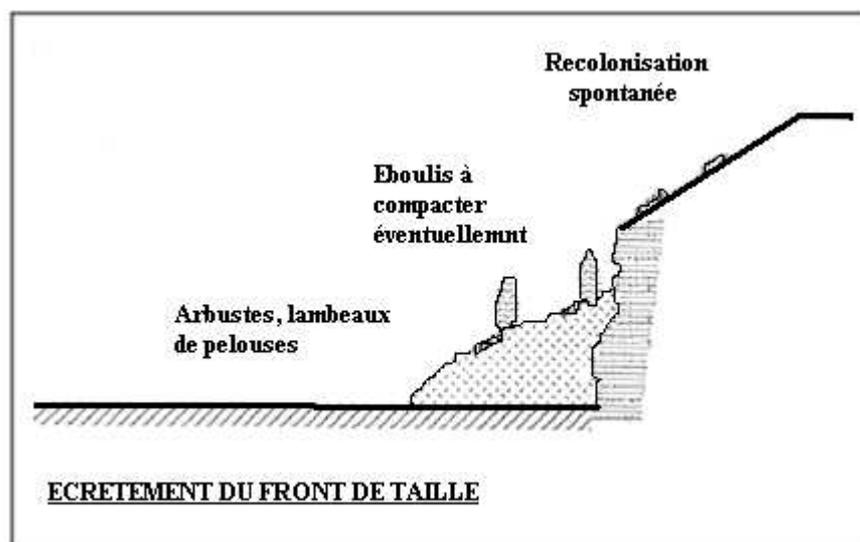


Fig.4.15: Stabilisation des banquettes, remblayage et apport de terre végétale.

Le principal facteur d'échec de végétalisation de talus ou de merlon est leur manque de stabilité :

- stabilité de masse insuffisante qui provoque soit des arrachements de grandes loupes de terre (fréquemment observé sur les talus autoroutiers), soit des ravinements importants;
- stabilité de surface engendrant l'érosion superficielle de l'horizon organo-minéral mis en place.

Plusieurs aspects de la topographie de la parcelle réaménagée sont à prendre en compte, ils sont cependant très liés au contour des périmètres autorisés :

- La protection des plantations contre les chutes de blocs quand la carrière reste fortement encaissée ;
- L'accès à la parcelle décaissée doit être facile pour les différents engins forestiers :
- Le nivellement de la rampe d'accès à la parcelle doit être étudié pour éviter qu'elle ne guide les écoulements d'eaux pluviales dans la parcelle ;
- Les conditions de microclimat (stagnations d'air froid, accumulations de neige...) et de drainage d'un terrain doivent être analysées afin de choisir les espèces les mieux adaptées.

Un schéma d'aménagement des carrières en roches massives est représenté en figure 4.16.

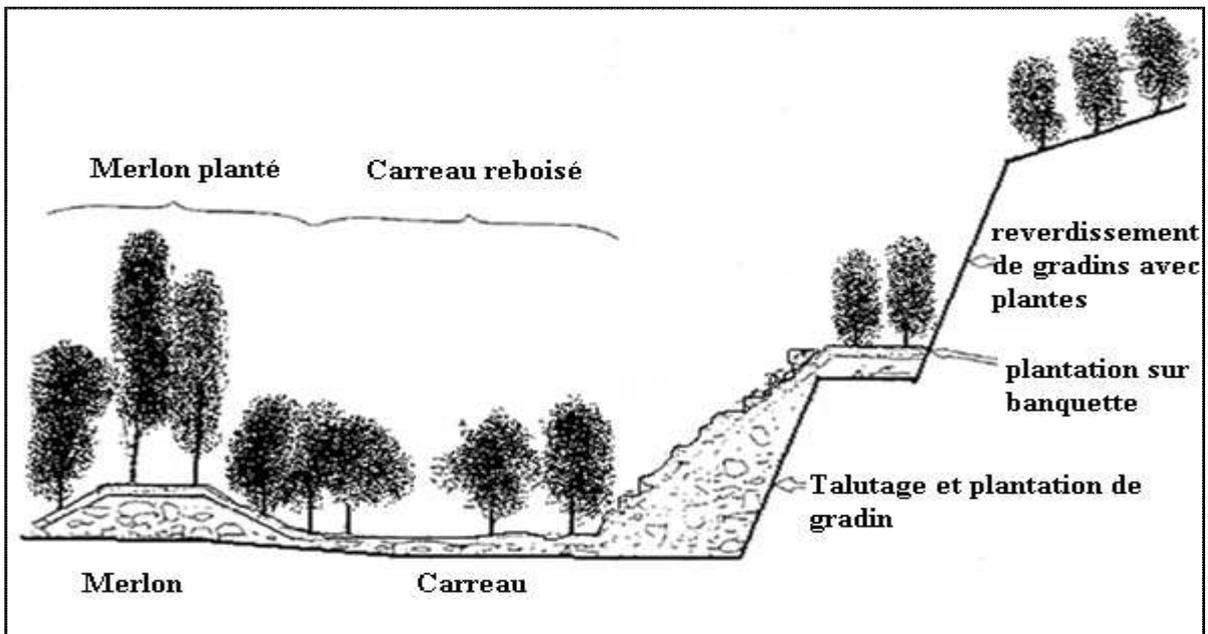


Fig.4.16: Aménagement des carrières en roche massive.



Fig.4.17 : Réaménagement de qualité d'un front de taille [13].

L'exploitation favorable de ce front de taille (cf figure 4.17) a favorisé la reprise et le développement des plants. La hauteur pas trop importante des fronts de taille permet leur masquage par les résineux mis en place.

Le projet de réaménagement forestier doit être prévu de manière précise très en amont de l'exploitation. Tous les paramètres détaillés ci-dessous doivent être analysés de manière à assurer aux futures plantations les conditions optimales de leur développement et à intégrer dans le projet de réaménagement les contraintes liées à la mise en œuvre et à l'entretien des futures plantations.

Des rideaux d'arbres (s'il existent) doivent être laissés afin de :

- Protéger les plants de la poussière de l'exploitation ;
- Fournir un arbi du coté le plus exposé au vent et recréer une ambiance forestière pour les plants.

Une des méthodes utilisée est le réaménagement forestier à l'avancée, la terre décapée de la première parcelle peut également servir à constituer un merlon anti-poussière et anti-bruit le long de l'exploitation avec une mise en végétation rapide et soignée (couverture de graminées et de légumineuses et plantation d'arbres). Le déroulement schématique idéal d'un réaménagement forestier à l'avancée est représenté (cf figure 4.18) [13].

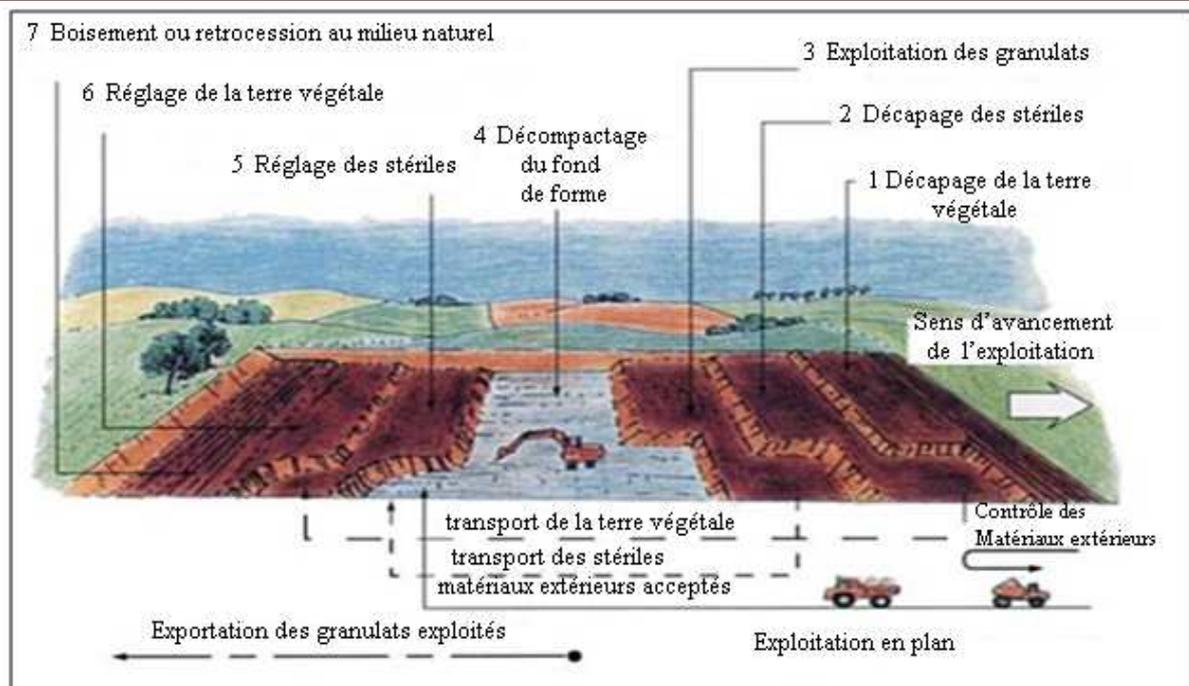


Fig.4.18 : Schéma d'un réaménagement forestier à l'avancée (VANPEENE-BRUHIER .P, et al., 2003).

V. ETUDE D'UN CAS (carrière de l'ECAVA):

Il importe, lorsqu'une carrière doit être implantée, de bien connaître les nuisances qu'elle peut engendrer. En effet, dans la plupart des cas, celles-ci peuvent être rapidement éliminées ou pour le moins fortement réduites par des dispositions adéquates dans la conduite de l'exploitation.

La réinsertion dans le site et la réutilisation des terrains exploités sont possibles dans des conditions acceptables surtout si des dispositions convenables sont prises dès le début de l'exploitation.

V.1- Reconnaissance du site :

a- Situation géographique:

Le début d'activité de l'entreprise des carrières de la ville d'Alger « ECVA » remonte aux années 1930. La carrière de calcaire se situe au pied du massif de Bouzareah dans la wilaya d'Alger, daïra de Bab El Oued, commune d'Oued Koriche (cf. figure 4.19). Le site de la carrière est constitué d'un relief remanié en falaise et plate-forme ce qui pose de grandes contraintes de liaisons routières avec les zones avoisinantes. Son existence est une mauvaise implantation (au cœur de la capitale) et est visible de très loin.



Figure 4.19 : Photo aérienne de la carrière de l'ECAVA (Alger).

Les limites de la carrière entourent une aire totale de soixante six (66) hectares environ de terrain partiellement urbanisé. Elle est limitée:

- Au Nord par la commune de Bouzareah.
- Au Sud par la limite communale de Oued Koriche.
- Au Sud Est par la cité de Diar El Kef.
- Au l'Est de la carrière la commune de Bab El Oued (Rais Hamidou).
- Au l'Ouest par la forêt des pins de Bordj polignac.
- Au Nord Est par Djebel Sidi Bennour.

b- Topographie :

La zone se caractérise par une topographie accidentée. Les pentes à l'intérieur de la zone d'étude sont généralement escarpées, de l'ordre de 10% à 30% par rapport à la verticale. Le site de la carrière est constitué d'un relief remanié en falaise et plate-forme, ce qui pose de grandes contraintes de liaisons routières avec les zones avoisinantes.

L'exploitation de la carrière occasionne inévitablement des modifications de l'état initial. La topographie de la zone d'étude crée des variations microclimatiques : les versants au Sud sont sujets à un ensoleillement et une aridité importants.

L'exploitation s'effectue dans la direction Est-Ouest et utilise l'espace en contrebas de la forêt de pins. Les altérations morphologiques sont notables du fait de la pente des gradins qui est très forte.

c- Hydrogéologie, hydrologie :

Sur le terrain à exploiter, l'eau est rare, elle se concentre dans les dépressions des ravins qui descendent dans les différentes directions en donnant lieu à des petites nappes contenues dans des terrains d'éboulis, de glissements, ou d'alluvionnement qui occupent le fond de ces ravins.

Sur le versant Nord, par suite de la raideur des pentes, l'écoulement est rapides et les eaux pluviales vont principalement pénétrer dans les bancs calcaires qui recueillent les eaux et les laissent pénétrer dans les fissures, dans les cavités plus ou moins élargies d'où elles s'écoulent en sources dont l'abondance dépend de l'épaisseur et de l'étendue des effleurements rocheux qui s'échelonnent entre les sommets de Bouzareah et la falaise de pointe Pescade (Rais Hamidou).

On sait que la circulation de l'eau dans les calcaires durs de la carrière est irrégulière et capricieuse. Du point de vue hydrologique, ils sont peu perméables.

Les relevés de niveaux phréatiques effectués en Août 1984 dans de nombreux puits situés à l'intérieur de la zone de la carrière, indiquent une faible élévation de l'eau souterraine (généralement 10 à 15 mètres sous le niveau du sol). (in ANRH²)

d- Aspect paysager :

Avec ses crêtes et ses vallées aux flancs escarpés, la zone d'étude présente une dénivellation importante grâce à sa morphologie. Ses soixante six (66) hectares et ses vues sur la mer offrent la possibilité de créer un environnement urbain de haute qualité.

V.2- REMISE EN ETAT DES LIEUX:

a- Procédure de réaménagement :

Au niveau de la partie exploitée qui représente la fosse, une grande partie du sol est décapée dont les travaux de remblaiement par la récupération du schiste extrait sera entamée. Le terrassement devrait se faire en deux couches horizontales successives avec une égalisation et un compactage sommaire. Un nivellement général du soubassement sera effectué peu de temps avant le recouvrement par des terres végétales. En fonction des contraintes de cadence d'apport des matériaux de remblayage, la remise en place de la terre végétale s'effectuera au fur et à mesure de l'avancement du soubassement reconstitué. L'apport de la terre végétale

² ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

nécessitera une reprise à partir de zones décapées ou de stockage et un dépôt en tas sur le soubassement : on procédera à son ripage préalable. On aura intérêt à procéder à la remise en état par régalage en deux couches (remblai + terre végétale) par bandes longitudinales.

La présence de la merveilleuse forêt de pins ainsi que l'élévation vers l'Est des zones supérieures et inférieures de la carrière lui confèrent de magnifiques vues panoramiques. D'où le réaménagement de la carrière est obligatoire pour la mise en valeur et l'exploitation judicieuse des caractéristiques naturelles (forêt, collines et vallées).

Par un réaménagement approprié on va réduire au minimum l'impact de cette carrière sur l'environnement, et de reconstruire un écosystème original capable de se rapprocher le plus possible de l'état initial du site. Cette reconstruction va s'appuyer sur le choix des espèces autochtones pour la revégétalisation. Pour notre cas, on propose les espèces qui seront issues des peuplements locaux adaptés aux conditions du milieu (altitude, climat, espèces...) tels que:

✓ *Le Pin d'Alep (existe sur le site):*

S'adapte à toutes les conditions du sol et le climat, il est très résistant à la sécheresse, il accepte tous les terrains calcaires à structure graveleuse, dominant dans la région.



Le Pin d'Alep.

✓ *Le ricin commun (existe sur le site):*

Son feuillage pourpre, ses fruits rouge vif et son développement rapide font de cette plante une valeur sûre pour l'élaboration de massifs en arrière-plan ou en isolé. Sa culture est réellement facile, il faut cependant prendre soin de faire un bon apport d'amendement organique au printemps et de modifier la structure du sol si celui-ci est peu drainant (sable de rivière, pouzzolane ...)



Le Ricin Commun.

Au début on limitera la hauteur des fronts par la création des gradins intermédiaires une (alternance d'éboulis) qui permet à la fois de minimiser les risques de chutes, de diminuer l'impact paysager et la recolonisation végétale en amenant des matériaux meubles et perméables sur les banquettes (cf. figures 4.20 et 4.21 et 4.22).

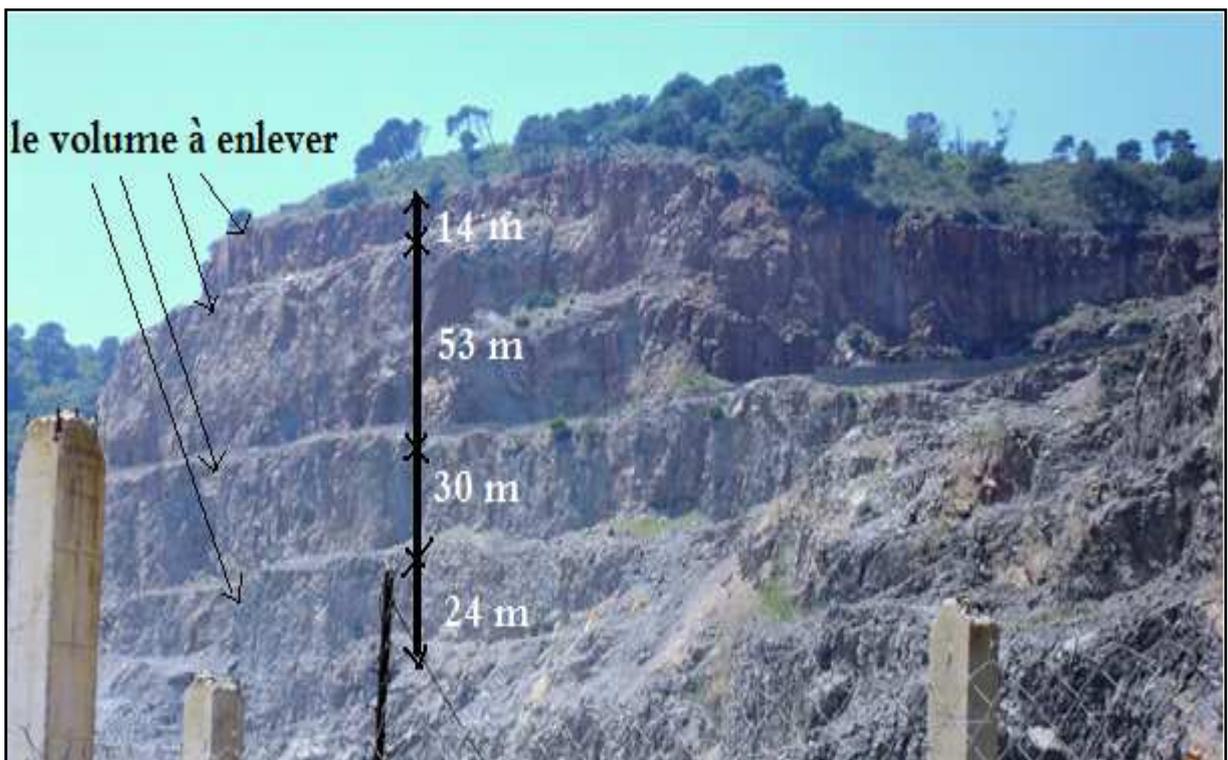


Figure 4.20: Hauteurs des gradins en fin d'exploitation du site Nord (gradins en liquidation).

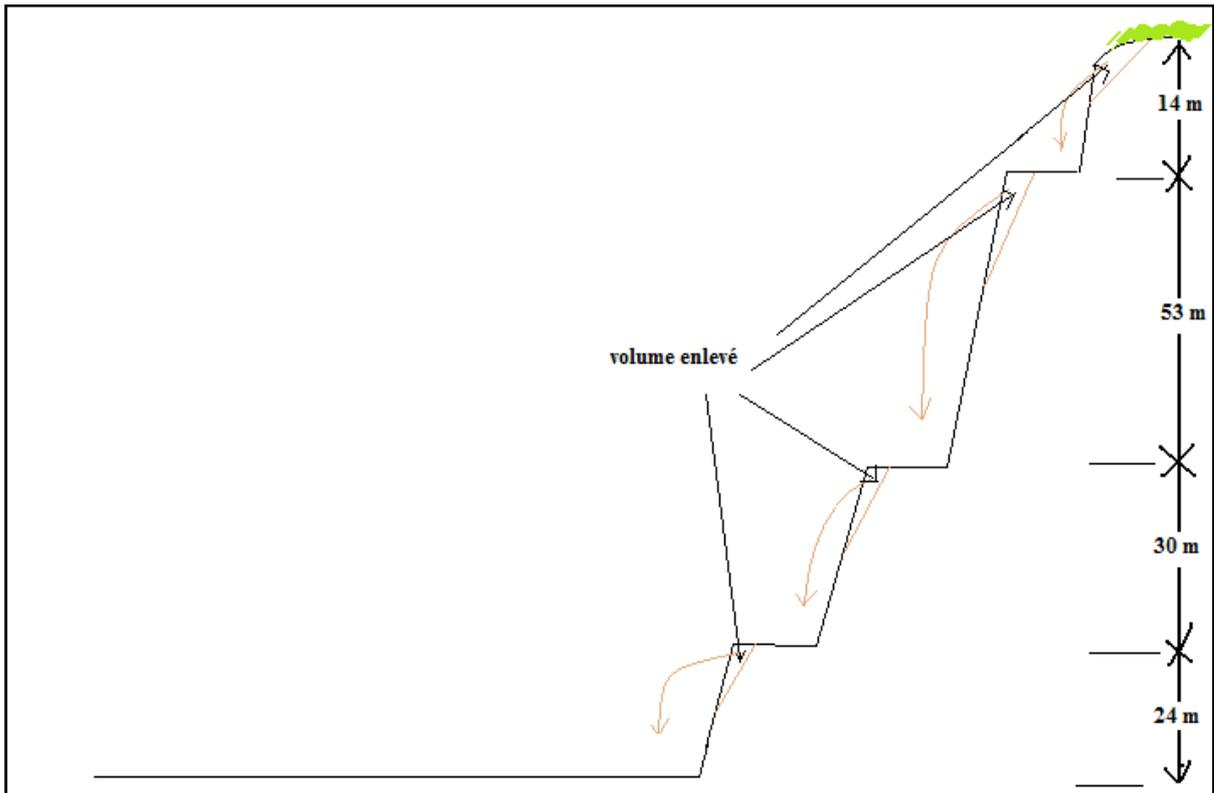


Figure 4.21: Schéma type de l'enlèvement des volumes.

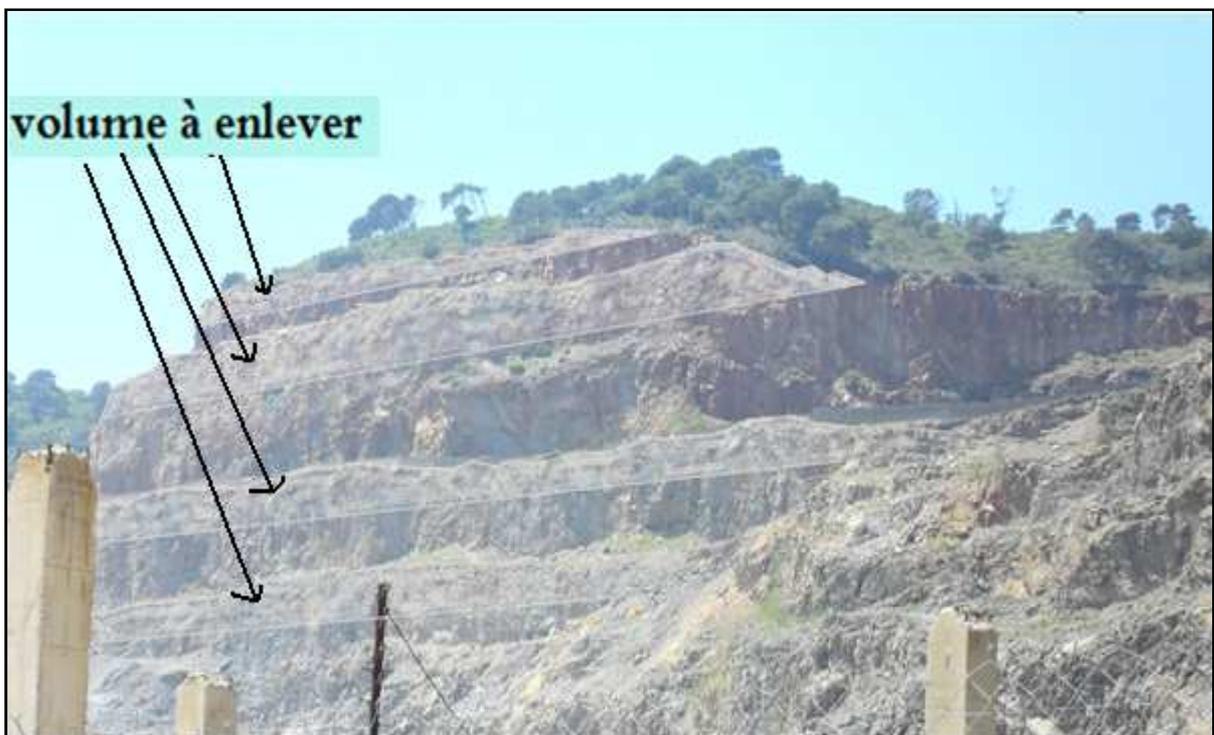


Figure 4.22: Enlèvement des volumes pour diminuer l'impact paysager.

La revégétalisation est l'étape qui consiste à remettre en végétation le site de la carrière pour sa destination finale, il s'agit d'enrichir le sol rocailleux par des tapis végétaux où se reconstituent des écosystèmes assez complexes en préparant :

- Une couverture de sol meuble et de terre végétale.
- Une plantation d'une végétation qui pourra s'adapter au milieu. Les espèces forestières et herbacées devront être susceptibles de supporter les conditions difficiles tout en améliorant la structure et la qualité du sol.

La réussite d'une revégétalisation dépend de l'application des principes agronomiques.

Le sol est protégé par le couvert végétal qui agit comme une éponge retenant l'eau et lui donnant le temps de percoler vers les régions souterraines. Cet écran boisé masquera la visibilité de la carrière et bloque la vue sur la zone d'exploitation (cf. figure 4.23 et 4.24 et 4.25).

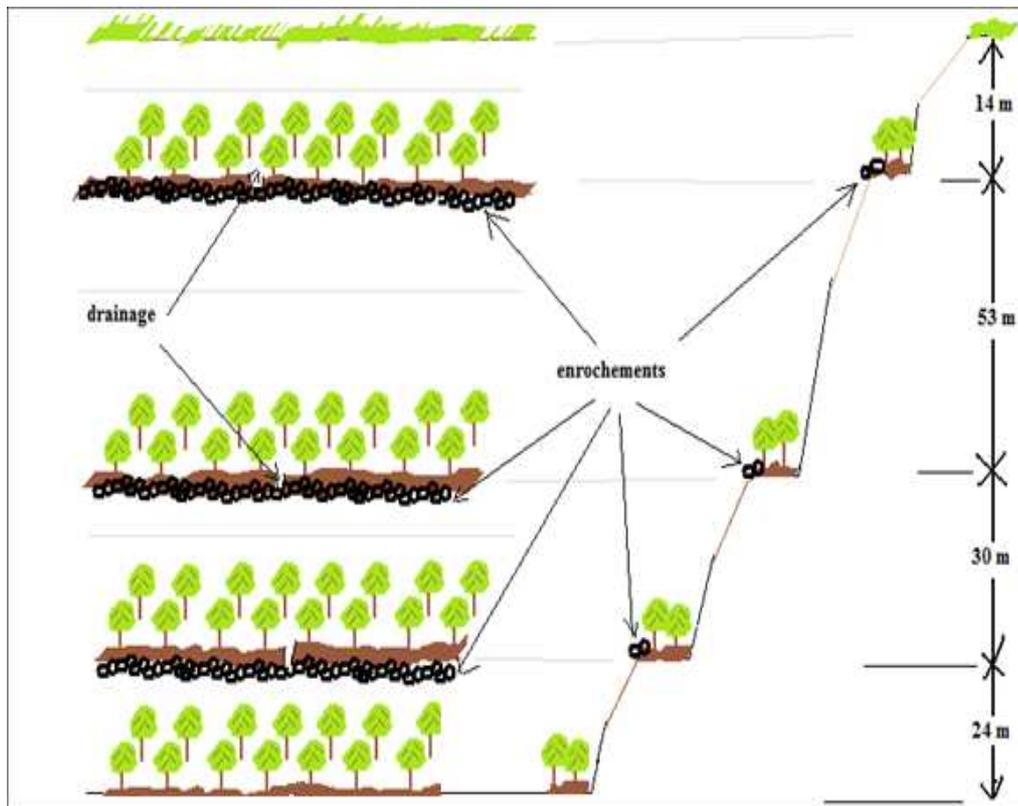


Figure 4.23: schéma type de plantation des arbres et enrochement.

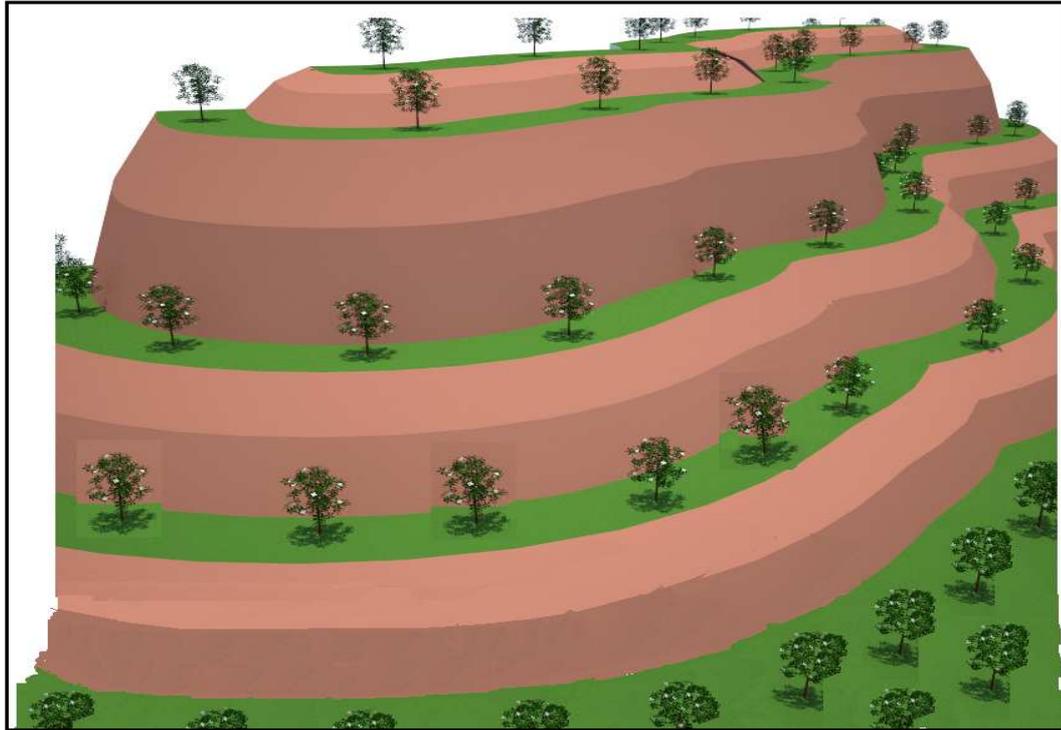


Figure 4.24 : Image reconstituée du site Nord après réaménagement.



Figure 4.25: Aspect du site Nord après le réaménagement proposé.

b- Plan d'action :

Le plan d'action doit obéir à une stratégie de réaménagement planifiée par étape selon l'ordre d'écrit ci-après.

1- L'ancienne station de concassage et les hangars faisant partie du carreau de la carrière doivent être démontés et ainsi on va libérer l'espace pour créer une assiette de terrain favorable à la construction d'immeubles (cf. figure 4.26).

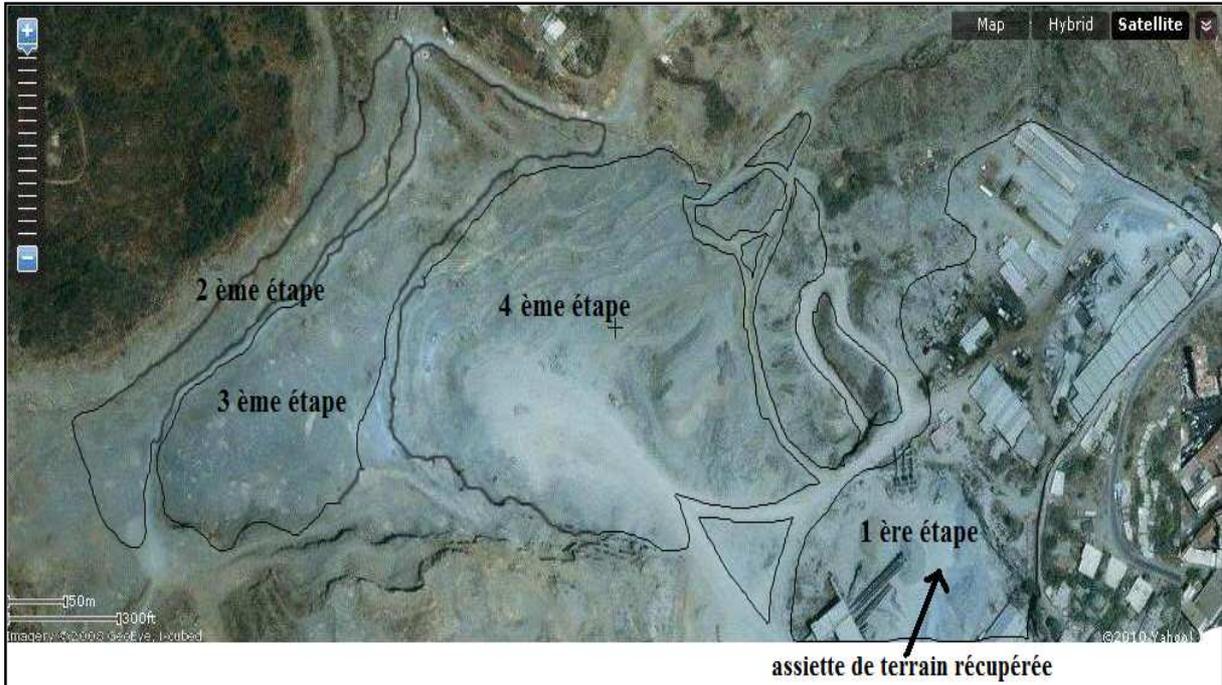


Figure 4.26 : Les étapes du plan d'action envisagé pour la réhabilitation du site.

2- Etapes de revégétalisation du site.

Dans notre cas on ne peut pas parler ni de la densité de plantation comme l'on dispose dans un projet de reboisement, ni de l'espacement entre les lignes et l'écartement des plants, mais on recommande d'espacer largement les espèces de tel sorte qu'il y ait une répartition assez homogène que possible pour assurer à chaque arbre le maximum d'espace vital. Comme l'exploitation se poursuit au Sud de la carrière; cela nécessite le décapage de la couche superficielle tel que la terre végétale (cf. figure 4.27) que nous proposons de transporter vers les banquettes des zones libérées du site Nord où la remise en état a été programmée.

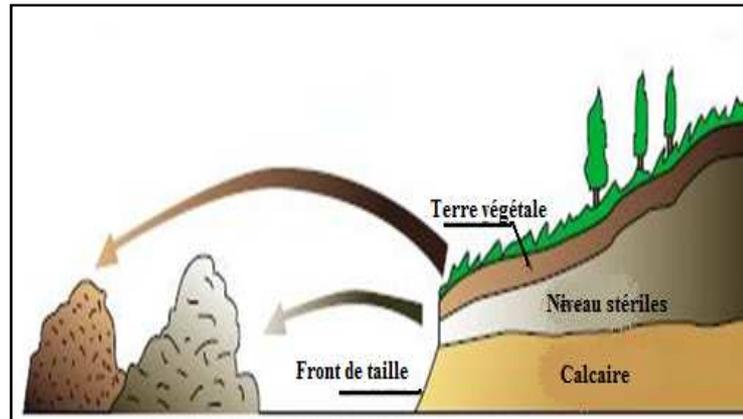


Figure 4.27: Décapage de la couche végétale et la couche stérile sur le site Sud.

Les étapes de la revégétalisation du site Nord vont se faire par parties selon le schéma préconisé dans la figure 4.26 (avant réaménagement).

Les figures 4.28 a et b, illustrent la procédure de remise en état initial du site de la carrière de l'ECAVA afin de réduire l'impact visuel par une revégétalisation progressive. Enfin, l'opération d'entretien reste un facteur essentiel pour la réussite des plantations, dès la mise en place des plants sur le terrain jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment développés pour exercer à leur tour une concurrence victorieuse.



a- Avant réaménagement



b- Après réaménagement.

Figure 4.28 : Vue de site avant et après le réaménagement proposé.

VI- CONCLUSION :

Bien que les impacts des travaux miniers ne soient pas de nature à nuire l'environnement, des mesures réductrices et compensatoires doivent être envisagées, notamment en ce qui concerne la remise en état des lieux, les poussières, les eaux, l'hygiène et la sécurité du travail, et le réaménagement (pour redonner au site un aspect paysager adéquat). Ces mesures seront mises en œuvre progressivement au fur et à mesure de l'avancement des travaux, des besoins et des nécessités réglementaires, pour assurer le bon déroulement des opérations en minimisant les impacts sur l'environnement.

Un paysage est le reflet de multiples influences : la géologie, la végétation, mais aussi l'action de l'homme. Une démarche paysagère est donc toujours liée à une réflexion sur l'aménagement de territoire. L'aspect visuels, les éventuelles nuisances (bruit, poussière) et l'impact écologique sont pris en compte. La coordination du réaménagement à l'exploitation permet une action immédiate sur ces facteurs. Mais seule la concertation avec les riverains, les associations et les administrations permettra de définir les attentes sociales afin d'aboutir à un réaménagement qui apporte de la valeur au cadre de vie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les mines et les carrières que ce soit à ciel ouvert ou souterrain sont des installations ayant des impacts multiples et très importants sur l'environnement. Avant l'exploitation, les impacts sont surtout faunistiques et floristiques, principalement par décapage des sols. Au cours de l'exploitation, les impacts sont importants au niveau du bruit et des vibrations (tirs de mines, transports des matériaux, engins de terrassement), au niveau de l'empoussièrement, au niveau des aquifères, etc. Après l'exploitation, les anciennes mines ou carrières sont inondées et couvertes de stériles, deux facteurs peu propices à un retour aux écosystèmes initiaux.

Le choix du site pour l'implantation des usines et les sites miniers doivent tenir compte des aspects écologiques. En cas d'implantation dans les zones agricoles, il faut étudier les nouvelles sources de revenus possibles pour les personnes concernées. Outre le respect de la réglementation sur les effluents gazeux, la poussière, le bruit et l'eau, une étude portant sur les données du sous-sol, l'intégration des installations dans le paysage et l'infrastructure du site s'impose. Ceci a été mis en évidence par l'analyse de l'impact d'une mine souterraine (Mine de Zinc de Chaabet El Hamra) et d'une carrière à ciel ouvert (Cimenterie de Batna) dont les résultats ont été largement commentés dans ce mémoire

Ce travail de synthèse bibliographique nous a conduit à résoudre un cas pratique de réaménagement d'une carrière de l'ECAVA en proposant un plan d'action pour réduire les problèmes que pose l'exploitation minière à ciel ouvert sur l'environnement.

La stratégie de réaménagement est planifiée en deux étapes :

- Libération de l'espace occupé par le carreau de la mine pour un futur plan de construction d'immeubles.
- Revégétalisation du site de la carrière en commençant par les niveaux supérieurs en proposant des espèces végétales locales (Pin d'Alep et Ricin Commun).

La nocivité des industries serait moindre si elles étaient installées dans des régions à faible densité humaine et sur des terres non agricoles. Néanmoins l'exigence actuelle est d'orienter les investissements vers la protection de l'environnement et de mettre en œuvre le système de management environnemental par des formations continues du personnel minier pour une prise de conscience sur la notion du développement durable.

L'Algérie doit prendre conscience de l'importance du développement durable et en particulier le secteur industriel minier dont les niveaux de pollution sont à prendre très au sérieux. Avant toute mise en place d'une mine ou carrière un plan de réaménagement doit accompagner tout projet d'exploitation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] AUBERTIN. M , BUSSIERE .B et BERNIER .L., 2002, Environnement et gestion des rejets miniers : manuel sur cédérom. Montréal: presse internationale polytechnique.
- [2] AZREUG.M., 2009, état des lieux et perspectives de remédiations, Séminaire internationale Université d'Oran.
- [3] BERNASCONI .P, SIFRE .Y, 2006, La Modélisation Sismique Hybride (MSH) : théorie et pratique(S), YSO Consultants, Référence 06_0052_NT_Ab_DPC.
- [4] CHAPOT P., 1981, Etude des vibrations provoquées par les explosifs dans les massifs rocheux. Rapport de recherche du LCPC de Nancy N° 105.
- [5] DAVID .B, HANAI .M, TERESINHA .A, ACERO .L, 1999, Mining and the Environment; Case Studies from the Americas, edited by Alyson Warhurst, Published by the International Development Research Centre, canada.
- [6] GARDIA .C, 2006, Les poussières en carrières, séminaire, Toulouse.
- [7] KHELIFA .R, SEKIOU .S, RAHIM .N, MUZAHIM .A, 2005, L'impact des cimenteries sur l'environnement : le cas de la cimenterie de Ain-Touta (Algérie), XXIII^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil – Risque & Environnement.
- [8] LEBLANC Marc, Pollution minière chalcolithique dans l'estuaire du Rio Tinto (Huelva, Espagne). Mémoires de la Société préhistorique française ISSN 0081-1246. juillet 2008.
- [9] LEGHRIEB .Y, contribution à la réalisation d'un plan de tir dans les grandiorites de Si-Mustapha ; mémoire de fin d'études, ENP 1989.
- [10] MIRAMOND.N, MIAU .D, BROCHARD .F , 2006, Diagnostic du phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane française - Evaluation des risques associés. GEM Impact – DIREN. Guyane Française. XX.
- [11] REZIGAT.N et IMCHAL.K, 2008, Contribution à l'étude des problèmes environnementaux et de sécurité sur l'exemple de la mine souterraine de Chaabet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif). Mémoire de PFE. Université FERHAT ABBAS-SETIF.
- [12] TIBRI .A., 2000 étude comparative et choix des procédés de plan de tir dans les massifs rocheux, mémoire de fin d'études, ENP;
- [13] VANPEENE-BRUHIER .S, PIEDALLU .C, DELORY .I, 2003; Réaménagement

Forestier Des Carrières De Granulats, éditeur CEMAGREF.

- [14] Agence Nationale de la Géologie et de Contrôle Minier,. 2004, Les règles de l'art des mines, Décret exécutif n° 04-95 du Safar 1425.
- [15] Bilan des activités minières année -2008-édition 2009. Ministère de l'énergie et des mines ; direction générale des mines.
- [16] ENOF (2006). Eau du gisement de Chaabet El-Hamra. Dossier hydrogéologie, 10 p.
- [17] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), l'agence de coopération technique allemande pour le développement, du 19 au 23 mai 2001. Système de Management Environnemental selon l'ISO 14001 séminaire, Batna, 200p.
- [18] SOMMET DE JOHANNESBURG., 2002, profil de l'Algérie ; adopté par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED).

Sites Web:

- [19] http://pandaction.wwf.ch/fr/nous___/foret/sans_l_amazonie_c_est_la_zone.cfm
- [20] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/M120671/MINERAIS.htm>
- [21] <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557f/y3557f01.pdf>.
- [22] www.haiticulture.ch, 2001.
- [23] <http://smag-granulats.fr/presentation-environnement- r3.html>
- [24] <http://www.ramenvironnement.com/>
- [25] <http://www.brgm.com/>

Annexes

Annexes

Tableau A1 : Résultats d'analyses d'eau des puits – MINE de AIN AZEL (Chaabet El Hamra, Sétif).

Prélèvement du 27 juin 2004

Mesures physico-chimiques

Paramètre Référence	Température °C	PH	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Résidu sec à 105 °C	Turbidité en NTU
Puits de la mine	25	7.79	1800	1220	1.24
Forage piscine	20	7.44	1000	658	0.70
Station	20	7.28	800	554	0.58
Forage Chaabet El Hamra	19	7.81	800	540	34.8

Oxygène dissous en % --- NH₄ – NO₂ – PO₄ en mg / ld'O₂

Paramètre référence	Oxygène dissous	Ammonium NH ₄	Nitrites NO ₂	Nitrates NO ₃	Phosphate PO ₄	Oxydabilité MnO ₄
Puits de la mine	78.5	0	0	11	0.10	3.4
Forage piscine	68.4	0	0	52	0.10	3.6
Station	53.2	0	0	20	0.10	2.6
Forage Chaabet El Hamra	84.0	0	0.249	15	0.70	3.6

Anions – Cations en mg/l

Paramètre référence	Sulfates SO ₄ ²⁻	Chlorures Cl ⁻	Bicarbonates HCO ₃ ²⁻	Calcium Ca ⁺⁺	Magnésium Mg ⁺⁺	Sodium Na ⁺	Potassium K ⁺
Puits de la mine	494	150	262	186	78	80	7
Forage piscine	144	75	281	88	48	29	2
Station	106	55	281	68	46	44	1
Forage Chaabet El Hamra	100	50	305	68	46	80	2

Métaux lourds en mg/l

Paramètre Référence	Fer	Manganèse	Zinc	Cuivre	Plomb
Puits de la mine	-	0.031	0.079	0.00	0.077
Forage piscine	-	0.028	0.00	0.00	0.046
Station	-	0.033	0.016	0.00	0.054
Forage Chaabet El Hamra	-	0.077	0.722	0.00	0.053

Tableau A2 : Normes algériennes limites des paramètres de rejets atmosphériques (décret exécutif n°06-138 du 15 avril 2006) ;

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Poussières	mg/Nm ³	30
Oxyde de soufre	mg/Nm ³	500
Oxyde d'azote	mg/Nm ³	1500
Oxyde de carbone	mg/Nm ³	150
Acide fluorhydrique	mg/Nm ³	5
Métaux lourds	mg/Nm ³	5
Fluor	mg/Nm ³	5
chlorure	mg/Nm ³	30

Air normalisé (Nm³) : volume d'air ramené aux conditions normales de température (273 K, soit 0°C) et de pression (101,3 kPa, soit 760 mm Hg), suivant la loi des gaz parfait $PV = nRT$.

Tableau A3 : Normes algériennes limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006) ;

Ciment, plâtre et chaux :

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	5.5 - 8.5
DCO	mg/l	80
Matière décantable	mg/l	0.5
Plomb	mg/l	0.5
Cadmium	mg/l	0.07
Chrome	mg/l	0.1
Cobalt	mg/l	0.1
Cuivre	mg/l	0.1
Nickel	mg/l	0.1
Zinc	mg/l	2