

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DU GENIE MINIER



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDE

THEME

**ELABORATION D'UN LOGICIEL DE
SIMULATION D'UNE EXPLOITATION A CIEL
OUVERT ET ESTIMATION DU PRIX DE
REVIENT**

Proposé et dirigé par :
M^r A. AIT YAHIATENE

Réalisé par :
Hakim MERCHICHI

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A ma chère mère.

A mon père.

A mes frères et sœurs

A l'ensemble des membres de ma famille.

Ainsi qu'à tous mes amis.

Hakim MERCHICHI

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier, au bout de ce travail :

- mon promoteur M^r. A. AIT YAHIA TENE pour le suivi, les conseils les directives et les efforts qu'il a fournis à mon égard.
- Au président et membres de jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.
- M^R BACHAR ASSED MOHAMED AGUIDE
- M^{me} CHABOU
- M^r SAADA
- Ainsi qu'à tous mes enseignants durant mon cursus à l'ENP.

Hakim MERCHICHI

RESUME :



Nous avons voulu à travers ce travail mettre à disposition de l'exploitant un logiciel de simulation d'une exploitation à ciel ouvert et d'estimation du prix de revient.

Pour cela nous avons divisé notre travail en deux grandes parties ; la première concernait une recherche bibliographique assez affinée pour appuyer notre réalisation.

Dans la deuxième partie nous avons passé à la conception du logiciel avec Access 2000 en se basant sur un algorithme bien structuré conçu à partir de notre recherche bibliographique.

Une fois le logiciel achevé, il suffit de saisir les caractéristiques du gisement et le logiciel nous propose le mécanisation de l'exploitation à ciel ouvert, nous affiche le prix de revient de l'exploitation et son graphique de répartition selon ces composantes , et par la suite il sauvegarde les informations de la simulation dans une base de données.

SUMMARIZED:

We wanted through this work to place at the disposal of the owner a software of simulation of an exploitation with open pit and of estimate of the cost price.

For that we divided our work into two great parts; the first related to a library search refined enough to support our realization.

In the second part we passed to the design software with Access 2000 while basing ourselves on an algorithm well structured designed starting from our théorique search.

Once the completed software, it is enough to seize the characteristics of the layer and the software proposes to us the mechanization of the opencast mining, posts us the cost price and its graph of distribution according to these components, and thereafter it safeguards informations of the simulation in a data base.

MOTS CLES :

Gisement de minéraux utiles : une anomalie dans la croûte terrestre renferment une richesse minérale pouvant être exploitée avec bénéfices.

Exploitation à ciel ouvert : exploitation d'un gisement de minerai utiles au contact du jour

Mécanisation : ensemble d'équipement nécessaire pour la mise en œuvre des différentes tâches d'un exploitation.

Logiciel : outil informatique rapide et souple permettant d'automatiser un ensemble de tâches habituelles de l'exploitant.

Prix de revient : c'est la somme de toutes les dépenses consenties pour la mise en valeur d'un gisement de minéraux utiles sur la production réalisée sur la période de l'exercice.

SOMMAIRE

PARTIE I : GRANDES LIGNES D'UNE ETUDE D'UN PROJET D'EXPLOITATION

I.	Définitions	02
II.	Principaux facteurs lors d'une étude d'un projet d'exploitation ...	04
	• Introduction.....	04
	II.1. Information sur le gisement.....	04
	- II.1.A) géologie.....	04
	- Minéralisation.....	04
	- structure et texture.....	05
	- types de roches.....	05
	○ propriétés physiques ;.....	05
	○ propriétés mécaniques ;	06
	○ propriétés géomécaniques	06
	○ propriétés technologiques ;.....	07
	○ propriétés de déformabilité.....	09
	○ propriété intrinseques.....	10
	II.1.B) Géométrie.....	11
	II.1.C) Géographie.....	12
	II.1.D) Exploitation.....	13
	- Evaluation des réserves	
	○ Méthode des coupes horizontales.....	14
	○ Méthode des panneaux.....	14
	○ Méthode de la triangulation.....	16
	II.2) choix de la méthode d'exploitation.....	17
	II.3) informations sur les aspects généraux de l'économie.....	17
	II.4) Méthode de traitement.....	18
	II.5) Estimation des investissements et des coûts opératoires.....	19
	- investissements.....	19
	- coûts opératoires.....	19
III.	Critères de choix du mode d'exploitation.....	20

PARTIE II : METHODE D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT

Introduction.....	23
I. Limite d'exploitation d'un gisement à ciel ouvert.....	23
1. coefficient moyen de découverte.....	23
2. coefficient moyen d'exploitation.....	23
3. coefficient de découverte courant.....	24
4. coefficient de découverte admissible.....	24
5. coefficient de d'exploitabilité du contour.....	24
6. coefficient de découverte admissible ou limite dans les conditions complexes.....	24
II. Prix de revient admissible d'une exploitation à ciel ouvert.....	25
1. prix de revient admissible lors de l'extraction d'un minéral utile.....	25
2. prix de revient admissible lors de l'extraction de plusieurs minéraux utiles	
3. prix de revient dans le cas d'utilisation des roches stériles.....	25
III. Passage de l'exploitation à ciel ouvert vers l'exploitation souterraine.....	26
IV. Classification des systèmes d'exploitation à ciel ouvert.....	27
V. Réalisation du projet	34
V.a) Délimitation de la mine.....	34
V.b) Stabilité.....	35
V.c) Profondeur de la mine.....	36
V.d) Travaux d'aménagement.....	37
V.e) Ouverture de la mine.....	44
V.f) Travaux de découverte.....	51
VI. Eléments de la méthode d'exploitation.....	51
VI.a) Hauteur du gradin.....	51
VI.b) Angle du talus des gradins.....	52
VI.c) Plate forme du travail	52
VI.d) longueur du bloc.....	53
VI.e) Sens de déplacement du front de taille.....	53

VI.f) Production annuelle de la carrière.....	53
VII. Travaux	
miniers.....	55
VII.a) Travaux préparatoires des minières à l'abattage.....	56
a.1) préparation par travaux de forage et de tir.....	56
a.2) préparation par émottage mécanique ou ripage	62
VII.b) Travaux d'extraction et de chargement.....	64
b.1) critères de choix des moyens d'extraction et de chargement.....	64
b.2) moyens d'extraction d'action continus.....	65
- les excavateur à multiples godets.....	65
- le monitor et sluice.....	66
b.3) Engins d'extraction d'action cyclique.....	66
- les excavateurs à godet unique.....	66
- les chargeuses.....	67
- les scrapers.....	68
- les bulldozer.....	68
VII.c) Travaux de transport.....	71
c.1) critère de choix du type de transport.....	71
c.2) moyens du transport.....	72
c.2.1) transport continu.....	72
- bande transporteuse.....	72
- engins de transfert.....	73
c.2.2) transport discontinu.....	74
- transport par chemin de fer.....	74
- transport par camion.....	75
- transport par skip.....	77
- levage par monte camion.....	78
VII.d) Travaux de mise à terril.....	79
VIII. Classification des système de la mécanisation de l'exploitation à ciel ouvert selon l'indice de difficulté à l'exploitation (I_d).....	80
IX. Approche du prix de revient d'une exploitation à ciel ouvert.....	83
- charges directes et indirectes.....	84
- calcul du prix de revient	85

partie III : Elaboration du Logiciel

1. Microsoft Access 2000.....	88
1. Introduction au support du logiciel.....	88
2. Interface Access 2000.....	88
3. Objets de la base de données.....	90
A. Table et relation.....	90
B. Requête.....	93
C. Formulaire.....	94
D. Etat.....	96
E. Macros.....	97
F. Module.....	98
2. Description du logiciel.....	99
3. Interprétation des relation entre tables.....	100
4. Description de l'algorithme.....	101
5. Déroulement du logiciel.....	104
6. Utilisation de la base de données	108
Conclusion.....	109

INTRODUCTION GENERALE :

Ce modeste travail rentre dans le cadre d'un projet de fin d'étude au département du Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique, en vue d'obtention d'un diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Minier.

Le présent projet s'intitule « Elaboration d'un logiciel de simulation d'une exploitation à ciel ouvert et estimation du prix de revient ».

Notre but à travers ce travail est de mettre en œuvre, avec Access 2000, un outils informatique souple et rapide donnant la possibilité à l'exploitant d'avoir rapidement l'un des éléments clés du choix de la mécanisation à prévoir pour une production donnée et des caractéristiques du gisement bien déterminées.

Pour ce fait, on a jugé qu'il était nécessaire d'avoir une bonne base théorique pour appuyer ce logiciel, pour cela on a évoqué trois grandes parties :

- 1. Grandes lignes d'une étude de faisabilité d'un projet d'exploitation*
- 2. Exploitation à ciel ouvert*
- 3. Elaboration du logiciel.*

Dans la première partie, j'ai tenté de donner le maximum d'informations sur les différents éléments à analyser lors d'une étude d'un projet.

Dans la seconde partie, j'ai essayer de faire une synthèse, de l'exploitation à ciel ouvert, en donnant les différentes étapes de la réalisation du projet, des méthode d'exploitation et des mécanisations utilisées.

Les deux premières partie ont un point commun ; elle engendrent des coûts, donc elles se croisent dans le logiciel lors du calcul du prix de revient, qui doit tenir comptes de toutes les dépenses engagées par l'entreprise minière pour mettre en valeur un gisement.

L'avantage que donne le logiciel c'est qu'il permet d'estimer différents prix de revient pour différentes mécanisations considérées contribuant ainsi à faire un choix rationnel des équipements, à noter que ce choix ne dépendra pas seulement de cette estimation.

INTRODUCTION GENERALE :

Ce modeste travail rentre dans le cadre d'un projet de fin d'étude au département du Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique, en vue d'obtention d'un diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Minier.

Le présent projet s'intitule « Elaboration d'un logiciel de simulation d'une exploitation à ciel ouvert et estimation du prix de revient ».

Notre but à travers ce travail est de mettre en œuvre, avec Access 2000, un outils informatique souple et rapide donnant la possibilité à l'exploitant d'avoir rapidement l'un des éléments clés du choix de la mécanisation à prévoir pour une production donnée et des caractéristiques du gisement bien déterminées.

Pour ce fait, on a jugé qu'il était nécessaire d'avoir une bonne base théorique pour appuyer ce logiciel, pour cela on a évoqué trois grandes parties :

- 1. Grandes lignes d'une étude de faisabilité d'un projet d'exploitation*
- 2. Exploitation à ciel ouvert*
- 3. Elaboration du logiciel.*

Dans la première partie, j'ai tenté de donner le maximum d'informations sur les différents éléments à analyser lors d'une étude d'un projet.

Dans la seconde partie, j'ai essayer de faire une synthèse, de l'exploitation à ciel ouvert, en donnant les différentes étapes de la réalisation du projet, des méthode d'exploitation et des mécanisations utilisées.

Les deux premières partie ont un point commun ; elle engendrent des coûts, donc elles se croisent dans le logiciel lors du calcul du prix de revient, qui doit tenir comptes de tous les sou engagés par l'entreprise minière pour mettre en valeur un gisement.

L'avantage que donne le logiciel c'est qu'il permet d'estimer différents prix de revient pour différentes mécanisations considérées contribuant ainsi à faire un choix rationnel des équipements, à noter que ce choix ne dépendra pas seulement de cette estimation.

PARTIE I :

**GRANDES LIGNES D'UNE ETUDE D'UN PROJET
D'EXPLOITATION**

I. DEFINITIONS :**1. Minerai [11] :**

Roche présentant une concentration anormalement élevée en minéraux utiles. un minerai peut contenir aussi des minéraux sans valeur qui constituent la gangue.

2. Gîte minéralisé [5] :

Un gîte minéralisé est une concentration locale, dans la croûte terrestre de matières utiles à une teneur supérieure à la normale (Clark).

3. Gisement minier [11] :

Gîte minéralisé ou une partie du gîte valorisable par une exploitation avec profit. L'exploitation peut être souterraine, à ciel ouvert ou combinée.

4. Techniques et technologies minières [6] :

C'est la manière de traçage, de l'action, du procédé ou du travail d'extraction de la substance minérale hors de son environnement naturel et le transport de celle-ci au lieu de traitement ou d'utilisation.

5. Réserves minières :

Quantité estimée des substances susceptibles d'être exploitées. Elles représentent la qualité pondérale ou volumétrique du minerai et constitue un élément important dans l'évaluation du gisement.

6. Teneur de coupure [5]:

C'est la valeur du contenu en minerai d'une tonne extraite (donc compte tenu de la dilution) qui permet de couvrir les coûts opératoires directes (sans imputation des amortissements) de :

- l'extraction ;
- du traitement ;
- des frais de transport du produit marchand jusqu'à l'acheteur.

La roche minéralisée ne répondant pas à ce critère est dite minerai pauvre, cela est relatif et peut subir des fluctuations selon la conjoncture économique et les cours.

7. **Récupération minière** : la récupération minière est le rapport entre le minerai contenu dans l'extraction totale et celui des réserves minières.

Plusieurs facteurs influent sur la valeur de la récupération, les principaux sont les suivants :

- Lissage de la fosse ultime en exploitation à ciel ouvert ou la découpe du gisement en souterrain, implantation de accès, stots de protection, etc. ...
- Méthode d'exploitation ;
- Valeur du minerai en place ;
- Taille des engins d'abattage et de chargement qui influe sur leurs sélectivité donc sur le taux de pertes ;
- Supervision du responsable : la recherche d'une production maximale engendrera une plus grande dilution et vis versa.
- Pertes dues au transport et aux erreurs humaines.

8. **Dilution [5]** : le taux de dilution (t) peut être défini comme étant le rapport de la quantité de stérile (S_{11}) ou du minerai pauvre contenu dans une tonne de minerai extraite (M_1+S_{11}).

$$t_1 = \frac{S_{11}}{(M_1 + S_{11})}$$

ou bien : le rapport de la quantité de stérile (S_{12}) ou du minerai pauvre accompagnant une tonne de minerai non dilué extraite (M_2).

$$t_2 = \frac{S_{12}}{M_2}$$

On a : $t_1 = \frac{t_2}{1+t_2}$

et $t_2 = \frac{t_1}{1+t_1}$

II. PRINCIPAUX FACTEURS LORS D'UNE ETUDE D'UN PROJET D'EXPLOITATION [1,2,5,12, 13] :

INTRODUCTION :

L'établissement d'un projet d'une exploitation minière doit reposer sur des bonnes connaissances dans différents domaines tels que :

- organisation et gestion du travail,
- planification,
- géologie minière,
- technique et technologie d'exploitation,
- économie de production...

Cette diversité de connaissances permettra de résoudre les différents problèmes rencontrés au cours de la réalisation du projet en considérant la dépendance et la cohérence qu'il y a entre les solutions à apporter.

Les principaux axes à connaître et à développer sont :

- Informations sur le gisement ;
- Choix de la méthode d'exploitation minière ;
- Méthode de traitement ;
- Estimation des investissements et des coûts opératoires
- Informations sur les aspects généraux de l'économie ;

II.1) INFORMATIONS SUR LE GISEMENT :

Une attention particulière doit être apportée à cet axe lors de son analyse car il joue un rôle décisif, et sert de base pour la résolution des problèmes miniers.

A cet égard les services géologiques doivent fournir un rapport détaillé comprenant des indications sur :

II.1.A) GEOLOGIE : ce chapitre doit contenir des informations sur la :

- **Minéralisation :** Il faut préciser le type de minéral en déterminant si il s'agit d'un élément natif (or, argent, diamant, arsenic, ...) ou bien un sulfure (sphalérite ZnS , Pyrite FeS_2 , ...) ou d'un oxyde (quartz SiO_2 , corindon Al_2O_3 , ...) ou d'un silicate (olivine $(MgFe)_2 SiO_4$, ..) ou d'un sel d'acides oxygénaires (anhydride $CaSO_4$, barite $BaSO_4$) ou bien un composé halogénure (fluorine CaF_2 , halite $NaCl$,

Sylvine KCl,...), en précisant la teneur de cette minéralisation et en expliquant l'uniformité de cette dernière.

- **Structure et texture** : il faut situer le gisement dans l'un des groupes de structure connus à savoir :
 - Cristallin ;
 - crypto-cristallin ;
 - vitreux ;
 - porphyrique ;
 - clastique.

Il faut préciser aussi le type de texture (massive, poreuse ou stratifiée) ainsi que l'origine de ces roches (magmatique, sédimentaire ou métamorphique)

- **Type de roche** :

Les caractéristiques du gisement jouent un rôle déterminant lors du choix des processus d'exploitation, les engins et les moyens d'action sur le massif rocheux. On peut cependant citer les principales classes de propriétés suivantes :

- propriétés physiques ;
- propriétés mécaniques ;
- propriétés géomécaniques ;
- propriétés technologiques .

1. PROPRIETES PHYSIQUES :

- **poids volumique** : il exprime le poids de la matière totale comprise le volume du corps :

$$\gamma = \frac{P}{V} ; \quad [g/cm^3]$$

Avec :

P : poids de l'échantillon ;

V : volumique de l'échantillon.

- **Poids spécifique** : c'est le poids de la matière sèche contenue dans l'unité de volume :

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V} ; \quad [g/cm^3].$$

- **Absorption de l'eau**: C'est le rapport en % du poids de l'eau poids de la matière sèche .

$$W = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \quad ; [\%].$$

- **Porosité**: c'est le rapport en % du volume total du vide au volume total de l'échantillon.

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100 \quad ; [\%].$$

2. PROPRIETES MECANQUES :

- **Résistance à la compression R_c** : C'est la pression maximale que peut subir un échantillon sous la presse avant qu'il s'écrase :

$$R_c = \delta_{max} = \frac{F_{max}}{S} \quad ; [Pascal] \text{ ou } [kgf/cm^2].$$

- **Résistance à la traction R_t** : elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$R_t = \frac{R_c}{10} \quad ; [Pascal] \text{ ou } [kgf/cm^2].$$

- **Résistance au cisaillement** : elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$R_{cis} = \frac{R_c}{3} \quad ; [kgf/cm^2] \text{ ou } [Pascal].$$

3. PROPRIETES GEOMECANIQUE :

- **Angle de frottement interne** :

L'angle de frottement interne est donné par la relation suivante :

$$\phi = \text{Arc sin} \left[\frac{R_c - 4 R_t}{R_c - 2 R_t} \right]$$

- **Cohésion** : elle s'exprime par la formule suivante :

$$C = \frac{R_c \cdot R_t}{2 (R_c R_t - 3 R_t)^2}$$

4. **PROPRIETES TECHNOLOGIQUES** :

- **La dureté de la roche** :

La dureté est définie comme étant la résistance qu'éprouve le minerai ou la roche vis à vis des actions mécaniques. La dureté peut être donnée, d'après le professeur PROTODIAKONOV, par la formule empirique suivante :

$$f = \frac{\delta_{max}}{300} + \frac{\delta_{max}}{30}$$

- **Indice de forabilité** :

Il définit l'aptitude des roches à être forer sous l'effet de l'outil de la foration. L'indice de forabilité peut être donnée par la formule suivante :

$$I_f = 0,007 (R_c + R_{cis}) + 0,7\gamma$$

La classification ci-après, proposé par l'académicien Rjiveski, est donnée selon l'indice de forabilité des roches :

Degré de forabilité	Intervalle d'indice de forabilité
Très simple	1,5 - 5,0
Facile	5,1 - 10
Moyenne	10,1 - 15
Difficile	15,1 - 20
Très difficile	20,1 - 25

- **Indice de résistance au contact :**

Il reflète l'action de l'outil de foration sur la roche, il peut être exprimé par la relation suivante :

$$I_{rc} = 1,9 \cdot R_c^{1,5} \quad ; [Mpa]$$

- **Indice de difficulté à l'exploitation :**

$$I_d = 0,2 (K_f \cdot I_f + K_{exp} \cdot q + K_{exc} \cdot I_{exc})$$

K_f, K_{exp}, K_{exc} : Coefficient de résistance relative des roches respectivement au forage, à l'exploitation et l'excavation.

q_0 : Consommation théorique spécifique d'explosif ; [kg/m³]

- **Indice de difficulté à l'excavation (I_{exc}):**

$$I_{exc} = 0,3 \lambda (0,2 \cdot R_c + R_t + R_{cis}) + 0,3 \cdot \gamma$$

λ : coefficient tenant compte du facteur minéralogique ;

γ : densité de la roche en [t/m³]

R_c, R_t, R_{cis} : résistance respectivement à la compression, à la traction et au cisaillement. [pa]

- **Indice de difficulté de destruction des roche (I_{des}) :**

$$I_{des} = 0,005 K_m (R_c + R_t + R_{cis}) + 0,5 \gamma$$

K_m : coefficient tenant compte de la fissuration du massif

γ en [t/m³]

R_c, R_t, R_{cis} en [kgf/cm²]

- **Consommation spécifique étalon théorique de l'explosif q_0 :**

$$q_0 = 0,1 K_m (R_c + R_t + R_{cis}) + 40 \gamma \quad ; [kg/m^3]$$

- **Coefficient de résistance des roches respectivement à la foration, à la tirabilité et à l'excavation :**

Les coefficient K_f , K_{exc} et K_q peuvent être déduit en fonction des indices I_f , I_{exc} et I_q du tableau suivant :

forabilité		tirabilité		Excavation	
I_f	K_f	I_q	K_q	I_{exc}	K_{exc}
< 5	0,8	< 0,2	30	< 3	0,8
6 - 10	0,9	0,2 - 0,4	35	3-5	0,9
11 - 14	1,0	0,4 - 0,6	40	6 - 9	1,0
15 - 17	1,1	0,6 - 0,8	45	9 - 12	1,1
> 17	1,2	0,8 - 1,0	50	12 - 15	1,2

Tableau 1 : coefficient tenant compte de I_f , I_q , I_{exc}

5. PROPRIETES DE DEFORMABILITE :

- **Module de Young dynamique (Ed) :**

$$Ed = \frac{\sigma \cdot l}{\rho l}$$

σ : contrainte normale appliquée ; [kgf / cm²]

$\rho l / l$: déformation linéaire relative dans la même direction que la contrainte ;

ou bien :

$$Ed = \gamma \cdot V_l \quad ; \quad [Mpa]$$

γ : masse volumique ; [kg / m³]

V_l : vitesse des ondes longitudinale ; [m/s]

- **Coefficient de Poisson (μ) :**

$$\mu = \Sigma h / \Sigma v$$

Σh : déformation relative transversale

Σv : déformation relative longitudinale

On peut aussi déterminer le coefficient de Poisson par la voie expérimentale en appliquant la formule suivante :

$$\mu = \frac{0,5 [V_l^2 - 2V_s^2]}{[V_l^2 - V_s^2]}$$

V_l : vitesse de propagation des ondes longitudinales [m/s]

V_s : vitesse de propagation des ondes transversales [m/s]

6. **PROPRIETES INTRINSEQUES :**

- **coefficient de broyabilité (B_r) :**

$$B_r = (p' / p) \cdot 100 ; [\%]$$

p' : poids en grammes des particules fines de granulométrie inférieure à une dimension bien définie ; [g]

p : poids en grammes de l'échantillon ayant une granulométrie de 4 – 6,3 mm

- **coefficient de Los-Angeles (LA) :**

$$LA = (M / M') \cdot 100 ; [\%]$$

M : Masse des particules fines inférieure à 1,6mm ; [g]

M' : Masse de l'échantillon soumis à l'essai ; [g]

- **La fissurité :**

C'est une propriété très importante du massif rocheux, qui est traduit par le coefficient d'affaiblissement structural.

L'un des paramètres définissant la fissurité est la distance moyenne entre les discontinuités :

$$ID = L / n$$

n : nombre de discontinuités sur une distance L du massif.

Une connaissance de la fissurité permet de choisir la méthode d'exploitation la plus rationnelle, le processus de préparation des roches à l'excavation et de résoudre le problème de stabilité à toute échelle.

▪ **Coefficient d'affaiblissement structural (K_s):**

Le coefficient d'affaiblissement structural traduit le degré de stabilité des roches dans le massif. Il dépend de plusieurs facteurs à savoir :

- La fissuration (direction, intensité, ouverture, matériaux de remplissage des fissures, caractère de la surface, ...);
- Facteur minéralogique et hydrogéologique.

K_s peut être calculé d'après la formule suivante :

$$\lambda = \frac{C_m}{C_e}$$

C_m : cohésion dans le massif rocheux

C_e : cohésion dans l'échantillon

Il peut, également, être déduit directement du tableau suivant, en fonction de la fissuration et de la dimension moyenne structurale :

Catégorie des roches suivant la structure	d_{ms} (cm)	K_s
I : extrêmement fissuré	< 10	0,01-0,065
II : très fissuré	10-50	0,5-0,15
III : moyennement fissuré	50-100	0,1-0,55
IV : peut fissuré	100-150	0,5-0,9
V : monolithe	> 150	0,6-0,98

II.1.B) GÉOMÉTRIE :

L'analyse géométrique du champ minier a pour but principal la définition des limites de ce dernier, permettant ainsi l'établissement du régime optimal des travaux miniers, en outre déterminer le volume des travaux de découverte et d'extraction durant la durée de vie de l'exploitation.

A cet effet, il faut essayer d'avoir une idée la plus claire sur :

- La forme ; le gisement peut être sous forme d'amas, de lentilles ou de couches, il faut, en outre, essayer de dimensionner le gisement de déterminer sa profondeur ou bien son enfouissement dans la croûte terrestre ;
- Le pendage est l'angle du plan moyen du gisement avec l'horizon. Il doit être impérativement éclairé et déterminer si le gisement est en plateaux (de 0 à 12°), à pendage faible (de 12 à 30°), semi-dressant (30 à 45°) ou bien dressant, ce qui

permettra un choix rationnel de solution pour l'ensemble des problèmes rencontrés.

- *Continuité du gisement ou non c'est à dire présence ou non de zones polluantes (stériles ou minerais pauvres). Dans le cas où ces zones se manifestent avec une forte intensité il faudrait prévoir une technologie d'exploitation très sélective ;*
- *Profondeur du gisement, autrement dit la puissance du recouvrement qui se traduit par le coefficient de découverte.*
- *La zonalité du gisement doit être expliciter pour pouvoir évaluer le degré de sélectivité de la technologie d'exploitation à adopter.*

II.1.C) GEOGRAPHIE

Le rapport du service géologie doit aussi contenir des indications sur la géographie de la région. Ces dernières seront prises en compte lors des résolutions des différents problèmes.

Les indications portées principalement sur :

- *La localisation du site : il faut situer le site par rapport aux villes, aux marchés et grossistes. La localisation du gisement influe sur le prix de revient d'une manière remarquable. Un site isolé et lointain engendrera automatiquement l'augmentation des frais d'implantation d'une base de vie répondant aux normes de travail, des frais de transport, frais d'acquisition des fournitures...*
- *La topographie du site doit être étudiée avec soin car les techniques choisies doivent être les plus adaptées à cette topographie. A titre d'exemple, l'altitude du site influe sur le choix de la puissance des engins. La topographie du site influe aussi sur la lourdeur des investissements à prévoir, car les régions difficilement accessibles nécessitent des dépenses plus lourdes en matière d'aménagement des accès (routes, voies ferrées, ouvrages souterrains...).*
- *Les conditions climatiques de certaines régions étant parfois difficiles (vent de sable, chaleur insupportable, froid extraordinaire, ...) on est parfois contraint d'arrêter complètement les travaux miniers. Le climat peut influencer sur l'aptitude des ouvriers au travail, l'organisation du planning de travail, sur le choix des équipements et leurs planning de maintenance, par exemple dans les régions à forte humidité il faut prendre des mesures supplémentaires de lutte contre la rouille des engins...*

- *Les conditions de surface étant parfois difficiles (végétation intense, présence de bloc, vieilles constructions,...) nécessitent, par conséquent, l'adoption des travaux auxiliaires d'aménagement de la surface.*
- *Les frontières politiques du district minier doivent être reportées sur des cartes.*

II.1.D) EXPLOITATION :

Le rapport fourni doit contenir une partie exploitation comportant des indications sur :

- *L'historique du district minier ou de la concession,*
- *L'échantillonnage*
- *En précisant le type et les procédés adoptés ;*
- *L'évaluation des réserves ; les réserves devront être classifiées selon le degré d'étude du gisement en réserves de :*
 - *Catégorie A: Réserves certaines, elles sont bien éclairées et bien délimitées par le biais d'un grand nombre de sondages et d'ouvrages miniers. La certitude de confirmation est de 90%.*
 - *Catégorie B :Réserves probables, moins étudiées que ceux de la catégorie A, leurs certitude de confirmation est de 75%. Elles sont déterminées par un grand nombre de sondages et quelques ouvrages miniers.*
 - *Catégorie C, réserves possibles, elles sont divisées en réserves de catégorie C1 et de catégorie C2.*

La catégorie C1 comporte les réserves reconnues dans leur grande lignes par une maille larges de sondages ou de travaux miniers.

Quant à la catégorie C2, elle inclue les réserves calculées d'après des indications géologiques ou géophysiques et vérifiées par un échantillonnage de la la matière minéralisée provenant de sondages isolés, de tranchés ou des affleurements ou bien quand elles sont mitoyennes de parties des parties de gisement contenant des réserves des classes citées précédemment.

Le degré de certitude de confirmation des catégories C1 et C2 est respectivement de 50% et 25%.

Le services géologie doit fournir des cartes d'isoteneur qui permet de voir la distribution des différentes teneurs et leur délimitations.

Rappelons que l'estimation des réserves peut être réalisée par différentes méthodes à savoir :

- *Méthodes des coupes horizontales :*

- Méthodes des panneaux
- Méthode de la triangulation

A. Estimation des réserves par des coupes horizontales :

Cette méthode est applicable pour les gisements de forme tabulaire, ou régulière.

Le gisement est divisé en couches horizontales de différentes hauteurs et on évalue les réserves pour chacune d'elles par la formule suivante :

$$R = S \cdot h \cdot \gamma \quad ; [t]$$

Avec : S : surface moyenne de la couche ; [m^2]

h : épaisseur de la couche ; [m]

γ : densité du minerai ; [t / m^3]

B. Estimation des réserves par la méthode des panneaux :

Cette méthode est applicable à des gisements de forme non tabulaire, ou irrégulière ; ces gisement ont été échantillonnés par des sondages définissant des sections ou panneaux.

a) Calcul du volume :

Le volume associé à chaque section peut être déterminé par extension de la surface de part et d'autre d'une distance équivalente à la moitié de celle séparant deux sections adjacentes. Le volume du gisement sera évalué par la formule suivante :

$$V_T = \sum_{i=1}^{n-1} [(A_i + A_{i+1}) / 2] \cdot D \quad ; [m^3]$$

Où :

A_i et A_{i+1} : surface de deux sections adjacentes ; [m^2]

D : distance entre deux sections adjacentes ; [m].

b) Calcul des teneurs :

Le calcul des teneurs se fait en supposant que le gisement est traversé par (k) sondage et que la largeur du panneau est de (L) mètre, on donne aussi les longueurs et les teneurs de chaque échantillon. Pour chaque sondage sont tabulées, les valeurs de la puissance verticale totale exprimée en (m), la teneur en (%) et l'accumulation en ($m \cdot \%$).

b1) Estimation statistique :

On calcule la moyenne arithmétique des teneurs de tous les échantillons en ignorant le support des échantillons et les surfaces d'influence. Pour déterminer la teneur globale du gisement, chaque teneur (G_i) obtenue de cette façon est pondérée par le volume (Vol_i) associé à chaque section et la teneur globale est :

$$G_{OB} = \sum_{I=1}^n \frac{(G_i \cdot Vol_i)}{\sum_{I=1}^n (Vol_i)}$$

b2) Estimation la méthode des accumulations en métal:

Là, chaque teneur échantillonnée dans chaque section est pondérée par la longueur de l'échantillon et la densité spécifique si nécessaire, en fait appel, pour cela, à la formule suivante :

$$G_{SEC} = \sum_{I=1}^n \frac{(G_i \cdot L_i \cdot S \cdot \gamma_i)}{\sum_{I=1}^n (L_i \cdot S \cdot \gamma_i)}$$

La teneur globale du gisement est donc :

$$G_{OB} = \sum_{I=1}^n \frac{(G_i \cdot Vol_i)}{\sum_{I=1}^n (Vol_i)}$$

b3) Méthode des polygones :

La teneur globale de chaque intersection définie par un sondage est assignée à un bloc polygonal du minerai défini à la base de la demi-distance du sondage adjacent, chacune de ces teneurs est encore pondérée par la surface du polygone correspondant.

$$G_{SEC} = \sum_{I=1}^n \frac{(G_i \cdot A_i)}{\sum_{I=1}^n (A_i)}$$

C. Méthode de la triangulation :

Cette méthode est appliquée pour l'estimation des réserves des gisements tabulaires. Toutes les intersections des sondages avec le gisement doivent être projetées sur un plan, et sur chaque point, on rapporte les indications suivantes :

- La puissance verticale
- La teneur et l'accumulation en métal en joignant les points des sondages adjacents par des segments pour former ainsi un triangle à angles les plus proches que possible de 60°.

L'estimation des ces réserves par cette méthode requière la détermination de la surface de chaque triangle, la teneur et sa puissance pondérée.

Cette méthode produit une estimation des réserves sans aucune extrapolation au-delà de la zone échantillonnée par sondage.

Pour un gisement à puissance régulière, on utilise deux méthode pour estimer la teneur :

1. La méthode de la moyenne arithmétique $\frac{1}{3} \sum G_i$;

2. pondération par les angles internes ; $\frac{\sum_{i=1}^3 (G_i \cdot \theta_i)}{\sum \theta_i}$

3. pondération par les angles internes $\frac{\sum_{i=1}^3 (G_i \cdot V_i \cdot T_i \cdot \theta_i)}{\sum (V_i \cdot \theta_i)}$

pour calculer les teneurs globales, chaque teneur associée à un triangle est pondérée par la surface ou le volume de ce dernier, le total considéré est divisé par la somme des surfaces ou volume pour produire une teneur globale. Le tonnage global est calculé par la formule suivante :

$$G_{SEC} = \sum_{I=1}^3 \frac{(G_i \cdot A_i \cdot S_{Gi})}{n \sum_{I=1}^3 (A_i \cdot S_{Gi})}$$

Où: S_{Gi} : densité spécifique.

Il existe d'autre méthode d'estimation des réserves par, la méthodes des coupes verticales et horizontales, méthode des isolignes.

CHOIX DE LA METHODE D'EXPLOITATION MINIERE :

A. Contrôles physiques

- *Résistance : minerai, stérile, relation entre les deux*
- *Homogénéité : minéralisation, possibilité de dilution*
- *Continuité : minéralisation*
- *Géologie : structure*
- *Conditions de surface*
- *Géométrie*

B. Exploitation sélective

C. Niveau de production

- *Production relative*
- *Développement : méthode, quantité, calendrier*
- *Montants des capitaux nécessaires*

II.2) INFORMATIONS SUR LES ASPECTS GENERAUX DE L'ECONOMIE :

Nous ne pouvons pas aborder ce point avec beaucoup de détails car on ne pourra pas le contourner dans ce modeste travail. Mais on va quand bien même citer les grandes lignes. Ce point relève de la tache du service économique qui devra présenter une étude touchant les principaux points suivants :

a. Le marché : l'étude du marché doit fournir les informations sur :

- *Le ou les produits vendables à court terme, à long terme et perspectives : est ce qu'ils sont vendus sous formes de concentrés ou sous forme de minerais riches (sans traitement) ?*
- *Niveaux espérés des prix et leurs évolution, production et demande, niveau des coûts compétitifs.*

b. Le transport : le document doit expliciter :

- *L'accessibilité au site ;*
- *La méthode de transport du minerai, la distance parcourue et les coûts engendrés, organisation, parc...*

c. L'énergie :

- *Energie électrique : accessibilité et puissance, propriété, coûts*
- *Gaz naturel : puissance, localisation, coûts*

- *Alternatifs : production sur le site*
- d. *Eaux*
 - *Potable et épuration : sources, quantité, qualité, accessibilité, coût.*
 - *Eau de mine : quantité, qualité, profondeur et source, méthode de drainage, traitement*
- e. *Droits minier et de surface*
 - *Propriété de la surface, du minerai, frais d'acquisition et/ou coût de location*
 - *Surface requise : site pour la laverie, localisation des rejets et du stérile*
- f. *Main d'œuvre*
 - *Potentiel et type : spécialisation ou non en mines.*
 - *Salaires et évolution*
 - *Degré d'organisation (syndicat)*
 - *Histoire sociale de la main d'œuvre localement et non locale.*
- g. *Législation minière et norme de protection de l'environnement.*

II.3) METHODE DE TRAITEMENT :

Les services de traitement devront eux aussi présenter un document dans lequel figurera une étude détaillée sur les différents aspect de traitement touchant essentiellement :

1. *La minéralogie*
 - a. *propriétés des minerais : métallurgiques, chimiques, physiques*
 - b. *dureté des minéraux*
2. *Les procédés alternatifs*
 - *Etablissement du flowsheet, taux de récupération*
 - *Calendrier de production*
3. *La qualité du produit*
4. *La récupération possible*

II.4) ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS ET DES COÛTS OPERATOIRES :

A. Investissements

Les capitaux nécessaires pour amener un gisement à une mine sont les investissements miniers. Ils sont de deux natures : les capitaux fixes et le fond de roulement.

Les investissements engagés se répartissent en investissement de :

- *Exploration*
- *Exploitation minière*
 - a. *Développement avant la production*
 - b. *Préparation du site*
 - c. *Edifices*
 - d. *Equipements miniers*
- *Usine de traitement*
 - a. *Préparation du site*
 - b. *Edifices*
 - c. *Equipements*
 - d. *Site pour les rejets*

B. Coûts opératoires : [7]

Les coûts opératoires sont plus difficiles à estimer que les investissements miniers. Ils comprennent les dépenses nécessaires au fonctionnement normale du projet. En général les coûts opératoires sont de trois types, les coûts directes, les coûts indirectes et les frais généraux.

1) *Les coûts directes comprennent :*

- *Main d'œuvre : opération directe, entretien.*
- *Matériels : entretien, pièce de rechange et atelier mécanique, consommables (fuel, huile, eau, énergie, etc....)*
- *Royalties*
- *Développement*

2) *Les coûts indirectes comprennent :*

- *Main d'œuvre : administration, sécurité, service technique, magasins*
- *Assurances*
- *Dépréciation*
- *Intérêts*

- Taxes
- Environnement
- Voyages, meetings, donations
- Equipement de bureau
- Relations publiques
- Développement

3) Les coûts généraux comprennent :

- Recherche de marchés, vente : vendeurs, équipe d'analyse de marché, supervision, voyage, etc...
- Administration : ingénieur de contrôle, comptabilité extérieure et audit, contacts avec firmes spécialisées, firmes d'avocat, recherche et développement, relations publiques, staff financier, contribution ;
- Dépenses liées à l'hygiène et la sécurité de travail.

III. CRITERES DE CHOIX DU MODE D'EXPLOITATION :

La diversité et la non uniformité des gisements minerais utiles ont donné lieu à deux modes d'exploitations :

- Ciel ouvert
- Souterrain

Le choix entre ces deux modes d'exploitation doit être étudié avec soin en se basant sur les critères suivants :

- Type de gisement : morphologie et propriétés mécaniques, profondeur et coefficient de découverte
- Conditions de la nappe aquifère
- Economique : valeur du minerai, teneur de coupure, niveau de production escompté et comparaison des coûts miniers (investissement et coûts opératoires)
- Ecologie : reconstitution de l'environnement, gestion des eaux, pollution, dégâts de surface.

Cependant, il est à noter que le premier critère (Type de gisement) est le plus important et sert de guide vers le mode le plus rationnel. Une fois le mode retenu, le facteur morphologique et mécanique délimitent déjà la gamme des méthodes applicables.

Ceci dit, les autres critères servent pour l'affinage de notre choix jusqu'à obtention de la méthode la plus prometteuse. C'est à dire celle qui répandra aux multiples contraintes d'exploitation posées au départ :

- *Coûts opératoires (mine + traitement)*
- *Taux de récupération*
- *Taux de dilution*
- *Sécurité de travail*
- *Protection de l'environnement*

Une troisième famille de méthodes peut fréquente, dite méthode "spéciale", comprenne :

- *La gazéification souterraine à partir de forage de surface (lignite Tchecoslovaquie) ;*
- *La lixiviation in-situ (oxyde d'uranium de la COGEMA)*
- *Les techniques de dissolution d'évaporites (sel, potasse) par injection d'eau chaude, récupération et décantation*
- *Les essais soviétique de transformation et concentration bactérienne de certains minerais de cuivre*
- *Les techniques d'exploitation des fond marins*
- *Le block caving par explosion nucléaire...*

PARTIE II :

**METHODE D'EXPLOITATION A CIEL
OUVERT**

EXPLOITATION A CIEL OUVERT :**Introduction :**

“On entend par travaux miniers à ciel ouvert l'ensemble des travaux, dont les processus de la production minière, nécessaire à l'extraction des minerais utiles du sous-sol se réalisent au jour”[1].

Les dernières années ont révélé que les entreprises minières s'orientent, de plus en plus, dans la mesure du possible, vers les méthodes d'exploitation à ciel ouvert, qui offrent des performances remarquables grâce aux progrès technologiques d'une part et la diminution de la teneur en composants utiles dans le minerai extrait d'autre part.

I. LIMITE D'EXPLOITABILITE D'UN GISEMENT A CIEL OUVERT :

L'exploitabilité d'un gisement à ciel ouvert repose sur l'analyse d'un paramètre essentiel ; le rapport de découverte, qui exprime la quantité de stériles à déplacer pour extraire $1m^3$ de minerai. On distingue :

1. coefficient moyen de découverte (K_{dm}) :

$$K_{dm} = \frac{V_s}{V_m} \quad ; [m^3 / m^3], [m^3 / t], [t / t]$$

V_s : volume des stériles

V_m : volume du minerai

2. coefficient moyen d'exploitation (K_{exp}) :

$$K_{exp} = \frac{V_s - V_{sc}}{V_m - V_{mc}} \quad ; [m^3 / m^3]$$

V_{sc} : volume des stériles pendant la construction

V_{mc} : volume du minerai extrait pendant la construction

3. *coefficient de découverte courant* (K_{dc}) :

$$K_{dc} = \frac{V_{sc}}{V_{mc}} \quad ; \quad [m^3 / m^3]$$

Ce coefficient est utilisé pour le calcul des travaux miniers et pour le calcul de la profondeur finale du champ minier.

4. *coefficient de découverte admissible* (K_{da}) :

$$K_{da} = \frac{P_a - P_m}{P_s}$$

P_a : prix de revient du minerai extrait par voie souterraine [DA/t] ;

P_m : prix de revient du minerai extrait par voie à ciel ouvert [DA/t] ;

P_s : prix de revient du stériles enlevé ou déplacés [DA/t]

5. *coefficient d'exploitabilité du contour* (K_c) :

$$K_c = \frac{\Delta s}{\Delta m}$$

Δs et Δm : l'accroissement des volumes de stériles et du minerai lors de l'approfondissement de la mine.

6. *coefficient de découverte admissible ou limite dans des conditions complexe* (K_{da}') :

$$K_{da}' = \frac{P_r - P_m}{P_s}$$

P_r : prix de revient moyen pondéré de plusieurs minerais utiles.

La valeur de K_{da} dépend de la méthode d'exploitation appliquée d'après les données pratiques ; les valeurs de K_{da} sont exposées dans le tableau suivant :

Méthodes d'exploitation	K_{da}
Sans transport	
• simple	15 – 20
• avec transport	10 – 15
Avec transport	10 – 15
Avec transport	
• aux terrils intérieurs	09 – 10
• aux terrils extérieurs	08 – 09

Tableau2 : mode d'exploitation en fonction de K_{da}

II. PRIX DE REVIENT ADMISSIBLE D'UNE EXPLOITATION A CIEL OUVERT

Prix de revient admissible lors de l'extraction d'un minéral utile :

L'entreprise minière doit être rentable et son bon fonctionnement ne peut être assuré que s'il y a profit. De là, la rentabilité doit être prise comme base économique pour tout projet minier.

Le prix de revient admissible d'une tonne de minerai extraite lors de l'exploitation à ciel ouvert doit :

- Être égale au prix de revient dans l'exploitation souterraine si elle existe dans la zone de la carrière projetée ;
- Répondre aux normes de rentabilité interne d'une entreprise.

$$B = P_v - P_a$$

- être concurrent avec d'autres substances utiles équivalentes pour le consommateur.

Prix de revient admissible lors de l'extraction de plusieurs minéraux utiles :

Dans ce cas on calcule le prix de revient de la moyenne pondérée :

$$P_{rm} = \frac{\sum q_i \cdot p_i}{\sum q_i}$$

q_i : quantité de chaque minéral utile en [t];

p_i : prix de revient de chaque minéral utile en [DA/t].

Prix de revient lors d'utilisation des roches stériles :

L'utilisation des roches stériles aura pour conséquent une diminution sensible du prix de revient de la tonne de minerai.

$$P_r = \frac{q_p p_p + q_r p_r}{q_p}$$

q_p : production de minerai, [t] ;

p_p : prix de revient d'une tonne de minerai, [DA/t] ;

q_r : production de roches stériles, [t] ;

p_r : prix de revient d'une tonne de roches stériles, [DA/t] .

III. PASSAGE DE L'EXPLOITATION A CIEL OUVERT VERS L'EXPLOITATION SOUTERRAINE [5,16,20]:

Souvent l'exploitant est appelé à passer de l'exploitation à ciel ouvert vers l'exploitation souterraine lorsque le taux de découverte atteint un seuil au delà duquel le coût de la tonne du minerai s'avère plus économique en souterrain.

Le schéma suivant indique ce point de passage, qui correspond à une profondeur H_0 .

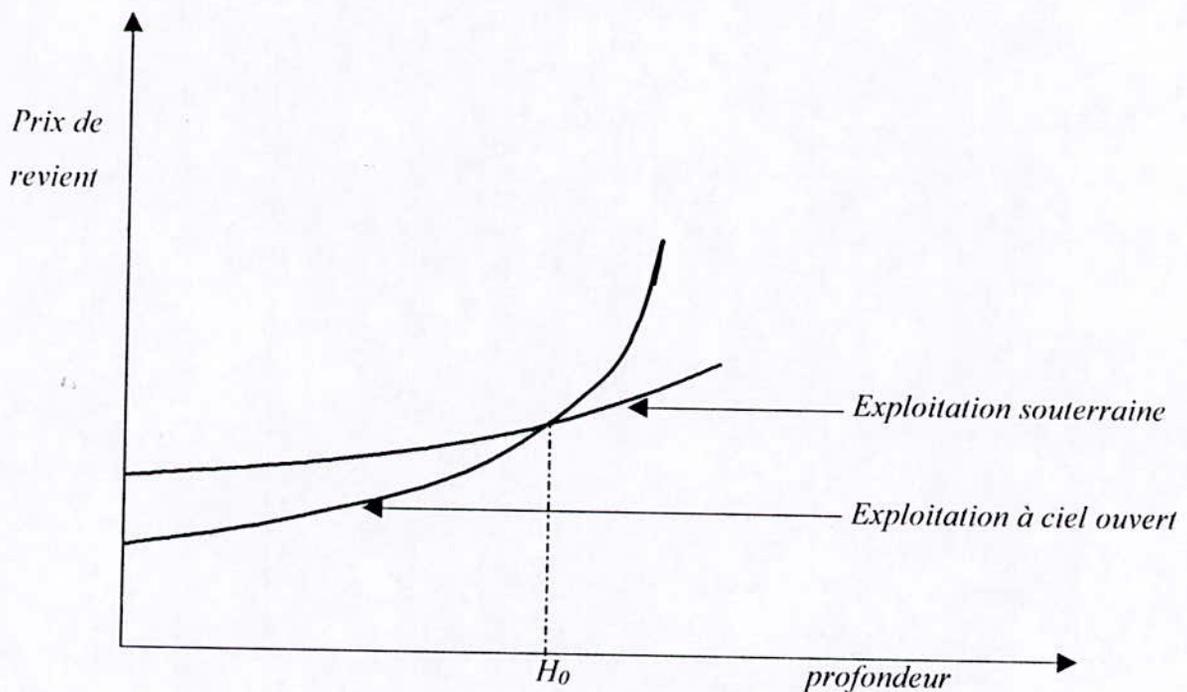


Figure 1 : Point de passage de l'exploitation à ciel ouvert vers la souterraine.

IV. CLASSIFICATION DES SYSTEMES D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT [4,5,13,14,15]:

Les méthodes d'exploitation à ciel ouvert ne bénéficient pas d'appellations relativement universelle comme les exploitation souterraines. Selon différentes écoles et différents auteurs, on rencontre plusieurs classifications fondées sur différentes bases que ça soit, géologiques, minières ou techniques.

L'école Russe, considère que la classification la plus solide et la plus significative est celle basée sur l'importance des travaux de découverte.

Les plus répandues de ces classifications sont :

- *Classification du professeur ARJEVSKI ;*
- *Classification du professeur SHECHKO ;*
- *Classification du professeur MILNIKO.*

La classification de ARJEVSKI se base essentiellement sur les facteurs géologico - miniers et géométriques, il distingue :

- *Système d'exploitation horizontal*
- *Système d'exploitation incliné*
- *Système d'exploitation descendant*

Et suivant l'ordre d'exécution des travaux et le déplacement de la ligne de front, il répartie en:

- *Système d'exploitation longitudinal ;*
- *Système d'exploitation transversal ;*
- *Système d'exploitation en éventail ;*
- *Système d'exploitation circulaire.*

La classification de SHECHKO se fonde, par contre, sur la direction de déplacement des stériles :

- *Système d'exploitation longitudinal ;*
- *Système d'exploitation transversal ;*
- *Système d'exploitation combiné (longitudinal et transversal).*

Tendis que le professeur MILNIKO prend comme critère pour sa théorie, la mécanisation des travaux de découverte et il donne la classification suivante :

- *Système d'exploitation sans transport ;*

- *Système d'exploitation avec transport ;*
- *Système d'exploitation spécial ;*
- *Système d'exploitation combiné.*

Par contre, Y. LE MAILLOUX de l'école française définit la méthode d'exploitation comme étant l'organisation de la progression dans le temps de l'ensemble des gradins à l'intérieur de la fosse ultime. Cette définition géométrique ne tient pas compte des facteurs échelle, minéralisation, matériel, il distingue ainsi les méthodes suivantes :

a) Méthode par tranches horizontales simultanées (figure2):

Méthode d'exploitation dans laquelle la progression de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites simultanément pour enlever en un seul passage la totalité de l'épaisseur à exploiter.

Cette méthode permet un remblayage continu de l'excavation à l'arrière l'exploitation.

La méthode des tranches horizontales peut être appliquée pour les gisements subhorizontaux de grande extension.

b) Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur (figure3) :

Méthode d'exploitation dans laquelle la progression globalement verticale de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites successivement jusqu'au contour final, la tranche inférieure ne démarre que peu avant la fin de la tranche précédente. On obtient ainsi à la fin de l'exploitation un contour sous forme d'un entonnoir.

Cette méthode ne peut contenir de terril interne que vers la fin de l'exploitation. Cette méthode est fréquemment recommandée pour les gisements à flanc de couteau.

c) Méthode par fosses emboîtées (figure4) :

Méthode dans laquelle le terrassement est conduit de façon que l'excavation affecte à plusieurs époques successives la forme de fosses. Le point le plus bas du gisement n'est atteint qu'à la fin de l'exploitation ce qui conduit à adopter que les terrils externes. Cette méthode est fortement utilisée pour les couches puissantes, filons redressés et amas lorsque on voit que la fosse peut évoluer après le projet initial ou lorsque on choisit de ne pas faire de gros travaux de décapage (découverte) en début d'exploitation.

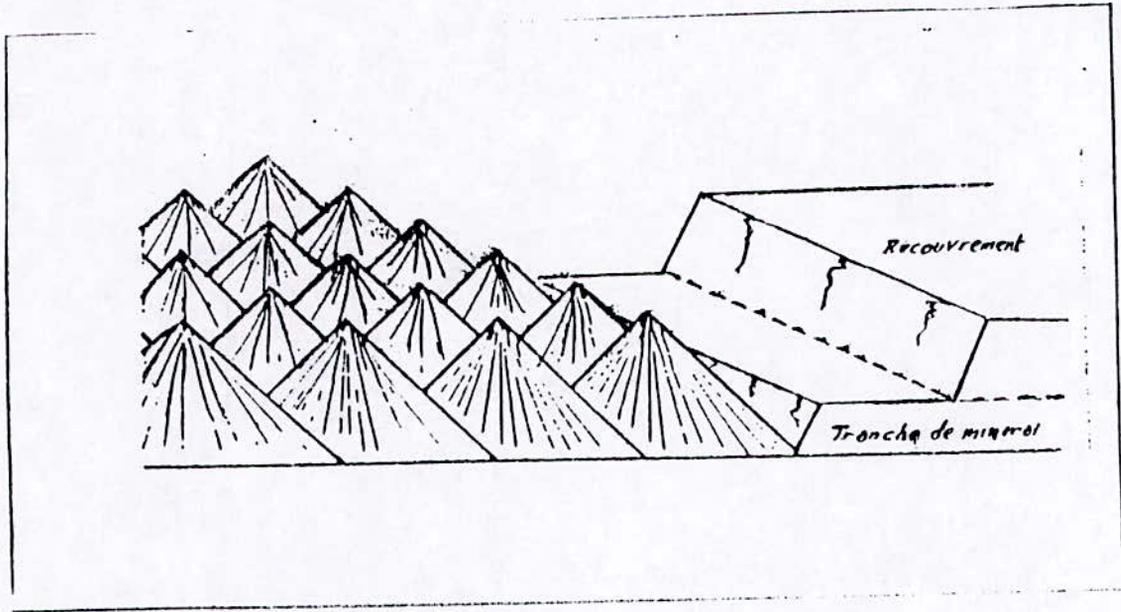


Figure 2 : Méthode par tranches horizontales simultanées

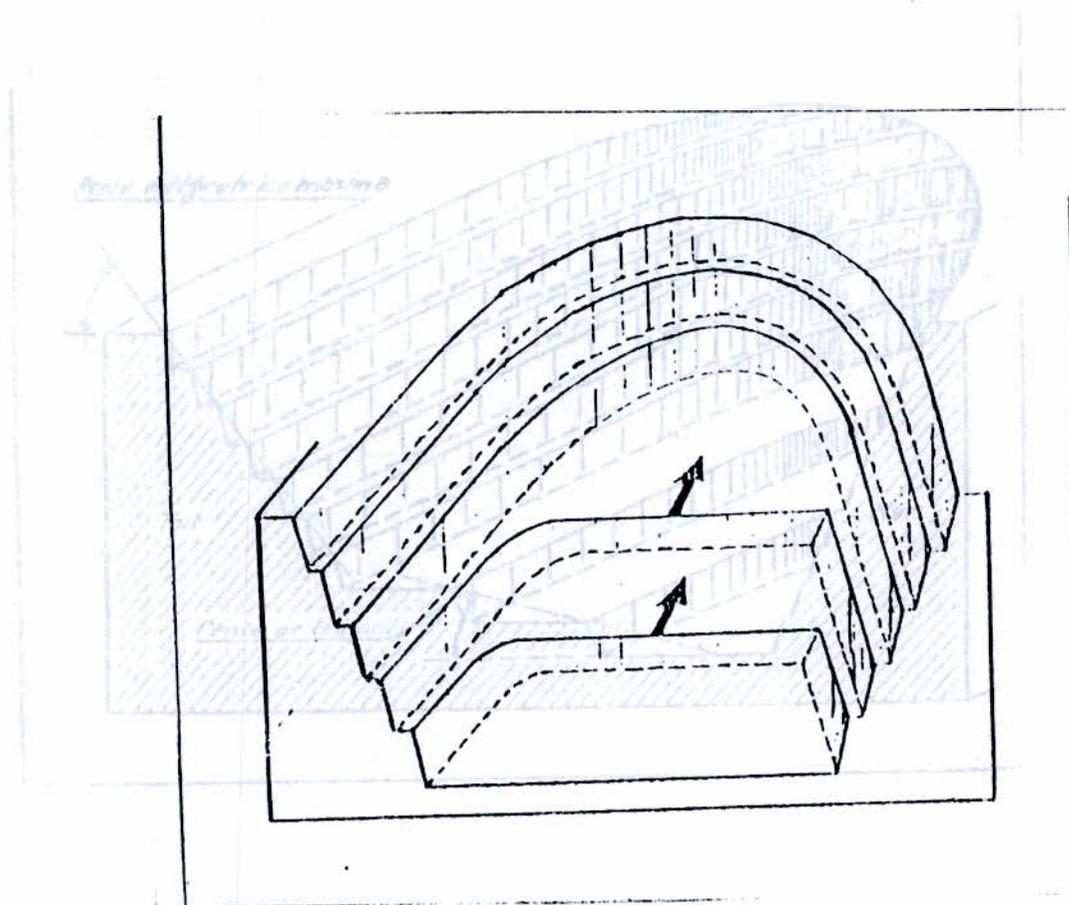


Figure 3 : Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur

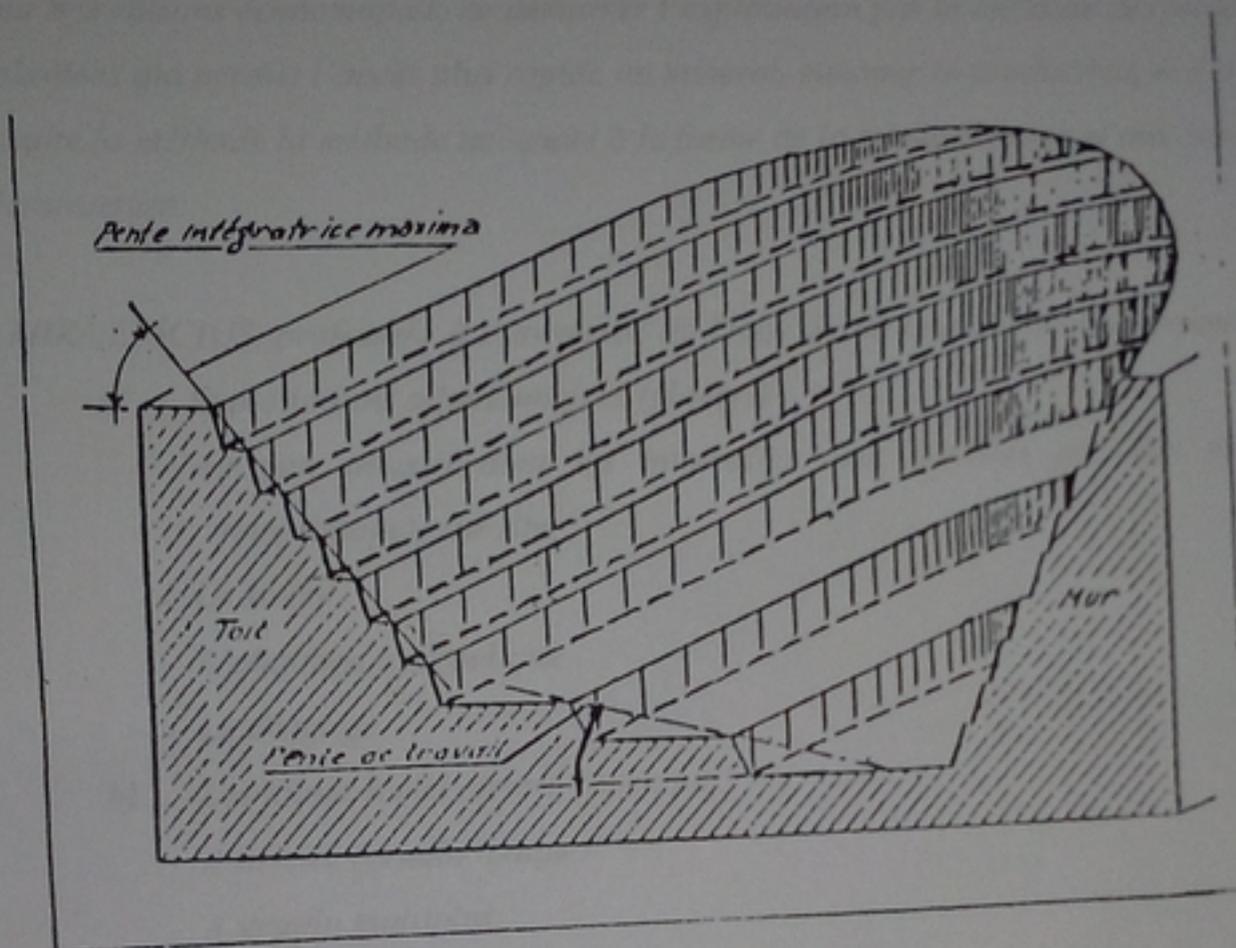


Figure 4 : Méthode par fosses emboîtées

d) *Méthode mixte (figure 5) :*

Méthode combinant deux ou plusieurs méthodes citées précédemment.

A titre d'exemple, pour les gisements de grandes dimensions, il est souvent plus commode, pour des raisons économiques, de démarrer l'exploitation par la méthode des fosses emboîtées qui permet l'accès plus rapide au minerai, entamer la production, et d'adopter par la suite la méthode la méthode adéquate à la forme de la minéralisation et aux besoins de découverte.

A. MIKNEVICIUS, professeur à l'université de Liège donne la classification suivante :

a) *Exploitations alluvionnaires (placers)*

- *Au pan (massif dont les intervalles sont comblés par des matériaux de remplissage), sur site*
- *Le sluice*
- *L'abattage hydraulique*
- *Le dragage*

b) *Les mines à ciel ouvert "open pit"*

- *A niveau (gradin unique)*
- *A gradin multiples*
- *Strip mining (pour les alluvions secs)*
- *carrière à flanc de coteau (absence d'accès particuliers)*

c) *"Glory hole" exploitation d'une montagne par open pit et évacuation des produits abattus par cheminée et une galerie située en contrebas (niveau inférieur).*

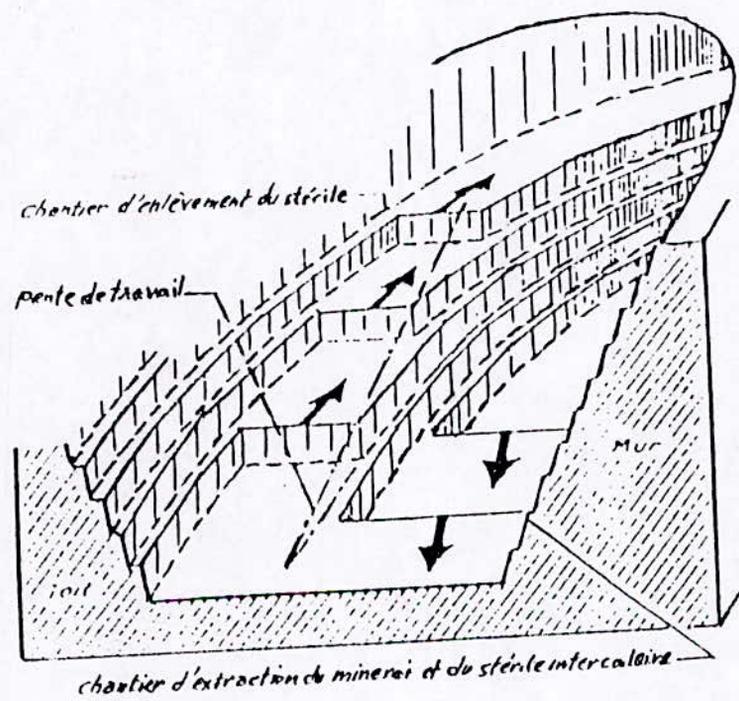


Figure 5 : Méthode mixte

V. REALISATION DU PROJET [6,12,14]

A. DELIMITATION DE LA CARRIERE :

La délimitation des contours du gîte et de la carrière consistent :

- *en l'établissement de ses limites sur plan horizontal ;*
- *en la réalisation des coupes géologiques verticales d'après :*
 - o *la teneur en composants utiles ;*
 - o *la puissance d'exploitation ;*
 - o *le rapport de découverte maximum possible*

La délimitation de la carrière nécessite le recueil des données suivantes :

- *le plan topographique avec le rapport des points des sondages*
- *la carte géographique*
- *le plan des isohypses du toit et des murs du gîte ou bien le plan de isopuissances ;*
- *la teneur des composants utiles*

Après le recueil de ces données, on procède à la détermination des contours comme suit :

- *On indique les trous de sondages minéralisés et ceux non minéralisés*
- *Par interpolation, on trace la ligne passante entre les sondages, avec le minerai et ceux sans minerai. On définit ainsi le contour extérieur du gîte.*
- *Si la puissance du stériles est grande, le contour du fond de la mine est déterminé selon le rapport de découverte maximum possible ; pour cela, on fait coïncider le plan des isohypses de puissance du gîte et celui de la profondeur des stériles, ce qui permettra de tracer les isohypses des rapport de découverte dont les valeurs sont données par la division des puissance stériles et minerai pour chaque sondage.*

La délimitation du contour du fond de la carrière nécessite les opération suivantes :

- *Le choix préliminaire de la méthode d'exploitation selon les propriétés physico-mécaniques et la puissance des roches stériles ;*
- *Le calcul du rapport d découverte maximum possible*

Pour la délimitation du contour supérieur de la carrière, il est nécessaire de déterminer l'angle de talus du bord inexploitable (β) selon la profondeur finale et les propriétés du massif.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs que peut prendre l'angle du bord inexploitable et l'angle du talus du gradin.

Caractéristiques Des roches	dureté	Angles du talus du gradin(°)	Angle du bord inexploitable pour différentes profondeur (°)			
Très dures	15-20	75-85	60-80	57-65	53-60	48-54
Dures	8-14	65-75	50-60	48-57	45-53	42-48
Dureté moyenne	3-7	55-65	43-50	41-48	39-45	36-43
Tendres	1-2	40-55	30-43	28-41	26-39	-
Meubles et végétales	0.6-0.8	25-40	21-30	20-28	-	-

Tableau 3 : valeurs de l'angle du bord inexploitable et angle du talus

➤ **LA STABILITE : [1,19]**

La stabilité des talus peut être exprimé par l'angle du talus qui varie de 45° jusqu'à 90° suivant la nature des roches.

Les angles maximums admissibles des gradins, des bords de la carrière et des terrils peuvent être déterminés d'après les angles naturels des talus.

La stabilité des talus est généralement estimée à un coefficient de sécurité F_s , défini comme suit :

$$F_s = \frac{\text{Forces résistantes au mouvement de la masse supposée instable}}{\text{Forces provoquant le mouvement de la masse supposée instable}}$$

On pratique on dit qu'un talus est stable si $F_s = 1.15 \div 1.3$

Il existe plusieurs méthodes de calcul de la stabilité des talus, on peut citer à titre d'exemple :

- Méthode géométrique
- Méthode des abaques
- Méthode de calcul technique...

C. LA PROFONDEUR DE LA MINE :

La profondeur maximale d'une mine peut être déterminée de deux manières :

C.1) La Première méthode :

$$H_{max} = \frac{K_{da} \cdot M}{\text{Cotg } \gamma + \text{Cotg } \beta} \quad ; \quad [m]$$

K_{da} : coefficient de découverte limite

γ : angle de bord inexploitable de la mine.

β : angle de bord exploitable .

M : puissance horizontale de la couche sur la coupe verticale du gîte.

$$\text{tg } \beta = \frac{H}{Bt + H \cdot \text{cotg } \alpha}$$

$$\text{tg } \gamma = \frac{n \cdot H}{\sum \beta + \sum B + n \cdot H \cdot \text{cotg } \alpha}$$

H : hauteur de gradin ; [m]

Bt : largeur totale de transport ou berne de transport ; [m]

B : berne de sécurité ; [m]

$$B \geq 0,2 \cdot H$$

α : angle de talus du gradin.

Le tableau suivant représente la relation existant entre les caractéristiques de la roche, le coefficient de dureté (f), l'angle du talus du gradin (α) et l'angle du talus du bord inexploitable (γ)

<i>Caractéristiques de la roche</i>	<i>f</i>	<i>α</i>	<i>γ</i>
- Très dure	15-20	75-85	57-65
- Dure	08-14	65-75	48-60
- Moyenne	03-07	50-65	41-50
- Tendre	01-02	40-50	28-43
- Friable	0,4-0	25-40	20-30

Tableau4 : angles du bord inexploitable et angle du talus en fonction de la dureté

C.2) La méthode des variantes :

Cette méthode est plus universelle, elle est utilisée pour les gisements de différentes formes.

Le but de cette méthode consiste à examiner plusieurs variantes et à déterminer la profondeur maximale, cette dernière doit satisfaire la condition suivante :

$$K_{da} \geq K_0 + K_{max}$$

K_0 : rapport de découverte initiale.

K_{max} : rapport de découverte le plus grand.

D. TRAVAUX D'AMENAGEMENT DE LA MINE :

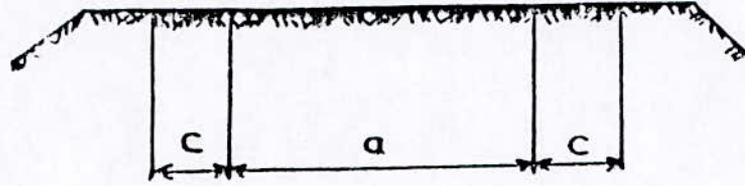
Introduction :

L'exploitation d'un gisement nécessite des travaux préparatoires permettant d'aboutir à l'extraction du minerai et d'assurer une exploitation rationnelle.

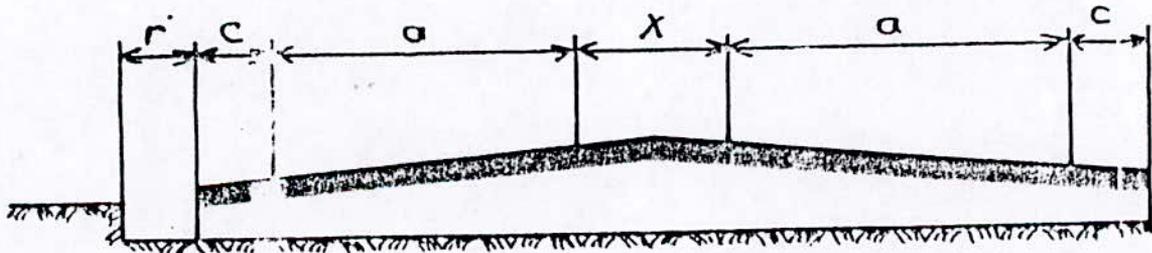
Les travaux préparatoires sont basés sur les conditions de transport du minerai extrait et de l'ouverture rationnelle de la mine.

1. La piste d'accès (figure6) : [1,16]

Avant de procéder à l'ouverture d'un gisement, il est indispensable d'aménager une piste principale reliant l'usine de traitement ou le stock au niveau d'ouverture.



a)



b)

Figure 6 : La piste d'accès

Le choix de la piste d'accès influe directement sur le déroulement du processus d'exploitation, elle détermine ainsi :

- *La durée de vie du gisement.*
- *L'accessibilité entre les gradins.*
- *L'usure des engins miniers.*
- *Le volume des travaux supplémentaires.*

D'ou l'influence directe sur le prix de revient de la tonne de minerai extraite.

Les caractéristique de la piste à double voies :

1.a) La pente de la piste :

La pente maximale permise de piste ne doit en aucun cas dépasser les 10% en lignes droite et les 6% dans les courbes.

1.b) La longueur de la piste :

Elle est à minimiser, elle est fonction du relief, de la pente déblais et remblais...

1.c) La largeur de la piste :

Elle est fonction du tonnage transporté et de la production de la mine.

La largeur est déterminée par la relation suivante :

$$B = 2(a + c) + X + r ; [m]$$

Avec :

a : largeur du camion

C : largeur de la berne de sécurité qui est déterminée par la formule ci dessus :

$$C = 0,5 + 0,005 \cdot V ; [m]$$

Où :

V : vitesse de la circulation des camions ; [Km / h].

X : distance entre les bennes des camions ; [m].

r : largeur de la rigole d'évacuation d'eau ; [m].

La piste à une seule voie

a : largeur du camion.

c : largeur de la bande de sécurité.

Les pistes à voie unique sont réalisées dans le cas où les pistes à double voie ne sont pas réalisables ou dans le cas où les pistes à voie unique offrent beaucoup de facilités et de

mobilités pour les moyens de transport et d'excavation mais celles-ci nécessitent un entretien et des travaux supplémentaires pour leur réalisation.

Les pistes, soit à double voie, soit à voie unique sont souvent élargies lorsque celle-ci sont curvilignes ; on les élargit suivant le rayon de courbure.

<i>Rayon de courbure ; [m]</i>	250	100	50	30	20
<i>Elargissement</i>	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7

Tableau5: élargissement et rayon de courbure de la piste

2. La tranchée :

La tranchée est l'excavation ouverte caractérisée par :

- Sa forme.
- Sa profondeur finale.
- La largeur du talus du bord de la tranchée.
- L'inclinaison longitudinale.
- Sa longueur.
- Son volume.

Les paramètres de la tranchée sont déterminés par les relations suivantes (figure7) :

- a) la profondeur de la tranchée d'accès est déterminée par la hauteur du gradin H .

$$h_f = H.$$

- b) La largeur du pied de la tranchée

$$B = 2c + r + 0,25be + l_c$$

c : distance du bord du camion jusqu'à l'arête inférieure de la tranchée.

R : rayon de braquage du camion.

be : largeur du camion.

l_c : longueur du camion.

c) largeur de la plate forme supérieure :

$$B = b + 2 \cdot X$$

$$X = H \cdot \cot \alpha$$

X : largeur du prisme d'éboulement.

α : l'angle du talus.

$$B = b + 2 H \cdot \cot \alpha$$

d) La longueur de la tranchée :

$$L = H / i$$

i : pente de la tranchée, $i = 6$ à 12 %.

e) Volume de la tranchée de découpage :

$$V_{td} = (b + H \cot \alpha) \cdot h \cdot l$$

L : longueur de la tranchée de découpage.

α : angle de talus.

b : largeur de la tranchée.

H : hauteur de la tranchée ou gradin.

f) Volume de la semi tranchée :

$$V_{dt} = \frac{H \cdot b^2 \cdot \sin \gamma_0}{2 \cdot i \cdot \sin (\alpha - \gamma_0)} \quad ; [m^3]$$

γ_0 : angle du talus du flanc du coteau.

α : angle du talus de la demi tranchée.

g) Volume des tranchées de groupes extérieures :

$$V = \frac{H \cdot n}{2} \left(\frac{b}{2} + \frac{H \cdot n}{3 \cdot \operatorname{tg} i} \right) + \frac{b}{2i} (H1^2 + H2^2 + \dots + Hn^2) \quad ; [m^3]$$

H : hauteur moyen des gradins.

n : nombre de gradins.

H_i : hauteur des gradins.

i : pente de la tranchée.

b : largeur du fond de la tranchée.

La largeur du fond de la tranchée est déterminée par les conditions d'emplacement de mécanisation.

a : plate forme totale ;

b : plate formes des voies ;

c : la cuvette ;

e : la rigole d'eau ;

d : les accotements ;

dt : dimension totale y compris les cuvettes.

Le tableau suivant donne une idée générale sur les dimensions citées ci-dessus en fonction du tonnage du camion et de la nature de la voie.

Conditions	Dimension des éléments de la section Transversale de la tranchée					Largeur total
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • deux voie -camion 25-35 t 40 t 	10	08	2,2	1,0	1,0	14,4
	11	09	2,2	1,0	1,0	15,4
<ul style="list-style-type: none"> • une voie 25 – 35 t 40 t 	05	04	02	0,5	0,5	09
	6	05	02	0,5	0,5	10,5

Tableau 6 : angle du talus de bord de la tranchée

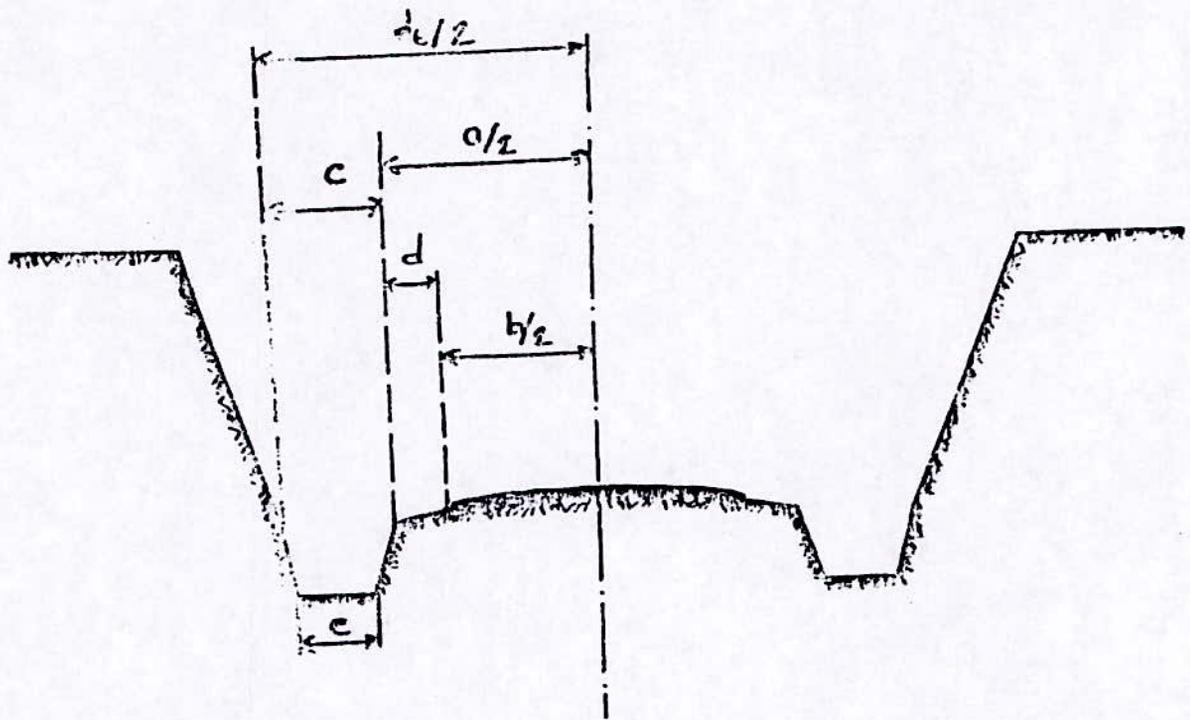


Figure 7 : Les paramètres de la tranchée

Conditions	Angles du talus du bord de la tranchée d'après la dureté de Protodiakonov [f]			
	2-4	5-9	10-14	14-20
• Route à eux voies				
- Tranchée d'accès	60°	65°	70°	80°
- Tranchée de découpage	60°	70°	75°	80-85°

Tableau 7: angles du bord de la tranchée d'après la dureté

E. OUVERTURE DE MINE : [1,6]

L'accès et l'ouverture du gisement constituent les travaux préparatoires qui permettent, d'une part l'accès des engins miniers et d'autre part l'exploitation du minerai.

Les modes d'ouvertures sont classés suivant le type d'ouvrage donnant l'accès au gisement, leur disposition par rapport aux champs de mine, leur nombre et destination.

Lorsque l'ouverture se fait par tranchées elle peuvent être disposées en dehors du contour de la carrière ou à l'intérieur de celle-ci.

Dans le premier cas, elles sont dites tranchées extérieures, dans le second tranchées intérieures.

Les tranchées extérieures sont généralement utilisées lors de l'exploitation des gisements horizontaux et des gradins supérieur des gisements dressant et semis dressant Les tranchées intérieures sont généralement utilisées pour les gisement dressant et semis dressant.

L'ouverture du premier niveau de la mine se réalise à l'aide d'une tranchée de découpage qui permettra de dégager une plate forme de travail permettant les manœuvres des engins.

La plate forme sera aménagée avec une pente faible, permettant ainsi le drainage des eaux pluviales.

Dans le cas où il y'a nécessité de réalisation d'un plan incliné pour le transport des matériaux, il faudra aménager des plans inclinés permettant un gain du temps, un entretien et une sauvegarder des moyens de transport et permettre l'accès des sondeuses au premier niveau déjà aménagé.

Avant l'achèvement d'un niveau d'exploitation, on commence à préparer le niveau suivant pour assurer la continuité des travaux. Pour cela, il est recommandé de réaliser une tranchée d'accès pour le niveau suivant et d'attaquer l'exploitation du minerai après avoir aménagé, bien sûr, une plate forme horizontale de travail pour le chargement des matériaux et les manœuvres des engins.

a) ouverture par tranchées isolées :

Celles-ci pouvant être extérieures ou intérieures, dans les deux cas on creuse une tranchée indépendante à chaque niveau d'exploitation.

Les tranchées isolées sont placées en différents points de la mine (figure 8)

b) par tranchées communes :

Ce mode d'ouverture consiste à accéder par système unique de tranchée dépendant.

Dans de tels cas chaque tranchée accédant au gradin inférieur est creusée à l'intérieur de la tranchée déjà réalisée celle-ci pouvant être extérieure ou intérieure (figure 9).

c) ouverture par tranchée de groupe :

Parfois une tranchée commune assure la liaison entre les gradins au roché et la surface, tandis que l'autre tranchée commune sert à l'évacuation des produits provenant des gradins au minerai.

C'est le cas de la figure 10 où chaque tranchée dessert deux gradins. En dit alors que l'ouverture est faite par tranchées de groupe. Cela permet d'appliquer de différents types d'engins de transport pour les gradins supérieurs et ceux inférieurs.

d) ouverture par tranchée doublée :

Ce mode d'ouverture est utilisé pour les mines peu profondes de rendement considérable. La figure 11 donne le schéma d'ouverture par tranchées extérieures communes doublées.

e) ouverture sans tranchées :

Celle-ci peut être appliquée lors des méthodes d'exploitation sans transport, c'est à dire que les stériles sont déplacés dans les terrains déjà exploités.

3. tranchée de découpage :

Après la réalisation de la tranchée on attaque la tranchée de découpage qui est une suite de la tranchée d'accès et coupe les horizons d'une limite de la mine à l'autre.

L'exploitation commence ainsi par l'élargissement d'une ou de bord de la tranchée de découpage.

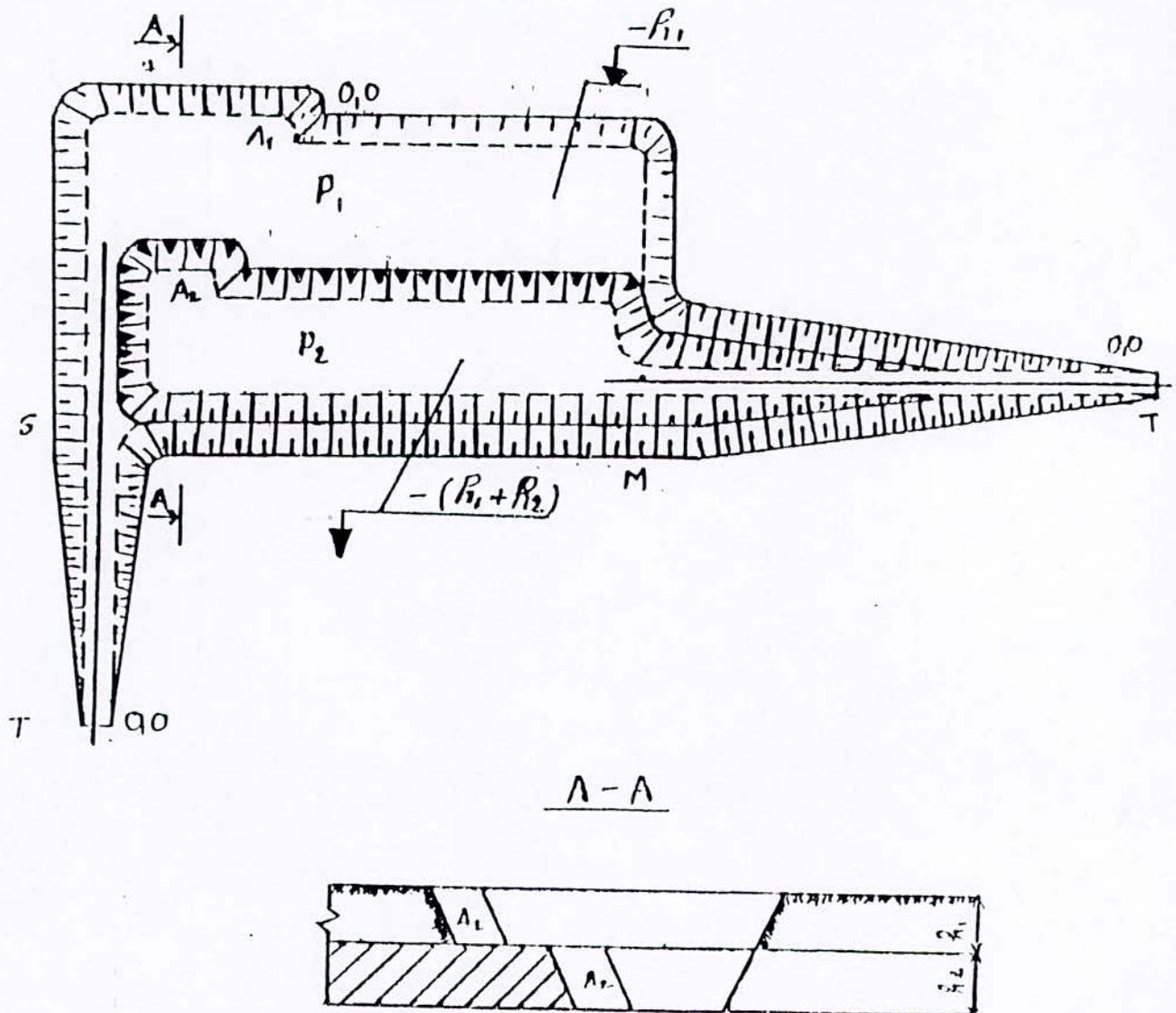


Figure 8 : ouverture par tranchées internes isolées

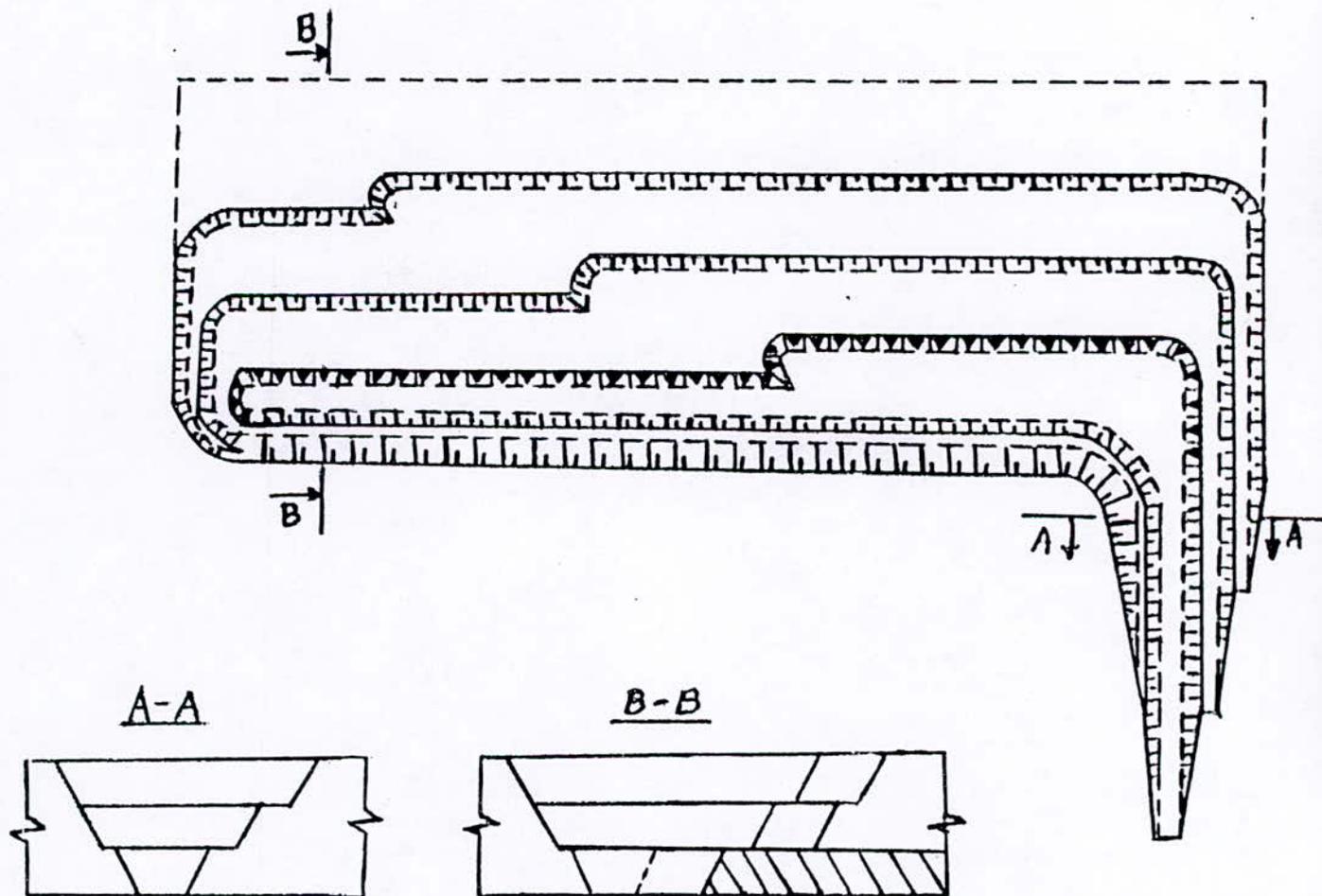


Figure9 : ouverture par tranchées communes extérieures

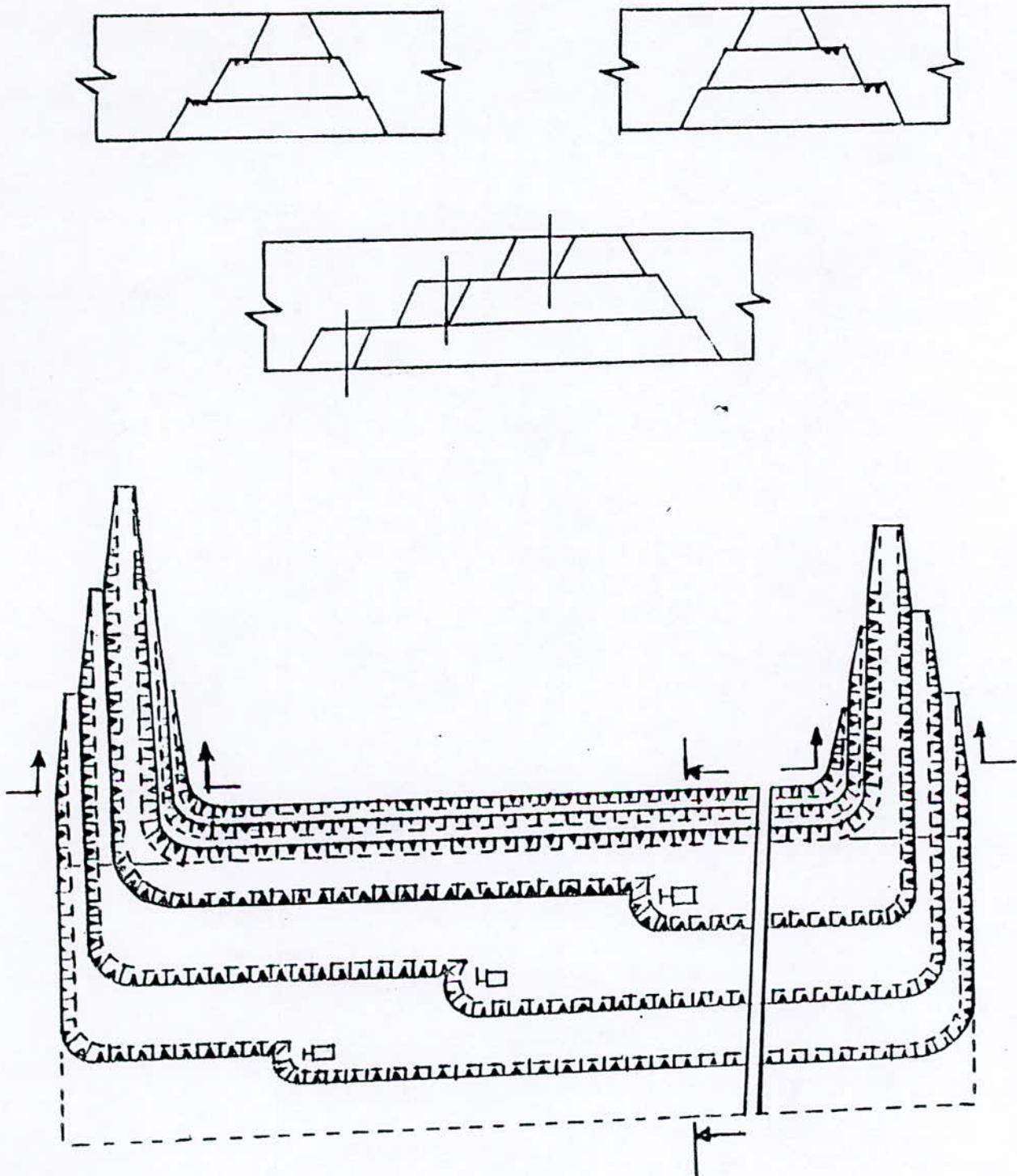


Figure10 : ouverture par tranchées de groupes communes extérieures

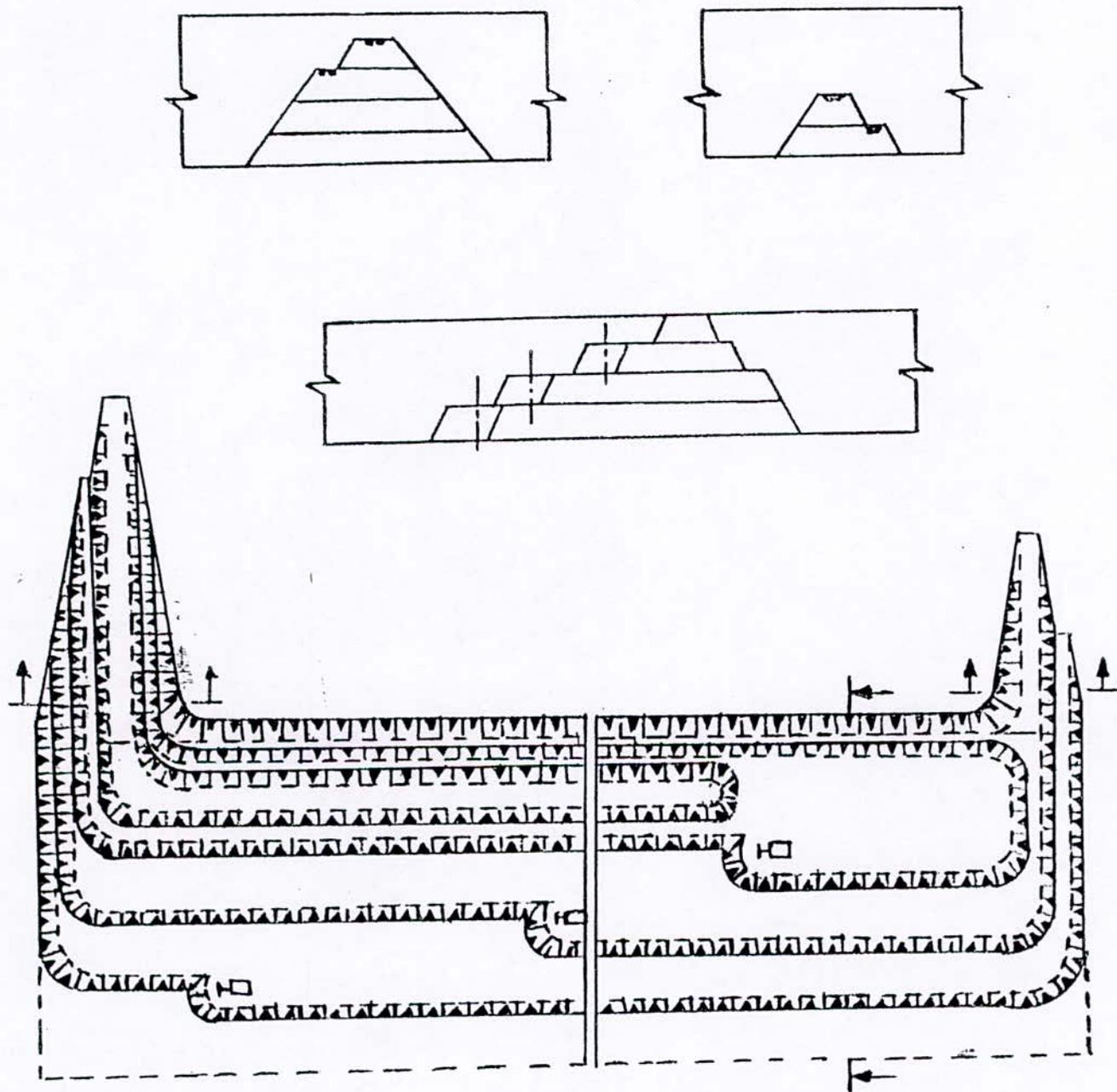


Figure11 : ouverture par tranchées doubles

4. Travaux de découverte :

Le mode de creusement de la tranchée dépend selon la dureté de la roche et selon le mode de déplacement des roches stériles. Si la roche est dure, les travaux de creusement sont effectués à l'aide des travaux de forages et de tirs, sinon on utilise directement des excavateurs et où des bulldozers, et si les roches minières sont à déplacer, il restera à choisir le moyen et le type d'engins approprié pour le transport.

Pour cela les moyens de chargements ne sont pas à négliger, on utilisera donc des chargeuses selon le travail qu'elles effectueront ; on utilisera des pelles mécanique ou des draglines.

- *Chargement avec pelles mécanique avec chargement au pied de la tranchée :*
- *Par pelles avec chargement au toit de la tranchée :*
- *Chargement par draglines :*

Si les moyens de transport ne sont pas indispensables, c'est à dire que le creusement des tranchées est sans transport, la masse enlevée est placée sur les bord de la tranchée, le déplacement et effectué ainsi par les pelles mécanique ou draglines.

Si la couche minière est loin d'être à proximité du pied de la montagne et si les bords de la tranchée sont très stables, un bureau consultant américain (Ford, Baconand, Davis, INC, New York City) ; [1] préconise d'attaquer la montagne transversalement, les déblais sont déversés sur le plan naturel en dessous de la couche inférieure à exploiter.

Ces déblais formeront une banquette assez large sur laquelle les véhicules peuvent se déplacer.

La montagne est ensuite attaquée transversalement et le front avance dans l'axe de la crête.

VI. ELEMENTS DE LA METHODE D'EXPLOITATION : [1,6]

Les éléments principaux de la méthode d'exploitation à ciel ouvert sont :

a) La hauteur de gradin :

Elle est choisie en fonction des propriétés physico-mécanique de la roche, des règles de sécurité, de la production annuelle, de la stabilité des talus, de l'organisation des travaux d'abattage par forage et tire ou par émottage mécanique.

b) Angle de talus de gradin :

L'angle de talus du gradin en exploitation dépend des paramètres physico-mécanique de la roche et des paramètres des engins miniers, on détermine l'angle de talus en fonction de la dureté de la roche à l'aide du tableau suivant :

Caractéristiques des roches	Coefficient de dureté	Angle du talus du gradin
Extrêmement dures	15-20	75-85
Dures	08-14	65-75
Moyennement dure	03-07	55-65
Tendres	01-02	40-55
Meubles	06-08	25-40

Tableau 8 : Angle du talus en fonction de la dureté

c) La plate forme de travail :

L'état des plates formes conditionnent le bon déroulement des travaux d'abattage, de chargement, de transport elle ne doit en aucun cas être délaissée car cela engendrera un ralentissement considérable du régime des travaux miniers, pour cela la plate forme de travail doit satisfaire la relation suivante :

$$L_{pt} = Z + T + C + X + A \quad ; [m]$$

Z : largeur du prisme éventuel d'éboulement ; [m]

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

C : distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport ; [m]

X : largeur du tas des roches abattus en dehors de l'enlevure ; [m]

A : largeur de l'enlevure en massif ; [m]

$$\text{Où } Z = H \cdot \left[\frac{1}{\text{tg}\gamma} - \frac{1}{\text{tg}\alpha} \right]$$

H : hauteur du gradin

γ : angle du talus du gradin en liquidation ; [°]

α : angle de talus du gradin en exploitation ; [°]

$$C = 0,2 \cdot H \quad ; [m]$$

$$A = W_1 + (n-1) \cdot a \quad ; [m]$$

W_1 : la banquette pratique ;[m]

n : nombre des rangées de trous dans le plan de tir.

a : espacement entre deux rangées des trous dans le plan de tir.

d) Longueur du bloc :

Suivant la longueur , un gradin peut être divisé en bloc que l'on exploite par des moyens indépendants d'abattage et de chargement.

e) Sens de déplacement du front de taille :

Le sens de déplacement et de progression du front de taille dépend du relief du gisement et de la méthode d'exploitation appliquée.

f) Production annuelle de la carrière [12] :

La production annuelle de la carrière peut être obtenue par la multiplication de la vitesse d'avancement annuelle par la surface de la zone de travail en minerai :

$$P = S_m \cdot V ; [m^3/an]$$

Et en considérant les pertes engendrées par la dilution du minerai et les pertes de la technologie on obtiens la production sous la forme suivante :

$$P = V \cdot h_m \cdot L_f \cdot \gamma \cdot K_{ex}(1 + K_d) , [t/an]$$

V : vitesse annuelle de progression des travaux miniers, [m/an]

S_m : surface de le zone de travail en minerai, [m²]

h_m :puissance de la couche de minerai, [m]

L_f :largeur du front de travail en minerai, [m]

γ : masse volumique ,[t/m³]

K_{ex} : coefficient d'extraction des réserves

K_d : Coefficient de dilution du minerai .

La vitesse de progression du front des travaux miniers peut être obtenue par ma formule suivante :

$$V = \frac{n \cdot Q}{S_m} ; [m/an]$$

avec :

n : nombre d'excavateurs

Q : rendement d'un excavateur [m^3/an] ;

Le nombre d'excavateurs peut être calculé par le rapport entre la surface de la zone de travail en minerai et la zone normalement nécessaire à l'organisation du travail d'un seul excavateur (S_{ex}).

$$S_{ex} = L_b \cdot h_g ; [m^2]$$

Où :

L_b : largeur du bloc d'excavation ; [m]

h_g : hauteur du gradin ; [m]

$$n = \frac{S_m \cdot F \cdot K_g}{S_{ex}} = \frac{S_m \cdot F \cdot K_g}{L_b \cdot h_g}$$

F : coefficient tenant compte des blocs en réserves

($F=0.75-0.8$) ;

K_g : coefficient assurant la correspondance entre les paramètres géométriques du bloc et des paramètres naturels de la zone de travail, ($K_g=0.7-0.9$) .

VII. TRAVAUX MINIERS : [1,5,6,7,8,13,14]

Les processus d'exploitation des minéraux utiles consistent en :

- L'abattage du minerai
- Le chargement
- Le transport

Elles impliquent, si nécessaire, des opérations préalables d'accès au minerai et des opérations auxiliaires.

Les opérations préalables sont :

- Travaux de découverte ;
- Creusement des accès en stérile ;
- Soutènement ;
- Aérage (aérage locale, il n'est pas utilisé en Algérie)

Les opérations auxiliaires sont :

- Maintenance ;
- Services généraux (entretien des accès, exhaure)
- Sécurité et hygiène de travail ;
- Administration.

L'entreprise minière doit disposer des matériels spécifiques à chaque groupe de tâches cités précédemment.

La détermination des équipements permet l'évaluation des besoins en personnels, des consommables et donc l'estimation des coûts opératoires.

On peut résumer, en gros, les différentes étapes de la réalisation d'un projet comme suit :

- **Préparation de la surface à l'emplacement du gisement**
 - o Le défrichage
 - o L'assèchement des marécages
 - o Détournement des cours d'eau en dehors de la carrière
 - o Déplacement des roches présentes
 - o Démolition des constructions
- **Assèchement du champ minier et prise de mesures contre l'afflux d'eau**
 - o Creusement des fossés d'évacuation
 - o Creusement d'un réseau de voies de drainage souterraines
 - o Sondages équipés de pompes

- *Ouverture du champ de la carrière*
- *Découverte*
 - o *Découverte mécanique (roches tendres)*
 - o *Découverte avec préparation préalable (roches dures)*
 - *Préparation à l'explosif*
 - *Préparation mécanique (ripage, émottage mécanique)*
 - o *Chargement du mort terrain*
 - o *Transport*
 - o *Mise à terril*
- *Extraction du minerai utile*
 - o *Extraction mécanique (minerai tendre)*
 - o *Extraction avec préparation préalable (minerai dur)*
 - *Préparation à l'explosif*
 - *Préparation mécanique (ripage, émottage mécanique)*
 - o *Chargement du minerai*
 - o *transport*
 - o *stockage*
 - o *travaux d'homogénéisation.*

Chaque carrière a ses propres spécificités qui délimiteront les travaux à adopter et l'ordre de leurs exécution est établi selon le plan technique générale soigneusement adapté.

A. TRAVAUX PREPARATOIRES DES ROCHES MINIERES A

L'EXTRACTION : [1,6,13,16,17]

On entend par préparation des roches à l'extraction, l'ensemble des travaux affectés aux massif rocheux pour l'amener à un état de destruction permettant le travail efficace de tous les complexes d'extraction et de transport.

On connaît les deux procédés de préparation des roches suivants:

- *Préparation par émottage mécanique (ripage) ;*
- *Préparation par travaux de forage et de tir .*

Le choix entre ces derniers se fait essentiellement sur la base des caractéristiques des roches est des indices de rentabilité du processus.

A.1) PREPARATION PAR TRAVAUX DE FORAGE ET DE TIR :

Ce mode de préparation est retenu pour les matériaux de dureté supérieure. Le tir peut être pour l'ébranlement du massif, ou bien pour le foisonné ou encor par projectile.

Il est clair que la qualité de préparation des roches a une influence remarquable sur les indices techniques et économiques de l'ensemble des processus technologiques postérieurs, et sur les indices principaux de travail de l'entreprise minières. C'est pourquoi une attention particulière doit être apportée à cette question en veillant à ce que les travaux de forage assurent :

- Degré nécessaire et régularité de la fragmentation ;
- Etat normal du pied du gradin (surface sans rebords) ;
- Formation d'un tas matériaux de dimensions nécessaires ;
- Volume nécessaire de la masse minière pour un travail des engins de chargements ;
- Action sismique minimale ;
- Grande sécurité avec moins de dépenses que possible.

Les dimensions maximales admissibles (d) des blocs abattus doivent satisfaire les conditions suivantes :

- La capacité du godet de l'excavateur (E) : $d \leq 0,8.(E)^{1/3}$
- Ouverture de la trémie ou du concasseur (B_t) : $d \leq 0,8.B_t$
- Capacité de la benne de camion (V_c) : $d \leq 0,5.(V_c)^{1/3}$
- Largeur de la bande du convoyeur (B_c) : $d \leq 0,5.B_c + 0,1$

Les roches ne répondant pas à ces exigences sont considérées comme bloc hors gabarits et nécessitent un débitage secondaire.

On classe les roches minières, d'après leurs aptitudes à la foration (indice de forabilité I_f) en 5 classes et 25 catégories :

Classe	Valeur de I_f
I : facilement forable	1 – 5
II : forabilité moyenne	5 – 10
III : forabilité difficile	11 – 15
IV : forabilité très difficile	16 – 20
V : forabilité extrêmement difficile	21 – 25
Hors catégories	>25

Tableau 9 : classification des roches selon le coefficient de forabilité I_f

A.1.1) La foration :

L'abattage par travaux de foration et de tir consiste à mettre de l'explosifs à l'intérieur des trous de mine.

La foration doit prendre en compte :

- Les caractéristiques mécaniques de la roche ;
- La structure du massif.

Les résultats de l'abattage dépendent d'une part des éléments cités ci-dessus et d'autre part de la qualité de l'explosif, de la qualité des trous et de la dispersion de l'énergie d'explosion dans le trous de mine.

A.1.2) Réalisation de la foration :

le forage des trous dans le massif rocheux s'effectue à l'aide d'outils spéciaux de différents types d'actions :

- mécanique ;
- physique ;
- chimique ;
- électromagnétique...

Le choix du matériel de foration dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont les suivants :

- nature des terrains ;
- diamètre des trous ;
- profondeur et inclinaison des trous.

Le tableau ci-dessous indique les principales méthodes utilisées pour la foration et leurs conditions d'utilisation selon le professeur KOVOLENKO :

Méthode de forage	Diamètre des trous [mm]	Profondeur de forage [m]	Coefficient de dureté selon le prof. PROTODIAKONOV
A molette	150 - 300	25 - 32	4 - 16
Percussion à l'air comprimé	105 - 250	18 - 32	12 - 20
A vis	125 - 160	Jusqu'à 25	<5
Percussion à câble	220 - 300	Jusqu'à 40	4 - 20
Thermique	200 - 400	20 - 40	16 - 20

Tableau 10: Principales méthodes de la foration

Un certain nombre de précautions doit respecté pour aboutir à abattage optimal. Il faut veiller d'une part que chaque forage soit rigoureusement implanté en X, Y, Z et α (inclinaison) en fonction de la maille de foration retenue et de la côte maximale à forer afin d'éviter toute détérioration de la risberme par les explosifs, et d'autre part que la sondeuse puisse évoluer et se mettre en place sur une plate forme bien dimensionnée.

A.1.3) Rendement sondeuse :

sondeuse à molette :

$$R_{SP} = \frac{T_p - T_{o,p}}{(60/V_f) + (n_t + 1)(t_1/l_b + t_2/l_t) + (n_t + 1)(t_3 + t_4 + t_5)l/L}$$

T_p : durée du poste, [min]

$T_{o,p}$: durée des opérations opératoires durant le poste (30-45) min

V_f : vitesse de forage [m/h]

n_t : nombre de chargement du trépan $n_t = L/R_{ou}$

L : longueur moyenne d'un trou foré

R_{ou} : résistance longévité du trépan

t_1 : durée de marche de la tête sondeuse, [min] (1 - 1.5)

l_b : marche de la tête de sondeuse, [m]

t_2 : durée de vissage et de dévissage de la tige ou du trépan, [min] (1,5 - 2)

l_t : longueur de la tige, [m] ;

t_3 : durée de l'opération pour le changement du trépan usé par un autre, [min] (1 - 2)

t_4 : durée de déplacement de la sondeuse, [min] (10 - 20)

t_5 : durée des arrêts technologiques, [min] (15 - 25)

Sondeuse percutante à air comprimé :

$$R_{sp} = \frac{T_p - T_{o,p}}{(60/V_f) + (t_1/R_c) + (t_2/L)}$$

t_1 : durée du changement de la couronne

t_2 : durée du déplacement de la sondeuse d'un trou à un autre, [min]

Sondeuse à vis :

$$R_{sv} = \frac{T_p - T_{o,p}}{t_1 + t_2} ;$$

t_1 : durée de l'opération de pour forage du m en [min]

t_2 : durée des opérations auxiliaires [min/m]

Sondeuse à feu (thermique) :

$$R_{sv} = \frac{T_p - T_{o,p}}{60(1/V_f + 1/V_{el}) + (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) l / L}$$

T_{op} : durée des opération préparatoires (45-60)[min]

V_f : vitesse technique de forage [m/h]

V_{el} : vitesse technique lors de l'élargissement du trou [m/h]

t_1 : durée d'allumage du chalumeau , de la montée et de la t_2 : descente de la foreuse (20-30)[min]

t_3 : durée de nettoyage du trou après son élargissement , [min](20 - 25)

t_4 : durée de déplacement de la sondeuse (20-25)[min]

t_5 : durée des autres opération auxiliaires(15-30)[min]

l : longueur moyenne du trou [m]

A.1.4) nombre de sondeuses :

Le nombre de sondeuses est déterminé par la formule suivante :

$$N_s = \frac{L \cdot K_r}{R_p}$$

L : longueur totale des trous de mine à forer dans la mine pendant un poste :

$$L = \frac{P \cdot H_t}{W \cdot a \cdot H \cdot n_p \cdot n_j}$$

P : production annuelle ; [m³/an]

H_t : profondeur totale du trou ; [m]

W : ligne de résistance au pied du gradin ; [m]

a : espacement des trous ; [m]

H : hauteur du gradin ; [m]

n_p : nombre de postes de travail par jour ;

n_j : nombre de jours ouvrables par an

K_r : coefficient de réserves

R_p : rendement pratique de la machine de forage ; [m/poste]

$$R_p = R_s \cdot T_p \cdot K_u \quad ; \text{ [m/poste]}$$

R_s : rendement technique de la sondeuse

T_p : durée d'un poste

K_u : coefficient d'utilisation de la sondeuse par poste.

Il faut noter que tous les éléments relatifs à l'exécution de l'abattage des gradins se groupent sous le nom de plan de tir.

L'établissement du plan de tir est contraint par plusieurs facteurs, à savoir :

- contraintes imposées ;
- contraintes topographiques et hydrogéologique ;
- contraintes géologiques dépendant de la structure du gisement ;
- contraintes d'environnement ;
- contraintes réglementaires.
- contraintes maîtrisables ;
- contraintes d'équipement : matériel de foration, engins de reprise, engins de roulage et caractéristiques du premier poste de concassage.

Plusieurs méthode sont utilisées pour le calcul des différents paramètres d'unn plan de tir, les plus connues étant :

- méthode énergétique
- méthode de Longefors
- méthode suédoise.

A.1.5) Le débitage secondaire :

Le tir secondaire est le forage accessoire effectué après le forage principal afin de fragmenter les blocs hors gabarits.

Les trous sont fait avec des perforatrices légères de profondeur variant de 0,30 à 0,60 m.

La présence de blocs hors gabarits avec une fréquence élevée est un signe de la non-efficacité du plan du tir, et par conséquent il faut le rectifié, car le tir secondaire engendre plus de dépenses supplémentaires et pénalise le déroulement normale des travaux postérieurs.

L'abattage de ces blocs peut s'effectuer par plusieurs méthodes, à savoir :

- abattage mécanique par boule "DROP-BALL" ;
- abattage par éclateur de choc ;
- abattage par brise roches ;
- abattage par charges superficielles ;
- abattage par tir hydraulique ou méthodes hydrotechniques .

A.2) PREPARATION PAR EMOTTAGE MECANIQUE OU RIPAGE :

Ce mode d'abattage est retenu pour les roches tendres, roches semi-dures ou dures de fissuration élevée.

Le foisonnement des roches s'effectue lors du mouvement du ripper avec les dents enfoncées dans le massif rocheux.

Pour le foisonnement des roches dures on utilise des rippers à dent unique, tandis que les rippers à multiple dents sont utilisés pour les roches de faibles duretés.

Les roches se caractérisent par un coefficient de rippabilité (K_{rip}) qui varie selon les propriétés de la roche et les paramètre de l'organe e travail du ripper.

Cependant K_{rip} peut être approché, en fonction de la résistance à la traction, par la formule suivante :

$$K_{rip} = (1,3 \text{ à } 1,5) \cdot R_t$$

R_t : résistance d la roche à la traction, [Kg/cm²]

A.2.1) Rendement du ripper :

Le rendement du ripper dépend de nombreux facteurs, on distingue les suivants :

- *facteurs naturels :*
 - *caractéristiques physico-mécaniques des roches*
 - *fissuration*
 - *structure*
- *facteurs techniques*
 - *puissance du moteur*
 - *les efforts de traction*
 - *vitesse du mouvement lors du ripage ;*
 - *paramètres des dents.*
- *facteurs technologiques et organisationnels*
 - *la largeur de l'enlevure ;*
 - *largeur de la plate forme ;*
 - *la pente et la longueur du panneau d'émottage ;*
 - *les schémas technologique de l'émottage.*

Le rendement du ripper peut être donné par la formule suivante :

Rendement lors du passage parallèle :

$$R_r = \frac{3600c(k_1 + h_t - 0.5 \operatorname{tg}\alpha (c - B_s) T_p k_u}{K_2 + (1/v_r + \tau/L)} \quad , \quad [m^3/\text{poste}]$$

K_u : coefficient d'utilisation pratique

τ : Durée des opérations auxiliaire ;[s], $\tau = t_1 + t_2 + t_3$

t_1 : Durée de l'enlèvement de la dent ;[s]

t_2 : Durée e retour du ripper et des trajets sur les nouveaux passage ;[s]

t_3 : Durée de pénétration de la dent ;[s]

v_r : Vitesse de de rippage du ripper ;[m/s]

L : Longueur du panneau d'émottage ;[m]

T_p : Durée du poste de travail ;[h]

Rendement lors du passage parallèle et croisé :

$$R_r = \frac{3600 c h_t T_p k_u}{1/v_r(1/c + 1/c') + \tau(1/cL + 1/c'B)} \quad ; \quad [m^3/\text{poste}]$$

B : largeur du panneau d'émottage, [m]

B. TRAVAUX D'EXTRACTION ET DE CHARGEMENT : [1,4,9,13,14,17,18]

Les travaux de d'extraction et de chargement consistent en excavation des roches du massif vierge ou préalablement ameubli et leur chargement dans les engins de transport.

Ces travaux sont exécutés par le biais des engins ci-dessous :

- Excavateurs à godet uniques :
 - Pelle mécanique
 - Dragline
- Excavateurs à multiples godets
 - Roue pelle
 - Excavateur à chaîne à godets
- Scrapers
- Chargeuses
- Bulldozer

B.1) Les critères de choix des moyen d'excavation et de chargement :

Les principaux éléments techniques permettant de définir le ou les types d'engins adaptés à une exploitation donnée, sont les suivants :

- **Concernant le gisement :**
 - Situation du niveau de la nappe aquifère par rapport au toit et au mur du gisement(épaisseur mouillée);
 - Epaisseur moyenne et limites(min et max) de la couche de matériaux à extraire ;
 - Réserves totales exploitées sur le site ;
 - Dimension moyenne foisonnée du massif abattu ;
 - Présence ou absence de gros blocs ;
 - Présence ou absence d'argile intercalaire dans la couche exploitée ;
 - Abrasivité des matériaux à extraire...
- **Concernant le rythme d'extraction :**
 - Capacité d'extraction nécessaire et dimensionnement suivant les contraintes locales
- **Concernant le mode de transport :**
 - Le type de transport retenu entre le front de la taille et la poste primaire de traitement (continu : convoyeur à bande ou transport hydraulique, discontinu : camions, tombereau, ...)

B.2) Moyen d'extraction et de chargement :**B.2.1) Engins d'extraction d'action continu :**

Ces engins sont destinés essentiellement à travailler dans les roches tendres et meubles (sable, argile, charbon, craie) et les roches dures préalablement ameublées.

L'assurance d'un rendement élevé avec ces engins nécessite l'établissement d'un programme rigoureusement préparé pour leur fonctionnement optimal.

a) Les excavateurs à multiples godet :

Il s'agit de l'excavateur à roue pelle et de l'excavateur à chaîne de godets.

Ces deux types d'engins peuvent aussi bien travailler en butte qu'en fouille.

Rendements des excavateurs à multiples godets :

Le rendement des engins d'excavation continu est fonction de :

- la nature des terrains excavés ;
- la saison ;
- les conditions hydrogéologiques ;
- la longueur et la profondeur de la taille ;
- l'angle du talus ;
- les conditions de la voie pour l'excavateur et pour le transport.

Les rendements de ces engins peuvent être donnés par les formules suivantes :

Rendement théorique :

$$R_{th} = \frac{60 E n K_r}{K_f} ; [m^3/h];$$

E : capacité volumique de chaque godet ; $[m^3]$

n : nombre de godets déversés par minute ;

K_r : coefficient de remplissage du godet ;

K_f : coefficient de foisonnement de la matière dans le godet ;

Le rendement pratique est :

$$R_{ef} = K_u R_{th}$$

K_u = coefficient d'utilisation pratique ;

pour les chantiers bien organisé $K_u = 0,8$;

pour les chantiers mal organisé $K_u = 0,4 - 0,5$.

b) Monitor et sluice :

Ce type d'équipement est utilisé pour les roches tendres et facilement friables. Il permet l'abattage, le chargement et le transport hydraulique, par conséquent ces installations sont recommandés dans les régions avec une forte abondance d'eau.

Il est à noter que ce type d'engins n'est pas utilisé en ALERIE.

B.2.2) Engins d'extraction d'action cyclique :

a) Les excavateurs à godet unique :

Ce type d'engin est le plus répandu dans les carrières grâce à leurs adaptation avec les différentes conditions climatiques, minières et techniques.

Les excavateurs à godet unique peuvent être utilisés pour l'abattage et le chargement des matériaux tendres et pour le chargement des roches dures préalablement ameublées à l'explosif.

On distingue les engins suivants :

- Pelles mécaniques ;
- Pelles hydrauliques ;
- Draglines ;
- Excavateur à griffe.

Rendement des excavateur à godet unique :

Le rendement d'un excavateur peut être défini comme étant le volume de roches que peut excaver ce dernier par unité de temps.

Le rendement dépend de :

- Type d'excavateur ;
- Capacité du godet ;
- Propriétés physico-mécaniques des roches ;
- Granulométrie des roches excavées ;
- Schéma technologique du travail des excavateurs ;
- Type de manutention retenue et sa capacité de charge ;

- La forme et les dimensions du chantier d'excavation ;
- L'organisation des travaux de l'excavation et de transport dans le chantier.

Le rendement des excavateurs à godet unique peut être donné par la formule suivante :

rendement théorique :

$$R_{th} = 60 E n = \frac{3600E}{t'_c} \quad ; \quad [m^3/h]$$

E : capacité volumique du godet de l'excavateur ;[m^3]

n : nombre de cycle calculés théoriquement par minute ;

t'_c : durée d'un cycle de l'excavateur pour un angle de giration de 90° ;[s]

k_r : coefficient de remplissage du godet ;

$$k_r = \gamma_r / E$$

γ_r : volume réel de la roche à l'état foisonné dans le godet ;[m^3]

E : volume géométrique du godet ;[m^3]

Rendement effectif de l'excavateur :

$$R_{ef} = \frac{3600 E k_r t_p k_u}{t_c k_f} \quad ; \quad [m^3/h]$$

k_f : coefficient de foisonnement des roches

t_c : durée du cycle de l'excavateur ;[s]

k_u : coefficient d'utilisation pratique

t_p : durée du poste ;[h]

b) Les chargeuses :

Ces engins ne cessent pas de se développer offrant des performances largement supérieures à celle des pelles mécanique dans les mêmes conditions de travail. L'utilisation des chargeuses est devenue très fréquente grâce à :

- Un gros godet par rapport à sa masse totale ;
- Une grande vitesse du déplacement, permettant ainsi d'étaler son champ d'action jusqu'au transport.

- Une manœuvrabilité remarquable permettant le travail dans des conditions gênées ;
- Des frais d'exploitation réduits ...

Rendement chargeuse :

$$R_{ef} = \frac{3600 E k_r t_p k_u \gamma}{t_c k_f} \quad ; [m^3/poste]$$

γ : masse volumique ; [t/m³]

t_c : durée du cycle de l'excavateur ; [s]

$$t_c = t_r + t_{ch} + t_d + t_v$$

t_r : durée de remplissage du godet ; [s]

t_{ch} : durée du parcours de la chargeuse vers le lieu de déchargement ; [s]

t_d : durée de déchargement du godet ; [s]

t_v : durée de parcours à vide vers le lieu de chargement ; [s]

$$t_{ch} = 3,6 \cdot L_{ch} / v_{ch} \quad \text{et} \quad t_v = 3,6 \cdot L_v / v_v$$

L_{ch} , L_v : respectivement longueur du parcours de la chargeuse vers le lieu de déchargement et à vide ; [m]

v_{ch} , v_v : vitesse du parcours en charge et à vide ; [km/h].

c) Les scrapers :

Les scrapers sont utilisés pour la découverte, l'extraction des minerais utiles, le creusement des tranchées et des découpes.

En faite, c'est un engin de terrassement qui peut réaliser à la fois l'excavation, le chargement, le transport et le déversement des matériaux désagrégés grâce à sa benne spéciale munie, dans la partie inférieure, d'une lame racleuse qui peut pénétrer dans le sol, le découpe et l'accumule dans la benne au fur et mesure de l'avancement du scraper.

Rendement scraper:

$$R_{ef} = \frac{3600 E k_r t_p k_u}{t_c k_f} \quad ; [m^3/poste]$$

t_c : durée du cycle de l'excavateur ; [s]

$$t_c = (l_1/v_1) + (l_2/v_2) + (l_3/v_3) + (l_4/v_4) + t_0 + t_m$$

t_p : durée d'un poste ;[h]

k_u : coefficient d'utilisation du scraper ;

k_r : coefficient de remplissage du godet ;

k_f : coefficient de foisonnement des roches ;

l_1 : distance de chargement(raclage) du godet du scraper ;[m]

l_2 : distance de parcours du scraper chargé ;[m]

l_3 : distance de déversement du scraper ;[m]

l_4 : distance de parcours du scraper vide ;[m]

t_0 : durée de changement des vitesses du scraper ;[s]

t_m : durée de manœuvre ;[s]

v_1 : vitesse de mouvement du scraper lors du chargement de son godet ;[m/s]

v_2 : vitesse de mouvement du scraper chargé ;[m/s]

v_3 : vitesse de mouvement du scraper lors du déversement du godet ;[m/s]

v_4 : vitesse de mouvement du scraper à vide ;[m/s]

d) le bulldozer :

Les bulldozers sont des engins de terrassement comportant un tracteur sur chenille ou sur pneus et possèdent à l'avant une lame verticale. On les emploie dans les carrières pour l'extraction des roches mi-dures et dures préparées aux rippers. Les bulldozers peuvent être utilisés également pour des travaux d'autres travaux tel que :

- nettoyage du toit du gîte ;
- nivellement des gradins ;
- stockage du minerai ;
- mise à terre ;
- la construction des routes...

Rendement bulldozer :

lorsqu'il pousse les roches au talus ;

$$R_B' = \frac{3600 V_r T_p k_u}{t_c} \quad ; [m^3/\text{poste}]$$

V_r : volume de prise de raclage, déplacé par bulldozer pendant un cycle ;[m³]

t_c : Durée d'un cycle de travail ;[s]

$t_c = \{l_p/v_1\} + \{l_d/v_2\} + \{(l_p+l_d)/v_3\} + t_{ch} + t_{ab}$;[s]

T_p : Durée d'un poste ;[h]

k_u : Coefficient d'utilisation du bulldozer ;

L_p, L_d : respectivement la distance de la prise des roches par bulldozer et la distance de leurs déplacement ;[m]

V_1, V_2 : respectivement les vitesses durant la prise et le déplacement des roches ;[m/s]

V_3 : vitesse de course du bulldozer à vide ;[m/s]

t_{ch}, t_{ab} : respectivement les durées de changement des vitesses et l'abaissement de la lame ;[s]

lors de son utilisation pour les travaux d'aplanissement :

$$R_B'' = \frac{3600 F T_p K_u}{m(L_z / V_B + t_{Br})}$$

F : surface aplanie par un passage du bulldozer ;[m²]

L_z : longueur de la zone aplanie par un passage ;[m]

V_b : vitesse de mouvement du bulldozer ;[m/s]

m : nombre de passages du bulldozer nécessaires pour l'aplanissement de la surface F ;

t_{Br} : durée de braquage du bulldozer ;[s]

Le nombre de bulldozers assurant tous les travaux de mise à terril pendant un poste est égale :

$$N_B = \frac{Q_t T_p}{R_B'} - \frac{V_{ap}}{R_B''}$$

V_{ap} : volume par poste d'aplanissement ;[m³]

le nombre d'engin en tenant compte du coefficient de réserve ($k_r = 0,75 - 0,85$)

$$N_{Br} = \frac{N_B}{(0,75 - 0,85)}$$

C. TRAVAUX DE TRANSPORT :[1,6,14,18]

Le choix du mode de transport pour la mine à ciel ouvert doit être fait avec une grande rigueur. Cette dernière est justifiée par la lourdeur des coûts de manutention du minerai et du stérile, qui peuvent atteindre, dans certains cas, 70% du prix de revient total de l'exploitation. Il est indispensable de choisir une méthode d'exploitation bien adaptée à la nature et aux caractéristiques du gisement en tenant compte de l'importance de la production journalière, mensuelle et annuelle, et essayer, en dépit de ça, de réaliser dans les meilleures conditions le transport des roches minières.

En effet, l'importance des frais de manutention est liée à la méthode d'exploitation et le choix des tailles, types et nombre des équipements nécessaires qui en découle.

Le produit de la quantité des charges déplacées par la distance parcourue, détermine le travail de transport dans la carrière. Ce dernier détermine le nombre de moyens du trafic et les frais engendrés.

On connaît les types de transport, dans la carrière, suivant :

- *Transport continu ;*
- *Transport discontinu ;*
- *Combiné.*

C.1) Critères de choix du type de transport :

Le type de transport retenu pour une mine à ciel ouvert doit assurer :

- *Un parcours minimal pour les roches minières ;*
- *Un rendement maximal des moyens de transport avec un mort temps minime ;*
- *Cohérence entre les paramètres des moyens de transport avec ceux des moyens de chargement ainsi qu'avec les propriétés des roches abattues.*
- *Sécurité et conditions de travail adéquates...*

Le choix des engins de transport répondant aux contraintes posées ci-dessus, se fait en tenant compte :

- *Des propriétés des roches minières ;*
- *De la puissance de la carrière ;*
- *Du procédé de formation des terrils ;*
- *Des conditions géologiques du gisement ;*
- *Des dimensions de la carrière ;*
- *De la profondeur de la carrière ;*
- *Du parcours des charges transportées et du rendement de la mine à ciel ouvert.*

C.2) Moyens de transport :

En réalité, les engins de transport se divisent en engins de transfert et les engins de transport.

Les engins de transfert :

- *Sauterelles,*
- *Ponts de transfert.*

Les engins de transport :

- *Locomotives et wagons*
- *Camion*
- *Convoyeurs.*

On fait appel, dans certains cas des combinaisons de ces engins, on distingue :

- *Camions et transport par chemin de fer*
- *Camions et convoyeurs*
- *Camions et skips*
- *Camions et transporteurs aériens*
- *Camions et transport par gravité.*

C.2.1) Transport continu

a) Bande transporteuse [1,18] :

La manutention en continu est généralement effectuée par bandes transporteuses, cependant l'utilisation de cet équipement est soumise aux contraintes suivantes :

- *Distance réduite ;*
- *stationnarité de l'installation ; la bande ne peut suivre la taille que dans le cas des gisements exploités par bandes parallèles ;*
- *Grosseurs limitées des matériaux à transporter, nécessitant parfois l'emploi d'un concasseur primaire à proximité de la taille.*

L'adoption du transport par bande transporteuse exige la satisfaction des trois conditions suivantes :

- *Une configuration du gisement autorisant l'exploitation par courroie ;*
- *Des tout-venants de carrière limités dans leurs dimensions à 300 ou 400 mm ;*
- *Des matériaux peu argileux.*

Lorsque ces trois conditions sont remplies, le choix des courroies comme moyens de transport est nettement meilleur à d'autres moyens grâce à :

- La disparition du personnel de conduite et une très forte réduction du personnel d'entretien ;
- La disparition de toutes tâches d'entretien de la piste, du ripage des voies ferrées...
- Un moindre coût d'énergie ;
- Possibilité de surmonter des pentes plus aiguës ;
- La disparition des infrastructures de maintenance, d'alimentation en fuel et en huile, de magasins... et tout accessoires découlant de l'adoption d'autre type de transport.

Rendement du convoyeur :

$$R_c = C \cdot (0.9 B - 0.05)^2 v \gamma T_p K_u \quad ; [t/poste]$$

C : Coefficient de forme de la coupe transversale des masses rocheuses sur la bonde du convoyeur ;

B : largeur de la bonde du convoyeur, [m] ;

V : vitesse du mouvement de la bonde, m/s ; γ : masse volumique de roche [t/m³]

T_p : durée d'un poste [h] ;

K_u : coef d'utilisation du convoyeur durant le poste.

b) Engins de transfert :

Sauterelle et Pont de transfert :

Ces deux type d'équipement sont utilisé pour supporter le convoyeur à bande, pour relever ou transférer les matériaux vers les terrils ou wagons, camions ou convoyeurs.

La différence entre la sauterelle et le pont de transfert réside dans les points d'appuis, qui sont uniques pour la sauterelle et doubles pour le pont de transfert.

C.2.2) Transport discontinu :**a) Transport par chemins de fer :**

Le transport sur rails est utilisé dans les carrières de moyen et grand rendement entre (10-100).10⁶ tonnes, lors du déplacement des roches minières sur 3 à 10 Km.

Les avantages du transport par chemin de fer sont :

- Grand rendement de travail ;
- Adaptable aux différentes conditions de travail ;
- Dépenses d'énergie réduites ;
- Solidité et durée de vie élevée.

Cependant les principales inconvénients sont :

- Grandes dépenses pour l'installation ;
- Grandes dépenses d'entretien ;
- Grande dépenses de réparation ;
- Petites valeurs des pentes et des grands rayons de courbure.
- Grandes dépenses engendrées des travaux de ripage des rails.

a.1) Rendement d'un train :

$$R_t = n q \frac{60 T_p K_u}{t_c} ; [t/poste]$$

t_c : durée de cycle, [min]

$$t_c = t_m + t_{ch} + t_d + m ;$$

T_p : durée du poste ; [heures]

K_u : coefficient d'utilisation du train ;

t_m : durée de mouvement du train à vide et en charge ; [min]

$$t_m = \frac{120 L}{V_m}$$

L : distance entre le point de chargement et le point de déchargement ; [km]

V_m : vitesse moyenne du mouvement du train à vide et en charge ; [km/h]

t_{ch} : durée de chargement du train est calculée ; [min]

$$t_{ch} = \frac{60 n q}{R_{ch}}$$

R_{ch} : rendement d'engin de charge ; [t/h]

t_d' : durée de déchargement du train est déterminée : $t_d = n t_d'$; [min]

n : nombre de wagons du train ;

m : durée des manœuvre du train d'un wagon ; [min]

a.2) Nombre de paires de trains :

On définit la capacité de circulation comme étant le nombre de trains circulant par unité de temps, cette dernière est déterminée par le nombre de paires pouvant circuler dans les deux sens sur le trajet pendant un poste par jours .

Pour une ligne à voie unique :

$$N_{p,max} = \frac{60 T_p}{t_1 + t_2 + 2\tau} \quad ; [\text{paires de trains}]$$

T_p : durée d'un poste ; [h]

t_1 : temps de parcours du trajet par un train chargé ; [min]

t_2 : temps de parcours du trajet par un train vide ; [min]

τ : temps de commande; [min]

pour une ligne à deux voies :

$$N_{p,max} = \frac{60 T_p}{t + \tau} \quad ; [\text{paires de trains}]$$

Les inconvénients d'utilisation du train l'ont emporté sur les avantages, ce qui fait que, de nos jours ce type de transport rigide est remplacé par d'autres moyens plus performants et plus souples.

b) Transport par camion :

Les camions sont les moyens de transport le plus utilisés dans les carrières contemporaines, grâce à leurs :

- Simplicité ;
- Grande manœuvrabilité ;
- Possibilité de surmonter des pentes élevées ;
- Simplicité dans l'organisation de travail.

Les inconvénients d'utilisation des camions peuvent se résumer-en :

- Dépenses élevées d'entretien ;
- Distance, économiquement rationnelle, ne doit pas dépasser les 8Km.

On distingue les types de camions suivants :

- Tombereaux ;
- Remorques ;
- Semi-remorques
- Dumpers ;
- Camions à trolley

b.1) Rendement camion :

$$R_c = \frac{60 G_c K_q T_p K_u}{t_{par}} \quad ; [t/poste]$$

K_q : coefficient d'utilisation de la capacité de charge du camion ($k_q \leq 1$) ;

T_p : durée d'un poste ; [h]

t_{par} : durée d'un parcours ; [min]

G_c : capacité de charge du camion ; [t]

K_u : coefficient d'utilisation du camion durant un poste ;

b.2) Nombre total de camions

$$N_{ca} = \frac{N_c}{(0.7 - 0.8)}$$

avec:

$$N_c = \frac{K_i W_c}{R_c N_p}$$

K_i : coefficient d'irrégularité du travail de la carrière ;

W_c : trafic de la carrière par jour ; [t]

N_p : nombre de poste de travail par jour ;

R_c : rendement effectif du camion par poste ; [t/poste]

$$t_{par} = 60 (l_1/V_1 + l_2/V_2) ;$$

l_1, l_2 : partie du trajet à vide et en charge [km] ;

V_1, V_2 : vitesse de camion à vide et en charge ; [km/h]

c) Transport par skip :

Ces équipements sont utilisés pour le levage de la masse minières des niveaux inférieurs jusqu'au jour.

Les skips reçoivent le tout venant des chantier par camions ou par chargeuses, dans les points de rechargement et l'expédie vers les points de déchargement où il pourra être repris par d'autre engins de transport.

Les points de rechargement peuvent être avec ou sans trémies.

Les point de rechargement avec trémies sont les plus réponsus car ils assurent un travail régulier du skip qui ne dépendra pas du régime de travail des engins de rechargement (camions ou chargeuses).

On trouve rarement des carrières à deux ou à trois skip, le plus souvent les carrières sont menues d'un seul skip.

Rendement du skip :

$$R_r = \frac{3600 E K_u}{t_c}$$

E : capacité de la benne du skip ; [t]

K_u : coef d'utilisation de la benne ;

t_c : durée d'un cycle du skip ; [s]

$$t_c = 2 n_c (t_{man} + t_d) + t_m$$

n_c : nombre de camion nécessaires pour remplir la benne du skip ;

t_{man} : durée d'une manœuvre du camion ; [s]

t_m : durée de déplacement du skip ; [s]

t_d : durée de déplacement du camion ; [s]

d) Levage de la masse minière par monte camion :

Ces installations sont recommandés pour les carrières à faibles rendement. Les montes camions permettent le levage des masses minières par la plus courtes distance et sans rechargement, c'est à dire que la masse est soulevée avec le camion vers le jour.

Rendement monte camion :

$$R = G K_{ch} T_p K_u n \quad ; [t/poste]$$

G : capacité de chargement du camion ou de la remorque ; [t]

K_{ch} : coefficient d'utilisation de la capacité de charge des camion.

lors du chargement régulier $K_{ch} = 0.95 - 0.98$

n : nombre d'ascension par une heure :

$$n = \frac{3600}{t_c} = \frac{3600}{t_0 + t_m}$$

t_c : durée d'ascension (de descente) du camion (y compris les manœuvres) ; [s]

t_0 : durée d'ascension (de descente) du camion sans manœuvres ; [s]

t_m : durée des manœuvre du camion sur la plate-forme supérieure ($t_m = 60-90$) ; [s]

Il existe d'autre équipements de transport spéciales utilisés dans des conditions particulières, à savoir :

- **Le sluice** : transport hydraulique de la masse minière
- **Transport par gravité** : utilisation de couloirs, placés sur les talus naturels de la carrière à relief montagneux, permettant la chute des masses minières ;
- **Transport aérien** : utilisé comme dernière solution au problème de transport, lorsque la construction des voies de transport s'avère impossible.
- **Transport par ouvrages souterrains** : utilisé pour les carrières montagneuses très profondes. Ces ouvrages assurent la liaison entre les différents types de moyen de transport.
Les ouvrages souterrains peuvent être des cheminés, des galeries au jour, des tunnels ou des puits inclinés.

D. TRAVAUX DE MISE A TERRIL : [1,6]

Les travaux de mise à terril consistent en le déplacement des roches stériles et leur dépôt sur des terrains spécialement réservés, formant ainsi les terrils.

On distingue :

- *Les terrils internes ;*
- *Les terrils externes ;*
- *Les terrils combinés.*

Dans les conditions favorables d'exploitation on préfère les terrils internes offrant des indices économiques élevés.

Les terrils internes sont placés dans la partie amont de l'exploitation des gisements horizontaux et peu inclinés.

Les terrils extérieurs sont par contre situés hors des limites du champ exploitable de la carrière. Cependant le choix de l'emplacement de ces derniers doit être soigneusement établi en considérant les problèmes de pollution des nappes phréatiques, de recouvrement des terres fertiles.

Les terrils combinés comprennent les deux types ci-dessus, les stériles des gradins supérieurs sont placés en dehors du champ d'exploitation et celles des gradins inférieurs sont placées dans des terrils interne.

L'aménagement des terrils doit satisfaire les exigences suivantes :

- *Capacité suffisante ;*
- *Emplacement choisi avec soin de telle façon à ne pas enterrer les terrains productifs ;*
- *Rendement élevé des engins travaillant aux terrils ;*
- *Sécurité de travail.*

L'aménagement des terrils peut être effectué par les engins d'excavation (excavateur à godet unique, à godets multiples) ou par bulldozers.

VIII. CLASSIFICATION DE LA MECANISATION LORS DE L'EXPLOITATION A CIEL OUVERT SELON (I_d):[13]

Lors de la réalisation du projet d'exploitation, l'exploitant est amené à choisir la mécanisation adéquate aux conditions de la carrières.

En effet, il convient nécessairement de considérer un système technologique d'exploitation assurant une cohérence entre l'ensemble des processus technologique ; à commencer par la préparation des roches à l'abattage jusqu'aux dernières taches d'extraction du minerai ; mise à terril ou livraison du minerai aux points de stockage.

Ceci dit, les processus technologiques à adopter doivent répondre aux besoins de l'exploitation, autrement dit chaque carrière a ses propres caractéristiques qui définiront les taches nécessaires pour la mise en marche de la chaîne de production de l'entreprise minière. Plusieurs variantes doivent être étudiées lors du choix des processus technologiques et des moyens qui en découlent, mais il reste que certains paramètres de ces variantes sont inquantifiable, ce qui exige pour l'exploitant d'être suffisamment expérimenté pour faire le choix rationnel.

Une classification selon l'indice de difficulté à l'exploitation(I_d) permet, en effet, de donner une première orientation pour les choix des processus technologiques et des moyens de leurs mise en œuvre. Les tableaux 11 et 12 les illustrent :

Il est à noter que cette classification tient compte des caractéristiques de la roche minière, elle ignore les autres éléments du choix, donc il est du ressort de l'exploitant de veiller à ce que les moyens retenus peuvent s'adapter aux autres conditions du gisement.

<i>Id</i>	<i>Classe</i>	<i>Caractéristiques de l'exploitation</i>
<i>1 – 5</i>	<i>I : exploitabilité simple</i>	<i>Exploitation possible sans préparation anticipée à l'excavation</i>
<i>5 – 10</i>	<i>II : exploitabilité peut difficile</i>	<i>Exploitation avec préparation obligatoire à l'excavation à l'aide du ripage ou l'émottage ou par ébranlement</i>
<i>10 – 15</i>	<i>III : difficile à l'exploitation</i>	<i>Exploitation nécessitant l'utilisation de petites charges d'explosif</i>
<i>15 – 20</i>	<i>IV : très difficile à l'exploitation</i>	<i>Exploitation nécessitant une préparation anticipée à l'excavation par de grandes charges d'explosifs</i>
<i>20 – 25</i>	<i>V : extrêmement difficile à l'exploitation</i>	<i>Exploitation nécessitant une préparation anticipée à l'excavation par de grandes charges d'explosifs</i>

Tableau 10 : Classification des roches minières en fonction de l'indice de difficulté à l'exploitation

I_d	classe	Processus technologiques	Complexe d'équipements		
			Excavation et chargement	déplacement	Formation des terril et stockage
1 – 5	1	Abattage, et formation des terrils	Excavateur à multiple godet	/	Pont de transfert, sauterelle ou console
5 – 10	2	Excavation et formation des terrils	Grand excavateur de découverte ou scraper	/	Grand excavateur de découverte ou scrape
10 – 15	3	Abattage, transport et formation des terril	1)excavateur à godet multiple, guide hydromoniteur 2)combiné ou rabot	1) convoyeur, hydrotransport, voies ferrées ou camion	1)Consoles, hydromoniteur 2)engins de formation des terrils
15 – 20	4	Excavation, Transport et formation des terril	Excavateur à godet unique	1)convoyeur, hydrotransport 2)voies ferrées camion	1)consoles, hydromoniteur 2)bulldozer, engin spéciaux de formation des terril
20 – 25	5	Abattage, chargement et transport	1)excavateur à multiple godets, hydromoniteur 2)combiné	1)convoyeur, hydrotransport 2)voies ferrées camion	Complexe de déchargement et de réception
>25	6	Excavation, transport et Déchargement	Excavateur à godet unique	1)convoyeur, hydrotransport 2)voies ferrées camion	Complexe de déchargement et de réception

Tableau 12 : Classification de la mécanisation en fonction de l'indice de difficulté à l'exploitation

IX. APPROCHE DU PRIX DE REVIENT D'UNE EXPLOITATION A CIEL OUVERT : [2,3,5,10,21]

“Le prix de revient total d'une tonne de minerai se compose du train d'extraction du minerai, du déplacement des stériles et des frais supplémentaires pour toute la carrière.” [12]

la détermination du frais d'exploitation s'effectue par deux méthodes :

- *Par analogie avec d'autres données pratiques analogues aux conditions du présent gisement.*
- *Par calcul direct des frais d'exploitation en prenant en considération tous les paramètres (salaires, énergie, amortissements, eau, ...).*

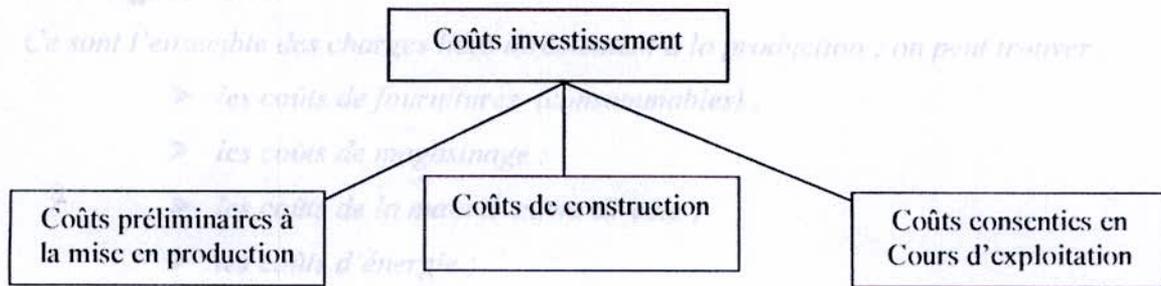
L'estimation du prix de revient d'une exploitation doit englober toutes les dépenses consenties pour la mise en œuvre de la chaîne de production du minerai. A cet égard, les dépenses de chaque étape de la réalisation du projet d'exploitation doivent être soigneusement déterminées, à commencer par l'estimation des coûts de recherche et de prospection jusqu'aux dépenses de mise à terrils ou de livraison aux points de stockage.

Ceci dit, la nature des coûts diffère d'une tâche à l'autre ce qui impliquera une différence d'imputation de ces derniers au prix de revient total.

Les coûts d'une exploitation à ciel ouvert se répartissent en deux catégories [5]:

- *Les coûts opératoires (operating costs), c'est à dire les dépenses à consentir pour des opérations minières génératrices de recettes endéans les 12 prochains mois (ou la durée d'exercice fiscal)*
- *Les coûts d'investissement (capital costs), c'est à dire les dépenses relativement lourdes, à consentir pour les opérations minières génératrices de recettes sur une période supérieure à celle d'un exercice fiscal.*

L'organigramme suivant illustre la répartition des investissements selon l'étape de réalisation du projet :



Organigramme 1 : Répartition des investissements

Tandis que les coûts opératoires se répartissent par opération en suite par nature.

Selon les opérations, les frais opératoires se classent en frais de :

- Forage
- Minage
- Chargement
- Transport
- Maintenance
- Services généraux
- Direction et administration.

Pour chaque opération, la nature des coûts se décomposent en :

- Personnel : par catégories
- Consommables : (électricité, carburant, lubrifiants, eau, consommables spécifiques de l'opération)
- Pièces de rechanges : par types d'engins

Charges directes et charges indirectes :

Une autre méthode de décomposer le prix de revient consiste à classer les charges d'une exploitation selon leur influence sur le prix de revient, on distingue :

- Les charges directes ;
- Les charges indirectes.

1. charges directes :

Ce sont l'ensemble des charges liées directement à la production ; on peut trouver :

- les coûts de fournitures (consommables) ;
- les coûts de magasinage ;
- les coûts de la main d'œuvre directe ;
- les coûts d'énergie ;
- les amortissements.

2. charges indirectes :

Les charges indirectes sont imputées directement aux coûts de production après traitement dans les centres d'analyse. L'imputation de ces charges doit se faire selon des clés de répartition.

Calcul du prix de revient:

Le tableau suivant donne les principales composantes de calcul du prix de revient d'une exploitation à ciel ouvert.

<i>Eléments du prix de revient</i>	<i>Les frais [DA/t]</i>
1. Les frais fixes :	
➤ <i>Les impôts et taxes</i>	F_1
➤ <i>Les assurances</i>	F_2
➤ <i>Les salaires</i>	F_3
➤ <i>Les amortissements</i>	F_4
➤ <i>Les frais d'entretien systématiques</i>	F_5
Total des frais fixes	$F_f = \sum F_i$
2. Les frais variables	
➤ <i>Les consommables</i>	F_1'
➤ <i>Les fournitures</i>	F_2'
➤ <i>L'énergie</i>	F_3'
➤ <i>La main d'œuvre directe</i>	F_4'
Total des frais variables	$F_v = \sum F_i'$
3. Les frais divers	
➤ <i>Le stockage</i>	F_1''
➤ <i>Le transport de matériel</i>	F_2''
➤ <i>Le personnel requis à ces fins</i>	F_3''
➤ <i>La main d'œuvre saisonnière</i>	F_4''
Total des frais divers	$F_d = \sum F_i''$
4. Autres dépenses	F_{au}
Les frais totaux	$F = F_f + F_v + F_d + F_{au}$

Tableau 11 : Composante du prix de revient

Le prix de revient de la tonne du minerai sera égale aux frais totaux F sur la production réalisée pendant l'exercice.

$$P_R = \frac{F}{P}$$

F : somme des dépenses de l'entreprise pendant l'exercice
 P : production pendant ce même exercice.

PARTIE III :

ELABORATION DE LOGICIEL

X. MICROSOFT ACCESS 2000 :

1. INTRODUCTION AU SUPPORT DU LOGICIEL:

Nous avons choisi Access comme support pour notre Logiciel, car ce dernier est l'un des Systèmes de Gestion des Bases de Données Relationnel (SGBDR) les plus performants. Sa capacité à gérer et à traiter les bases de données lui a permis de se propager largement dans le monde des bases de données, notamment en Amérique du Nord.

Les taches supportées par un SGBDR peuvent être classées approximativement en cinq catégories :

- Définition des données (champs, tables, clé, ...).
- Manipulation des données (mise à jour, ...).
- Utilisation es données (interrogation par des requêtes, ...).
- Présentation des données (rapports, statistiques, ...).

Administration système (sécurité et protection de données, sauvegarde, ...).

Microsoft Access met à notre disposition les objets suivants pour réaliser ces opérations :

- Tables.
- Requête.
- Formulaire.
- Etats.
- Macros.
- Modules.

2. INTERFACE ACCESS 2000 (figure 12):

L'Interface Microsoft Access comporte 4 zones de travail :

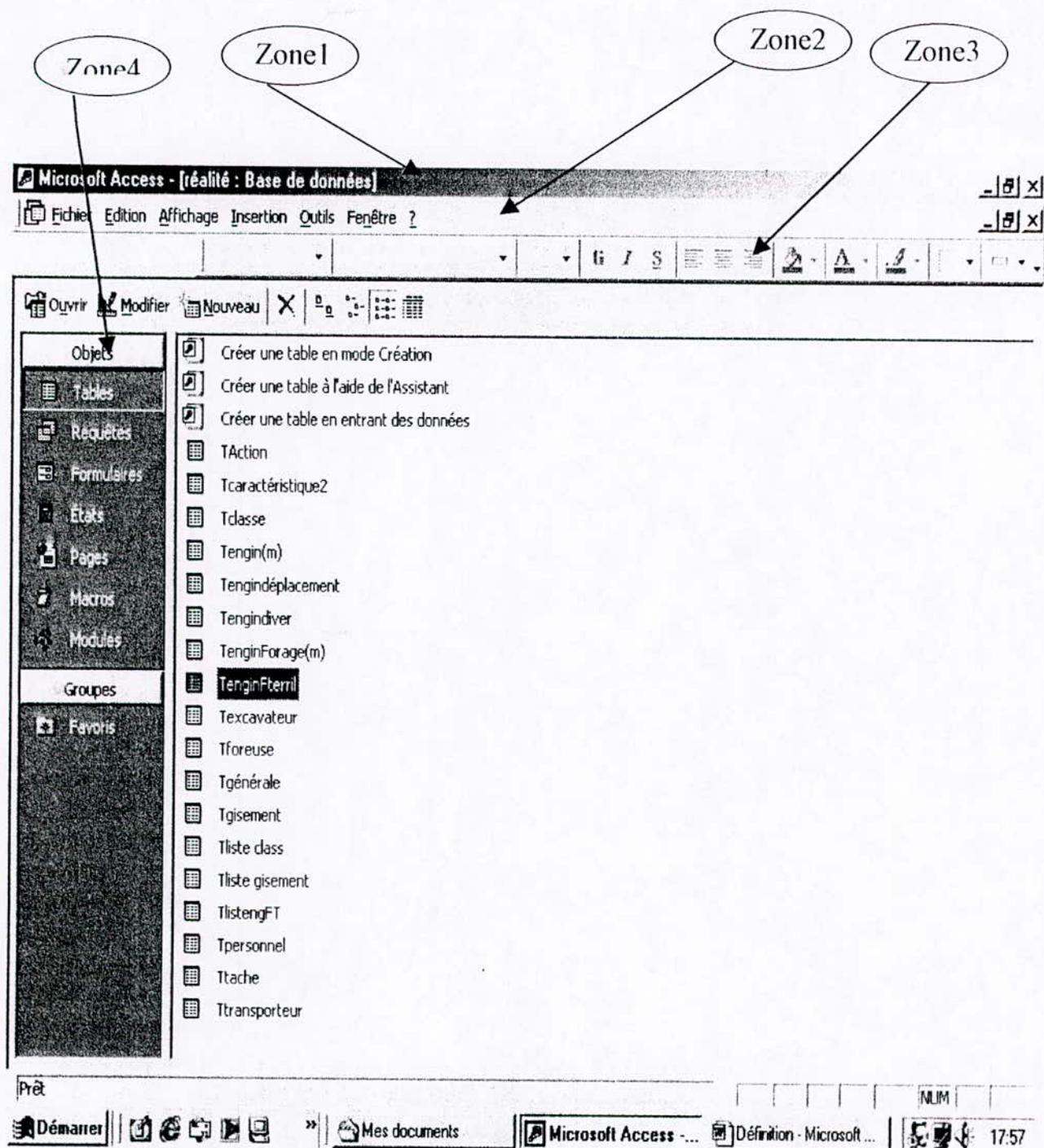
En haut de l'écran, vient une zone qui indique qu'on est dans Access et montre le titre de la base de données ;

En suite vient la barre des menus qui affiche les 7 menus standards d'Access :

- Fichier ;
- Edition ;
- Affichage ;
- Insertion ;
- Outils ;
- Fenêtre ;
- Aide.

Barre d'outil de la base de données;

Fenêtre base de données, affiche les objets d'une base de données.



Zone 1 : Titre de la base de données

Zone 2 : Barre des menus

Zone 3 : Barre d'outils de la base de données

Zone 4 : Fenêtre de la base de données

Figure 12 : Interface Access 2000

3. LES OBJETS DE LA BASE DE DONNEES :

A. Les tables :

Une table dans Microsoft Access est un objet d'enregistrement permettant de regrouper un ensemble de données structurées appelées enregistrements.

Les tables servent aussi de base pour la création d'autre objet tel que, formulaire et requête. Chaque enregistrement se compose d'un ensemble d'informations plus élémentaires appelées champs.

Chaque champ définit une propriété tel, nom, type, etc.

Pour localiser de manière efficace les enregistrements dans une table, Microsoft Access utilise une clé primaire pour chaque enregistrement permettant ainsi de l'identifier d'une façon unique.

A.1) Procédure de création d'une table :

Pour créer une table, nous procédons en cinq étapes :

- Création d'une table.*
- Définition des champs de la table.*
- Définition d'une clé primaire pour la table.*
- Définition des propriétés de la table.*
- Enregistrement de la table.*

A.1.a) Création d'une table :

Pour créer une table :

1- Cliqué sur le bouton <Table > dans la fenêtre base de données.

2- cliquer sur le bouton <Nouveau> pour demander à Microsoft Access d'afficher la fenêtre table en mode création, dans laquelle nous pouvons définir les champs, les index et d'autres propriétés.

A.1.b) Définition des champs de la table :

Pour définir des champs pour la table :

1- La table correspondante est affichée en mode création de champs.

2- Taper le nom de premier champ (en respectant les règles) dans la colonne Nom de champ.

3- Sélectionner le type de données désirer dans la colonne type de données.

- 4- Taper une description facultative pour ce champ dans la colonne description.
- 5- Paramètres dans la partie inférieure de la fenêtre, d'autres propriétés du champ : Règle de validation, ...
- 6- Répéter les étapes 2 à 5 pour chaque champ.

A.1.c) Définition d'une clé primaire pour la table

Pour définir une clé primaire et d'autres index pour la table :

- 1- La table correspondante est affichée en mode création
- 2- Positionner la souris sur les champs (dans la fenêtre table) à inclure dans la clé primaire.
- 3- Exécuter la commande <édition définir comme clé primaire>.

Ou :

3. exécuter la commande <Affichage.Index> pour afficher la fenêtre index, dans laquelle nous pouvons définir la clé primaire et d'autre index.

A.1.d) Définition des propriétés de la table :

- 1- La table correspondante est affichée en mode création.
- 2- exécuter la commande <Affichage.Propriétés de la Table> pour afficher la fenêtre propriété de la table.

A.1.e) Enregistrement de la table :

Pour sauvegarder la table créée, une fois que les champs et une clé primaire ont été définis :

- 1- Exécuter la commande <Fichier.Enregistrer>.
- 2- Taper le nom de la table (en respectant les conventions d'affectation des noms de Microsoft Access) et choisir <OK>.

A.2) Relation entre tables :

Une base de données contient en général plusieurs tables ou les informations sont souvent réparties. Une relation représente un lien entre deux tables, lien qui permet à Microsoft Access de relier les données stockées dans diverses tables.

A.3) Types de relations :

Dans Microsoft Access, les relations sont orientées, et on distingue la table Source de la table destination. Il existe trois types de relation selon leurs cardinalités :

- Relation un-à-un.
- Relation un-à-plusieurs.
- Relation plusieurs-à-plusieurs.

A.3.a) Relation un-à-un :

Une relation entre la table A et la table B est de type un-à-un si à un enregistrement de la table A correspond au maximum un seul enregistrement de la table B, et si à chaque enregistrement de la table B correspond un (et un seul) enregistrement de la table A.

A.3.b) Relation un-à-plusieurs :

Une relation entre la table A et la table B est de type un-à-plusieurs si un enregistrement de la table A peut être lié à plusieurs enregistrements de la table B, et si à chaque enregistrement de la table B correspond un (et un seul) enregistrement de la table A.

A.3.c) Relation plusieurs-à-plusieurs :

Une relation entre la table A et la table B est de type plusieurs-à-plusieurs si un enregistrement de la table A peut être lié à plusieurs enregistrements de la table B, et vice versa.

A.4) Définition d'une relation :

Pour définir des relations entre les tables :

Afficher la fenêtre base de données.

Exécuter la commande <édition.relation>: la fenêtre relation s'affiche, dans laquelle les tables/requêtes et les relations entre elles sont présentées sous formes graphiques.

Ajouter les tables nécessaires à la définition des relations dans la fenêtre, en exécutant la commande <relation .ajouter une table...>.

Pour créer une relation, faire glisser un champ de la table source vers un champ de la table destination pour afficher la boîte de dialogue relations.

- 1- Activer la case à cocher *Appliquer l'intégrité référentielle*, si nous voulons que Microsoft Access contrôle l'intégrité référentielle entre deux tables.

- 2- Sélectionner le type de relation, soit un-à-un, soit un-à-plusieurs, si la case Appliquée l'intégrité référentielle est cochée.
- 3- Choisir le bouton <OK> pour validé la création de la relation.
- 4- Répéter les étapes 3 à 7 pour créer d'autres relations.

B. Requêtes :

Les requêtes sont des objets de Microsoft Access permettant d'extraire des enregistrements à partir d'une table ou d'une autre requête, en répondant à des questions posées sur ces dernières, elles servent aussi pour le calcul.

Dans Microsoft Access, on distingue trois types de requêtes :

- Requêtes de type Sélection.
- Requêtes de type Action.
- Requêtes d'analyse croisée.

Une requête de type sélection permet d'extraire un sous-ensemble de données, provenant d'une ou de plusieurs tables ou requêtes, qui satisfait à certains critères. Une feuille de réponses dynamique contiendra les ensembles des enregistrements répandant aux conditions spécifiques d'une requête de type Sélection.

Une requête de type Action permet d'effectuer des opérations de mise à jour (Ajout modification et suppression d'un enregistrement). Ces requêtes sont très adaptées pour répéter les mêmes opérations sur un jeu d'enregistrements.

Une requête d'analyse croisée présente les données dans un format de feuille de calcul plus compact qu'une feuille de réponses dynamique correspondant à une requête de type Sélection

B.1) Création de requêtes :

Pour créer une requête :

- 1- cliquer sur le bouton <Requête> dans la fenêtre base de données.
- 2- cliquer sur le bouton <Nouveau> : Microsoft Access affiche la boîte de dialogue nouvelle requête.

- 3- Choisir <Requête vierge> : Microsoft Access affiche la boîte de dialogue Ajouter une table, qui permet d'ajouter dans la grille d'interrogation les tables/requêtes sur lesquelles porte la requête à créer.
- 4- Ajouter les tables/requêtes concernées dans cette boîte de dialogue la commande, <Requête, Ajouter une table...> permet l'affichage également).
- 5-Spécifier le type de la requête à créer (de type sélection, par défaut), en exécutant la commande correspondante : <Requête. Sélection > |Requête Analyse Croisée>|<requête Création table> |. |<Requête Ajout> . |<Requête mise à jour>. |<requête suppression>
- 6- Créer les jointures supplémentaires entre les Tables/requêtes.
- 7- Formuler la requête dans la grille d'interrogation (Query By Example Grid en anglais) ou dans la boîte de dialogue SQL (qui s'affiche en exécutant la commande <Affichage.SQL>).
- 8- Sauvegarder la création en exécutant la commande <Fichier.Enregistrer Sous...>.

C. Formulaires :

Un formulaire constitue une interface entre les utilisateurs et les données contenue dans une base de données, une interface verticale qui affiche les données d'une ou de plusieurs tables/requête que se soit pour la consultation, la saisie la mise à jour ou l'impression.

En fait, la feuille de réponses dynamique correspondant à une table ou à une requête de type Sélection est un formulaire sous forme tabulaire généré automatiquement par Microsoft Access, dans lequel chaque ligne représente un enregistrement.

C.1) Source des données d'un formulaire :

Normalement, un formulaire est lié à une source des données qui peut être une table, une requête ou une instruction SQL de type Sélection ou Analyse croisée.

Il est également possible de créer un formulaire indépendant qui ne soit lié à aucune table ou requête. Ce genre de formulaires permet de saisir des informations d'ordre général, telle que mot de passe, dates, etc. ou d'exécuter des commandes.

C.2) Composition d'un formulaire :

Un formulaire se divise en cinq sections, qui se présente dans l'ordre suivant :

- Section Entête de formulaire.*
- Section Entête de page.*
- Section Détail.*
- Section Pied de page.*
- Section pied de formulaire.*

Les sections en-tête/pied de formulaire et entête/pied de page sont optionnelles.

Les commandes <Affichage. Entête/pied de page > et <Affichage. Entête/pied de formulaire> permettent d'ajouter ou de supprimer ses sections dans un formulaire.

Un entête de formulaire contient en général des titres et des boutons de commandes pour exécuter des actions, alors qu'un pied de formulaire présente suivent des statistiques, des taux ou des cumules, etc.

Un entête de page contient en général des titres et des dates pour un groupe d'enregistrements, alors qu'un pied de page présente souvent les numéro de page, des statistiques ou des taux au niveau d'un groupe d'enregistrements, etc.

C.3) Création d'un formulaire :

Pour créer un formulaire :

- 1- Cliquer sur le bouton <Formulaire> dans la fenêtre base de données.*
- 2- Cliquer sur le bouton <nouveau>.*
- 3- Spécifier le nom de la table ou de la requête sous-jacente du formulaire, dans la boîte de dialogue Nouveau formulaire, et choisir le bouton <Assistant> ou <Formulaire vierge>.*
- 4- Si le bouton Assistant est sélectionné, choisir l'assistant Formulaire approprié et suivre les instructions des différentes boîtes de dialogue.*
- 5- Paramétrer les propriétés de formulaire (légende, mode d'affichage, attache des procédure/macro aux événements...) dans la fenêtre propriété affichée par la commande <Affichage. Propriétés...>.*
- 6- Ajouter, modifier ou supprimer les contrôles dans le formulaire (vierge ou crée par l'assistant).*
- 7- Sauvegarder la création en exécutant la commande <Fichier. enregistrer sous...>.*

C.4) Formulaire et sous formulaire :

Nous avons souvent besoin d'inclure dans un formulaire des informations provenant de deux ou de plusieurs tables.

Pour ce faire, nous pouvons soit utiliser comme source de donnée du formulaire une requête portant sur plusieurs tables, soit insérer dans le formulaire un autre formulaire.

Les formulaires inclus dans un autre formulaire est appelé sous-formulaires. Lorsque nous ouvrons en mode formulaire un formulaire qui contient un sous-formulaire, ce dernier n'affiche que les enregistrements liés à l'enregistrement en cours dans le formulaire principal.

Cette liaison entre un formulaire principal et un sous-formulaire est spécifiée par les trois propriétés suivantes du contrôle sous-formulaire correspondant dans le formulaire principal :

Objet source A cette propriété doit être associé le nom du formulaire utilisé comme sous-formulaire.

Champ fils A cette propriété doit être associé le nom de champ dans la table/requête sous-jacente du sous-formulaire, qui est utilisé pour la jointure de ces deux formulaires.

Champ père A cette propriété doit être associé le nom du champ dans la table/requête sous-jacente du formulaire principal, qui est utilisé pour la jointure de ces deux formulaires.

D. Etats :

Un état permet d'organiser (regrouper, trier, cumuler...) les données en vue de les imprimer sur papier, avec une grande souplesse de présentation et de mise en page.

D.1) Source des données d'un état :

Un état, comme un formulaire, est normalement lié à une source de données, qui peut être une table, une requête ou une instruction SQL de type Sélection ou Analyse croisée.

D.2) Création d'un état :

Pour créer un état :

- 1- *Cliquer sur le bouton <Etat> dans la fenêtre Base de Données.*
- 2- *Cliquer sur le bouton <Nouveau>.*
- 3- *Spécifier le nom de la table ou de la requête sous-jacente de l'état, dans la boîte de dialogue Nouvel état, et choisir le bouton <Assistant> ou <Etat vierge>.*
- 4- *Si le bouton <Assistant> est sélectionné, choisir l'assistant état approprié et suivre les instructions des différentes boîtes de dialogues.*
- 5- *Paramétrer les propriétés de l'état (nom, légende...) dans la fenêtre propriétés affichée par la commande <Affichage.Propriété...>.*
- 6- *Ajouter, modifier ou supprimer des contrôles dans l'état (vierge ou créé par l'assistant).*
- 7- *Sauvegarder la création en exécutant la commande <Fichier.Enregistrer sous...>.*

E. Macros :

Les macros, premiers éléments de programmation offerte par Microsoft Access, permettent d'enchaîner automatiquement des opérations routinières ou répétitives, et d'améliorer et ainsi les performances d'une application.

Une macro identifiée par un nom, se compose d'une séquence d'opération de base appelée actions, sélectionner dans une liste d'actions disponible prédéfinis par Microsoft Access.

Par exemple, L'action Ouvrir Formulaire permet d'ouvrir un formulaire.

L'exécution d'une action particulière dans une macro peut être conditionnée par une expression logique :

L'action sera exécuter seulement si la condition logique est vraie, ce type de macro est appelé macros conditionnelles.

Il est également possible de rassembler plusieurs macros en relation dans un groupe appelé groupe de macro. Un groupe de macros, comme une macro, est identifié par un nom.

E.1) Création d'une macro et d'un groupe de macro :

Pour définir une macro :

1. *Cliquer sur le bouton <macro> dans la fenêtre base de données.*
2. *Cliquer sur le bouton nouveau*
3. *Nommer la macro*
4. *Dans la fenêtre macro, sélectionner les actions dans l'ordre voulu et définir les arguments adéquats pour chaque action.*
5. *Sauvegarder la macro en exécutant la commande <Fichier.enregistrer ...>.*

F. Modules

Les modules nous permettant d'écrire des programmes en Access basic, langage de programmation intégré de Microsoft Access. Ces programmes permettent d'accomplir des tâches complexes (synchronisation entre plusieurs tables, formulaires ou état calcul complexe,...), tâches que les macros ne permettant pas de réaliser, à cause de leur jeu limité l'action disponibles et de leur structure linière de contrôle.

Une application peut contenir plusieurs modules, composé chacun d'une section de déclaration et d'un ensemble de procédures.

Dans Access basic en distingué deux types de modules :

- *Module défini par l'utilisateur.*
- *Module générer par Microsoft Access qui contient des procédures dites évènementielles.*

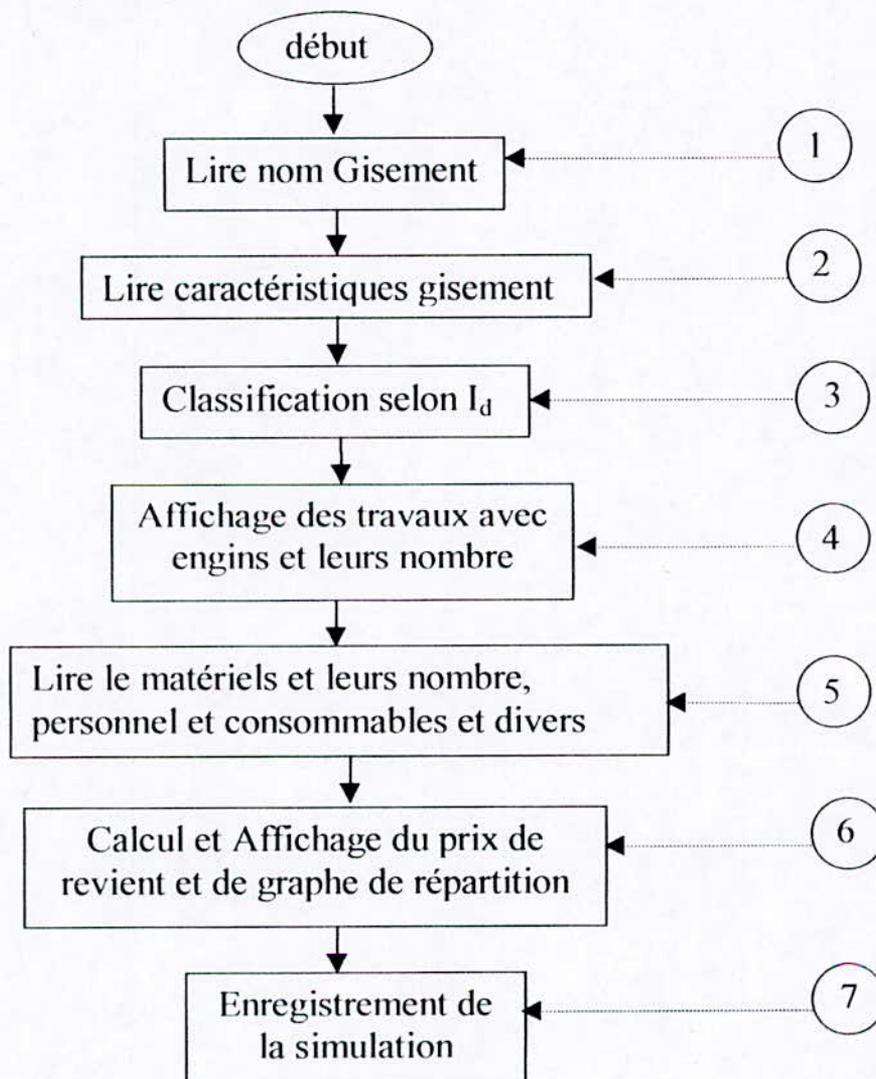
5. INTERPRETATION DES RELATIONS ENTRE LES TABLES :

Les relations liants les tables principales reflètent d'une façon très proche à la réalité les traitements de données faits pour choisir une méthode d'exploitation avec la mécanisation de sa mise en œuvre, pour un gisement quelconque en fonction de ses caractéristiques, et d'essayer par la suite de donner une estimation du prix de revient.

Si l'on commence à décrire les relations par la table Tgisement, qui comporte le nom du gisement et son index, on peut dire que pour chaque gisement correspond à un ou plusieurs groupes de caractéristiques, ces dernières définissent une ou plusieurs classes (classification des roches selon l'indice de difficulté à l'exploitation), chaque classe définie, à son tour, une ou plusieurs mécanisation, avec personnel, travaux auxiliaires, consommables et divers correspondants

Pour amener à confectionner ce Modèle Logique de Données (MLD), nous avons d'abord mis en œuvre un algorithme de traitement de données qui permet d'atteindre l'objectif visé.

L'Algorithme a la forme générale suivante :



6. DESCRIPTION DE L'ALGORITHME:

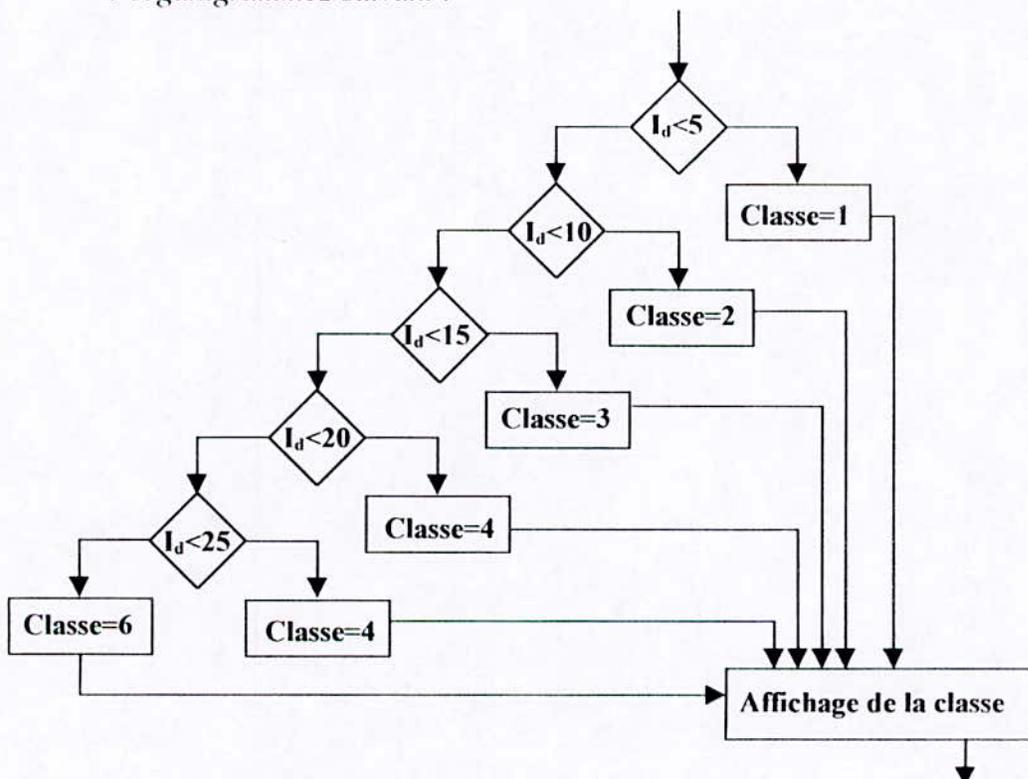
- 1 : Saisie du nom du gisement et son enregistrement dans la table Tgisement.
- 2 : Saisie des caractéristiques du gisement et leurs enregistrement dans la table Tcaractéristiques2.

Remarque : avant de commencer la saisie des caractéristiques, il faut répondre à la question d'une boîte de dialogue «Jugez vous que les caractéristiques des roches stériles et celles des roches minéralisés sont assez proches pour prévoir le même mode d'action sur ces dernières ? »

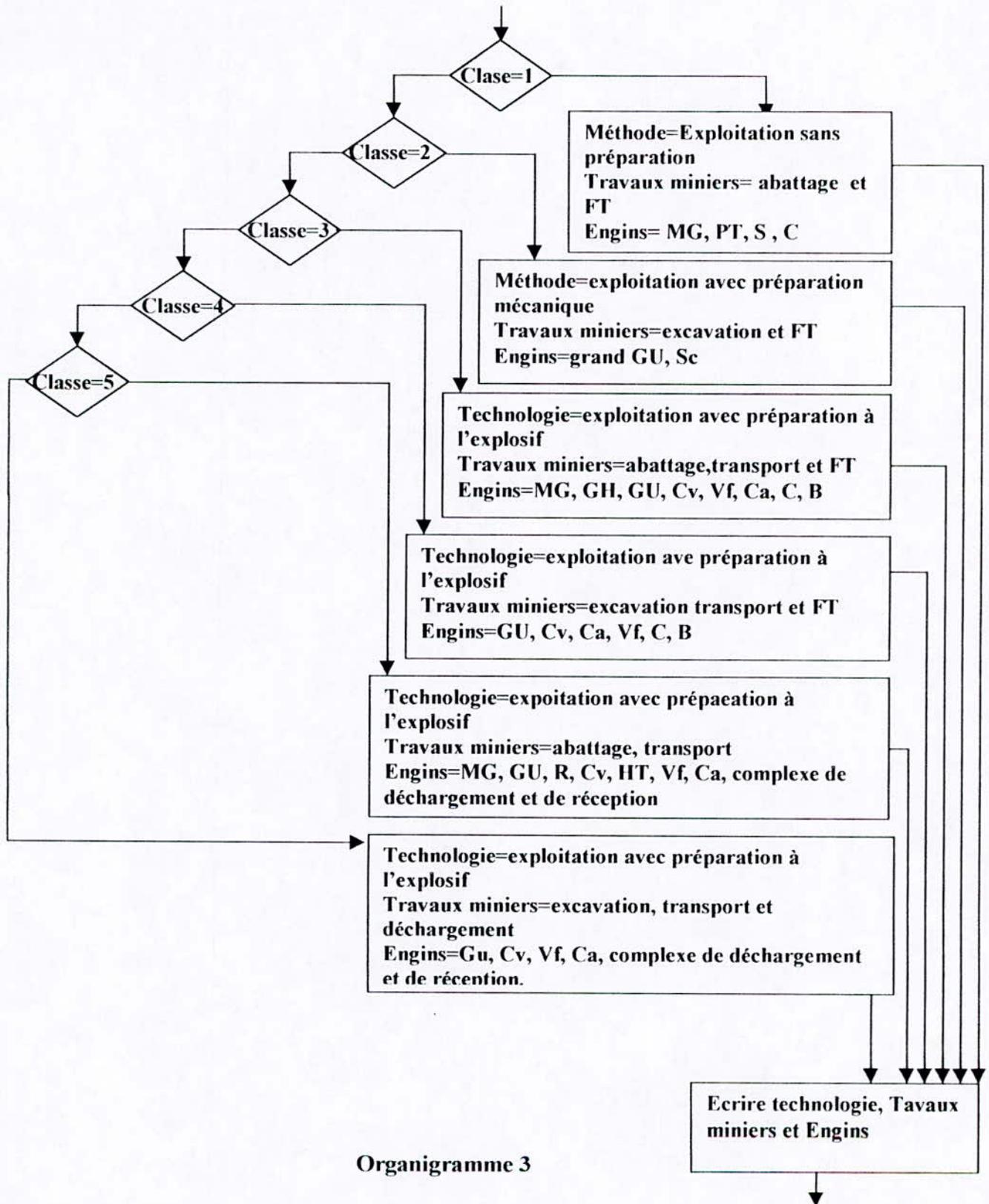
Pour répondre à cette question, il faut choisir "oui" ou "non". Cette réponse est décisive, du fait quelle a une grande influence sur la suite du déroulement du logiciel.

On n'a pas voulu automatiser cette réponse, par comparaison de I_d des roches stériles et celui des roches minéralisées, car cela diminuerai la crédibilité du logiciel du fait qu'il va prendre comme base de choix seulement l'élément I_d , chose qui est fosse.

- 3 : Le logiciel Calcul I_d avec la formule $I_d = 0,2 (K_f \cdot I_f + K_q \cdot I_q \cdot K_{exc} \cdot I_{exc})$, après avoir calculé I_f , I_q , I_{exc} avec les formules vues précédemment (page8) et déduction des coefficient K_f , K_q , K_{exc} du tableau1. en suite il fait une classification d'après l'organigramme2 suivant :



- 4) En fonction de la classe calculée précédemment, le logiciel nous propose les principaux travaux de la mine et les engins de leurs mise en œuvre d'après l'organigramme3, déduit du tableau12 (page81), qui suit :



Légende :

FT : formation des terrils
MG :excavateur à multiple godets
PT :pont de transfert
S :sauterelle
GU :excavateur à godet unique
Sc :scraper
GH :guide hydromoniteur
Cv :convoyeur
Ca : camion
B :bulldozer
HT :hydrotransport.

5 : là, il faut choisir les différents engins pour les différents travaux miniers que ça soit pour les roches minéralisées ou pour les roches stériles, en fonction de notre choix. Il est préférable de choisir les engins parmi la gamme d'engins proposés par le logiciel, cela bien sur si ces derniers répondent aux différentes contraintes, et valider. Le logiciel affiche le nombre d'engins calculé par une requête en fonction de la production et d'un coefficient de réserves saisies dans le formulaire "Menu roches Minéralisées" et éventuellement le volume de recouvrement dans le "Menu des roches Stériles".

Remarque : dans le cas où l'en supposer que les caractéristiques des roches stériles et celles des roches minéralisées sont assez proche pour prévoir le même mode d'action sur ces dernières , c'est à dire répondre à la question de la boîte de dialogue par "oui", il faut saisir dans la case production annuelle tout le volume à excaver par an (stériles et minerai).

Et par la suite saisir le nombre d'engins choisi.

Il faut aussi saisir toutes les dépenses des consommables et des divers ainsi que le personnels affectés aux différentes taches.

6 : Une fois que toutes les dépenses sont saisies, le logiciel nous calcul le prix de revient et affiche le graphe de répartition des coûts généraux.

7 : une fois que le prix de revient affiché on sauvegarde les enregistrement de la simulation.

7. DEROULEMENT DU LOGICIEL :

Le logiciel s'ouvre sur un MENU PRINCIPAL comportant les quatre 4 icônes comme le montre la figure suivante :

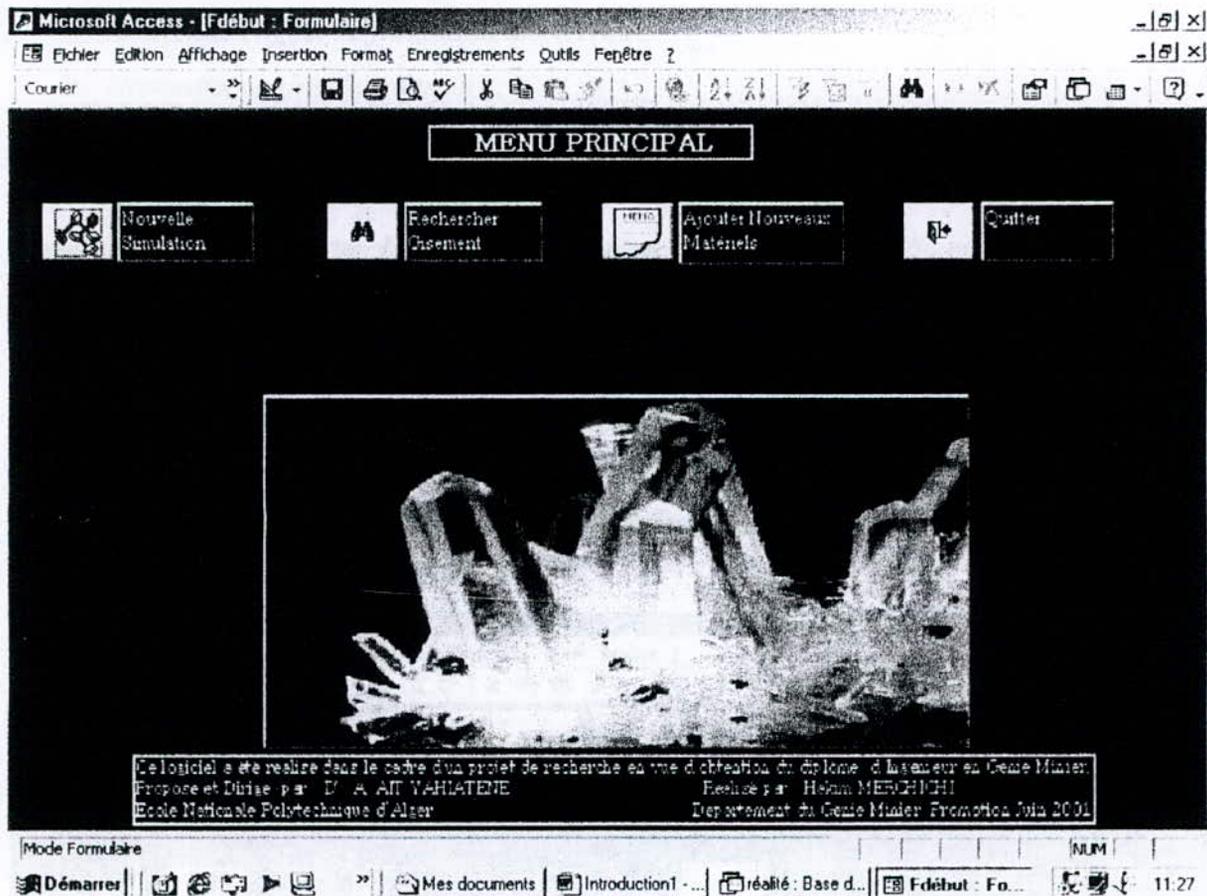


figure14 : MENU PRINCIPAL

Le MENU PRINCIPAL offre quatre options :

- Nouvelle simulation ;
- Recherche d'un enregistrement ;
- Ajout d'un nouveau matériel ;
- Quitter le logiciel.

La recherche d'un gisement se fait par le nom de ce dernier, se trouvant dans une liste déroulante dans le formulaire de recherche.

En cliquant sur l'icône ajouter nouveaux matériels, on se retrouve dans le Menu d'ajout qui nous propose cinq boutons :

- Nouvelles foreuses ;
- Nouveaux engins d'excavation ;
- Nouveaux engins de formation des terrils ;
- Nouveaux engins de transport ;
- Retourner au menu principal.

En cliquant sur l'un des boutons d'ajout le formulaire correspondant au type de matériel s'ouvre, il faut cliquer sur le boutons "ajouter un enregistrement", et saisir le nouveau matériel et quitter en cliquant sur le bouton "stop".

En cliquant sur le bouton "Nouvelle simulation", une boîte de dialogue s'ouvre à qui on doit répondre par oui ou non, en cochant sur la case correspondante.

Directement, le MENU SIMULATION s'ouvre offrant les options indiquées dans la figure suivante :

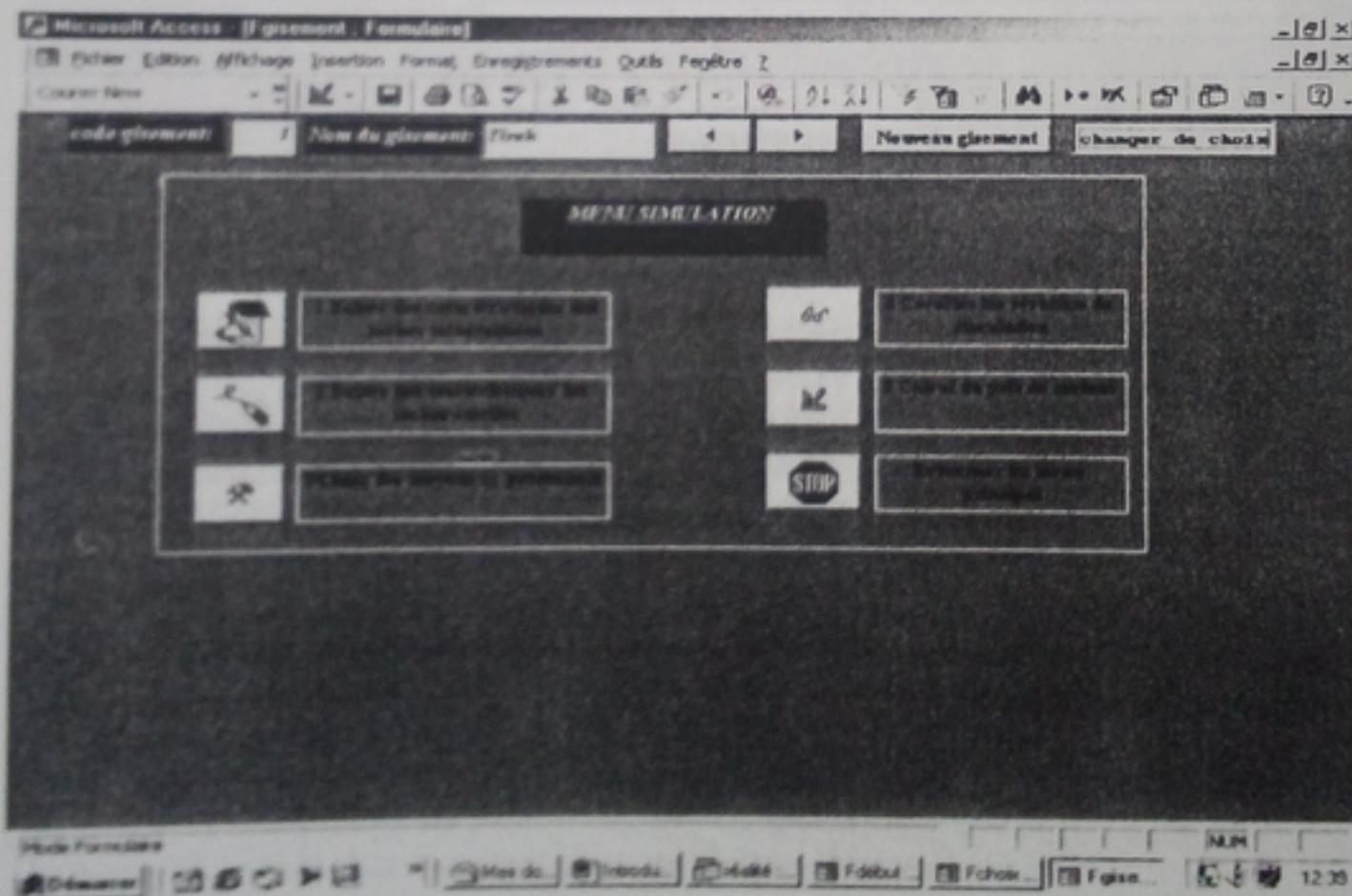


figure15 : MENU SIMULATION

Pour un nouveau gisement, cliquer sur le bouton "nouveau gisement" et suivre la numérotation indiquée par le menu.

1. **Saisie des caractéristiques de la roche minéralisée** : en cliquant sur ce bouton, le formulaire des caractéristique il faut le remplir, en respectant les unités, cliquer en suite sur "retourner au menu simulation" pour continuer.

2. **Saisie des caractéristiques des roches stériles**, ce bouton est fonctionnel dans le cas où l'en a répondu par non dans la boîte dialogue.

3. **Choix des moyens et personnels**; en cliquant sur ce bouton, le Menu des roches minéralisées s'ouvre et donne la possibilité d'atteindre les autres menus (menu roches stériles, menu consommables et divers et menu du personnels), il permet également d'atteindre les différents formulaires des engins ; la figure suivante illustre l'un de ces menus :

figure 16 : Menu des roches minéralisées

Voici un exemples de formulaires des engins, il s'agit du formulaire des excavateurs :

figure 17 : formulaire excavateurs

4. Consulter les résultats, ce bouton permet de voir tous les engins de la mine à ciel ouvert, et il permet aussi de voir les différents calcul du nombre d'engins et des amortissements correspondant.

5. Le bouton calcul du prix de revient permet de voir les calculs du prix de revient et le graphique de répartition des coûts générales de la mines.

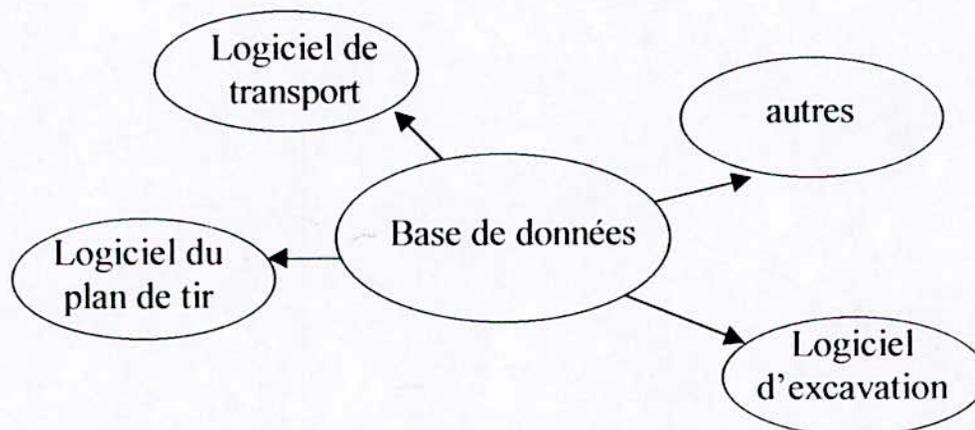
6. le bouton stop permet de retourner sous le MENU PRINCIPAL.

8. UTILISATION DE LA BASE DE DONNEES :

La base de données de ce logiciel peut être exploitée comme suit :

- 1. Dans le cas d'une étude d'un projet d'exploitation d'un gîte minéralisé ;*
- 2. Dans le cas où l'on est en cours de production, et qu'on rencontre subitement une zone minéralisée de valeur mais de caractéristiques différentes aux zones exploitées en aval, on tente à travers ce logiciel d'avoir une idée sur la mécanisation à prévoir et le prix de revient de la tonne du minerai.*
- 3. Elle peut servir de base pour d'autres logiciels plus spécialisés dans les différentes variantes de l'exploitation (logiciel du plan de tir, logiciel de transport, ...)*

En effet cette base de données permet de communiquer les informations avec d'autres applications comme le montre la figure suivante :



CONCLUSION :

Chaque dépôt minéralisé est unique et comporte ses propres particularités.

Un choix rationnel de la méthode d'exploitation et des équipements de sa mise en œuvre reste l'une des tâches les plus difficiles. Ce choix repose sur une multitude de paramètres de justesse limitée, parfois, et de nature très variée.

La cadence de la production minière est l'une de ces paramètres, sa détermination peut se faire en premier lieu en se basant sur la quantité de réserves minières disponibles.

En se basant sur les caractéristiques du gisement et le volume de la masse minière à excaver, nous avons essayé de donner, à travers ce travail, un logiciel reposant sur une base de données qui est un outil rapide permettant d'aider l'exploitant dans le choix de la mécanisation et de faire en dépit de cela une estimation rapide du prix de revient, et enfin de stocker les informations concernant la simulation d'un ou plusieurs gisements.

BIBLIOGRAPHIE

1. KOVALENKO, « **EXPLOITATION DES CARRIERES** »
(ALGER : OPU 1986- 302PAGE)
2. ZAHHAR AOMAR, « **IDENTIFICATION DES DEPENSES RELATIVES AUX TACHES D'EXPLOITATION** »
(PFE : ENP Département Génie Minier , Juin 1995)
3. ABDELLAH. KECHROUD, « **ETAPES PRINCIPALES DE FAISABILITE D'UN PROJET MINIER ET CALCUL DES CACH-FLOW** »
(PFE : ENP Département Génie Minier 1997)
4. GRUNER, « **COURS D'EXPLOITATION DES MINES III** »
(Paris, Ecole Spéciale des Travaux Publiques, 1935, 340 pages)
5. A. MKNEVICIUS « **INTRODUCTION AUX TECHNIQUES MINIERES** »
(Université de Liège L.G.I.H, avril 1988)
6. CHIBKA, « **EXPLOITATION DES GISEMENT METALLIFERES** »
(ALGER OPU 1980, 240 pages)
7. M.DUCHENE , « **ELEMENTS D'ECONOMIE DES ENTREPRISES MINIERES** »
(Ecole des Mines de Paris, février 1987)
8. KURT HERRMANN « **PRECIS DE FORAGE DES ROCHES** »
(Dunod , Paris 1971, 291pages)
9. COSTES.J « **MATERIELS D'EXTRACTION ET DE PREPARATION DES MINERAUX, CARRIERES)** »
(édition Eyrolles-1968, 237 pages)
10. BEHLOUL RACHID, « **REALISATION D'UN MODELE DE DETERMINATION DES COUTS OPERATIONNELS D'UNE EXPLOITATION A CIEL OUVERT** »
(PFE : ENP Département Génie Minier, 1997)
11. « **VOCABULAIRE DE L'EXPLOITATION A CIEL OUVERT** »
(Revue Industrie Minérale, supplément à janvier 1987, volume 69)
12. DJ. MERABET , V.STEPANOV « **PRINCIPE DE L'ELABORATION DU PROJET DES MINES A CIEL OUVERT** »,
(ALGER OPU, 119 pages)
13. M^R BACHAR ASSED MOHAMED AGUIDE «**COURS**»
14. B. BOKY, « **EXPLOITATION DES MINES** »
(MIR-MOUSCOU-1968, 821 pages)

15. Y.MAILLOUX, « **EXPLOITATION A CIEL OUVERT** »
(Revue Industrie Minérale les Techniques, Décembre 1986)

16. M. OUADI, « **MACHINES MINIERES** »
(Alger OPU-1994, 245 pages)

17. A. PRAX « **EXPLOITATION DES GRANULATS EN SITE
ALLUVIONNAIRES INVENTAIRES DES MOYENS D'EXTRACTION** » (Revue
Industrie Minérale décembre 1985)

18. G. de LA RUPELLE, « **UTILISATION DES ENGINS MOBILES DE
CHARGEMENT ET DE TRANSPORT EN CARRIERES** »
(Revue Industrie Minérale, juillet 1987)

19. BENYOUNES, « **ETUDE GEOTECHNIQUE ET ANALYSE DE LA
STABILITE DES TALUS DANS LA CARRIERE DE CALCAIRE DE
MEFTEH** »
(Magister : ENP Département Génie Minier 1991)

20. MULLER.Y « **AIDE MEMOIRE (MINE T2)** »
(édition Dunod, 245)

21. R. THIARD, « **COUT D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT** »
(Revue Industrie Minérale Juin 1989)

22. GUI-LIN NIE, « **ACCESS 2 PROGRAMMATION** »
(édition SYBEX 1994 , 347 pages)