

CHAPITRE II

ETAPES ESSENTIELLES DE L'EXPLOITATION DES MINES SOUTERRAINES

INTRODUCTION

Si les recherches ont montré l'existence réelle d'un gisement, c'est-à-dire révélé des réserves suffisantes d'un minerai ainsi que les possibilités économiques de son exploitation ; on peut alors créer une entreprise minière et procéder à l'extraction du minerai.

On distingue trois (3) étapes essentielles de l'exploitation souterraine : ouverture (découpage), préparation et exploitation proprement dite (dépilage) du gisement.

L'ouverture consiste à creuser des ouvrages donnant l'accès au gisement à partir du jour. Les travaux préparatoires sont destinés à partager le gisement ouvert en quartiers ou en éléments (étages, blocs, panneaux, etc.).

Le dépilage du minerai comprend plusieurs opérations qui consistent à abattre la substance utile de son massif, à la réduire en morceaux faciles à manipuler, à transporter et à entretenir les vides créés lors de l'exploitation du gisement.

Dans les projets miniers, il est indispensable de déterminer le type et les dimensions des champs miniers, le nombre et l'emplacement des ouvrages d'ouverture, la profondeur de l'étage et/ou les dimensions des panneaux, etc.

1. OUVERTURE DES GISEMENTS MINIERES.

INTRODUCTION

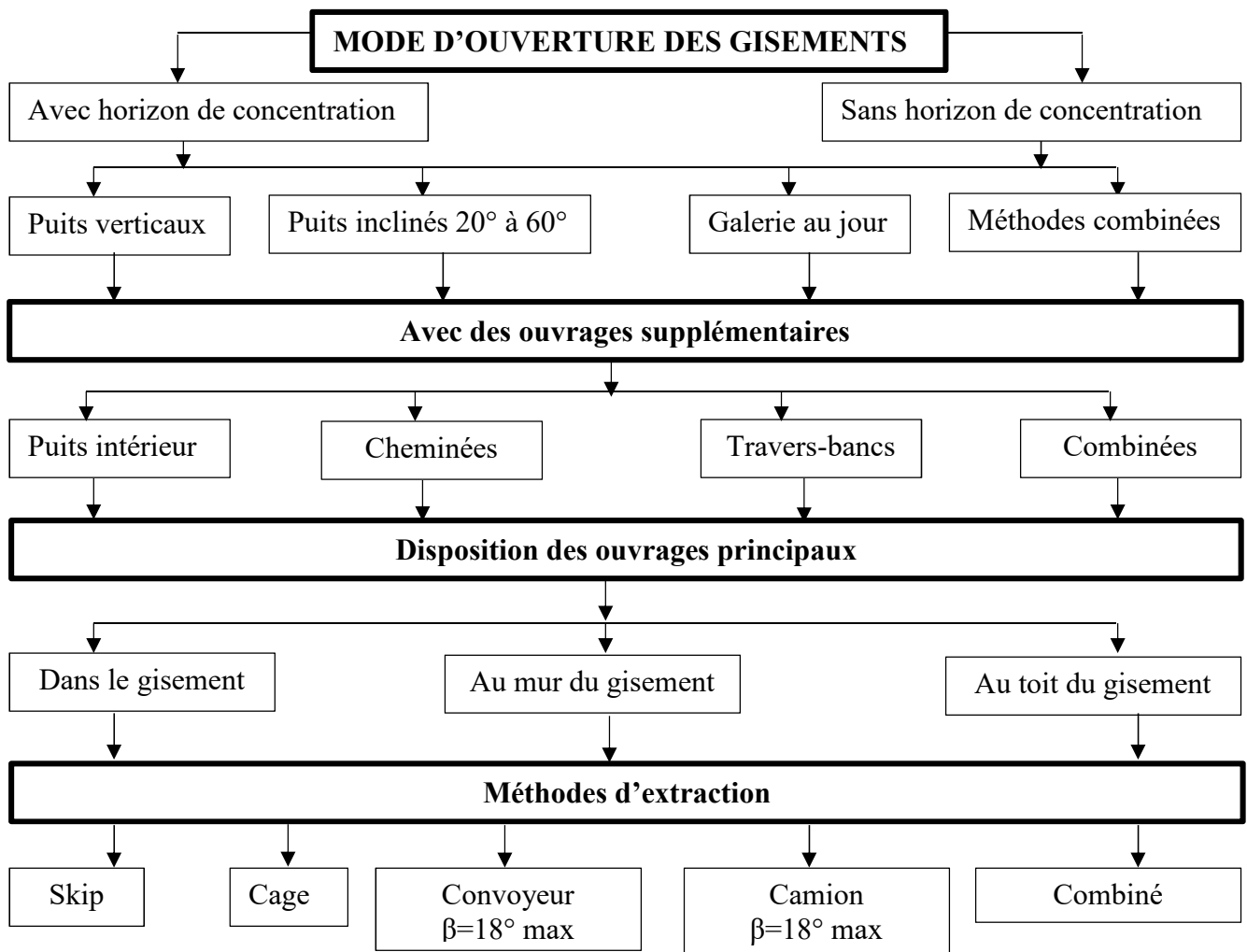
C'est le développement du réseau d'ouvrages donnant accès à un gisement à partir du jour et assurant la possibilité de réaliser le creusement des excavations minières préparatoires, de transport (minerai, roches stériles, matériel, personnel) et d'aérage (entrée et sortie d'air) des travaux miniers. L'ouverture d'un gisement consiste au choix du type, de l'endroit d'emplacement et de la disposition réciproque des excavations principales d'ouverture (puits ou galerie au jour) avec les excavations auxiliaires (travers-banc, descenderies, cheminées, ...) nécessaires à la réalisation de telle ou telle variante.

1.1. CLASSIFICATION DES MODES D'OUVERTURE

Le choix correct de la disposition et de l'ordre de son creusement des ouvrages principaux d'ouverture (d'ossature) est évident pour une meilleure organisation du travail et en même temps pour la détermination des dimensions du champ minier ainsi que pour localiser la recette et le tracé du réseau de transport extérieur.

En général, pour déterminer le mode d'ouverture d'un gisement, il est nécessaire de définir :

- Les types d'ouvrages d'ouverture principaux (puits et/ou galerie au jour) ;
- Le nombre de puits de mine (verticaux ou inclinée) ;
- Les types, le nombre et la destination des excavations auxiliaires (travers-bancs, cheminées, montages, descenderies, etc.). (organigramme).



Organigramme de modes d'ouvertures des gisements

1.2. ANALYSE DES MODES D'OUVERTURE.

1.2.1. OUVERTURE PAR GALERIE AU JOUR

L'ouverture des gisements par creusement et construction d'une galerie au jour, possèdent beaucoup d'avantage par rapport aux autres modes d'ouverture.

Par rapport à la disposition du gisement, la galerie au jour peut être creusée soit, suivant la direction, perpendiculairement ou bien suivant une diagonale à la direction.

Par comparaison à l'ouverture par puits de mine, l'ouverture par galerie au jour, possède les avantages suivants :

- Simplicité du schéma d'ouverture ;
- Simplicité du schéma de transport ;
- Absence des dépenses pour la construction des installations de culbutage, d'extraction, d'exhaure et de chevalement ;
- Possibilité d'emplois du transport (sur pneus, sur rail et par convoyeurs de la taille d'exploitation jusqu'au jour ;
- Cout réduite de creusement et d'entretien (1m de galerie est inférieur de 5 à 6 fois par rapport au puit vertical) ;
- Rapidité de la mise en œuvre de la mine ;
- Par contre, elles ne permettent pas souvent d'atteindre les étages inférieurs du gisement.

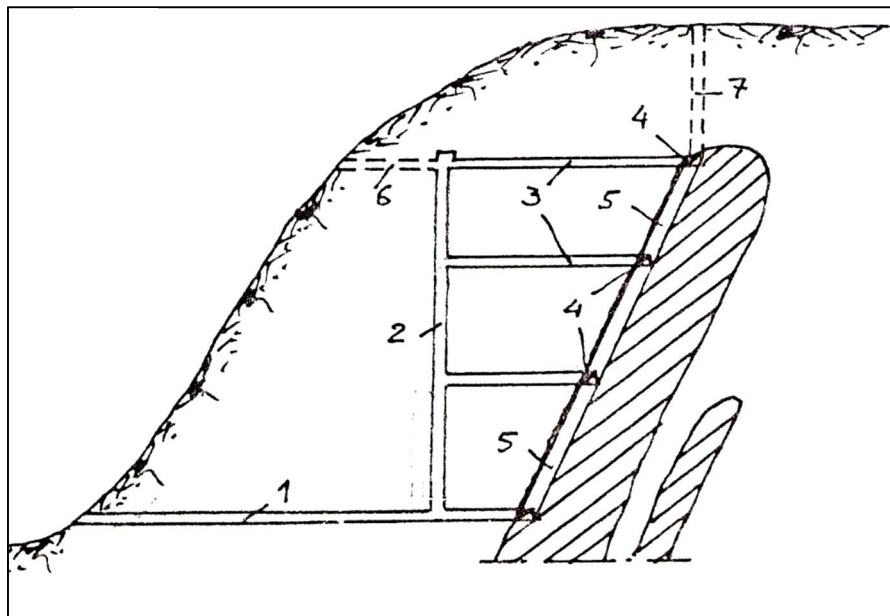


Fig.1. Ouverture par galerie au jour

- 1- galerie au jour de base, 2- cheminée (bure), 3- travers banc, 4- galerie d'étage,
5- descenderie ; 6- galerie au jour de tête ; 7- fouille de ventilation.

1.2.2. OUVERTURE PAR PUITS VERTICAUX ET INCLINÉS.

A. Ouverture par puits vertical :

Ce mode d'ouverture est le plus utiliser. On l'applique pour les gisements plats, inclinés et dressants. Généralement on creuse un puits principal et un ou plusieurs puits auxiliaires destinés à l'aérage, à la circulation du personnel ou au transport de matériel et d'équipements.

- a. Ouverture d'un gite dressant : ($\alpha > 45^\circ$) celle-ci est réaliser par puits et travers banc d'étage (fig.III.2.a).
- b. Ouverture d'un gite horizontal : ($\alpha < 25^\circ$) celle-ci est réaliser par puits et galerie (fig.III.2.b).

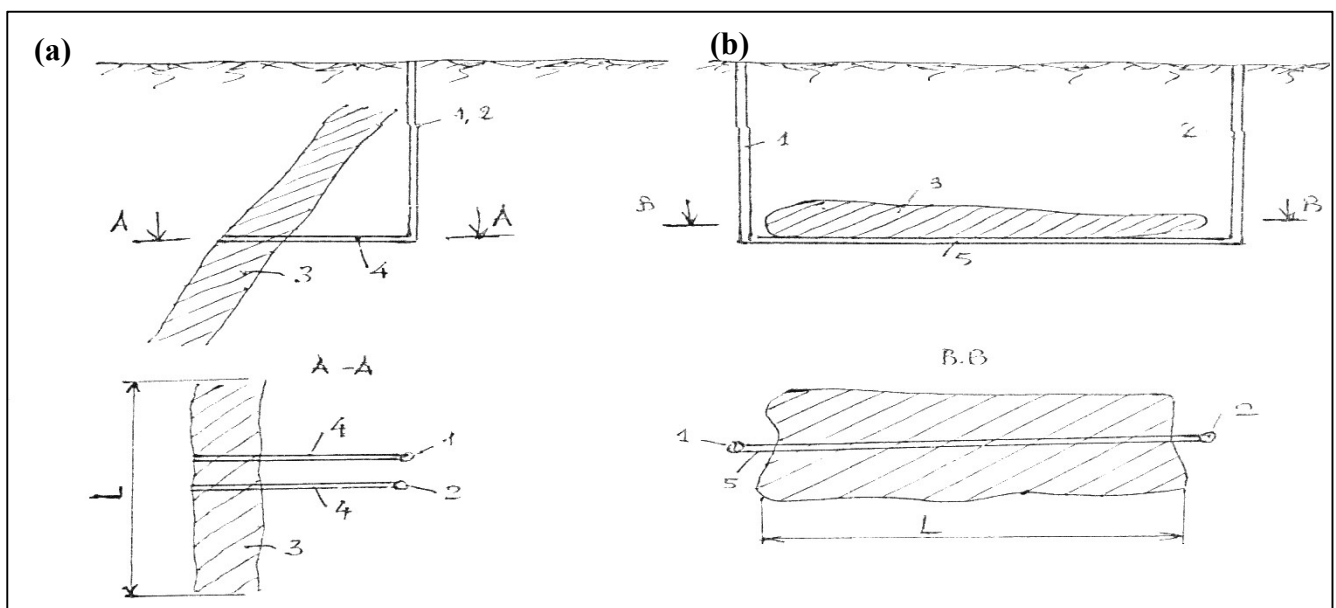


Fig.2. Ouvertures par puits verticale.

1 et 2-puits ; 3- gite ; 4- travers-banc ; 5- galerie.

B. Ouverture par puits incliné :

Les puits inclinés sont effectivement employés pour les gites dont l'angle de **pendage varié entre 18° et 35°** . Suivant la nature du gisement trois schémas d'ouverture par puits inclinés sont possibles.

- 1) Ouverture par puits incliné placé dans le gisement : (voir chapitre II, fig.5) ce schéma d'ouverture peut être appliqué pour les gisements minces, mal prospectés peu profonds.
- 2) Ouverture par puits incliné au rocher, (fig.3.a) ce schéma d'ouverture est appliqué pour les gisements faibles profondeur, mais nécessite des travers bancs.

3) Ouverture par puits incliné creuser dans le mur du gisement : (fig.3.b) ce schéma d'ouverture est appliqué pour les gisements puissants. Cette solution permet d'éviter des pertes considérables de minerai dans les piliers de protection.

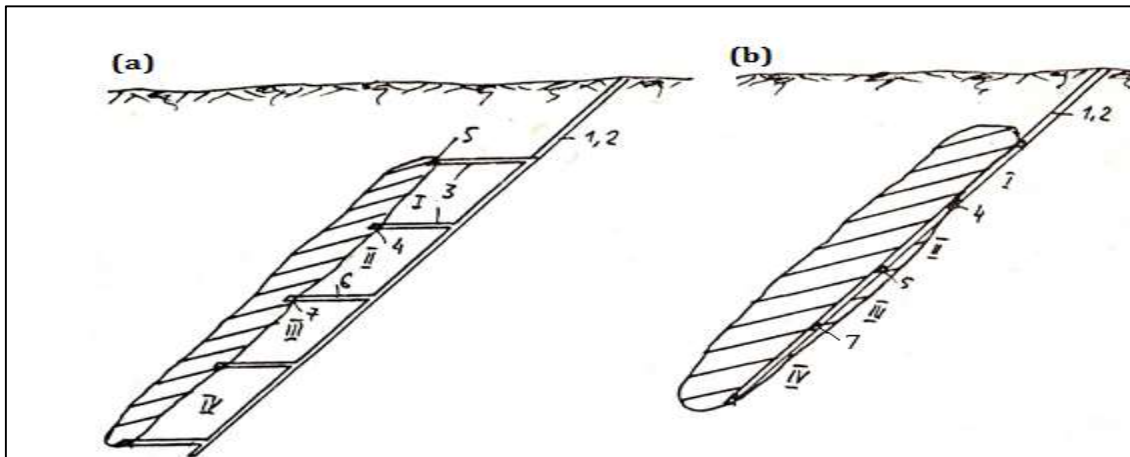


Fig.3. Ouverture par puits incliné

1 et 2- puits inclinés ; 3 et 6- travers-bancs ; 4, 5 et 7- galerie d'étages.

1.2.3. OUVERTURE COMBINÉE.

L'ouverture d'un gisement donné est dite combinée quand l'ouverture, d'une partie de ce dernier est réalisé par un mode d'ouverture, et une ou les autres parties de ce même gisement est réalisée par une autre mode d'ouverture (fig.4).

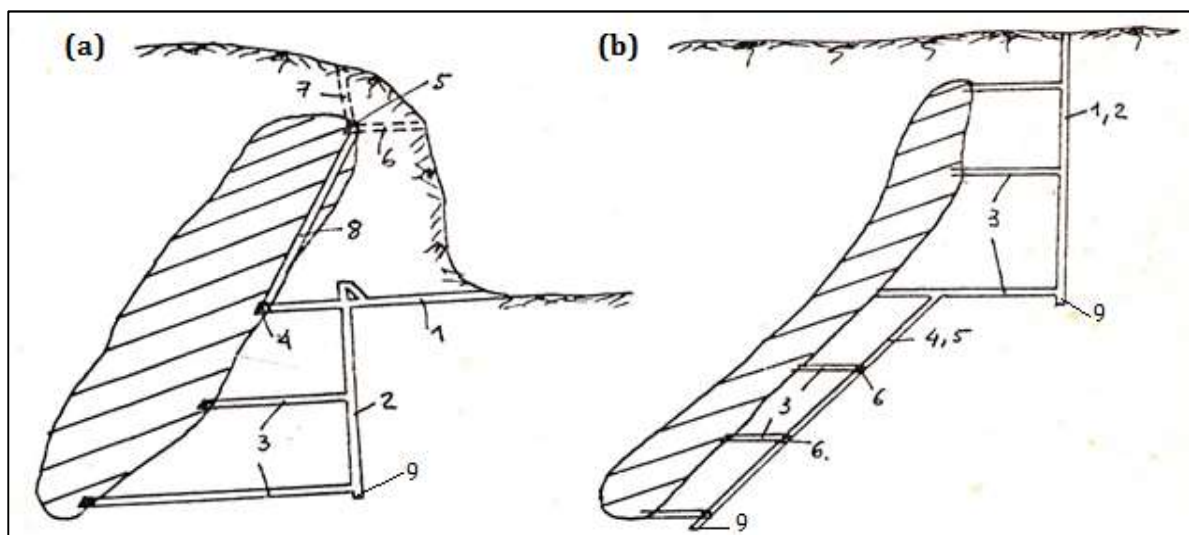


Fig.4. schéma d'ouverture combiné.

(a) Ouverture par galerie au jour et puits intérieur :

1-galerie au jour (au rocher) ; 2- puits verticale intérieur (aveugle) ; 3-travers-banc d'étage ; 4, 5-galerie d'étage ; 6- galerie au jour de ventilation ; 7- fouille d'aérage ; 8- cheminée subverticale ; 9- puisard

(b) Ouverture par puits vertical et incliné :

1, 2- puits verticaux ; 3- travers-banc d'étage ; 4, 5- puits inclinés ; 6- galerie d'étage au rocher

1.3. Disposition du (es) puits auxiliaire (s), et celui capital.

Suivant les règles de sécurité, les puits secondaires (auxiliaires) servent pour les travaux de ventilation (aérage) de la mine, et comme issue de sécurité supplémentaire. En plus de leur destination principale, parfois ils sont utilisés pour la montée, et la descente du matériel, des mineurs, engins miniers, et évacuation des roches stériles dont le but d'activer les travaux préparatoires du champ minier, et des étages.

La **disposition** du (es) puits auxiliaire (s), et celui capital, est déterminé en fonction du schéma d'aérage appliqué. On distingue deux schémas d'aérage : **Centrale, et diagonale.** (fig.5)

Lors de l'application d'un schéma d'aérage **centrale**, le puits capital, et celui auxiliaire sont disposé au centre des champs miniers à une distance de pas moins de 30 m l'un de l'autre (fig.5.a).

Lors de l'application d'un schéma d'aérage **diagonal**, le puits capital est disposé au centre du champ minier, et ceux (celui) auxiliaire aux extrémités du gisement (fig.5.b).

La disposition centrale des puits de mines, possède les avantages suivants :

- Minimum de puits auxiliaire ;
- Concentration de tous les blocs techniques se trouvant dans le carreau de la mine ;
- Rapidité de la liaison du puits capital et celui auxiliaire ;

Parallèlement à ses avantages, la disposition centrale est véhiculée par des inconvénients, par mis lesquels on peut citer :

- Augmentation de la portée des conduites d'aérage, ce qui va dans une certaine mesure engendrer l'augmentation de 30 – 40 % la dépression du ventilateur ;
- Difficulté de l'évacuation des mineurs, en cas d'accidents, à la surface ;

Généralement, dans la pratique minière, l'application d'un schéma d'ouverture par disposition centrale des puits, et rare par rapport à celle diagonale.

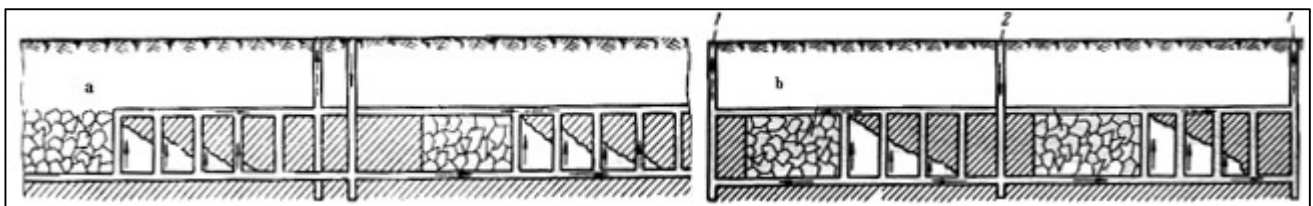


Fig.5. Schémas de disposition du puits capital et celui (ceux) auxiliaire (s)

a – disposition centrale ; b – disposition diagonale

2. Champ minier et sa répartition en étages et/ou panneaux.

Le gisement d'un minerai est exploité par l'intermédiaire d'ouvrages de surface ou souterraine construits d'après un plan bien défini et dont l'ensemble constitue une entreprise minière. La partie du gisement délimitée pour l'exploitation par une mine s'appelle **champ minier** (fig.6). Par exemple, le champ minier du puits N°1 (fig.7) est défini par le contour AELM, du puits N°2 par EBKL et du puits N°3 par MKCD.

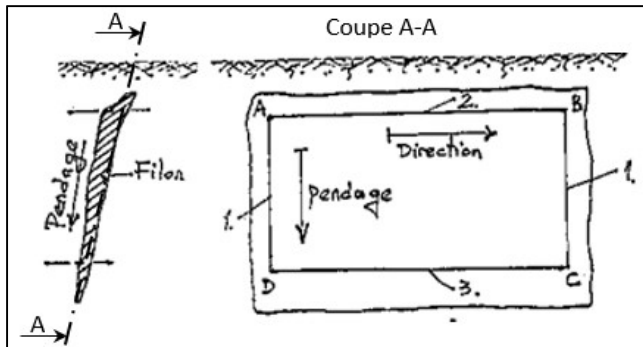


Fig.6. schéma d'un champ minier

- 1- Limites en direction (latérales) ;
- 2- Limites en amont ;
- 3- Limites en aval.

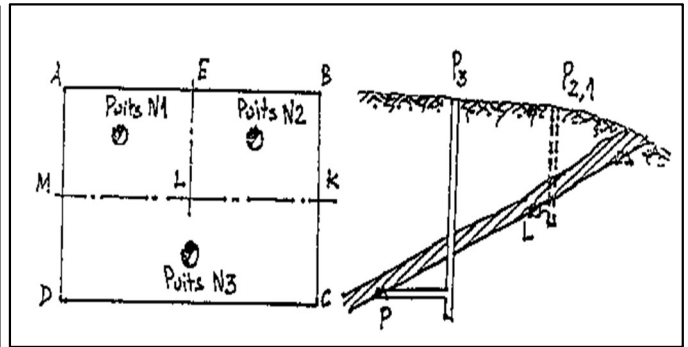


Fig.7. Division d'un champ minier

2.1. Répartition du champ minier en Éléments.

Les dimensions du champ minier sont choisies afin d'assurer à la mine des réserves pour toute sa durée d'existence atteignant plusieurs dizaines d'années. Pour cette raison, il n'est pas nécessaire d'exploiter le champ simultanément sur toute sa longueur suivant la pente du gîte, et on le divise en parties. Dans une couche horizontale, cette division peut être faite de façon différente. Mais comme le minerai se trouve le plus souvent en pente, on divise le champ minier en bandes longitudinales en direction et portant le nom d'*étages*.

Du point de vue de la division du champ minier, on distingue deux types de gisements :

- *Gisements plats ou peu inclinés,*
- *Gisements inclinés et dressants.*

2.1.1 Division du champ minier en panneaux.

Les gisements horizontaux et faiblement inclinés de grande étendue sont généralement divisés en panneaux de dimensions et de dispositions appropriées (fig.8). La largeur d'un panneau varie entre 80 à 300 mètres. Dans les cas particuliers, on peut rencontrer des dimensions plus élevées et bien plus faibles.

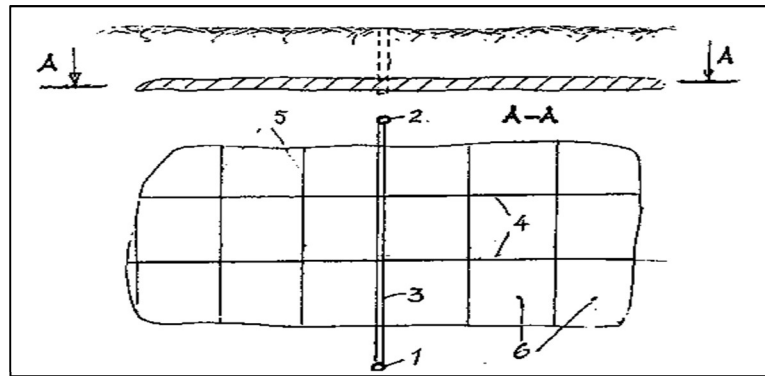


Fig.8. Découpage d'un champ minier en panneaux

1-Puits principale ; 2- Puits auxiliaire ; 3- Galerie principale ; 4-galerie de panneaux ;
5-galerie d'exploitation ; 6-panneaux

2.1.2. Division du champ minier en étages.

Pour des gisements inclinés et dressants, le seul mode valable de division du champ minier est celui en étages. L'étage peut être défini comme une partie du champ limitée en direction par les limites du champ et suivant la ligne de plus grande pente par les galeries principales (Fig.9). La hauteur d'un étage est la distance verticale entre les galeries (ou travers-bancs). La hauteur inclinée d'étage comptée suivant le pendage du gite s'appelle relevée d'un étage, et il est facile d'en déduire à partir de la hauteur verticale et du pendage du gisement. Dans les mines métalliques, la hauteur de l'étage varie de 30 à 100m.

Les principaux facteurs géologiques, miniers et économiques exerçant une influence sur la hauteur d'étage sont :

- Les propriétés mécano-physiques du minerai et des épontes,
- La morphologie et le degré de prospection du gisement,
- La méthode d'exploitation acceptée,
- Le temps nécessaire pour l'ouverture et la préparation de l'étage et son épuisement,
- Les frais d'exploitation à la tonne de minerai à l'intérieur de l'étage,
- Le cout de creusement et d'entretien des ouvrages de la recette, des travers-bancs et de roulage,
- Le cout de levage et d'exhaure,
- La variation du cout des travaux de défilage en fonction de l'augmentation de la hauteur de l'étage, etc.

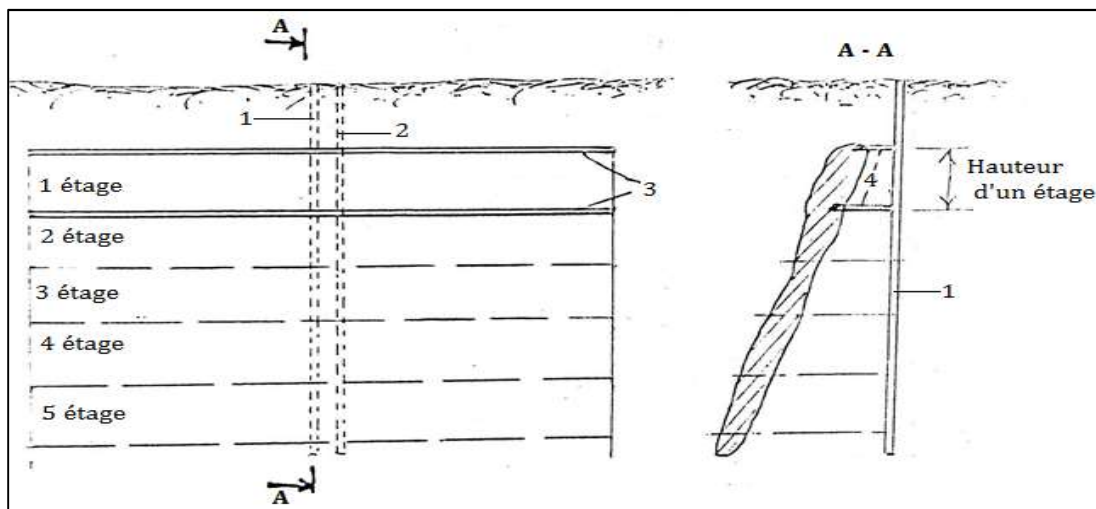


Fig.9. Division d'un champ minier en étages.

1-puits principale, 2-puits auxiliaire, 3- galeries, 4-travers-bancs

2.1.2.1. Division d'un étage en blocs.

En pratique, un étage est réparti en blocs exploités dans un certain ordre (*fig.10*). Le bloc est un volume qui a pour limites :

- Les plans horizontaux inférieur et supérieur de l'étage,
- Les cheminées en direction du gisement,
- Le toit et le mur du gite.

En général, les cheminées sont disposées aux flancs du bloc. Cependant, dans certaines méthodes d'exploitation, il est nécessaire de les creuser au milieu du bloc.

Les valeurs des dimensions du bloc se déterminent par calcul analytique. Ces dimensions dépendent de la méthode d'exploitation, de la puissance du corps de minerai, du mode de déblocage du minerai, etc. la longueur d'un bloc varie de l'ordre de 30 à 100m.

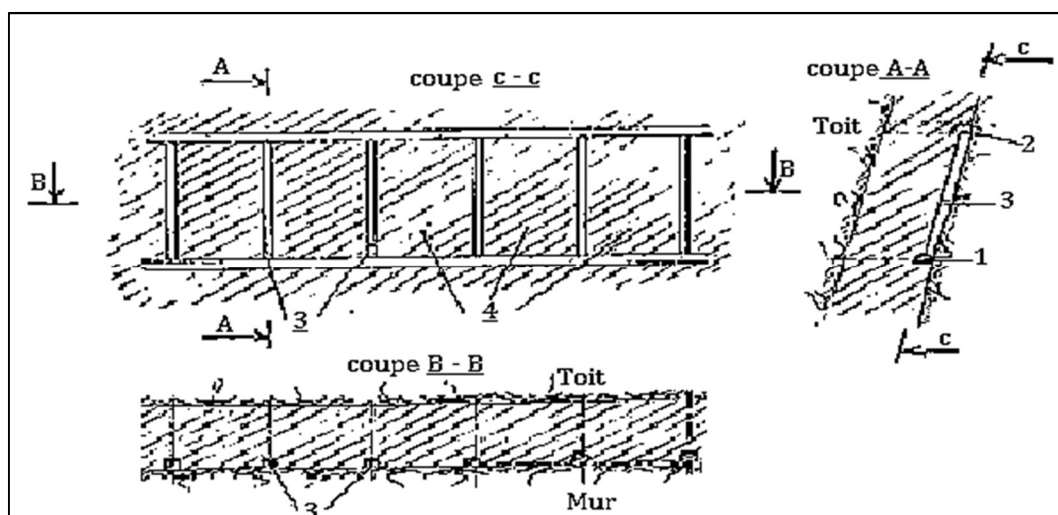


Fig.10. Division d'un étage en blocs.

1-galerie de base, 2-galerie de tête, 3- cheminée, 4-blocs

2.1.2.2. Ordre d'épuisement des étages.

Dans la plupart des cas, les étages sont pris en descendant ce qui permet de réduire les investissements primaires, de faciliter l'ouverture des parties moins profondes du gisement et d'appliquer les méthodes d'exploitations par foudroyage du toit. L'ordre de prise ascendant (de bas en haut) est très rare. Il est appliqué particulièrement en cas de nécessité de drainage préalable (dessèchement) du gisement afin de préparer à l'exploitation.

2.1.2.3. Ordre de prise des blocs.

L'ordre de prise des blocs d'un étage dépend des conditions locales. On distingue l'exploitation des blocs : en **chassant**, en **rabattant**, **combinée** (fig.11).

L'application de *l'exploitation chassant* est rationnelle dans les conditions suivantes :

- Grande étendue du champ minier en direction ;
- Bonne stabilité du minerai et des éponges ce qui réduit le cout d'entretien des excavations de roulage ;
- Disposition de puits d'aérage au flanc du champ minier ce qui admet de liquider la galerie d'aérage au fur et à mesure de l'épuisement de l'étage à partir du puits principal ;
- Et préparation au rocher.

En *exploitation rabattant* les conditions favorables pour son emploi sont les suivantes :

- Faible étendue du champ minier ;
- Mauvaise stabilité du minerai et des roches encaissantes et par conséquent le cout d'entretien des excavations d'étage et de roulage est élevé ;
- Disposition du puit d'aérage au milieu du champ minier ce qui admet d'éteindre la galerie d'aérage au fur et à mesure de l'épuisement d'étage à partir des limites du champ minier ;
- Emplacement cote à cote du puits principal et celui auxiliaire.

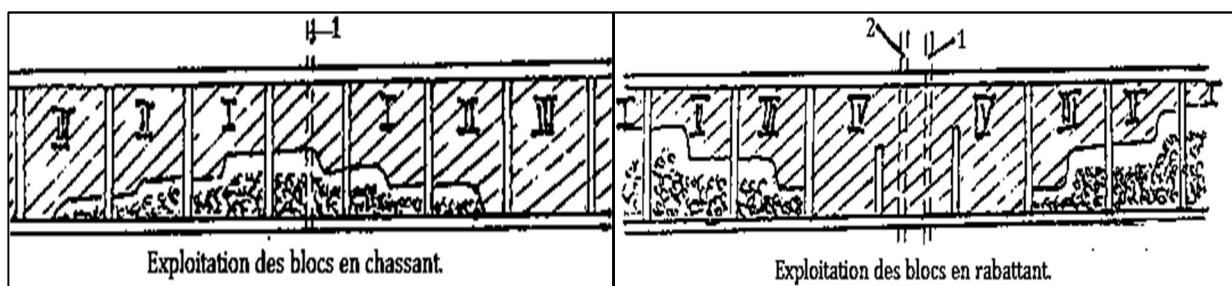


Fig.11. Ordre de prise des blocs.

1- 2-emplacement des puits ; I, II, III, IV- succession de l'attaque des blocs.

Cet ordre assure aussi la sécurité remarquable des travaux miniers. Par contre, il exige un grand volume des travaux préparatoires et une longue mise en service des travaux de défilage dans l'étage.

L'exploitation combinée représente une combinaison des deux modes précédents.

2.1.2.4. Sens de marche de l'exploitation dans un bloc.

Par rapport au pendage, on distingue l'exploitation d'un bloc en montant, en descendant et en direction du gîte (fig.12).

L'exploitation du bloc en montant consiste à attaquer le bloc à partir du niveau de base de l'étage et l'exploitation progresse de plus en plus vers le niveau de tête, et inversement pour le cas d'exploitation du bloc en descendant. Par contre, lors de l'exploitation d'un bloc en direction, l'abattage du minerai se fait sur toute la hauteur du bloc et en direction de gisement.

Les vides créés par l'exploitation seront abandonnés tels quels sont ou foudroyés par les roches du toit ou bien remblayés.

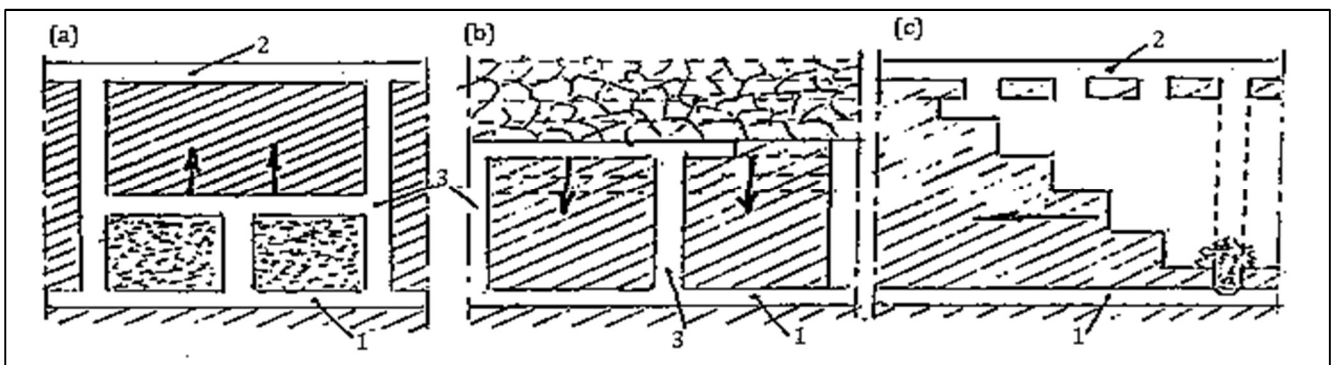


Fig.12. Sens de marche de l'exploitation dans un bloc.

(a)-Exploitation en montant, (b)-Exploitation en descendant, (c)-Exploitation en direction

2.1.3. Prise des filons

Les filons d'un faisceau de gisement sont pris généralement du toit au mur de ces derniers, de façon à ce que l'exploitation de l'un d'eux ne puisse pas sous-caver les autres (fig.13).

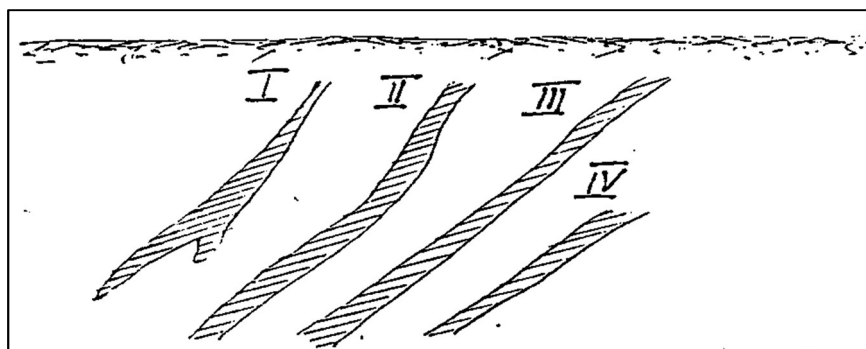


Fig.13. Ordre de prise des filons.

2.3. Production annuelle et durée de vie de la mine.

La production annuelle de la mine influe lourdement sur les indices technico-économique et les principaux éléments de la mine. Souvent, il est nécessaire de déterminer la production de la mine sur la base du plan de développement de l'entreprise minière (mines en activité, reconstruction de la mine, ordre de mise en service des mines, champ d'exploitation du gisement très vaste, etc.)

La production annuelle de la mine dépend des facteurs économiques et dans une large mesure de la nature du gisement et des conditions d'exploitation parmi lesquels nous pouvons citer :

- Les facteurs géologiques (réserves, forme et dimensions du gite, tectonique, hydrogéologie, etc.)
- Les facteurs techniques et miniers (méthode d'exploitation et leurs paramètres, mode d'ouverture et de préparation du gite, ordre de mise en exploitation, nombre d'étages et/ou de panneaux à exploiter simultanément, équipements miniers utilisés, etc.)
- Les facteurs d'organisation (délai de mise en service de la mine, vitesse d'avancement des travaux de creusement des ouvrages, régime de travail de la mine, etc.)

Outre ces facteurs, il faut tenir compte et pour n'importe quelle mine, de la qualité du minerai, de la valeur du produit et du degré de prospection du gisement ainsi que les perspectives géologiques d'extension des réserves.

2.3.1. Calcul de la production annuelle.

a) Cas des gisements inclinés et dressants.

$$P_A = \frac{V \cdot S \cdot \gamma \cdot K_a \cdot K_m \cdot (1 - p)}{(1 - d)} \quad \text{t/an}$$

Ou :

V- vitesse d'avancement annuel de l'exploitation suivant la verticale, en (m/an)

S- surface horizontale du corps de minerai, (m²)

γ- poids volumique du minerai en place, (t/m³)

K_a- coefficient de correction tenant compte du pendage du gite, (tableau n°1)

| α, degrés | 90° | 60° | 45° | 30° |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| K _a | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |

K_m- coefficient de correction tenant compte de la puissance du gite, (tableau n°2)

| m, mètres | ≤5 | 5÷15 | 15÷25 | >25 |
|----------------|------|------|-------|-----|
| K _m | 1,25 | 1,0 | 0,8 | 0,6 |

P et **d**- sont respectivement les coefficients de pertes et de la dilution du minerai.

$$P = P_T / R_{exp} = (R_{exp} - R_r) / R_{exp}$$

$$P = \left(1 - \frac{R_r}{R_{exp}}\right)$$

Ou:

P_T - pertes de minerai absolues en tonnes,

R_{exp} - réserves exploitables en tonnes,

R_r - réserves récupérables en tonnes.

$$R_r = T_v - S, (t)$$

Ou :

T_v - tout-venant (réserves marchandes) en tonnes,

S - quantité de roche stériles mélangé avec le minerai en tonnes.

Alors :

$$P = \left(1 - \frac{T_v - S}{R_{exp}}\right) 100, \quad (\%)$$

$$d = \frac{S}{T_v} \text{ ou } d = \frac{S}{T_v} \times 100, \quad (\%)$$

b) Cas des gisements plats et peu inclinés.

$$P_A = L_m \cdot V \cdot m_v \cdot \gamma \cdot \frac{R_{ex}}{(1 - d)} \quad \text{t/an}$$

Ou :

L_m - longueur moyenne du front des travaux d'exploitation, (m)

V - vitesse de progression des travaux d'exploitation, (m/an)

Sachant que : $S_0 = L_m \cdot V$ - Surface du gite se trouvant en exploitation, (m²), S_0 n'est qu'une partie de la surface totale S du champ minier. Ainsi le rapport

$\frac{S_0}{S} = i$ -indique le coefficient d'utilisation de la surface. (Tableau n°3)

| | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------|
| Surface horizontale S, mille m ² | 5 - 10 | 10 - 20 | 20 - 50 | 50 - 100 | 100 - 200 | 200 - 400 | 400 - 1000 | >1000 |
| Coef. d'utilisation de la surface, « i » | 0.35-0.27 | 0.27-0.23 | 0.23-0.17 | 0.17-0.12 | 0.12-0.09 | 0.09-0.06 | 0.06-0.01 | 0.01 |

m_v -puissance moyenne du gite, m

R_{ex} -coefficient d'extraction du minerai, $R_{ex} = R_r / R_{exp}$, (%)

La somme des coefficients d'extraction R_{ex} et de pertes P est égale à l'unité ou à 100%.

$$R_{ex} + P = 100, (\%)$$

2.3.2. Calcul de la durée de vie de la mine

La pratique nous montre qu'il existe des rapports étroits entre la production annuelle de la mine et sa durée de vie (d'existence) permettant d'assurer un minimum d'investissement et des dépenses d'exploitation.

La durée d'exploitation de la mine est exprimée selon la formule suivante :

$$T_{ex} = \frac{R_{ind} \times R_{ex}}{P_A \times (1 - d)} \quad \text{ans}$$

Ou :

R_{ind}- réserves industrielles, (t)

$$\begin{aligned} R_{ind} &= R_r + P_{exp} = (T_v - S) + P_{exp} \\ &= R_{exp} - P_p \\ &= R_g - (R_{inex} + P_p). \end{aligned}$$

La durée de vie totale de la mine T est exprimée selon la formule suivante :

$$T = T_{ex} + T_1 + T_2, \quad \text{ans.}$$

Ou :

T₁- durée de construction de la mine y compris la période d'obtention de la puissance du projet de l'entreprise (2 – 4 ans)

T₂- durée d'extinction des travaux d'exploitation de la mine (1 – 3 ans).