

---

## Chapitre 2 : Présentation des travaux miniers

---

- Présentation d'une mine
  - terminologie.
  - Travaux d'ouverture, creusement, soutènement, traitement des vides d'exploitation. Creusement de puits. Abatage, chargement, transport, Aérage, exhaure, sécurité minière
- 

### 1. Présentation d'une mine

Les méthodes d'extraction des matériaux utiles à partir de la croûte terrestre se classent en deux principales méthodes l'exploitation à ciel ouvert et les méthodes souterraines.

#### 1.1. Notions de mine et carrière

Les notions de "mines" ou de "carrières" sont juridiques c'est-à-dire définies par le Code Minier et sont indépendantes du fait qu'elles soient à "ciel ouvert" ou souterraines. L'emploi de l'un ou l'autre de ces termes dépend ainsi de la substance extraite. Une mine consiste en l'exploitation (obtention) d'un gisement à minéraux, considérés de grande valeur. Ce terme est utilisé généralement pour : les combustibles (charbon, hydrocarbures, gaz,...), les métaux (fer, cuivre, plomb,...) et quelques autres matières minérales (sel, soufre, fluor...). Pour les produits qui ne figurent pas dans la liste, on parle de carrières, il s'agit notamment des matériaux de construction (sables, argiles, calcaires,...).

#### 1.2. Mine à ciel ouvert

L'exploitation à ciel ouvert (« open pit » en anglais) est la méthode d'extraction d'un minerai depuis une excavation créée en surface après avoir enlevé les matériaux stériles qui le surmontent. C'est la méthode privilégiée pour l'extraction des gisements situés près de la surface. La taille de ces ouvrages varie des petites exploitations (produisant environ 40 000 tonnes de minerai par an) aux gros complexes industriels (produisant plus de 1 million de tonnes de minerai par an), les exploitations les plus importantes pouvant couvrir une superficie de plusieurs kilomètres carrés.

Les composants généraux d'une mine à ciel ouvert sont (Fig. 1) :

- 1- Chantier de la mine à ciel ouvert : c'est l'espace dans lequel s'effectue les travaux de creusement. Il est sous forme de gradins et de plate-formes permettant aux camions

et autres engins de pouvoir descendre au niveau de l'extraction du minerai. Ce minerai, détaché sera chargé et transporté vers l'installation du traitement.

2- Zone de stockage du minerai avant son traitement en usine de concentration (ou de traitement).

3- Zone de stockage de stériles : ce sont les roches qui ne sont économiquement pas intéressantes, contrairement au minerai. Ils sont stockés et seront utilisés dans la construction de routes, dans l'aménagement de remblais, ou seront jetés.

4- Usine de traitement du minerai pour transformer le minerai en produit brut, avant de le transporter aux industriels pour aboutir au produit fini, commercialisable.

5 - Bâtiment administratif pour la gestion de la mine (administration, plannings de surveillance, etc.).

6- Bassin de surveillance des eaux usées : les eaux épurées sont stockées dans ces bassins, avant de tester si elle est bien aux normes réglementaires pour ces opérations.

7 - Évacuation des eaux dans l'environnement via un canal.

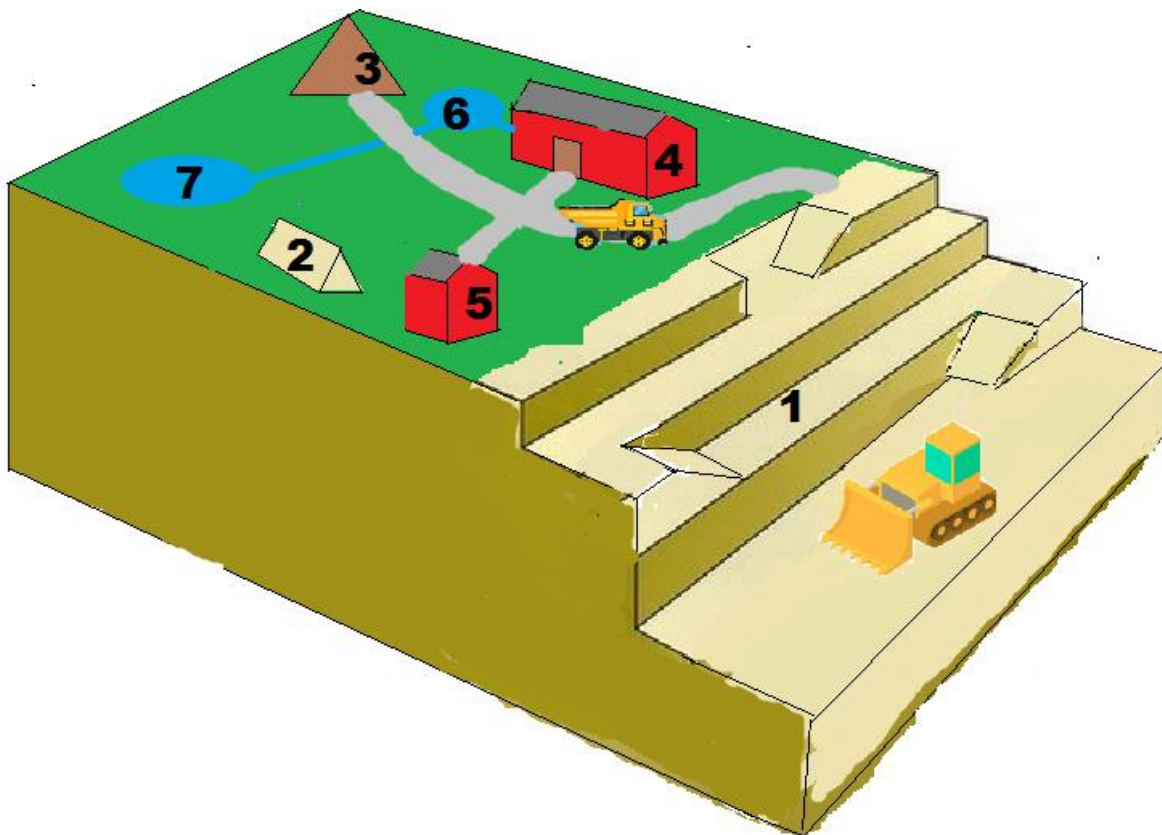


Figure 1. Présentation d'une mine à ciel ouvert

### 1.3. Mine souterraine

Une mine souterraine est un réseau de tunnels verticaux et horizontaux permettant d'atteindre un minerai qui sera remonté à la surface par un puits et dirigé vers le concentrateur.

En plus des installations de surface, les principales parties d'une mine souterraine sont (Fig. 2):

- 1- **une rampe (puits) d'accès** : Un large tunnel en spirale qui communique avec tous les niveaux de la mine. Elle permet aux véhicules d'accéder rapidement aux galeries des différents niveaux.
- 2- **Des galeries** : De longs tunnels qui conduisent au gisement à extraire.
- 3- **Puits d'aération** : Celui-ci sert de puits d'aération pour garantir la ventilation, la filtration ainsi que le contrôle de la température et de la qualité de l'air dans les galeries.

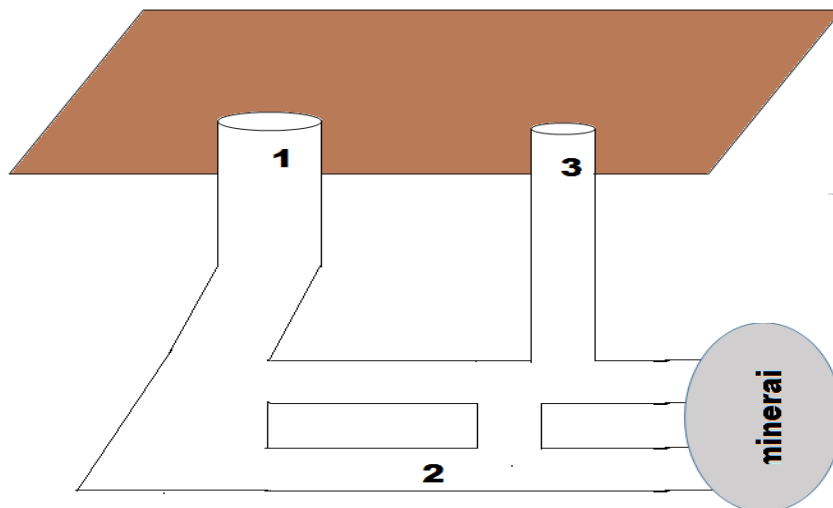


Figure 2. Schéma simplifié d'une mine souterraine

## 2. Terminologie du domaine minier

### 2.1. Termes courants

- **Chevalement** : Construction généralement métallique (bois ou béton) abritant les dispositifs de transport de minerai, matériel et personnel par un puits. Un chevalement comprend notamment, un moteur, des câbles et un tambour d'enroulement.

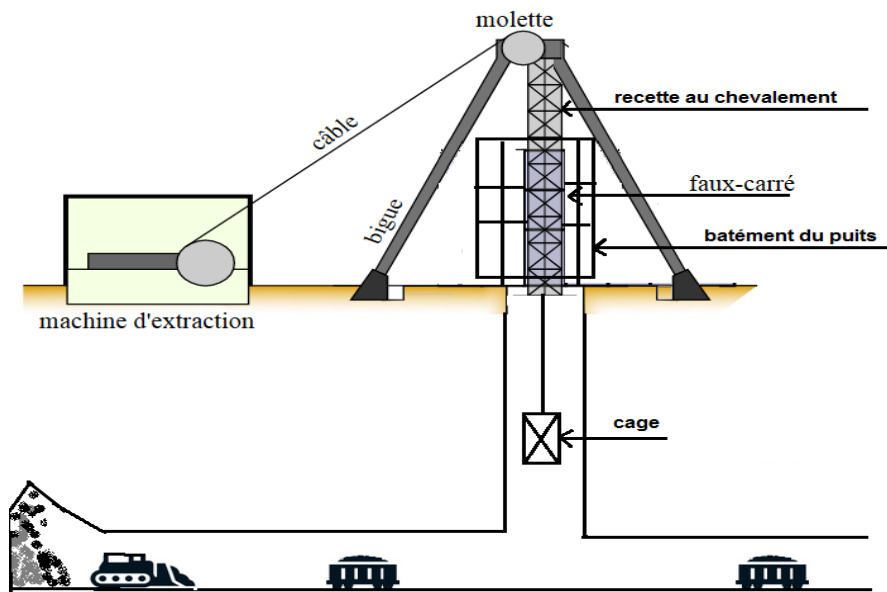


Figure 3. Le Chevalement d'un puits minier

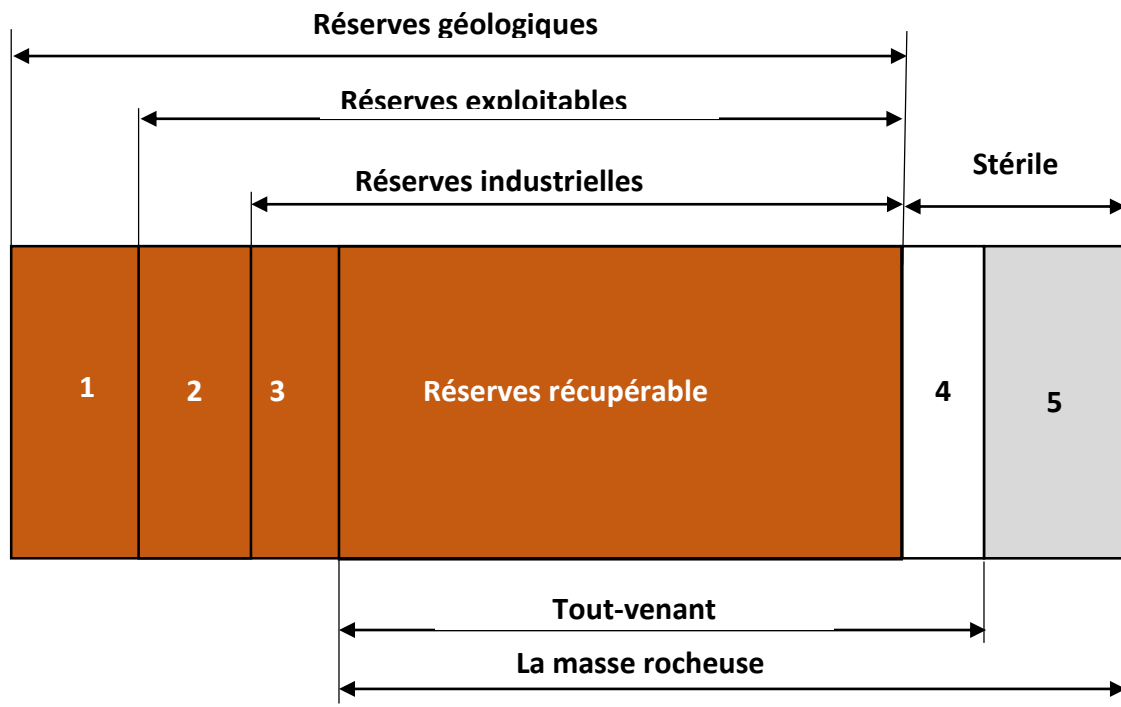
- **Ouvrage minier** : un ouvrage minier correspond au vide formé dans les limites du gisement ayant des dimensions déterminées et permettant la réalisation des travaux d'exploitation. Cet ouvrage peut être à ciel ouvert ou souterrain.
- **Aérage**: Action de faire circuler de l'air dans les galeries et les chantiers d'une exploitation souterraine. L'aérage peut être naturel (différences de pression et de température) ou forcé par des ventilateurs qui créent localement une dépression (aérage aspirant) ou une suppression (aérage soufflant).
- **Gradin** : (Mine à ciel ouvert) Marche ou plancher horizontaux au-dessus desquels des matériaux sont excavés sur un front contigu et sur lesquels il est possible d'effectuer du forage, de l'abattage ou du roulage de matériaux.
- **Terril**: Accumulation par mise en dépôt en surface, des morts-terrains issus d'une exploitation souterraine.
- **Stériles** : Matières ou partie de la couche de minerai ou des épontes non et/ou non valorisable.
- **Exhaure** : Évacuation des eaux d'infiltration hors d'une mine ou d'une carrière, par canalisation et pompage afin d'assurer le dénoyage des travaux en cours et des points bas. Il s'applique pour les mines à ciel ouvert et sous-terraines.

## 2.2. Classification des réserves des minéraux utiles

Les réserves de minéraux utiles d'un gisement se classe en fonction de leur degré d'utilisation dans l'industrie et le degré de confiance de prospection du gisement. On distingue (Fig. 3) :

- **Les réserves géologiques** : correspond aux réserves totales du gisement qui ont été prospectés et identifiés ;
- **Les réserves exploitables** : correspondent à la partie des réserves géologiques qui répondent aux conditions industrielle et technico-économiques pour être exploitées avec profit ;
- **Les réserves inexploitables** : c'est la partie des réserves géologiques qui ne peuvent pas être exploitées actuellement à cause de ses faibles teneur en composant utile, des puissances réduites du gîte, des conditions défavorables de l'exploitation et de traitement ;
- Lors de l'élaboration du projet d'exploitation, une partie des réserves exploitables se laissent en place pour protéger les diverses constructions, cette partie s'appelle **perte en projet** ;
- Le reste des réserves exploitables est dit **réserves industrielles** ;
- Au cours de l'exploitation une partie des réserves industrielles va être abandonnée à cause d'un accident géologique ou sous forme de piliers de protection : ces pertes s'appellent **perte d'exploitation**.
- **Les réserves récupérables** représentent la différence entre les réserves industrielles et les pertes d'exploitation.

- Au cours de l'exploitation, on extrait non seulement le minerai mais aussi des roches stériles pour créer des vides et une autre partie se mélange involontairement avec le minerai lors de son abattage. Le minerai exploité avec la totalité du stérile forme la **masse rocheuse** extraite, alors que le minerai extrait et mélangé avec une partie du stérile forme **le tout-venant**.

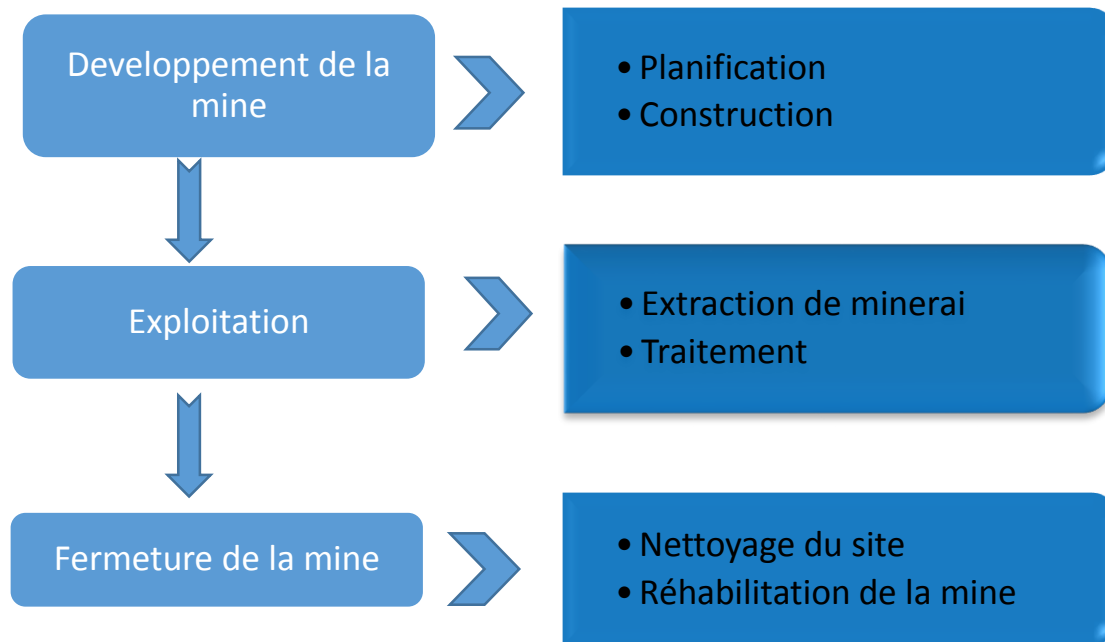


**Figure 3. Classification des réserves : 1 - réserves inexploitable; 2 - pertes de minerai en 3. Planification et construction de la mine ; 4 – stérile extrait en mélange avec le minerai ; 5- stérile extrait séparément du minerai**

### 3. Travaux d'exploitation minière

Ce sont l'ensemble des travaux qu'il faut réaliser pour exploiter un matériau utile à partir de la croûte terrestre par création d'un ouvrage minier souterrain ou à ciel ouvert. Ces travaux se décomposent en 3 étapes :

- le développement de la mine (planification et construction) ;
- l'exploitation minière à proprement parler (extraction du minerai, son traitement) ;
- enfin, la fermeture et la réhabilitation de la mine.



**Figure 2. Processus des travaux miniers**

Les travaux d'extraction d'un minerai comprennent généralement les travaux de préparation de terrain, abatage, chargement et transport jusqu'à la première unité de traitement.

### **3.1. Planification**

La planification prévoit les différentes installations utiles à l'extraction et au traitement du minerai, les infrastructures associées, tout en respectant l'aspect environnemental et en déterminant le rythme de production et la progression maximale de la mine.

Les aspects environnemental et social ont une part très importante dans cette étape et sont pris très au sérieux. En effet, un plan environnemental et social est mis en place pour prévoir et anticiper les différents impacts pouvant survenir au cours de l'exploitation, d'assurer la sécurité du personnel et de l'environnement. Il va également permettre de contrôler le respect des normes de l'étude de faisabilité et d'assurer une intégrité et une insertion sociale optimale (création et maintien de l'emploi par exemple).

### **3.2. Construction**

La mise en place d'un chantier minier a pour but d'avoir un accès direct à la zone minéralisée. Sa construction est accompagnée par le montage des installations de traitement du minerai, des aires de gestion des résidus miniers et de l'infrastructure du site. Des travaux préparatoires du site sont souvent nécessaires: il faut déboiser et décaper le mort-terrain, en préparation de la construction des diverses installations du site.

### 3.3. Construction de l'infrastructure de la mine

Au cours de la phase de construction, des installations et des services associés à la mine sont mis en place. En fonction de l'ampleur de la zone d'exploitation, l'emplacement et les procédés prévus pour l'extraction et le traitement du minerai, l'infrastructure peut inclure les éléments suivants :

- des installations de transport : qui comprend les voies d'accès au site, les routes de chantier et, dans certains cas, une piste d'atterrissage, une voie ferrée ou des installations portuaires ;
- des installations de traitement du minerai ;
- des installations de gestion des eaux et de traitement des eaux usées ;
- une infrastructure énergétique, y compris un réseau de distribution d'électricité et une centrale électrique ;
- des ateliers, des bureaux, des entrepôts et des logements ;
- des installations d'approvisionnement en carburant et d'entreposage des carburants;
- des garages et des installations d'entretien des véhicules ;
- des installations d'entreposage des explosifs ;
- un approvisionnement en eau et un système de traitement et de distribution de l'eau potable ;
- des installations de gestion des déchets : digue à résidus; bassin de résidus, etc.

### 3.4. Établissement des chantiers miniers

Deux types de mines peuvent être utilisées pour l'exploitation des substances utiles de la croûte terrestre: les mines souterraines et la mines à ciel ouvert (ou open-pit). Pour l'extraction du minerai près de la surface, on privilège les mines à ciel ouvert. Si la zone minéralisée est de forme irrégulière ou située en profondeur, on l'exploite généralement par des méthodes souterraines.



## **4. Travaux spécifique à l'exploitation souterraine**

### **4.1. Creusement de puits (le fonçage des puits)**

L'accès aux mines souterraines profondes nécessite le creusement un puits (fonçage d'un puits) qui est une cheminée verticale dans le massif rocheux à partir de la surface. Il exige un matériel spécial (chevalement de fonçage, treuil et une cage de descente du personnel et du matériel, cuffat d'extraction du minerai etc.) et une main-d'œuvre expérimentée.

Il existe plusieurs procédés de creusement. Le procédé classique est surtout appliqué quand les puits sont creusés dans de la roche. Dans ce cas, l'abattage se fait à l'explosif. L'enlèvement des déblais sont chargés dans un cuffat tracté et remonté en surface au moyen d'un treuil.

### **4.2. Travaux de soutènement**

Lors de l'exploitation, les mineurs sont directement exposés à des terrains potentiellement instables au voisinage des fronts de taille, ce qui nécessite des travaux de soutènement afin d'assurer la sécurité des excavations pratiquées dans les roches et dans le sol. Les risques les plus connus sont l'effondrement, chute de pierre, glissements de terrains. La consolidation des strates et la stabilisation des talus s'appliquent autant aux mines souterraines qu'aux mines à ciel ouvert. C'est pour cela que dans une mine souterraine il a été important de définir les techniques ou les méthodes de stabilisations en vue de stabiliser les parois de celle-ci et cela dans le but de rendre la vie sauve.

#### **4.2.1. Consolidation de cavités**

- **Renforcement par piliers**

Le renforcement par piliers est surtout utilisé lorsque l'on souhaite conserver l'usage d'une cavité. Il existe deux types de piliers : les piliers formés par le minerai qu'on laisse on place lors de l'exploitation, et des piliers qui combinent généralement entre le béton projeté et le boulonnage. Le principe est de transmettre le poids des terrains sous-jacents et des surcharges éventuelles au plancher de la carrière. Le nombre total de piliers est fonction de la charge qu'ils ont à supporter. Les piliers de renforcement doivent représenter au minimum 20% de la surface de la construction projetée, de laquelle on peut déduire les piliers tournés existants.

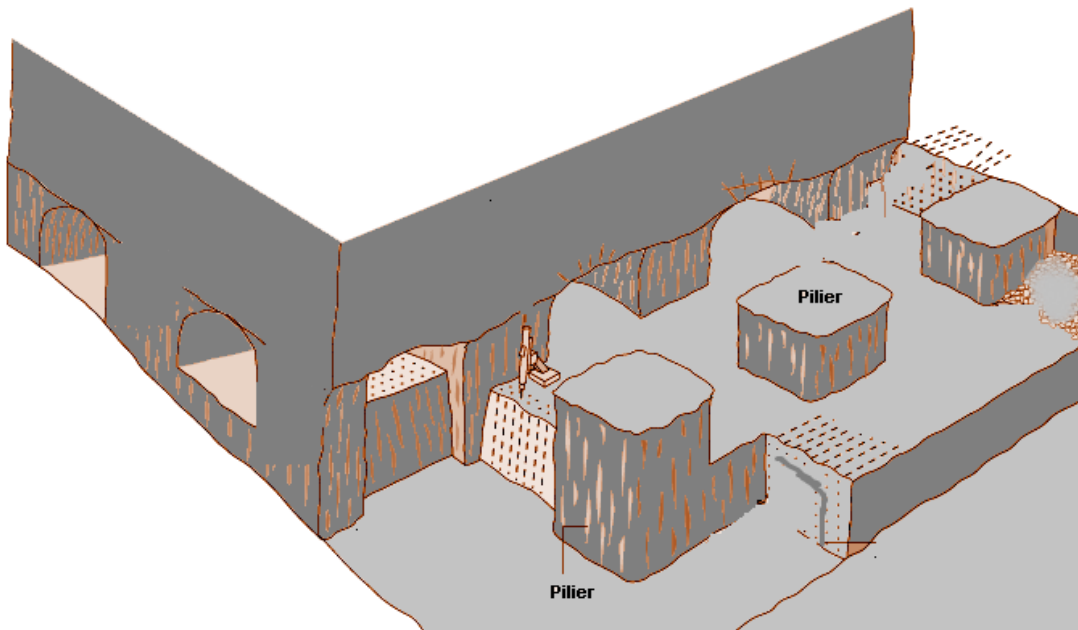


Figure 4. Piliers de soutènement

- **Boulonnage du toit**

Le principe de cette technique est d'armer et de rendre cohérent la masse rocheuse en ciel pour la rendre capable de reporter le poids des roches sur les piliers ou sur les flancs des galeries. C'est notamment le cas d'un toit lié en bancs horizontaux. On utilise des boulons métalliques ou des boulons en fibre de verre.

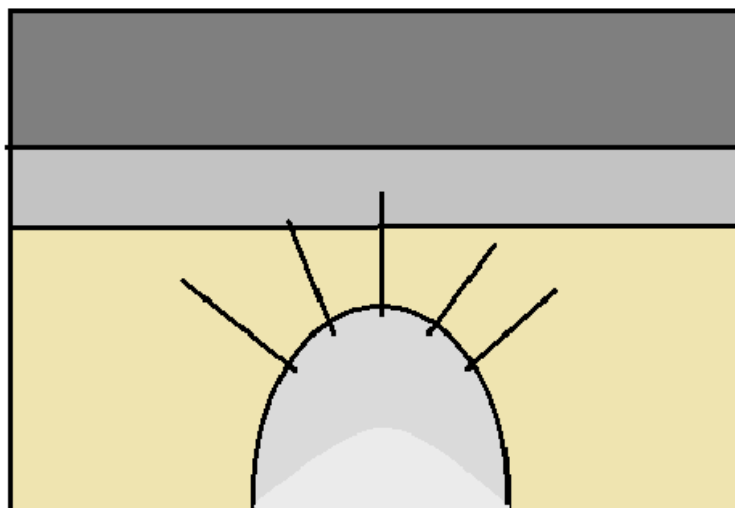


Figure 5. Principe de boulonnage du toit

### **4.3. L'aérage de mines souterraines**

L'air dans les mines souterraines devient de plus en plus pollué avec moins d'oxygène, ce qui nécessite de fournir une quantité d'air fraîche suffisante à tous les chantiers souterrains et de diluer à un niveau acceptable les polluants qui ne peuvent être éliminés autrement. Si la profondeur d'un chantier rend sa température trop élevée, on a recours à des systèmes de refroidissement mécaniques pour renforcer les effets bénéfiques de l'aérage.

### **4.4. Traitement des vides d'exploitation**

Les travaux miniers créent des grands vides qu'il faut traiter au cours ou après la fin des travaux d'exploitation. Dans le cas des mines souterraines, le remblayage (traitement de vide) constitue un moyen de soutènement supplémentaire important; les remblais peuvent être constitués de roches stériles, de sable ou de résidus de broyage et d'un agent de cimentation; ils sont utilisés pour combler les vides créés par l'abattage. Parmi ses nombreuses fonctions, le remblayage :

- conserve au massif rocheux sa stabilité intrinsèque, ce qui, d'une part, garantit la sécurité des mineurs et, d'autre part, autorise une meilleure exploitation du gisement.
- contribue à empêcher les éboulements à grande échelle,
- permet le report des contraintes sur le massif rocheux, contribue à réduire l'affaissement en surface.

## **5. Exploitation de la mine**

La phase d'exploitation de la mine désigne la période d'extraction du minerai pour le transformer en produit marchand. À certains endroits, la phase d'exploitation de la mine peut se poursuivre sans interruption durant une période variant de plusieurs années à quelques décennies, tandis qu'à d'autres, elle peut comprendre des périodes d'inactivité plus ou moins longues, selon l'évolution des prix des métaux.

### **5.1. Abattage et tir**

L'abattage est Déconsolidation du minerai en place dans un chantier d'une exploitation souterraine pour être acheminé vers les stations de traitement de minerai. L'abattage peut

être manuel (pic), mécanique (scie, haveuse, mineur continu, etc.), hydraulique (jet d'eau sous pression) ou résulter d'un tir (explosif).

## 5.2. Chargement et transport

Dans les mines et les carrières le chargement et le transport représentent les postes clé dans le prix de revient des matériaux. Le choix du matériel de chargement est fondamental puisque ce sera lui qu'assurera la production.

Avant de déterminer le meilleur matériel de chargement il est important d'analyser :

- Les différentes méthodes de chargement, pour vérifier le choix le plus judicieux.
- L'équilibre entre le matériel de chargement, les matériaux de transport et la production du concasseur afin de déterminer avec soin la taille de chacun des matériaux.
- L'optimisation de circuit de chargement et de transport afin d'être sûr que chaque matériel est bien utilisé.

## 6. La sécurité minière

Les travaux d'exploitation minière présentent des risques potentiels de désordres en surface pouvant affecter la sécurité des personnes et des installations. Ces travaux peuvent produire :

- des phénomènes de surface (glissements de terrain, chute de blocs, effondrement, affaissement, fontis, etc.) se font sentir à plus ou moins long terme en fonction de la taille des cavités, de leur profondeur, de la nature et de la qualité du sol.
- Des problèmes liés aux remontées de nappes, aux pollutions, aux émanations de gaz et émissions de rayonnement peuvent également se manifester
- Les risques pour les mineurs, liés à l'exploitation elle-même tels que les effondrements imputables à une erreur technique, les explosions et les feux et incendies résultant d'une accumulation de méthane, ou à la présence de poussières de charbon.

Afin d'éviter ces risques des exigences de sécurités et une contrôle périodique sont nécessaires. Des études géophysiques et géochimiques s'effectuent pour :

- déterminer les zones d'affaissement potentiel différé (ZAPD) selon des cartes pour le classement des zones présentant une vulnérabilité de surface ;

- Le plan de prévention des risques miniers (PPRM) identifié les nuisances ou les risques susceptibles de perdurer à long terme, en intégrant les mesures de mise en sécurité prises par l'exploitant lors de la procédure d'arrêt des travaux.

**6.1. Cas des glissements de terrains :** sont les plus fréquents lors des travaux d'exploitation qui est souvent, dû à une modification du régime d'écoulement de la nappe. Les procédés de stabilisation des glissements des terrains sont peu nombreux, mais on doit toujours envisager les moyens suivants, par ordre d'importance :

- Le drainage par :
  - tranchées superficielles suivant la ligne de plus grande pente,
  - drainage profond par création d'un système de puits et de pompage.
  - à long terme : plantation des végétations.
- les terrassements par :
  - chargement du pied,
  - déchargement de la tête;

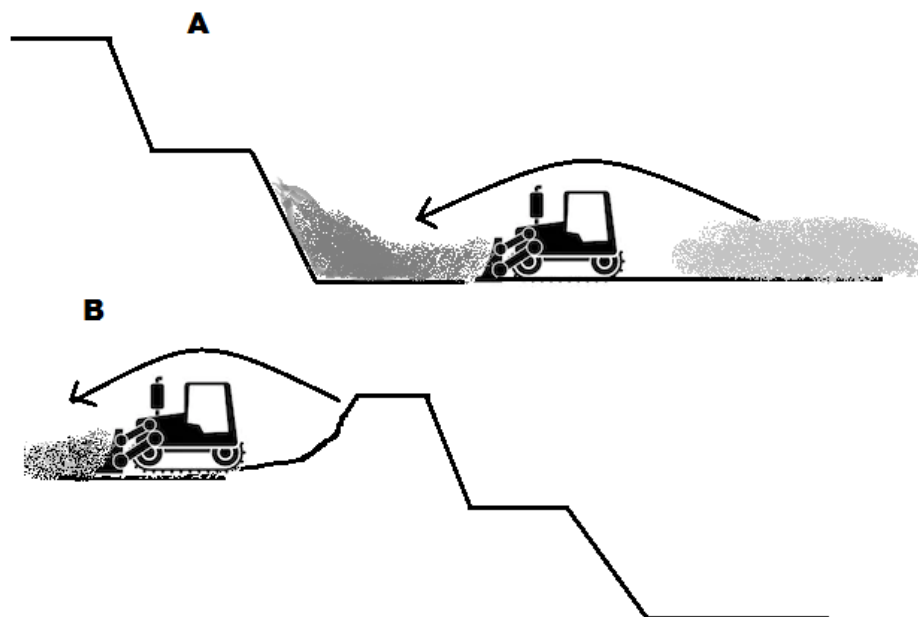


Figure 6. Principe de terrassements par chargement du pied (A), déchargement de la tête(B).

- Les murs des soutènements;
- les encrages.

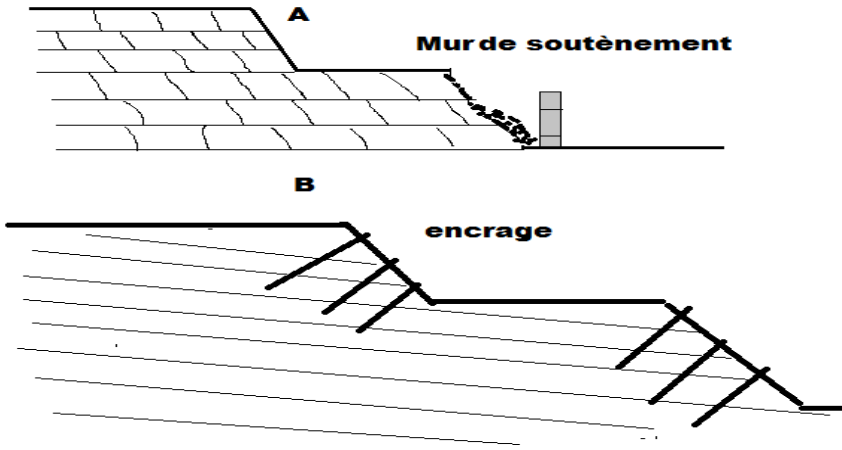


Figure 7. Stabilisation par mur de soutènement et encrage