

EXPLOITATION A CIEL OUVERT (MCO)

Accueil du module « Exploitation des Mines à Ciel Ouvert »



L'exploitation à ciel ouvert et ses trois principales opérations et, par conséquent également, les principaux problèmes (l'abattage, le chargement et le transport) participent, ainsi que les autres fonctions de la productique, à l'obtention du meilleur compromis "Technique, Technologique, Organisationnelle".

De par l'étendue de son action dans l'industrie extractive, l'exploitation à ciel ouvert a un rôle essentiel à jouer pour améliorer le rendement du travail dans les entreprises minières et représente environ 80% de l'industrie minière. La MCO a également le potentiel de fournir un environnement de travail plus sûr et de meilleure qualité que le fonctionnement en souterrain et ceux-ci à travers :

1. Maîtrise des processus de production dans les carrières ;
2. Détermination des méthodes pour l'exploitation d'un gisement d'une forme absolument quelconque ;
3. Algorithmatisation des différentes opérations ;
4. Détermination et affectation de la mécanisation pour l'ensemble des gradins ;
5. Détermination des paramètres optimaux, ce qui facilite la rationalisation des travaux miniers et le choix des équipements ;
6. Argumentation des normes de la technologie permettant de comparer une multitude de variantes possibles dans les conditions réelles.

Ce que vous devez savoir avant d'aborder ce module :

Prérequis théorique en éléments d'exploitation, mais une connaissance générale de la problématique de la carrière est souhaitée.

Ce qui vous est proposé :

L'initiation aux techniques des travaux de la carrière et le type des gisements exploités par mine à ciel ouvert, basé sur quelques indices jouant un rôle important pour les choix des paramètres principaux de la carrière. Parmi ces indices, on peut citer :

- Le relief du terrain dans lequel se trouve le gisement qui prédétermine **le mode d'ouverture, le type de transport, etc....**
- La forme du gîte en plan ainsi que la pente du relief naturel prédéterminant **le sens de progression des travaux miniers, la méthode d'exploitation, la forme de tracés des ouvrages, etc.....**
- L'angle de pendage du gîte qui détermine **la productivité de la carrière, le nombre de bords en activité (travail), l'ordre des travaux miniers, etc....**
- Le nombre de corps minéralisés et leurs formes prédéterminant **les pertes et dilutions du minerai lors de l'exploitation, le rendement des équipements, l'ordre des travaux préparatoires ainsi que les paramètres principaux de l'exploitation.**

Ce que vous allez apprendre dans ce module :

- une introduction à l'exploitation à ciel ouvert, et la définition d'autres concepts qui l'entourent ;
- les différents paramètres fondamentaux de la carrière qui tiennent compte de la particularité de l'exploitation à ciel ouvert ;
- les techniques mieux adaptées aux variantes de méthodes dans une exploitation à ciel ouvert ;
- les différents types de méthodes ainsi que leurs particularités dans le domaine d'exploitation à ciel ;
- les différents rapports de découverte ;
- L'influence de la technologie et de la mécanisation ;
- L'influence de l'organisation des travaux ;
- Les divers paramètres d'un gradin et le choix des équipements plus performants et sophistiqués.
- Etc.
- La dernière partie brosse l'étude de cas, à savoir :
 - Description succincte des découvertes Nigérienne
 - Application et utilisation des logiciels miniers.

Chapitre 1 : Généralités sur les exploitations minières à ciel ouvert

1.1. Essences des travaux miniers à ciel ouvert

Les travaux miniers à ciel ouvert sont l'ensemble des travaux, dont les processus de la production minière, nécessaires à l'extraction des minéraux utiles du sous-sol se réalisent à la surface terrestre. Lors de la réalisation de ses travaux se forment les ouvrages miniers à ciel ouvert qui aboutissent directement au jour.

Sous **ouvrage minier** : on comprend le vide formé dans les limites du tout le gisement (**gîte ou partie de gîte valorisable par une exploitation ; et comprend généralement des zones minéralisées et des zones stériles**) ou d'une partie de celui-ci, ayant des dimensions nécessaires et créant la possibilité d'une production planifiée des travaux miniers à ciel ouvert.

L'ensemble des ouvrages miniers, servant pour l'exploitation des gisements à ciel ouvert est effectué par une entreprise minière à caractère autonome s'appelle carrière.

On distingue **les travaux de découverte** et **les travaux d'extraction** (appelé tranche minière)

- **Les travaux de découverte** comprennent l'ensemble des processus du dégagement et du déplacement des roches stériles couvrant ou bien encaissant les minéraux utiles du sous-sol.

NB : le volume des travaux de découverte, d'habitude, dépasse celui de l'extraction en plusieurs fois.

La présence des masses énormes des roches couvrantes et encaissantes est une particularité principale technologique et économique des travaux miniers à ciel ouvert.

- **Les travaux d'extraction** (TM) consistent en abattage (enlèvement) des roches (minerai plus stérile) du massif vierge ou préalablement ameubli et leur chargement dans les engins de transport (chargeuses, scrapers et d'autres engins).

NB : dans certains cas, on déplace les roches directement au terril. Pour leurs exécutions, on utilise l'abattage à l'explosif et/ou mécanique et différent type d'engins (excavateurs par exemple)

Les avantages principaux des travaux à ciel ouvert en comparaison avec ceux des souterrains sont :

- Emploi des engins plus puissants avec rendement supérieur, ce qui augmente les indices technico-économiques des entreprises à ciel ouvert : le rendement de travail en carrières est plus grand ; le prix de revient des minéraux utiles extraits est plus petit ;
- Cadences d'accroissement du rendement de travail et abaissement du prix de revient ;
- Pertes et dilution des minéraux utiles minimales, les conditions pour l'extraction sélective sont meilleures (**voir le chapitre : calcul des pertes et salissage des minerai**) ;
- Délais de construction de la carrière et dépenses spécifiques d'installation sont plus petites comparativement aux constructions des mines du même rendement ;
- En cas de nécessité, facilité d'augmenter la capacité de production de la carrière que celle de la mine ;
- Meilleures conditions de mécanisation complexe et d'automatisation des processus ;
- Meilleures conditions de travail et de sécurité pour le personnel (**voir le chapitre : hygiène et sécurité dans les mines et carrières**).

Les inconvénients des travaux miniers à ciel ouvert sont :

- Nécessité du dégagement, du transport et de la mise à terril de grands volumes des roches stériles (**voir le chapitre : techniques de mise à terril**) ;
NB : la mise à terril consiste en réception et emplacement des roches stériles ainsi que le stockage prolongé des minéraux utiles sur les surfaces spécialement destinées pour ce but. Le taux de dépenses de la mise à terril compose de 5 à 20% des frais totaux. La mise à terril peut être effectuée par des engins spéciaux et par les moyens utilisés pour les autres processus de la production minière, à savoir : pelles mécaniques, draglines, roue-pelles, bulldozers, scrapers, chargeuses, etc.
- Besoin des grandes surfaces pour la mise à terril et les ouvrages miniers (**voir le chapitre : environnement minier**).

Résumé :

Les avantages des travaux miniers à ciel ouvert prédominent et à présent, ce mode est plus efficace et on l'utilise largement lors de l'extraction des minéraux utiles. La condition principale pour le choix du mode d'extraction des minéraux utiles à ciel est les meilleurs indices technicoéconomiques en comparaison avec le mode souterrain.

1.2. Schéma général d'une mine à ciel ouvert

Les mines exploitent un gisement, qui est ou n'est pas d'origine sédimentaire. Dans ce dernier cas, la substance à exploiter peut se trouver sous des formes très diverses : filons, amas, lentilles, colonnes, etc.

Filon : gîte dont l'une des dimensions est faible par rapport aux autres et qui recoupe les terrains encaissants. Il est en général compris entre deux surfaces sensiblement parallèles.

Amas : gîte de forme quelconque dont toutes les dimensions sont du même ordre de grandeur.

Lentille : amas aplati

Colonne : amas dont la dimension verticale prédomine largement sur les deux autres.

Mais, si le gisement est sédimentaire, la substance se trouve toujours en couche, limitée de façon plus ou moins nette par des bancs rocheux, parallèles, qui sont baptisés « **toit** » au-dessus de la couche, « **mur** » en dessous.

Une couche est caractérisée par :

- Son ouverture, distance entre le toit et le mur,
- Sa pente, angle de la ligne de plus grande pente avec l'horizontale

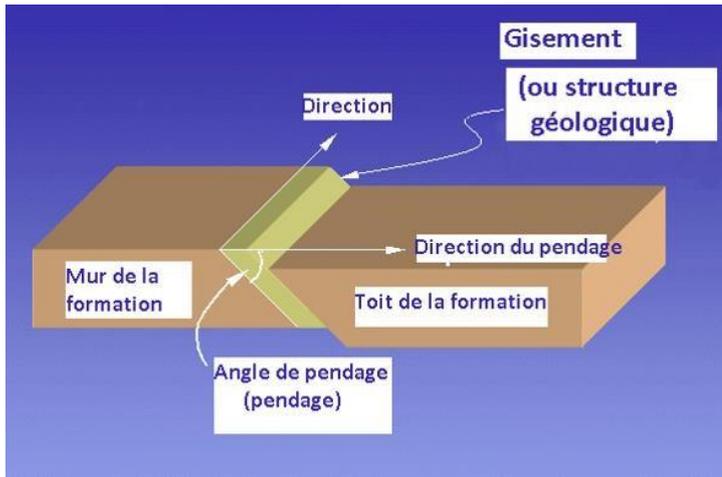


FIGURE. 1 : UNE MESURE DE L'ORIENTATION D'UNE STRUCTURE GEOLOGIQUE Une
couche est dite :

- En plateure, si la pente est inférieure à 30°
- En demi-dressant, si la pente est comprise entre 30 et 45°
- En dressant, si la pente est supérieure à 45°.

Voici, de façon très schématique, la description d'une mine sédimentaire, dans le but précis de fixer les idées et de préciser quelques éléments de vocabulaire minier dont nous aurons besoin par la suite.

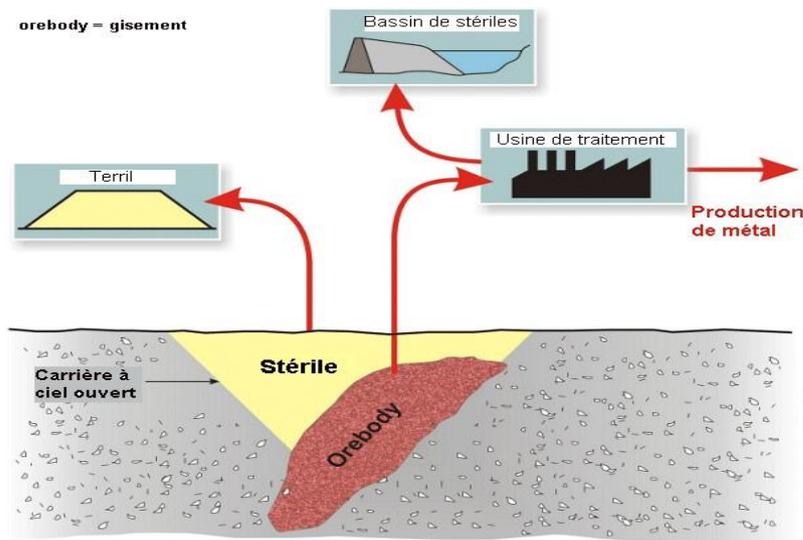


FIGURE 2 : PROCESSUS D'ENLEVEMENT DE MATERIAUX D'UNE MINE A CIEL OUVERT

L'accès d'une mine se fait toujours par creusement de tranchées principales qui donnent accès à la couche. Ceux-ci permettent d'atteindre une certaine profondeur, à laquelle se développent dans un plan horizontal, toute une série d'ouvrages.

Ce plan horizontal s'appelle la base d'un gradin. Il sert à l'exploitation des ressources situées au-dessus de son niveau, jusqu'à une hauteur, variant suivant les mines de 10 à 20 mètres et même plus ; l'ensemble de ces ressources forme un gradin.

Quand les ressources d'un gradin sont épuisées, l'exploitation se déplace plus bas et travaille à partir d'une nouvelle banquette de gradin, l'ancienne plate-forme devenant le sommet de nouvelle banquette.

Afin d'éviter des variations brutales dans la production des mines, celles-ci ont toujours un gradin en cours de préparation pendant qu'un autre est en cours d'exploitation.

A la base d'un gradin, on distingue un certain nombre d'ouvrages bien caractéristiques qui ont reçus les noms suivants :

- **le tranchée de découpage** ; il est construit, comme son nom l'indique, de façon à recouper les différentes plates formes. C'est lui qui permet de se diriger vers les couches à exploiter.
- **la « demi tranchée »** est creusée dans un banc de rocher, elle ne recoupe pas les différents bancs.

L'exploitation d'une carrière progresse tranche par tranche, l'épaisseur de celle-ci étant la largeur de l'allée et que cette progression nécessite plusieurs opérations distinctes :

- l'abattage : le minerai est arraché et réduit en morceaux suffisamment petits pour être facilement transportés.
- le transport des produits abattus.
- le déplacement de l'appareil de transport.
- la mise en place d'un maintien des angles, destinés à éviter tout accident de personnes par chutes de pierres, pendant le temps nécessaire aux diverses opérations - le remblayage

Il est évident que ces différentes opérations doivent être convenablement synchronisées, c'est-à-dire organisées.

Quelle que soit la méthode d'exploitation, le minerai, une fois arraché à son gisement, doit être transporté ; il l'est d'abord dans la taille ou les fronts, puis dans les tranchées et finit par aboutir aux terrils ou lieux de stockage, dont les environs, convenablement prévus pour recevoir l'arrivée de cette production, constituent la « mise à terril ».

Tous ces transports se font par wagons, ou par convoyeurs et/ou par camions. La tranchée équipée pour transporter les produits jusqu'au jour est une tranchée d'extraction.

1.3. Organisation du travail dans une MCO

L'industrie minière a, par rapport aux autres activités industrielles, des particularités très marquées :

- connaissance partielle de la matière première sur laquelle elle travaille. En effet, un gisement n'est jamais parfaitement connu à l'avance. Fréquemment, des failles ou rejets de couches sont découverts sans qu'on ait pu les prévoir.
- relative lenteur des travaux. Il faut par exemple plusieurs années pour préparer un nouvel gradin.
- très grande part de la main d'œuvre. Elle intervient pour plus de 60% dans les prix de revient.
- exigüité, déplacement continu du ou des chantiers.

- difficulté de surveillance d'un personnel nombreux et dispersé.

Toutes ces difficultés ne peuvent être surmontées que par une excellente organisation de la mine, ce terme étant pris dans son sens très large et comprend notamment :

- une bonne organisation hiérarchique,
- un programme d'exploitation stable,
- une formation très poussée des agents de maîtrise, spécialistes et ouvriers, - une organisation technique minutieuse, - une bonne discipline du personnel.
- une bonne organisation du chantier.

1.4. Organisation du chantier :

Tout travail peut être considéré comme la succession de diverses opérations. Dans la plus part des travaux miniers, ces opérations sont en nombre limité et leur succession se répète toujours dans le même ordre. **On dit que le travail est « cyclique ».**

Les opérations sont réalisées par plusieurs hommes, qui constituent une équipe et qui ont à leur disposition un matériel bien déterminé.

Un problème d'organisation se pose alors sous le double aspect suivant :

- quel est l'ordre dans lequel doivent se succéder les opérations pour que dans un temps donné, le travail réalisé soit au maximum
- quelles sont les modifications à apporter au matériel pour permettre un nouveau progrès.

Ce problème demande beaucoup d'observation, de réflexion, d'imagination et sa résolution peut se faire d'une manière simple :

- dresser la liste des opérations à exécuter et noter la durée de chacune d'elles, fixer le nombre d'ouvriers (mini et maxi) pouvant être occupés ensemble à la même opération, noter certaines impossibilités dans la succession des opérations. (exemple à développer)
- résoudre le problème par des graphiques successifs jusqu'à obtention d'un bon compromis.

Ces informations, si elles ne sont pas connues a priori, peuvent être obtenues lors de la visite d'autres exploitations similaires.

1.5. Notion de normes de travail

Un problème d'organisation repose entièrement sur la connaissance des durées d'opération. Celles-ci sont différentes suivant l'ardeur au travail d'un homme et il est important de pouvoir bien la définir.

Elle ne se mesure pas, elle se jauge

Dans la durée du travail, on peut toujours distinguer la durée effective du travail et celle du repos, l'un ne va pas sans l'autre. Mais ce qui est évident, c'est que lorsque l'allure augmente, il en résulte toujours, pour réaliser le travail donné :

- une diminution de la durée du travail effectif, -
- une augmentation de la durée du repos.

1.6. Notions et concepts de base sur l'exploitation du minerai à ciel ouvert

L'exploitation est le processus d'extraction de matériau ou de minerai (sol, roche, sable etc..) afin de produire un produit utile.

Presque tout est dérivé de produits qui sont cultivés ou extraits. La seule exception évidente est une tendance de l'augmentation du recyclage réduisant la demande de la production primaire comme par exemple le recyclage du cuivre.

Exemples :

Charbon / Pétrole –, Huile (schistes pétrolifères)

- Sables minéraux (Zircon, Grenat, Titan, Rutile)
- Fer
- Métaux Précieux –Or, Argent, Platine
- Métaux de Base – Cuivre, Plomb, Zinc - Beaucoup d'autres, phosphate,
- Manganèse, Talc, Calcaire, Marbre....

Le rapport entre l'exploitation et l'économie a beaucoup de caractéristiques. Les cours des matières premières changent. Au moment où beaucoup de produits sont assez chers. **Les exemples incluent :**

- Minerai de fer
- Nickel
- Or
- Cuivre

Dans les dernières années, la mine à ciel ouvert est la méthode préférée, principalement due à sa grande échelle de fonctionnement.

Dans beaucoup de cas elle réalise une extraction très élevée de la ressource de minerai avec une basse dilution, et des investissements et coûts opératoires moins élevés.

Il y a également le potentiel de fournir un environnement de travail plus sûr et de meilleure qualité que le fonctionnement en souterrain ; l'exploitation à ciel ouvert demande une main d'œuvre de moindre habileté et dans la plus part des cas exige moins de temps de pré production. Le projet des mines vu comme un ensemble de système, doit renfermer un de modes et méthodes adaptables aux conditions réelles.

Les tendances de développement des travaux miniers à ciel ouvert démontrent que le volume des minéraux utiles extrait à travers le monde augmente d'une année à l'autre et les études statistiques montrent qu'il est multiplié par deux tous les 12 ans. Cette augmentation s'explique par le besoin du progrès scientifique et technique d'un côté et par la diminution de la teneur en composants utiles dans le minerai extrait d'un autre côté.

Sur le plan technique :

- 1) la capacité isolée et le rendement des équipements miniers et le transport augmentent continuellement dans le monde.
- 2) Remplacement graduel des équipements d'action cycle par ceux d'action continue
- 3) Augmentation de la manœuvrabilité et de l'autonomie des équipements miniers et de transport.
- 4) Augmentation de la sureté de fonctionnement des équipements en introduisant l'automatisation et en améliorant l'aspect constructifs.

Le caractère quasi-unique de l'environnement physico-géologique pour chaque situation particulière implique une nécessité de conception de mine comme de technique d'exploitation et de spécification de conception de matériel propre à chaque situation d'exploitation. Cela

poserait des problèmes aux constructeurs qui auraient à connaître de grandes variations dans la gamme de spécification du matériel et de petites séries de production.

Sur le plan technologique :

Deux environnements physico-géologiques ne sont jamais identiques. Dans une même carrière ou mine, l'environnement physico-géologique peut varier considérablement d'un quartier à l'autre.

Les orientations et caractéristiques suivantes constituent les principales tendances sur le plan technologique :

1) application du schéma technologique avec le déplacement du stériles au terril intérieur. Ce schéma par sa simplicité est plus avantageux pour les carrières peu profondes.

2) Passage progressif d'une mécanisation cyclique à celle continue. L'avenir est prometteur à la technologie continue puis qu'elle assure un rendement de travail maximal.

3) Utilisation large du transport combiné et augmentation de la manoeuvrabilité des moyens de transport. **Sur le plan organisation**

Autre que le technique minière et la technologie, on peut soutenir à juste titre que les variations de performances peuvent et se produisent comme conséquences de nombreux autres facteurs complexes réagissant les uns sur les autres comme des attitudes, habilités et habitudes de la main d'œuvre, normes de planification opérationnelle ; surveillance, entretien

La résolution des problèmes mènera à l'augmentation essentielle du rendement du travail dans les entreprises minières :

- 1) maîtrise des processus de production dans l'entreprise
- 2) détermination des tâches de gestion au niveau de l'entreprise
- 3) algorithmatisation des différentes tâches
- 4) détermination et affectation de la mécanisation pour l'ensemble des taches résolues 5) argumentation des normes de charges pour chaque membre du personnel productif.

1.7. Processus de production et technologie des travaux miniers à ciel ouvert

L'exploitation est le processus d'extraction de matériau ou de minerai (sol, roche, sable etc..) afin de produire un produit utile.

Presque tout est dérivé de produits qui sont cultivés ou extraits. La seule exception évidente est une tendance de l'augmentation du recyclage réduisant la demande de la production primaire comme par exemple le recyclage du cuivre.

L'exploitation minière sera définie en fonction de l'importance et de la profondeur de l'amas minéralisé que l'on veut extraire.

- En profondeur, on optera pour une mine souterraine avec des puits,
- En moyenne profondeur (de 100 à 300 mètres), on aura le choix entre une mine avec des puits ou une descenderie d'accès,
- En surface, c'est la mine à ciel ouvert ou une carrière suivant les matériaux à extraire.
- On peut aussi envisager d'extraire le produit d'abord en ciel ouvert et de terminer l'exploitation par une mine souterraine (descenderie en fond de fouille).

La première décision à prendre dans le processus de planification minière (phasage) est de savoir si la méthode d'extraction est à ciel ouvert, souterraine ou combinée.

1. Cette décision est basée sur les facteurs suivants :
 - la profondeur du gisement ;
2. la forme et les dimensions du gisement ;
3. les facteurs géotechniques ;
4. la valeur du produit ;
5. la teneur et la distribution de teneur ;
6. les coûts prévus (capital et opératoire) ;
7. les qualifications de travail des gens du pays ;
8. le délai d'obtention du projet (temps de pré-production) ;
9. les autorisations environnementales ; et
10. la sécurité.

Dans les dernières années, la mine à ciel ouvert est la méthode préférée, principalement due à grande échelle de fonctionnement.

En carrières, les travaux miniers comprennent l'extraction, le déplacement et le stockage des minéraux utiles et des roches stériles.

On distingue les processus principaux suivants de la production minière :

- préparation des roches ;
- travaux d'extraction et de chargement ;
- transport des minéraux utiles et des roches stériles ;
- déchargement ou bien stockage des minéraux utiles.

Dans les principaux processus, on inclut aussi l'enrichissement ou le traitement primaire du minerai.

A chaque processus principal correspond les travaux auxiliaires dont la réalisation permet de faciliter son exécution. Outre cela, dans les carrières une série de processus auxiliaires (approvisionnement en énergie, ventilation, déviation des eaux, entretien des équipements miniers, etc.).

Les choix de la méthode de préparation des roches à l'extraction dépendent du type de roches, de leur état naturel, leurs propriétés physico-techniques et technologiques, de la productivité de l'entreprise minière, des paramètres techniques des engins et des équipements miniers disponibles et des exigences fixées à la qualité du minerai extrait. Les dépenses spécifiques de la préparation des roches varient de **5 à 40% des frais totaux**.

Les roches mi-dures peuvent être préparées par l'émottage mécanique. La préparation des roches dures s'effectue habituellement par les travaux de forage et de tir.

L'extraction des roches tendres et meubles se réalise par les excavateurs de tous les types : engins de terrassement (pour les courtes distances), engins de chargement et de transport (scraper sur pneus, bulldozers, chargeuses).

L'extraction des roches denses peut être effectuée par des pelles et roue-pelles.

Pour l'extraction des pierres de construction, on utilise les différents types de grues (grues sur pneus, derriks, blondins, etc.).

Les travaux auxiliaires lors de l'extraction et chargement consistent à aplanir les plates-formes de travail pour les excavateurs, nettoyage de leurs godets et chenilles, nettoyage des toits et des

talus des gradins après le tir, déplacement des câbles et transport des pièces de recharge et d'autres matériels.

Pour ces travaux, on utilise les bulldozers, les scrapers, les différents dispositifs pour les d'excavateurs (en retro, en butte, etc.), des tambours de câbles, ses camions spéciaux, etc.

Le transport des roches est le processus le plus coûteux et aussi le plus difficile. Les frais de transport composent **30 à 70% des frais totaux**. De chaque carrière, on extrait et transporte des dizaines de milliers jusqu'à plusieurs millions de tonnes de masse minière. La distance de transport des roches stériles aux terrils et des minéraux utiles vers les trémies de consommateurs varie des dizaines de mètres jusqu'à dizaines de kilomètres.

1.8. Rappel sur les propriétés des minéraux et des roches : importance dans l'industrie minière

1.8.1. Généralités

On appelle **minéraux utiles** toute substance minérale qui se trouve dans l'écorce terrestre et peut être utilisée pour les différents buts à l'état naturel ou après un traitement.

Sous le minéral, on comprend n'importe quelle combinaison chimique naturelle qui se forme durant les différents processus chimiques et physico-chimiques dans l'écorce terrestre se distinguant par leur composition chimique et propriétés physiques (couleur, éclat, dureté, etc.). A titre de minéraux, on considère aussi les éléments natifs (cuivre, or, platine, etc.). Les minéraux utiles peuvent avoir la forme de gaz, liquide et de corps solide. Il existe près de 3000 minéraux dont la plupart sont solides.

Le concept d'un gisement de minerai :

1. Qu'est-ce qu'un minéral ?

C'est un solide apparu naturellement, caractérisé par une composition chimique bien définie.

Exemples :

- quartz - SiO_2 (un oxyde parfois appelé silice) ;
- hématite - Fe_2O_3 (communément appelé rouille) ;
- pyrite - FeS_2 (un sulfure de fer - "*or du fou*") ; □ chalcopryrite - CuFeS_2 (commun au sulfure de cuivre) ; □ sphalérite - ZnS (sulfure de zinc).

2. Qu'est-ce qu'un gisement de minerai ?

Une apparition de minéraux ou de métaux en concentration suffisamment élevée doit être **rentable** pour la mine et le processus **doit utiliser la technologie actuelle** et sous des **conditions économiques actuelles**.

3. Qu'est-ce que la teneur du minerai ?

La teneur du minerai est la concentration d'un minéral économique ou d'un métal dans un gisement de minerai.

La teneur des éléments peuvent être exprimés : Pourcentage de poids (Métaux de base)

- par exemple : 0.5% de cuivre donne 5 kg de cuivre dans 1000 kg de minerai (1 tonne)

Grammes/tonne (métaux précieux)

- onces sont onces de Troy (1 once de Troy = 1.097 oz = 31.1 grammes **Tonnage**. Il y a la tonne américaine (~2000 lb) et la tonne métrique (1000 kg ou ~2200 lb).
NB : 1 tonne métrique = 1.1 tonne américaine.

Teneurs typiques des métaux dans des gisements de minerai

Partie par million: 1 ppm = 0.0001% = 1 g/t

Métal	Concentration (ppm)	Concentration (% or g/t)
Aluminium	470,000	47%
Fer	620,000	62%
Zinc	71,000	7.1%
Nickel	12,200	1.2%
Cuivre	4,000-10,000	0.4-1%
Plomb	50,000	5%
Uranium	1,000-200,000	0.1-20%
Molybdène	2,100	0.2%
Argent	210	210 g/t
Or	1.0-5.0	1.0-5.0 g/t

TABLEAU 1 : TENEUR TYPIQUE EN METAUX DANS DES GISEMENTS DE MINERAI

4. Types de gisement de minerai

Il y a plusieurs types de gisements de minerai :

- Magmatique - cristallisation de minéraux à l'intérieur d'un corps magmatique
- Hydrothermal - fluides chauds libérés lorsque le magma refroidit, des minéraux précipitent à partir des fluides
- Métamorphique - le résultat de la pression et de la température appliqué à la roche environnant une intrusion de magma. Cela peut concentrer des minéraux qui existent dans les roches environnantes.
- Sédimentaire - précipitation des minerais d'une eau de lac ou d'océan
- Résiduel - concentrations de minéraux produits par effritement et des réactions chimiques avec l'oxygène et l'eau

Récapitulatifs :

Les gîtes minéraux peuvent se classer, d'après leur forme en six principaux types :

- *Les gîtes stratiformes (en couche), que l'on trouve dans les terrains sédimentaires : le phosphate d'Afrique du Nord, le fer de Lorraine ;*
- *Les amas, qui ont la forme de grosses lentilles intercalées dans des terrains sédimentaires ou volcano-sédimentaires. Ces amas sont faits de très fortes concentrations de sulfures de fer auxquels sont associés parfois des sulfures de cuivre,*

de zinc, de plomb. Tels sont les gisements de Broken-Hill (Australie), de Neves-Corvo (Portugal), les petits gisements bretons (France).

- Les gisements porphyriques sont caractérisés par de faibles teneurs et d'énormes tonnages de minerais pouvant dépasser le milliard de tonnes. Les éléments utiles (cuivre et molybdène, or ou étain parfois) sont associés à des roches porphyriques cristallines, c'est à dire à des roches granitiques qui sont mises en place à quelques milliers de mètres de profondeur et se sont refroidies en deux temps, si bien que ces roches sont faites de gros cristaux enrobés dans une pâte plus fine. On trouve des gisements porphyriques dans les deux Amériques ;
- Les filons, résultant du remplissage de fractures. Celles-ci sont longues de 0,5 à 4 kilomètres, larges de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, profondes, le plus souvent, de quelques centaines de mètres. Les filons sont réduits par leurs tonnages (quelques centaines de milliers à 1 million de tonnes), mais les teneurs y sont fortes ;
- Les placers peuvent être qualifiés de gisements secondaires. Ils sont formés, en effet, d'alluvions que des cours d'eau ont arrachés à des gisements primaires (les 4 premiers types), transportées, puis abandonnées lors d'une rupture du débit. Les placers peuvent donc exister pour toutes sortes de minéraux (or, diamant, étain, parfois titane, zirconium), dans d'anciens lits de cours d'eau situés actuellement au sec (sur les continents) ou sous la mer (sur les plateaux continentaux) ;
- Certaines latérites, formées par l'altération sous l'effet de la pluie des roches superficielles sous climat tropical peuvent constituer parfois des gisements dits « résiduels ». Tels sont, par exemple, les bauxites de Guinée et le nickel de NouvelleCalédonie.

1.8.2. Propriétés physico-mécaniques des roches

Les caractéristiques physico-mécaniques des minéraux et des roches encaissantes influent considérablement sur le choix des méthodes de la conduite des travaux miniers à ciel ouvert et des engins des principaux processus.

Les principales propriétés physico-mécaniques des roches sont les suivantes (**pour les définitions et les formules : voir présentation**) :

- La densité (δ) : on divise tous les minéraux en groupes suivants :
 - lourds – supérieur à 4,0 g/cm³ (corindon $\delta = 4,03$ et magnétite $\delta = 4,7$) ;
 - mi-lourds – inférieur à 4,0 g/cm³ et supérieur à 2,5 g/cm³ (quartz $\delta = 2,66$ et labrador $\delta = 2,7$) ;
 - légers – inférieur à 2,5 g/cm³ (halite $\delta = 2,15$ et gypse $\delta = 2,32$).
- La masse volumique : presque toujours dans les roches, il existe une quantité de pores. Et la masse de l'unité de volume de la roche en phase naturelle (avec les pores) s'appelle masse volumique (δ).
- La structure poreuse des roches se détermine par le volume total des pores (P), par leur forme et par la liaison entre les pores, par le volume de pores fermés et ouverts et par la distribution des volumes de pores suivant leurs dimensions (porosité différentielle). D'après les dimensions, on divise tous les pores en sous-capillaires (inférieur à 0,2 mcm), capillaires ($20 > d > 0,2$ mcm), sur-capillaires (supérieur à 20 mcm).
- Etc.

Remarque : outre les propriétés mentionnées ci-dessus, ils existent celles caractérisant la tirabilité et la rippabilité des roches, lesquelles, pour les parties correspondantes.

Chapitre 2 : Éléments fondamentaux d'une carrière

2.1. Schéma d'une carrière et éléments d'un gradin dans un espace tridimensionnel

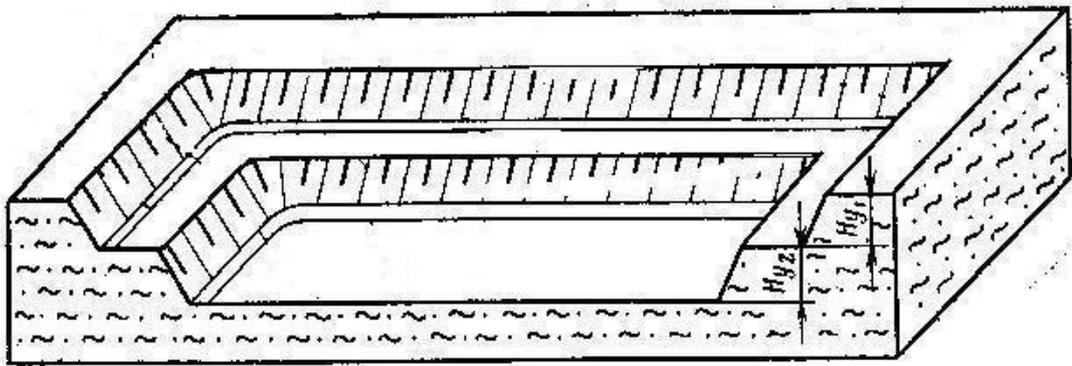


FIGURE 3. FORME DE LA CARRIERE

Une partie du massif des roches en carrière ayant la surface de travail en forme de marche et exploitée par les moyens d'extraction et de transport constitue les éléments principaux de la mine à ciel ouvert :

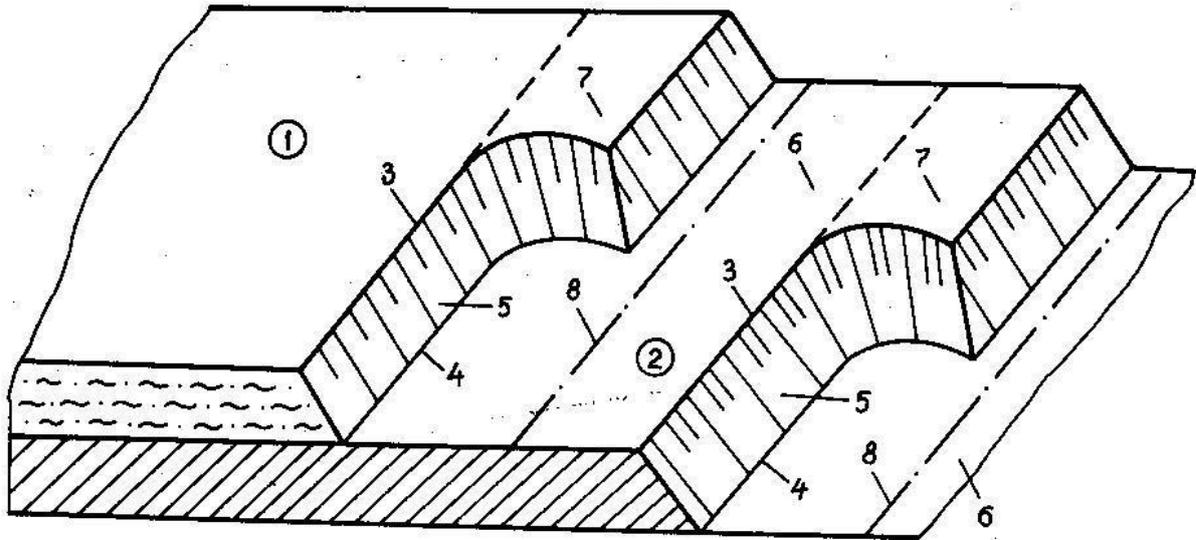


FIGURE 4. ELEMENTS DES GRADINS

1- Gradin de stérile ; 2- gradin de minerai ; 3- arête supérieure ; 4- arête inférieure ; 5- talus du gradin ; 6- plate-forme de travail ; 7- enlevure ; 8- axe de voie de transport

- Gradin - est une partie du massif des roches en carrières ayant la surface de travail en forme de marche et exploitée par les moyens d'extraction et de transport indépendants.
- Sous-gradin - est la partie du gradin, qui le long de sa hauteur est exploitée par des moyens d'extraction indépendants, mais avec le transport commun.
- Banquette du gradin ou plate-forme - est la surface qui limite la hauteur du gradin. Il existe deux plates-formes : inférieure et supérieure.
- Le talus du gradin - est la surface inclinée du côté attaqué. L'angle entre le talus et le plan horizontal s'appelle angle du talus du gradin.
- Les lignes d'intersection du talus avec les plates-formes inférieure et supérieure s'appellent conformément arête inférieure et supérieure du gradin.
- La surface attaquée du gradin par les machines minières s'appelle chantier (front de taille) du gradin.
- La plate-forme sur laquelle est installée les engins d'extraction porte le nom plate-forme de travail du gradin.
- La partie du gradin en longueur préparée pour l'abattage s'appelle front de travail du gradin
- La longueur totale de tous les fronts des gradins est le front de travail de la carrière.
- Les surfaces latérales qui limitent la carrière s'appellent bords de la carrière. Ils comprennent l'ensemble des talus et des plates-formes des gradins. Les bords de la carrière peuvent être exploitables et inexploitables.
- La surface inférieure de la carrière, d'habitude, est horizontale, on l'appelle pied de la carrière.
- Les lignes d'intersection des bords de la carrière avec la surface du sol s'appellent contour supérieur de la carrière et avec le pied de la carrière – contour inférieur de la carrière.

2.2. Représentation des symboles des éléments de la carrière Voir le cours classique

2.3. Préparation et présentation de plan de gradin

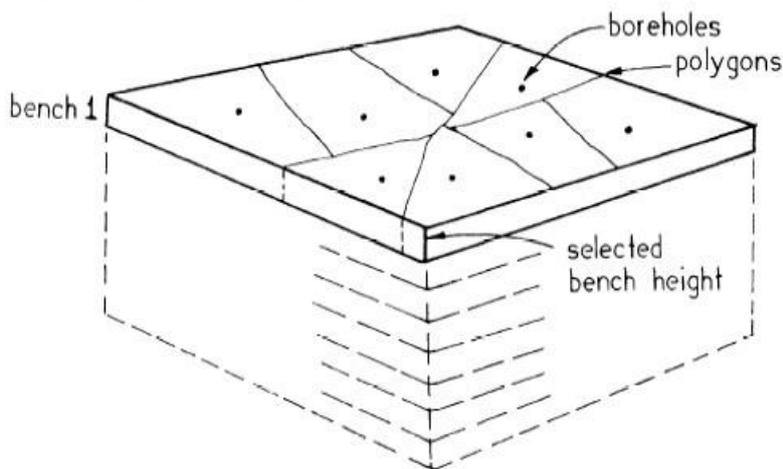
Un point clé dans la conception et l'opération d'un travail dans la mine moderne est la construction de ce qui s'appelle un **modèle de corps** de minerai ou **modèle de bloc**.

Ce modèle est une représentation de la réalité construit de l'information prévue. Les blocs impliqués sont simplement des sous-ensembles du modèle global qui permet la manipulation d'information contenue sur une échelle locale. Généralement les modèles de bloc permettent à des planificateurs de mine de choisir effectivement les moyens les plus prometteurs d'extraire le minerai physiquement et économiquement.

Les utilisations d'un modèle de bloc peuvent être divers, mais on doit se rendre compte qu'il est difficile de construire un modèle simple qui satisfait toutes les curiosités et formes d'expertise.

Puisque le déplacement ou l'exploitation de matériau a lieu le long d'un gradin donné, il est premièrement important de préparer une série de plans de banc, une fois combiné, forme le plan de bloc global du corps de minerai modelé. Ceci est illustré dans la fig. 9.

Avec l'aide des installations informatiques modernes, des plans de banc sophistiqués et complexes peuvent être préparés.



Modèle de bloc d'un corps de minerai

2.4. Etapes de l'exploitation à ciel ouvert

Les gisements sont exploités à ciel ouvert lorsqu'ils reposent à une profondeur relativement faible et quand le prix de revient du minéral utile ainsi extrait est inférieur à celui qu'on obtiendrait en employant l'exploitation souterraine. Lorsqu'on exploite à ciel ouvert, le rendement et la sécurité du travail sont améliorés par rapport à l'exploitation souterraine.

Ces dernières années, la mécanisation de l'exploitation à ciel ouvert a été sans cesse développée. C'est aujourd'hui la branche la plus mécanisée de l'industrie minière.

Dans l'ensemble des travaux exécutés lors de l'ouverture et de l'exploitation d'une carrière, on peut distinguer les étapes suivantes :

- 1) préparation de la surface à l'emplacement du gisement que l'on se propose d'exploiter ou d'une partie de cette surface ;
- 2) assèchement du champ de la carrière et prise de mesures contre l'afflux d'eau ;

- 3) creusement des tranchées principales (ouverture du champ de la carrière) ; 4) enlèvement des stériles de recouvrement ; 5) travaux d'exploitation (enlèvement du minéral).

La préparation de la surface comprend le défrichage, l'assèchement des marécages et le détournement des cours d'eau se trouvant dans le champ de l'exploitation.

La préparation de la surface, l'assèchement partiel ou total du gisement, l'enlèvement des stériles de recouvrement et l'exploitation sont effectués successivement et, lorsque les travaux atteignent une certaine ampleur, parallèlement, mais dans un ordre déterminé, conforme à la technologie de l'exploitation à ciel ouvert.

Les travaux d'ouverture et d'exploitation comprennent les opérations suivantes : enlèvement, transport et déchargement des stériles et des minéraux utiles.

Suivant leurs propriétés physiques, la roche stérile et le minéral peuvent être enlevés soit directement au moyen de machines, soit après une préparation par tir.

Actuellement, l'exploitation à ciel ouvert se fait surtout par des moyens mécaniques ou hydromécaniques.

Lorsqu'on exécute les travaux par les moyens mécaniques (procédé dit d'excavation), on emploie surtout les machines suivantes : excavateurs, sondeuses, divers engins de transport.

Lorsque les travaux sont exécutés par les moyens hydromécaniques, l'équipement comprend principalement des monitors et des pompes. Le procédé hydromécanique est surtout employé en terrain tendre.

L'objet du transport est l'évacuation des minéraux utiles et des stériles. Le minéral est transporté dans des ateliers d'enrichissement, des usines, pour être expédié aux utilisateurs. Les stériles sont mis en terrils. Ceux-ci sont placés en dehors des limites du gisement en cours d'exploitation ou bien dans le vide de l'exploitation. Dans le premier cas, les terrils sont dits extérieurs, dans le second, intérieurs. Les moyens de transport utilisés dans l'exploitation à ciel ouvert sont les camions et les convoyeurs. Dans certains cas, le rejet des stériles dans le vide de l'exploitation se fait au moyen des excavateurs, sans emploi de moyens de transport. Cette opération est appelée transfert. Le minéral est déchargé dans des dépôts permanents spécialement aménagés à cet effet. Les stériles sont rejetés en terrils ne comportant aucun aménagement fixe et s'étendant au fur et à mesure de la progression de l'exploitation.

Chapitre 3 : applications

3.1. Détermination du contour de la MCO

Voir TD

3.2. Rapport (taux) de découverte

3.2.1. Approche analytique

Le choix des moyens de découverte est précédé de l'étude de l'opportunité d'exploiter à ciel ouvert le gisement donné. Le critère économique de la rentabilité des travaux à ciel ouvert est la valeur du minéral.

Le volume de stériles qu'il est nécessaire d'enlever est d'autant plus élevé que la profondeur à laquelle se trouve le minéral est plus grande.

La quantité de stériles en m^3 qu'il est nécessaire de déplacer pour extraire 1 t de minéral est appelée *rapport de découverte*.

Il dépend de la puissance du gisement et de la profondeur à laquelle celui-ci se trouve.

Connaissant :

- a, le prix de revient total de la tonne de minéral dans l'exploitation souterraine ;
- b, le prix de revient de l'enlèvement de la tonne de minéral dans l'exploitation à ciel ouvert ;
- c, le prix de revient du m^3 de stériles déplacés ;
- V , le volume total des stériles à déplacer ;
- Q , les réserves exploitables du gisement.

On peut déterminer la limite de la rentabilité de l'exploitation à ciel ouvert et de l'exploitation souterraine, limite qui doit correspondre à l'égalité du prix de revient total de la tonne de minéral dans l'un et dans l'autre cas, c'est-à-dire : $a = b + c \frac{V}{Q}$.

Soit x le rapport $\frac{V}{Q}$ montrant quelle quantité de stériles, il est indispensable de déplacer pour extraire 1 t de minéral, c'est-à-dire le **rapport de découverte** ; l'expression prend alors la forme :

$$a = b + c x, \quad \text{d'où}$$
$$x = \frac{a - b}{c}$$

Ainsi, la limite de la rentabilité de l'exploitation à ciel ouvert est l'égalité numérique entre le rapport de découverte et le quotient des deux grandeurs suivantes : différence entre le prix de revient total du minéral dans l'exploitation souterraine et le prix de revient de son seul enlèvement dans l'exploitation à ciel ouvert, sur le prix de revient du m^3 de stériles déplacés.

Les calculs précédents ne suffisent pas pour permettre un choix définitif du mode d'exploitation car le prix de revient du minéral dans l'exploitation souterraine et dans l'exploitation à ciel ouvert dépend des moyens mis en œuvre, des conditions naturelles et de l'organisation des travaux. Le prix de revient du m^3 de stériles déplacés est également variable et dépend des mêmes facteurs que le prix de revient du minéral.

C'est pourquoi, lorsqu'on choisit entre l'exploitation à ciel ouvert et l'exploitation souterraine, en plus des facteurs économiques, il convient d'étudier les conditions techniques de l'exploitation.

3.2.2. Approche numérique

Le paramètre connu sous le nom de Rapport de découverte est presque universellement employé et représente la quantité de matériau non économique qui doit être enlevé pour découvrir une unité de minerai. Fig. 1 représente un corps de minerai idéalisé de mine à ciel ouvert, plongement à l'angle α .

- a) Le rapport de découverte de coupure : est celui dont les coûts d'extraction du minerai et des stériles sont rentables pour le bloc de minerai considéré. Les facteurs employés pour déterminer les coûts devraient inclure les coûts supplémentaires de la construction de la mine.
- b) Le rapport de découverte global : Dans l'analyse complète, le corps de minerai est extrait entièrement sur le papier. La production pour chaque période de temps est déterminée, les coûts et les revenus énumérés, et le cash flow est déterminé (flux de trésorerie). Les bénéfices sont projetés. Le résultat doit être la valeur de la mine ou de la production. L'exploitation est prolongée jusqu'à ce qu'elle n'augmente plus la valeur, et ainsi une limite de mine est déterminée. Le rapport de tout le volume de stériles au volume total de minerai est alors le rapport de découverte global.

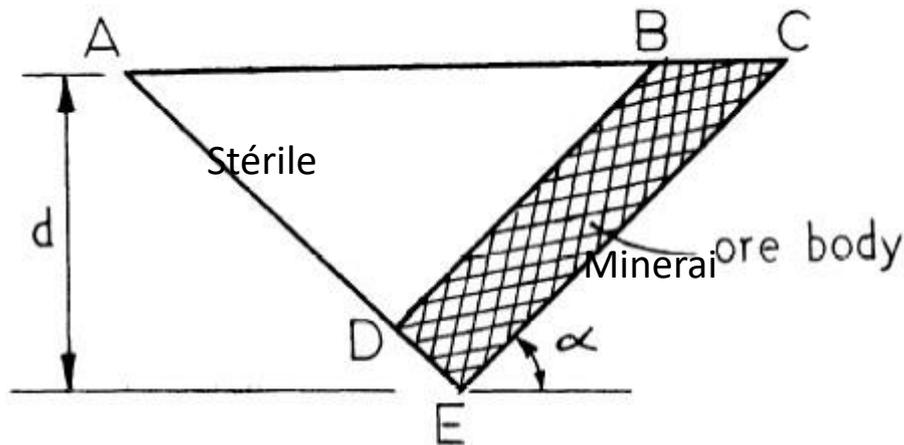


FIGURE 5 : REPRESENTATION DE RAPPORT DE DECOUVERTURE GLOBALE.

Le rapport de tout le volume de stérile au volume de minerai est défini en tant que Rapport de découverte total :

$$R = \frac{\text{Volume de stérile enlevé sur la profondeur } d}{\text{Volume de minerai récupéré à la profondeur } d} = \frac{ABD}{BCED}$$

Le rapport de volume R est calculé en mètre cube par mètre cube. Il est généralement exprimé en tonnes/tonnes. Il faut, noter que, parfois pour certains minerais, ce rapport est exprimé en mètre cube / tonnes.

Une méthode d'analyse simple et employée couramment pour obtenir des limites de mine est d'utiliser le rapport de découverte de coupure. D'abord, la pente de mine est déterminée de la géotechnique et d'autres considérations et le rapport de découverte est ensuite calculé.

Le rapport de découverte de coupure est celui pour lequel les coûts d'exploitation de minerai et de stérile sont assortis par le revenu de ce bloc de minerai. Les facteurs employés pour déterminer les coûts devraient inclure les coûts supplémentaires d'exploitation comme la fosse approfondie et les frais d'intérêt sur la pré-découverte du stérile.

Dans une analyse plus complète, le corps de minerai entier est extrait sur le papier. La production à partir de chaque période est déterminée, les coûts et les revenus énumérés, et le cash flow produit. Les bénéfices de toutes les années sont actualisés pour refléter la valeur temporelle de l'argent dans l'une des nombreuses manières, selon la préférence de gestion.

Le résultat est considéré pour être la valeur de la mine ou production. L'exploitation est continuée jusqu'à ce qu'elle n'augmente plus la valeur, et ainsi une limite de mine est déterminée. Le rapport de tout le volume de stérile au volume total du minerai est alors le rapport de découverte global.

Avec des cours de matières premières en fluctuation, coûts croissants d'exploitation, et l'introduction des techniques d'exploitation plus sophistiquées, le plan global d'exploitation et le rapport de découverte global peuvent changer au cours de toute la vie du n'importe quel gisement.

Pour cette raison, il est nécessaire de mettre à jour le plan à long terme du projet d'exploitation à intervalles réguliers. Après avoir déterminé les limites finales de mine et le rapport de découverte global, le plan d'exploitation peut être exécuté d'un certain nombre de manières, comme illustré dans ce qui suit.

3.2.3. Méthodologies

a. Méthode du rapport de découverte décroissant.

Cette méthode (Fig.) exige que chaque banc de minerai soit extrait dans l'ordre, et tout le stérile sur le banc particulier est enlevé à la limite de mine.

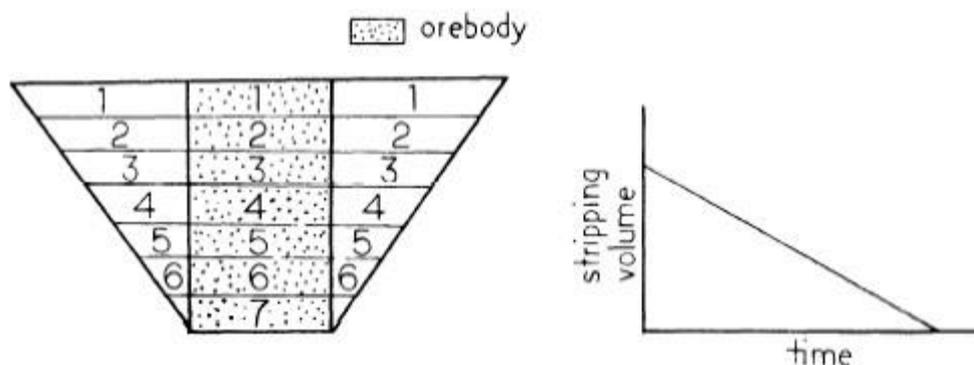


FIGURE 6 : METHODE DU RAPPORT DE DECOUVERTURE DECROISSANT

Ceci exige que chaque gradin de minerai soit extrait dans l'ordre, et tout le stérile du gradin correspondant est enlevé vers la limite de la mine.

Avantages	Inconvénients
<ol style="list-style-type: none"> 1. L'espace fonctionnant disponible 2. Accessibilité du minerai sur le gradin suivant 3. Tout l'équipement travaillant sur le même niveau 4. Pas de contamination lors du tir au stérile audessus du minerai 5. Les besoins en équipement sont minimum vers la fin de la vie de la mine. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les frais d'exploitation sont maximum pendant les années initiales où des bénéfices sont exigés pour manipuler l'intérêt et le remboursement du capital.

b. Méthode du rapport de découverte croissant.

Dans cette méthode, la découverte est effectuée comme nécessaire pour découvrir le minerai (fig.). Les pentes fonctionnant des faces de stériles sont parallèles essentiellement maintenu à l'angle global de pente de mine.

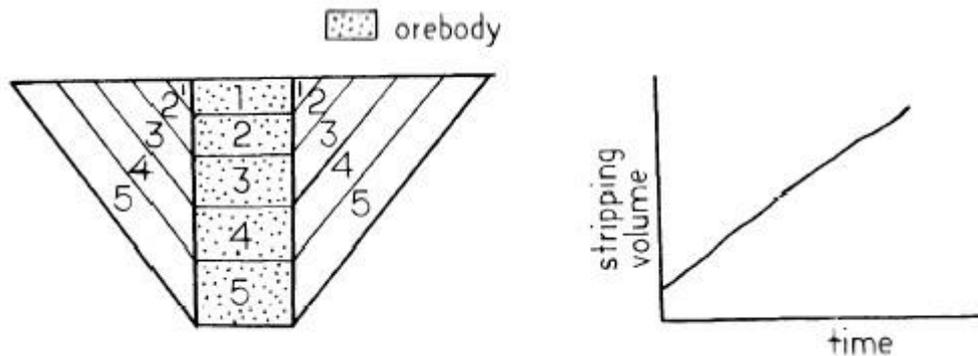


FIGURE 7 : METHODE DU RAPPORT DE DECOUVERTURE CROISSANT.

La découverte est effectuée uniquement pour découvrir le minerai. Les pentes des faces des gradins de stérile en activité sont maintenues parallèles à l'angle global de pente de la mine.

Avantages	Inconvénients
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bénéfice maximum en années initiales 2. Réduit considérablement des risques d'investissement dans le déplacement de stérile pour que le minerai soit extrait à une date future; La méthode est populaire là où l'extraction économiques ou le rapport de coupure est susceptible de changer ; 3. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impraticabilité d'actionner un grand nombre de gradins simultanément empilés et étroits pour satisfaire les besoins de production.

c. Rapport de découverte Constant.

Cette méthode (fig.) essaie d'enlever le stérile à un taux proche du rapport de découverte global. La pente fonctionnant de la face des gradins de stérile en activité commence très peu élevée, mais augmente à mesure que la profondeur d'extraction augmente jusqu'à ce que la pente fonctionnant égale la pente globale de mine. Cette méthode, d'un point de vue avantage et inconvénient, est un compromis qui enlève les conditions extrêmes des deux méthodes de découverte décrites. La taille de flotte d'équipement et les besoins de main-d'œuvre durant toute la vie de projet sont relativement constants.

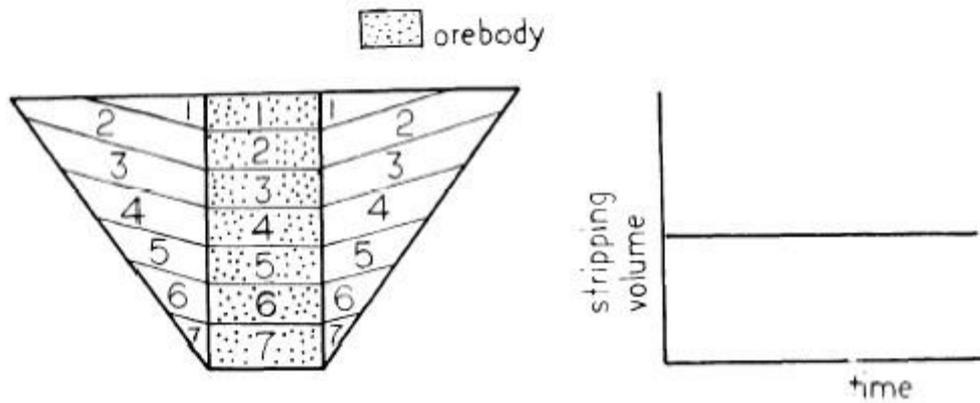


FIGURE 8 : RAPPORT DE DECOUVERTURE CONSTANT.

Avantages	Inconvénients
<ol style="list-style-type: none"> 1. La taille de la flotte d'équipement et les besoins de main-d'œuvre dans tout le projet sont relativement constants. 2. Bon bénéfice au commencement pour augmenter le cash flow (la marge brute). 3. Des secteurs d'extraction et de découverte distincts peuvent être actionnés simultanément, tenant compte de la flexibilité dans la planification. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'inconvénient et les avantages est le compromis qui enlève les conditions extrêmes des deux autres méthodes de découverte.

Dans la pratique réelle, le meilleur ordre de découverte pour un grand corps de minerai est celui dans lequel le rapport est bas pendant les étapes initiales et vers la fin de la vie du projet. Les avantages peuvent être récapitulés comme suit :

- 1) Un bon bénéfice peut être produit au commencement pour augmenter le cash flow.
- 2) Le travail et la flotte d'équipement peut être grimpé jusqu'à la capacité maximum pendant le temps,
- 3) Le travail et les besoins en équipement diminuent graduellement vers la fin de la vie de la mine,
- 4) Les aires distinctes d'extraction et de découverte peuvent être actionnées simultanément, tenant compte de la flexibilité dans la planification.

3.3. Planification minière

3.3.1. Définition de la planification minière

Généralement, l'on définit la planification comme une organisation selon un plan ou un programme détaillé et chiffré portant sur un élément quelconque de l'activité d'une entreprise (approvisionnement, main-d'œuvre, production, marché...).

La planification consiste à déterminer des objectifs précis et à mettre en œuvre les moyens propres de les atteindre dans les délais prévus (par une organisation administrative, technique, etc.).

La planification minière est une étape très importante de l'estimation des ressources et réserves, processus selon la faisabilité technique et économique pour une récupération du minerai contenu dans la forme géométrique optimale.

La planification minière consiste à élaborer un projet, comportant une suite ordonnée d'opérations de l'activité minière pendant la durée de vie de celle-ci et destinée à atteindre le but de l'alimentation de l'usine suivant l'exigence du minerai demandé (teneur, quantité...).

Cette alimentation doit être exécutée dans le temps et l'espace. C'est ainsi qu'elle requiert des calculs, des combinaisons, des idées en fonction des moyens disponibles suivant le dessein du projet général. Elle est régit par deux grands principes qui sont l'économie et la sécurité.

3.3.2. Fréquence de planification minière

La fréquence de la planification minière varie du court au long terme. Les plans peuvent être quotidiens, hebdomadaires, mensuels, annuels ou le plan d'exploitation à vie. Plus le plan est court plus il est plus précis. Les plans plus longs devront établir des prévisions financières pour le remplacement de l'équipement, des variations en frais d'exploitation dus aux distances de transport, et des conditions d'assèchement. Les changements de type de minerai peuvent dicter des changements de plan également.

Une fois que le dépôt de minerai a été découvert et évalué pour être considéré comme un gisement de minerai, le prochain problème qui se pose est de savoir comment extraire le minerai qui maximisera la valeur actuelle nette VAN (ou Net Present Value, NPV). Le plan doit considérer la meilleure manière d'extraire la plus grande partie possible de la mine et le plus tôt possible pour couvrir un intérêt élevé et améliorer le cash flow (flux de trésorerie). La meilleure qualité de minerai doit être récupérée en premier pour augmenter les finances ; le plan court terme inclut le début d'activité dans une zone où le rapport stérile-minerai est assez bas. Actuellement les entreprises minières et les bureaux d'études utilisent des logiciels très performants pour planifier l'exploitation minière à ciel ouvert. Ces logiciels se divisent en logiciels de design et de représentation en 3 dimensions du gisement et des travaux miniers, et en logiciels d'optimisation. Ces logiciels sont assez chers (quelques dizaines de milliers de US\$). Les principaux logiciels de design minier sont : **Surpac Vision, Vulcan, Gemcom** ; les **principaux logiciels d'optimisation minière sont : Whittel 4X (optimisation de fosse), Datamine.**

3.3.3. La planification minière en tant qu'outils de l'activité minière

A. Outil prévision

La planification minière permet de projeter dans l'espace et dans le temps, la direction de la mine et par conséquent de pouvoir permettre une meilleure coordination entre la période, le temps t, le matériel, le personnel, les finances. Dans ce sens, certaines questions doivent être résolues pour atteindre une prévision optimale.

- **En termes de Ratio au taux de découverte**, l'on calcule le rapport entre la quantité de stérile à celle de minerai qui sera extrait.
- **Le taux de recouvrement** : l'on cherche à déterminer l'intervalle de temps que va mettre la mine entre son ouverture et le début d'alimentation de l'usine le temps mi pour éponger des dettes.
- **En termes de gestion de la qualité du minerai**, l'on cherche à établir un programme pour pouvoir satisfaire les teneurs demandées par l'usine durant toute la vie de la mine.
- **En termes de gestion de la quantité du minerai**, il s'agit de déterminer la succession des différents blocs de minerai à extraire pour pouvoir satisfaire la demande de l'usine en quantité sur une période donnée comme dans deux ans par exemple.

- En **termes de gestion des ressources humaine et logistique**, l'on résout l'équation permettant de déterminer la qualité, le nombre de personnes et de machine dont on aura besoin et ainsi que le délai.
- En **termes d'économie**, on cherche à déterminer les meilleurs bénéfices, à connaître les coûts, les recettes et la quantité de métal qui sera produit.
- Etc .

La thèse prévisionnelle permettra d'anticiper les besoins demandés pour faire fonctionner correctement les opérations d'une exploitation minière.

B. Outil de pilotage l'exploitation minière

Les prévisions vont permettre d'anticiper et donc de planifier les besoins nécessaires en :

- Personnel ;
- Travail - périodes vacants ;
- Travaux préparatoires (la route d'accès, les pompes d'assèchement,) ;
- Forage, le dynamitage ;
- Consommation d'explosifs ;
- Les besoins en équipement minier ; - Maintenances ; - Etc ...

La planification de la mine est un outil de prévision qui permet de faire fonctionner correctement, une exploitation minière.

C. Devoir d'un planificateur

Les devoirs d'un planificateur minier sont les suivants :

- **Devoir de prévision** :
 - Le planificateur doit planifier les activités de la mine ;
 - L'ingénieur de planification devrait enquêter et déterminer l'impact à différentes échelles, y compris les résultats des coûts de dilution (recettes). - **Devoir d'anticipation** :

Le planificateur minier doit :

- prendre des mesures appropriées pour compenser les périodes d'alimentations difficiles ;
- ajuster le Ratio (par exemple : des sollicitations temporaires sous-traitants) pour la disponibilité permanente au minerai ;
- satisfaire les besoins du concentrateur. Afin de maximiser la récupération au concentrateur, il est important de fournir un minerai le plus homogène possible. Ceci peut nécessiter la dilution de minerai à fortes teneurs ou au contraire l'ajout de minerai à forte teneur à du minerai de faible teneur. ○ mettre en place des stocks de minerai pour compenser et corriger les périodes où le minerai sera absent, ou lorsqu'on sera à des configurations de basse teneur ;
- entreprendre des politiques internes (stockpiling) : La possibilité d'emmagasiner du minerai permet de sélectionner à la mine du minerai de basse teneur qui sera éventuellement exploité suivant une hausse du prix du métal. - **Devoir d'actualisation** :

Le planificateur mine doit perpétuellement mettre à jour la planification de la mine avec toutes les nouvelles données disponibles :

- Mise à jour du modèle géologique ;
- Mise à jour du modèle minier ;
- Mise à jour des données techniques (la disponibilité des engins miniers, la nouvelle capacité des engins ...). - **Devoir d'information** :

Le planificateur minier doit :

- Fournir un calendrier pratique d'exploitation à long, moyen et court terme ;
- En consultation avec d'autres, fournir un plan qui maximise la valeur de la ressource ;
- Clairement et régulièrement informer des conséquences de la modification de la planification ainsi que des différentes actualisations.

3.3.4. Les données nécessaires pour commencer la planification minière Tout commence par le **projet minier** qui précède le travail de planification des mines à ciel ouvert.

Le projet d'exploitation minière a besoin des données d'entrée :

- + Modèle géologique (modèle Bloc informé de lithologie et teneurs estimées) ;
- + Modèle géotechnique (la géotechnique informe des caractéristiques physico-chimique et mécanique de la roche...) ;
- + Modèle hydrogéologique ;
- + Hypothèse technique général (Ils seront ajustés, précise à l'exercice de planification des mines) ;
- + Hypothèse de processus (types de processus, recouvrements ...) ;
- + Méthode d'exploitation minière et des moyens associés ;
- + Hypothèse économique (modèle de coût : CAPEX - OPEX) ;
- + Gestion des déchets (zones de dumping, les étangs clarifiées ...) ;
- + Hypothèse de vente.

La fin des résultats du projet d'exploitation minière sont :

- + Fosse optimale avec les données techniques globales ;
- + Estimation économique de la valeur de fosse.

En conclusion, on peut dire que ces données sont nécessaires pour informer le Whittle 3D (pas de temps considéré). Les données d'entrée pour le projet minier ainsi que les résultats d'étude du projet y compris les données de Whittle 3D seront utilisés entant que les données de la planification minière.

3.3.5. Les signes d'une planification de la mine déficiente : exemples de problèmes de fonctionnement des opérations

Les problèmes de planification des mines existent lorsque nous pouvons observer :

- ✚ une perte de productivité ;
- ✚ une configuration de la fosse non conforme à la prévision ;
- ✚ l'indisponibilité des routes d'accès à la demande ;
- ✚ l'absence d'anticipation sur les activités ;
- ✚ La production de métal au-dessus ou au-dessous de la cible ;
- ✚ les ratios miniers prévus ne sont pas atteints ;
- ✚ un retard visible dans les décapages ;
- ✚ l'entretien de l'équipement minier interfère avec la production minière ;
- ✚ Retard ou Avance de l'activité de dynamitage par rapport à l'activité d'extraction ; Etc.

Pour conclure, lorsqu'il est nécessaire de produire et lorsque des dérives sont visibles, il est souvent trop tard pour changer de cap parce que l'activité minière est caractérisée par son inertie!

3.3.6. Les différents types de planification minière

La planification minière se subdivise en plusieurs niveaux. Ces niveaux sont caractérisés par l'importance du matériel (**la logistique**), du temps (**la durée d'une opération**), des coûts (**dépenses**), ...

De ce part, la planification de la mine peut être discriminatoire en trois grandes étapes généralement à caractérisation temporelle :

- ✚ **la planification à long terme des mines** : niveau stratégique (Année) ;
- ✚ **la planification de la mine à moyen terme** : niveau tactique (Mois) ;
- ✚ **le court terme de planification des mines** : niveau opérationnel (De la semaine à l'heure).

Ces étapes doivent être cohérentes les unes avec les autres : elles doivent s'adapter parfaitement. Le graphique ci-dessous donne une illustration de la continuité temporelle des étapes de planification des mines.

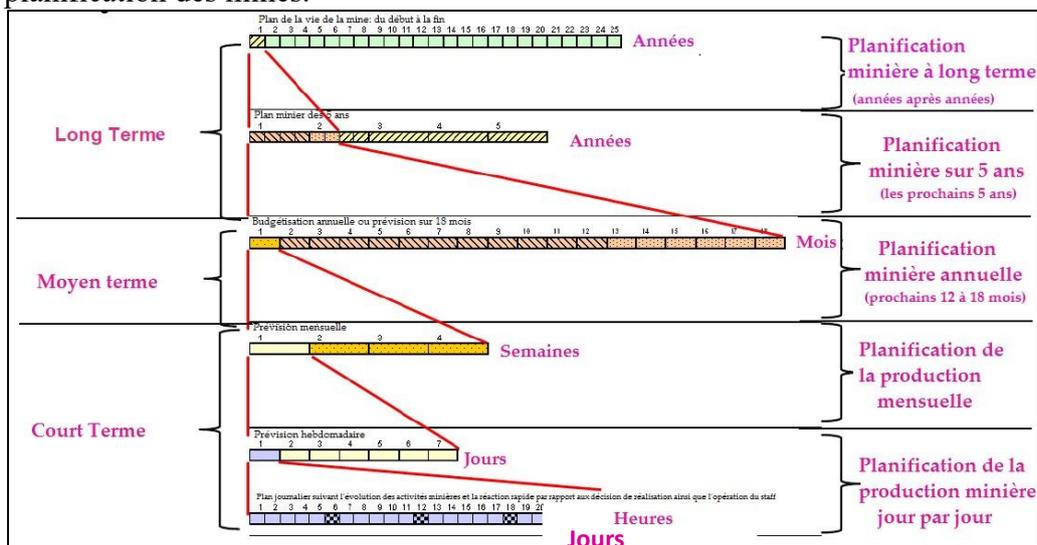


FIGURE 9 : PLANIFICATION MINIERE

Heures

A. Planification de la mine à long terme ou niveau stratégique

La planification minière à long terme relève du niveau stratégique et concerne les décisions qui sont engagées pour une longue période et qui orientent le projet en général. Elle a aussi pour

but de positionner l'entreprise ou le projet avec son environnement. Son objectif est de planifier l'activité minière pour l'ensemble de la mine dans l'espace et dans le temps. Les hauts dirigeants sont ceux qui prennent ce type de décisions occasionnelles, durables et difficilement réversibles. L'intérêt principal pour ce niveau de décision est d'obtenir une vue d'ensemble sur les années à venir et sur toute la vie de la mine afin d'orienter les niveaux de décisions inférieurs. Dans le cas des mines à ciel ouvert, plusieurs points sont touchés tels que :

- + l'évaluation des réserves minières et le tracer du profil final de la mine ;
- + l'établissement de leur séquence d'exploitation et d'extraction de blocs (sans traiter des opérations particulières) incluant les ouvrages majeurs tels que les routes, les stocks, la gestion des eaux... ;
- + le profil et la séquence permettent, entre autres, d'établir les besoins en équipements et de planifier l'installation de l'infrastructure ;
- + les objectifs de production ;
- + les moyens pour les atteindre : investissements, ressources internes, sous-traitances ;
- + elle retrace les différentes étapes souhaitées du devenir de l'entreprise pour les 5 à 10 années à venir.

La planification stratégique reprend les points clés de la stratégie minière, à savoir :

- L'analyse des produits extraits, des marchés et des technologies ;
- Elle a pour vocation principale de proposer à la Direction Générale un objectif global d'évolution, à la fois cohérent et réaliste.

C'est une planification qui est évaluée aussi sur la durée de vie de la mine, d'année en année et consiste à planifier dans le temps et dans l'espace l'exploitation totale d'une fosse soit isolément ou au sein d'un complexe de fosses (exploitations simultanées).

Ce plan minier doit être continuellement mis à jour après la mise à jour des ressources géologiques.

Les dérivées sont :

- + Scénario pour l'usine : Rendement, capacité de traitement... "Limites de traitement" ;
- + Evolution des capacités d'extraction et renouvellement des équipements miniers "Limites minières" ;
- + Plan de gestion des ressources humaines ;
- + Indicateurs économiques (VAN, TRI, etc..) et investissements (mine-usine) ;
- + Investissements dans les infrastructures, les sites et la restauration des terres (routes, bâtiments, zones de dumping) ;
- + Réserves "Minières" (les facteurs d'extraction et de traitement ne sont pas plus fixe, mais variable compte tenu du temps et des scénarios industriels)

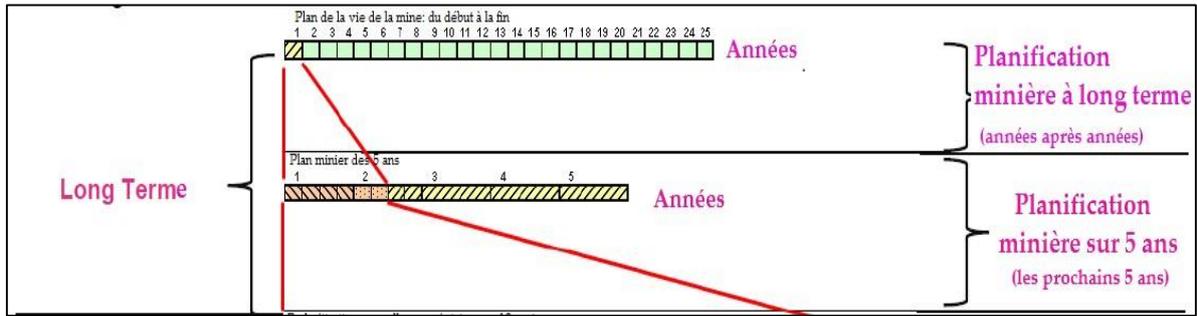


FIGURE 10 : PLANIFICATION A LONG TERME

B. La planification moyen terme ou planification au niveau tactique

Le niveau tactique concerne les décisions de gestion générale ayant un impact à moyen terme. Elle dispose d'un temps moyen soit d'une plage de trois à douze mois pour la gestion d'une partie des ressources. Ces décisions sont un peu plus flexibles et ont un impact certain sur le projet. Elle doit respecter les directives de la planification à long terme. De ce fait, elle est incontournable pour avoir des fins bénéfiques. Autrement dit, ces erreurs peuvent être fatal pour le projet car difficilement corrigable. Elle est la jonction entre les planifications à long terme et à court terme. Elle est le détail mensuel de la planification à long terme. Cette planification de la production est la base pour construire le budget annuel (production de métal, carburant la consommation ...). Ce niveau décisionnel vient préciser les cibles de la production, mais vérifie aussi la faisabilité de la planification à long terme.

Le niveau tactique intervient sur :

- Le plan d'exploitation annuel ou trimestriel intégrant l'évolution des fosses minières, des routes principales, des sites de dépôts (verses à stériles, stocks de minerais), des infrastructures minières (ouvrages majeurs de gestion des eaux...);
- La définition des différentes responsabilités (organigramme fonctionnel et opérationnel);
- L'allocation des moyens techniques (méthode d'exploitation minière, méthode d'excavation; il s'agit d'établir un programme séquentielle d'extraction des blocs de la mine...);
- L'allocation des moyens humains (Plan de ressources humaines);
- L'allocation des moyens financiers (Plan d'investissement et plan financier).

La production suit un cycle d'activités qui est la foration-tir-excavation-transport.

Il faut noter aussi que le planning à moyen terme est régit par plusieurs contraintes dont : la disponibilité des engins, la capacité et la performance des engins, l'accessibilité des blocs à extraire, les caractéristiques de la demande de l'usine,...condition géologique, et géographique...

Ces données d'entrées sont :

- ✚ Des données plus précises (géologie ...) ainsi que des hypothèses pour l'année à venir ;
- ✚ Forme 3D de l'avancée de l'exploitation minière ;
- ✚ le bloc modèle géologique ;
- ✚ Planification de la maintenance des installations ;
- ✚ Infrastructures nécessaires pour l'année (routes, zones de dumping, l'infrastructure électrique ...) ;
- ✚ Cycles de travail des travailleurs.

Ces dérivées sont :

- ✚ Les données mensuelles de production et souvent journalier (métal, tonnages , Indicateurs minières: rapport ...) ;
- ✚ La forme 3D de l'avancée mensuelle de l'exploitation minière ;
- ✚ Ensemble des données nécessaires pour le député de court terme et de piloter l'opération sur le terrain ;
- ✚ Les données techniques et économiques à réaliser le budget annuel.

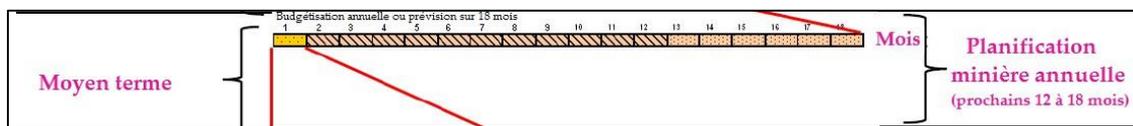


FIGURE 11 : PLANIFICATION A MOYEN TERME

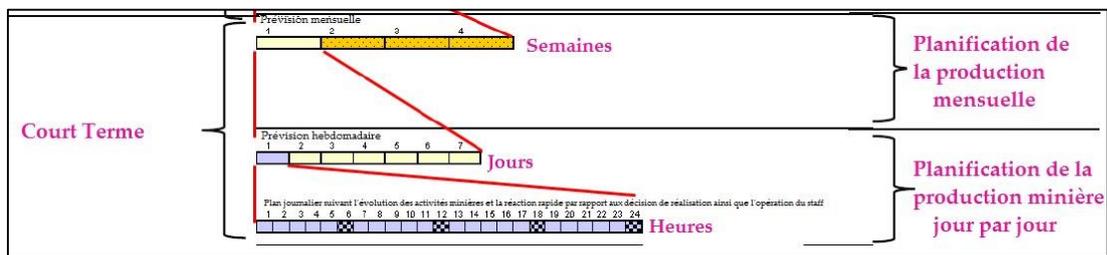
C. La planification à court terme des mines: niveau opérationnel

Au niveau opérationnel, les décisions sont prises pour un horizon à court terme sur une base de jour en jour et d'heure en heure. Elle représente les décisions du quotidien. L'impact de ces décisions est minime et très bref. C'est la bonne alimentation du rompad qui est l'élément le plus important de ce niveau décisionnel, rendant ces décisions fréquentes, flexibles et brèves. On y traite des opérations rencontrées durant un quart de travail, où on tente de minimiser l'écart entre la production ciblée par la planification à moyen terme et celle qui sera établie par le plan de production journalier. Pour les mines à ciel ouvert, ce niveau représente la gestion au quotidien des ressources d'extraction et le respect des cibles de « blende » et de quantité. Elle se présente en tant qu'étape ultime du processus de planification des mines. C'est la Phase où le planificateur de mine doit considérer toutes les contraintes de l'exploitation minière en provenance de toute l'exploitation entière (forage-dynamitage de chargement-transport, maintenance, installation ...).

Ces points d'actions :

Lors du planning à moyen terme, les décisions prises par l'ingénieur agit directement sur :

- ✚
- ✚ Forage ;
- ✚ Minage ;
- ✚ Tirs et leurs heures ;
- ✚ Voix d'accès aux blocs de minerai ;
- ✚ Extraction ;
- ✚ Transport ;
- ✚ Maintenance des engins ;
- ✚ Les heures de travail et les heures de repos pour toutes les équipes ;
- ✚ Temps de cycle et les capacités de toutes les équipes d'exploitation minière (forage, de dynamitage, le chargement, le transport ...) ;
- ✚ Etc.



Contrôle de teneur et définition du minerai et stérile ;

FIGURE 12 : PLANIFICATION A COURT TERME

La planification minière à court terme a pour sortie :

- ✚ une rencontre hebdomadaire avec tous les gestionnaires de l'exploitation minière et environnemental afin de faire un bilan sur la semaine passée et les prévisions de la semaine à venir ;

- ✚ une analyse rapide sur les différences entre les objectifs réalisés et prévus de la semaine précédente (tonnes, qualité, produits en métal) ;
- ✚ Une carte de localisation avec le secteur prévu à exploiter avec des quantités techniques associée ;
- ✚ Formes 3D de l'avance de l'exploitation minière hebdomadaire ;
- ✚ Une planification de l'utilisation de chaque équipement minier (heures de travail - entretien : Pause prévu ...) ;
- ✚ Fournir des séquences de dynamitage : polygones pour le dynamitage fournies au gestionnaire de forage – dynamitage ;
- ✚ Le plan de contrôle de teneur de minerai prévu au géologue ;
- ✚ Les cartes de démarcation seront fournies pour les travaux d'excavation ;
- ✚ La quantité prévue et la qualité associées du minerai à envoyer à l'usine.

3.3.7. Stratégies et techniques de la planification minière

Plusieurs méthodes existent pour planifier le développement spatial d'une exploitation minière :

A. Les mauvaises méthodes qui consistent à :

- ❖ **Exploiter le gisement en utilisant la valeur moyenne provenant de la fosse optimale** : « **Straight one methods** »
- ❖ **Exploiter verticalement la mine de niveau par niveau de dépôt** : « **Worst Case Mining** »

B. Les bons procédés qui consistent à :

❖ **Respecter une phase administrative**

· Objectif: Produire une mine à élimination sorcière qui concerne une ou plusieurs contraintes administratives (remblayage, reforestation ...)

· Voie : Produire une direction uniforme et progressive à la phase d'exploitation: Si plusieurs sens sont possibles, nous pouvons les tester pour choisir la meilleure direction en terme de qualité et de rentabilité – Direction de la mine - Whittle -

❖ **Fournir à l'usine une qualité constante et bien répartie**

· Objectif: Développer la phase de conception de la mine années après années afin de fournir à l'usine la qualité ciblée et équilibrée · Voie : Whittle

❖ **Pour maximiser la rentabilité de la fosse : Cible « le meilleur des cas des mines » - « cas spécifique »**

· Objectif: Elaborer toujours la fosse de plus riche minerai

· Méthodes : des enveloppes imbriquées de la fosse données par Whittle - Facteur de revenu – Whittle

Il existe plusieurs méthodes de planification minière : La méthode dite « Straight on » ou tiré droit, la méthode dite " Best Case " ou meilleur cas, « Worst case » ou pire cas et le " Specified Case" ou cas spécifique...

C. Exemple de stratégie de planification minière

La méthode dite « Straight on »

❖ **Une fosse optimale est caractérisée par des paramètres internes tels que:**

- ✚ Tonnage total (T) ;
- ✚ minerais totale (O) ;
- ✚ Total de stérile (W) ;
- ✚ Rapport global (T / W) ;
- ✚ teneur moyenne.

❖ A première vue, il paraît aisé de dimensionner les moyens miniers nécessaires pour exploiter une fosse en se basant sur ses caractéristiques globales et le rythme d'extraction souhaité.

TABLEAU 2 : PARAMETRES DE LA FOSSE X

FOSSE OPTIMALE X		
Quantités techniques	Unité	Valeur
Stériles	Kt	4287
Minerais	Kt	2337
Total (Minerais + Stériles)	Kt	6624
Ratio (Stériles / Minerais)		1.83
Teneur métal	%	2.40

TABLEAU 3: PREVISION D'EXPLOITATION

PLANIFICATION PREVUE		
Rythme d'extraction	KT / An	800
Ratio (Stérile / Minerais)		1.83
Minerais associé	KT / An	282

TABLEAU 4 : RESSOURCES DISPONIBLES POUR L'EXPLOITATION

MOYENS MINIERS		
Production de la pelle hydraulique	t/h	200
Heures effectives de marche annuelle	h/an	2000
Production annuelle	Kt/an	400
Rythme d'extraction ciblé	Kt/an	800
Nombre de pelles nécessaires		2

Ce qui donne :

- ✚ Durée d'exploitation de la fosse X = $6624 / 800 = 8.3$ ans ;
- ✚ Ratio d'extraction de 1.83 ;
- ✚ Répartition des matériaux à extraire sur 9 années de la façon suivante :

TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DE LA PLANIFICATION DE LA FOSSE X

Planification minière : méthode « tiré droit » de la fosse X

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Minerai	282	282	282	282	282	282	282	282	79	2 337
Matériau	800	800	800	800	800	800	800	800	221	6 624
Stérile	518	518	518	518	518	518	518	518	142	4 287
Ratio	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Teneur (%)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

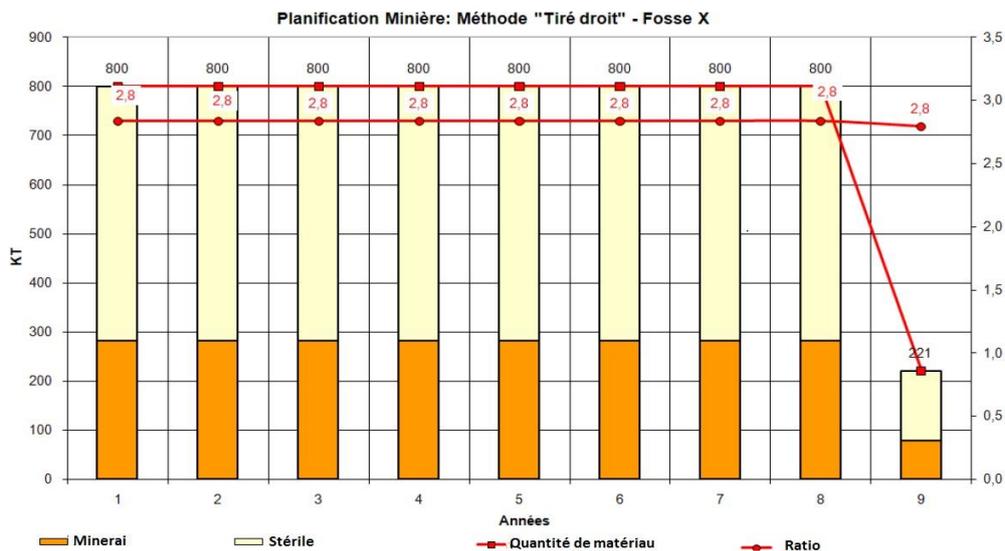


DIAGRAMME 13 : EVOLUTION DE LA PLANIFICATION DE LA FOSSE X

Caractéristiques de la méthode « Straight on » :

- ❖ Elle est une "mauvaise méthode de planification de la mine classique", malheureusement elle est encore trop répandue
- ❖ Cette méthode n'est mauvaise que quand on ne dispose pas de données supplémentaires (de la carte géologique, 3D ...). **Dangers de la méthode:**
- ❖ Le gisement ne coopère pas avec nos calculs faciles ...
- ❖ C'est une méthode trompeuse car elle cache la variabilité spatiale de la géologie des gisements (minéral, déchets, les qualités répartition ...)
- ✚ Elle cache les difficultés et les défis techniques

Néanmoins, cette méthode est réconfortante pour le personnel d'exploitation lorsque l'exploitation minière séquentielle est affichée sur une feuille Excel ...

Cette méthode est utilisée lorsqu'aucune donnée géologiques n'est disponible et / ou lorsqu'il n'existe pas de compétences en planification minière sur place.

C'est une méthode de planification minière à éviter.

Exemple planification de la mine fictif pour la fosse X

Pour être plus précis dans sa planification minière, l'ingénieur décide d'exploiter la réserve niveau par niveau. (Voir : algorithme)

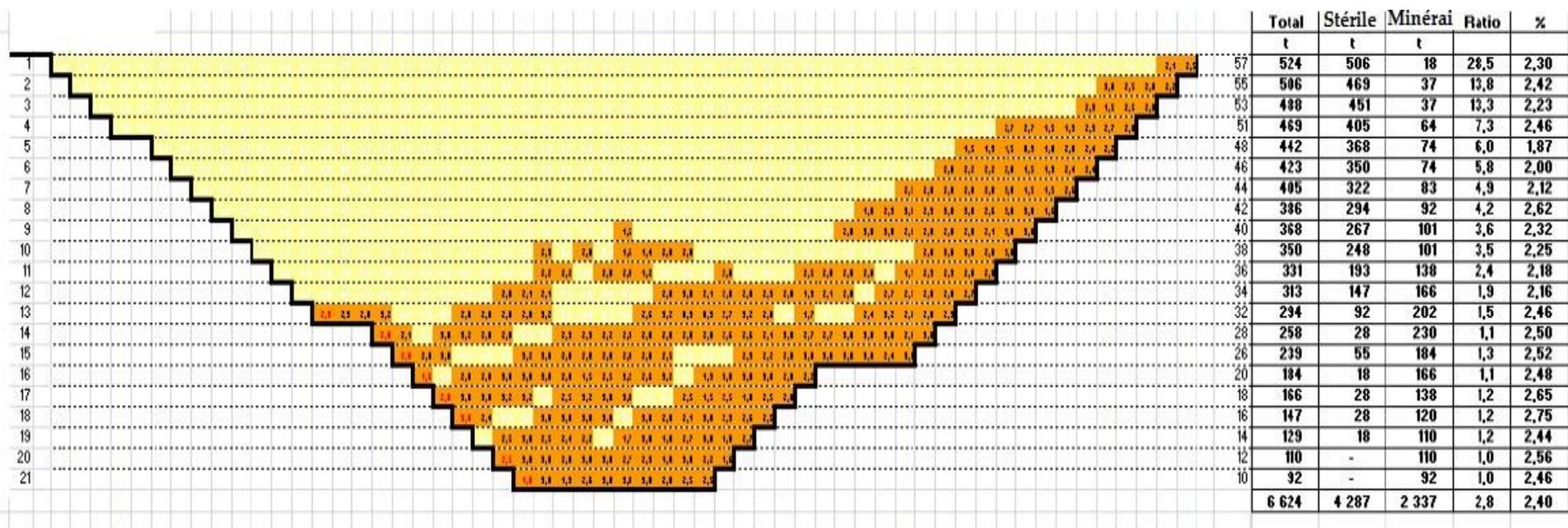


FIGURE 14 : PROJET D'OUVERTURE DE LA FOSSE NIVEAU PAR NIVEAU

"Worst Case" Méthode

La méthode « Worst Case » est la méthode pessimiste ou la pire méthode. Caractéristiques de la méthode :

- ✚ La progression de l'extraction annuelle est vertical : niveau complet par niveau complet ;
- ✚ Méthode facile à faire physiquement et techniquement ;
- ✚ Elle est meilleure pour les configuration de gisement où le minerai n'est pas entremelé au stérile et avec une qualité constante et homogène (configuration très rare!) ;
- ✚ Il n'existe aucune flexibilité opérationnelle : Il exploite ce qui est en face de la pelle.

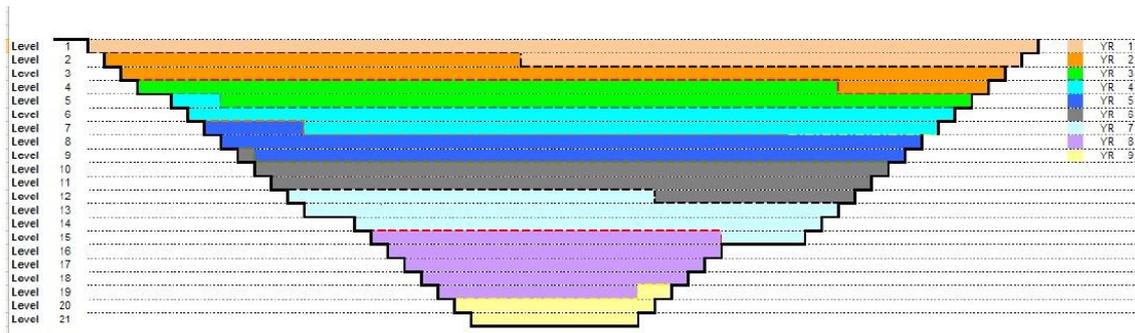


FIGURE 15 : LA MÉTHODE « WORST CASE »

En somme ; on peut dire que c'est une méthode facile à faire. Mais elle est économiquement difficile car lors de son application, la phase de découverte aura un impact négatif pour la VAN. Comme nous avons besoin de produire avec ce procédé, au début de l'extraction, il sera nécessaire d'avoir une grande quantité de moyens d'extraction afin d'avoir accès au minerai avec les conséquences bien connues :

- ✚ Les besoins à résidus miniers vont diminuer avec l'approfondissement de la fosse ;
- ✚ Les difficultés à la taille de l'exploitation minière seront considérables ;
- ✚ Cette méthode peut être dédiée aux très petites mines où il n'y a pas assez d'espace pour conception refoulements.

Quel type de solutions existe pour éviter cette configuration mauvaise?

Les solutions pour éviter le pire des cas se présentent tel que :

Pour éviter l'augmentation du ratio, le mineur va commencer rapidement à exploiter des niveaux inférieurs où le minerai se trouve beaucoup plus à sa portée.

Le but de la progression verticale est d'atteindre dès que possible le minerai.

Cette configuration minière qui donne rapidement accès au minerai est appelé le « meilleur des cas »

"Meilleur Affaire "

Le « Meilleur Affaire » est basé sur le facteur Revenu.

Rappel de la notion du Facteur Revenu (FR):

36

- ✚ pour un prix de marchandise donné correspond une et une unique fosse optimale ; le
- ✚ facteur de Revenu permet de faire varier le prix des produits de base. Par conséquent, il permet de générer plusieurs fosses : Les coquilles de la fosse ;
- ✚ le facteur Revenu peut être simulé augmenté ou diminué ; pour chaque prix simulé
- ✚ (par exemple : de 50% à 150 % du prix initial 2% chacun) correspondre une nouvelle fosse optimale uniques ;
- ✚ les coquilles des fosses seront imbriqués par une baisse incrémentale de rentabilité (Le plus petit de la volonté de la fosse génère la plus grande valeur incrémentale) ;

L'intérêt de Whittle est d'imbriquer les coquilles de la fosse : ces fosses imbriquées vont nous permettre de savoir comment développer la fosse pour aller du secteur de haute rentabilité en réduisant les secteurs de rentabilités minimales.

Ce GUID permet de déterminer le scénario « le meilleur des cas »

Planification de la mine « Meilleur des cas »

Pour éviter une grande exploitation minière de ratio de décapage des niveaux élevés:

il faut accélérer l'évolution de la fosse verticale afin d'avoir un accès rapide au minerai et ainsi exploiter le gisement sur un ratio de décapage plus faible qu'au début.

Pour guider la progression globale de la fosse, il est nécessaire d'utiliser le gradient de rentabilité proposée par les puits de progression de la coquille imbriquée.

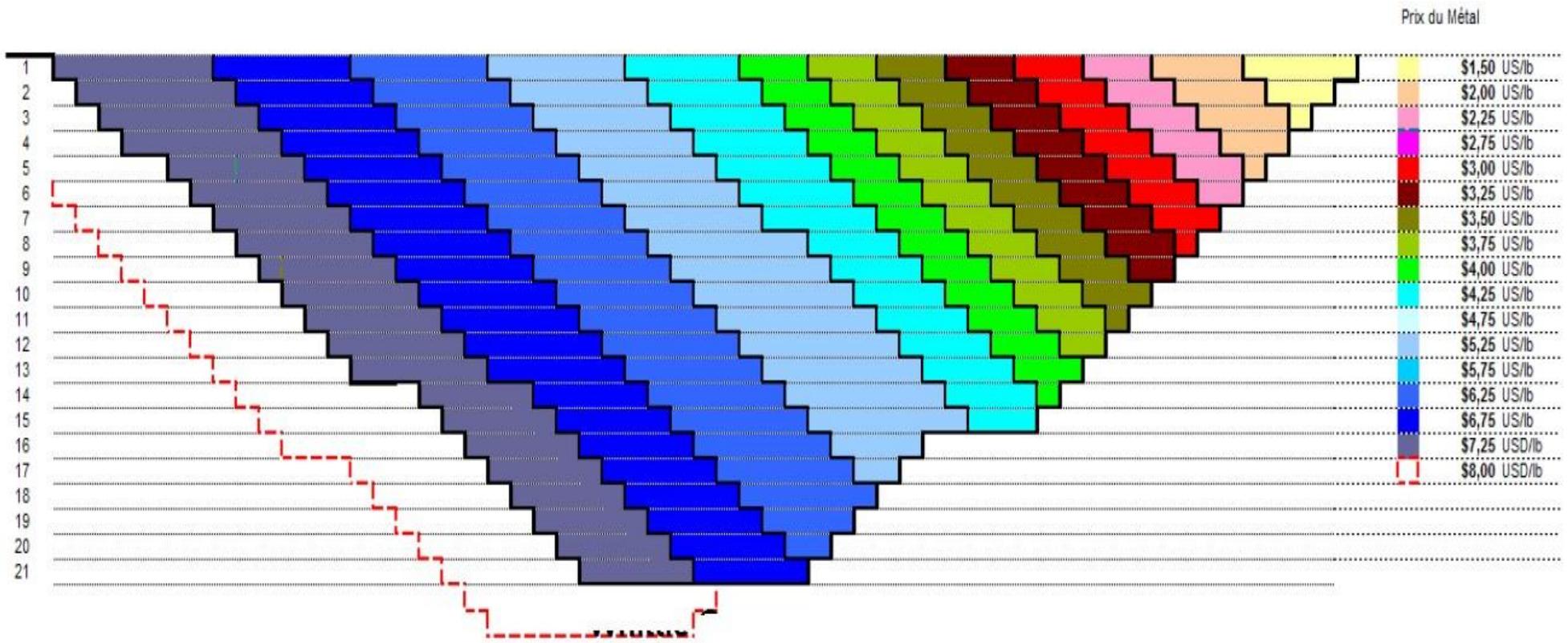


FIGURE 16: RESULTAT 1 DE L'OPTIMISATION PAR WHITTLE

Ce schéma ci-dessus représente les coquilles des fosses Imbriqués pour le dépôt X (FR de 20% à 120% par pas de 5%). Les fosses générées sont optimales pour le prix indiqué et sont la meilleure augmentation en terme de rentabilité. C'est la méthode pour maximiser la valeur de fosse, enveloppe après enveloppe. Un faible ratio de décapage au début sera rentable pour optimiser la VAN du projet.

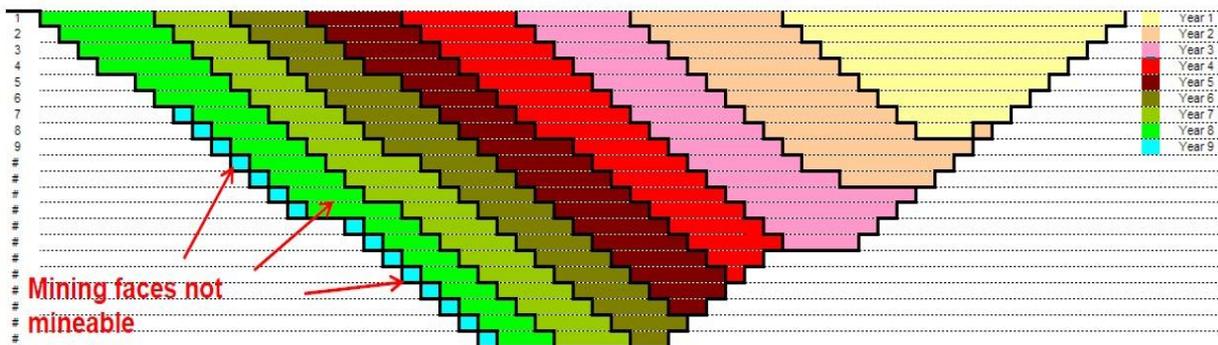


FIGURE 17 : RESULTATS 2 DE L'OPTIMISATION PAR WHITTLE Les

caractéristiques de la méthode sont :

- ✚ La progression annuelle est verticale et horizontale: Selon la toile de la coquille fosse à rogner ;
- ✚ méthode réaliste sur le champ de mines (exploitation du gisement qui se présente comme si l'on épluche une orange) ;
- ✚ L'enveloppe de la fosse d'évolution incrémentale horizontale ne permet pas d'avoir suffisamment d'espace pour exploiter la mine (largeur de forage minimale) encore moins les routes ...

Chapitre 4 : Détermination de la Production annuelle de la MCO

4.1. Notions

La production, c'est coordonner l'ensemble des activités qui vont concourir à la satisfaction d'un client (usine de traitement par exemple) tout en étant économiquement viable.

C'est plus particulièrement exploiter des minerais :

- 1) Faisant l'objet d'extractions ;
- 2) Dans les délais convenus ;
- 3) Au moindre coût ;
- 4) A la quantité demandée ;
- 5) En utilisant au mieux l'outil (engins) de production.

La production de la mine est établie d'habitude sur la base d'un plan du développement à long terme de l'industrie minière.

Elle dépend de facteurs économiques et dans une large mesure de la nature du gisement. Parmi les très nombreux facteurs qui interviennent pour déterminer la production de la MCO, signalons :

- L'état du marché intérieur et extérieur (en cas d'un marché limité, on ne peut construire qu'une mine avec une production restreinte) ;
- La qualité de minerai (elle joue un rôle essentiel sur le coût du traitement et sur la quantité des produits finis) ;
- Les réserves de minerai et le degré de leur prospection (avec une production prévue, elles définissent la durée de vie de la mine) ;
- Les conditions techniques et minières de l'exploitation ;
- Le délai de la mine (une fois établie, influe sur tous les éléments de l'entreprise : dimensions des ouvrages de découpage et de préparation, capacité d'extraction, de transport, de laverie, importance de bâtiments de l'exploitation, effectif de la MCO, etc.).

La production annuelle de la MCO est donc une grandeur déterminée en fonction des conditions techniques, économiques et naturelles.

La production annuelle de la MCO comprend le volume des roches stériles enlevées et celui du minerai extrait chaque année.

Ce concept est mis en œuvre notamment à trois niveaux :

- Les facteurs techniques :
 - o Mode d'ouverture ; o Sens de progression des travaux miniers ; o Equipements utilisés.
- Les facteurs naturels :
 - o Relief ; o Angle de pendage ; o Puissance du gisement et des roches de recouvrement.
- Les facteurs économiques :
 - o Echelle du fond d'investissement ;
 - o Prix de vente et demande du minerai sur le marché mondiale ; o Prix d'achat des matériaux nécessaires.

4.2. Production annuelle de la MCO

1^{er} cas :

En sachant les réserves exploitables de minerais d'un gisement donné et la durée d'existence de la mine, sa production annuelle se détermine par la relation :

$$A = \frac{R_e \beta}{t_m(1-d)}, t/ans$$

t_m est la durée d'existence de la mine avec une production prévue, ans.

- La durée de vie d'une mine, pourra être courte dans le cas de gisements métalliques de faible profondeur, avec des réserves limitées.
- La durée devra par contre être élevée pour une mine profonde demandant de gros investissements et personnel considérable. La mise en route d'une telle mine est longue, l'appel de main d'œuvre ses difficile à réaliser et il se fait progressivement, souvent après construction de nombreux logements.

R_e – les réserves exploitation

$$\beta = \frac{R_r}{R_e} \text{ - le coefficient d'extraction}$$

$$d = \frac{S}{T} \text{ - la dilution du minerai}$$

Dans l'état actuel de la technique, il existe des rapports optimums (voir le tableau suivant) entre la production annuelle d'une mine et sa durée de vie assurent un minimum à la somme des amortissements et des frais d'exploitation à la tonne de minerai.

Tableau 6 : durée de vie rationnelle de la mine en fonction de sa production annuelle.

Production annuelle de la tonnes	Durée de vie de la mine, ans mine, en milles	
	Faible profondeur du gîte et conditions favorables de d'ouverture et d'extraction	Gîte profond (plus de 100 m) conditions difficiles de d'ouverture et d'exploitation
50 – 100	8 - 10	12 - 15
100 – 200	10 - 12	15 - 18
200 – 500	12 - 15	20 - 25
500 – 1000	15 - 20	25 - 30
Plus de 1000	20 – 25 et plus	30 – 40 et plus

La durée totale de vie de la mine est toujours supérieure à celle de t_m qui entre dans formule, car il faut tenir compte du temps nécessaire au développement de la mine pour fournir la production et à l'extraction de l'exploitation au fur et à mesure de l'épuisement des réserves de minerai.

2^{ème} cas :

Pour les gisements horizontaux, la production annuelle :

$$A = V_f \times L_f \times M_v \times \gamma_m \times K(1 + d)$$

V_f – vitesse de progression du front (m/an)

L_f – longueur du front (m)

M_f – puissance verticale du gîte (m) γ_m –

masse volumique du minerai (t/m^3)

K – coefficient d'extraction d

– dilution

$$V_f = \frac{Q_a}{L_b \times H_g} \text{ ou } V_f = \frac{n \times Q_a}{L_f \times H_g}$$

Q_a – production annuelle de l'excavateur en m^3

H_g – hauteur du gradin en m

L_b – longueur du bloc en m

N – nombre de blocs de travail

NB : la planification de la production annuelle de la MCO pour les gisements horizontaux comprend les étapes suivantes :

- *Division du gisement en des pas suivant le sens de progression des travaux choisi ;*
- *Etablir la coupe géologique de chaque pas de production ;*
- *Au niveau de chaque pas, calculer le volume des stériles et du minerai, la vitesse de production correspondante et la production annuelle ;*
- *Etablir le graphe : volume des roches stériles, volume du minerai extrait en fonction du temps.*
 $(V_s, V_m) = f(t)$
- *Régler le graphe de la production annuelle sur la base du principe suivant :*
 - o *Le stérile doit être enlevé au terme fixé ou même plutôt, o*
 - Le minerai doit être extrait au terme fixé ou plutôt.*

3^{ème} cas :

Pour les gisements inclinés ou dressants, la production annuelle :

1. Approfondissement annuel

On appelle vitesse d'approfondissement du front de la MCO, la profondeur d'un an d'exploitation.

La profondeur d'un an d'exploitation permet de calculer la production annuelle de la MCO. Cette profondeur est donnée par la formule :

$$H_a = \frac{H_g}{T_p}, \text{ (m/an)}$$

T_p – temps de préparation du nouveau gradin (m)

La durée de préparation du nouveau gradin est la durée d'un cycle à partir du creusement de la tranchée d'accès au gradin intérieur jusqu'à la fin de l'agrandissement de celui-ci.

$$T_p = T_a + T_d + T_{ag}, \text{ (ans)}$$

T_a – temps de creusement de la tranchée d'accès (en ans) ;

T_b – temps de creusement de la tranchée de découpage (en ans) ;

T_{ag} – temps d'agrandissement (en ans).

2. Production annuelle

- la production annuelle du minerai : $A_m = h_a \times F \times \gamma_m \times K(1 + d)$, en T/an
- la production annuelle des stériles : $A_s = (1 + K_t) \times A_m$, en T/an La production

annuelle totale : $A_t = A_m + A_s$, en T/an

3. Stabilisation de la production annuelle

Du fait de la différence des vitesses d'approfondissement et des surfaces du minerai dégagé au niveau des différents gradins, la production annuelle de la carrière diffère chaque année.

C'est pourquoi, il est nécessaire de la stabiliser pour toute la durée de vie de la carrière ou pour chacune des étapes de production.

Les principes de stabilisation est le même que pour les gisements horizontaux.

4.3. Vérification de la production annuelle de la MCO par rapport à la capacité de transport

Tous les produits miniers sont déplacés à travers la tranchée d'accès. Pour cela, il est rationnel de vérifier la production de la carrière en fonction de la capacité des transports surtout lors de l'utilisation du transport par chemin de fer.

$$\begin{cases} A_o \leq N_t \times W_c \\ A_o = A_m + A_s \end{cases}$$

N_t – nombre de tranchée d'accès

W_c – capacité de transport de chaque tranchée

$$W_c = \frac{N \times Q \times n}{f}$$

N – capacité de circulation de la tranchée

Q – charge d'un wagon en tonne n –

nombre des wagons dans le convoi f –

coefficient de réserve $f = 1,2 \div 1,25$

4.4. Relation entre la production annuelle et la quantité du minerai extrait de la MCO

$$A_m = \frac{A_c \times 100}{\gamma_k}$$

A_c – production annuelle du concentré en T/an

γ_k – rendement du concentré à partir du minerai en %

A_m – production annuelle en minerai

Chapitre 5 : Ouverture des gisements dans les MCO et paramètres de tranchées

5.1. Généralités

A la suite des travaux miniers, il se produit le chargement de roches de l'écorce terrestre et se forment des ouvrages miniers qui dans l'ensemble constitue la mine à ciel ouvert.

Les travaux miniers formant la mine peuvent se diviser en deux groupes :

- Creusement d'ouvrages miniers et construction d'infrastructures pour assurer les liaisons de transport dans la mine à ciel ouvert – ces travaux, sont liés à la découverte du gisement.
- Production de travaux de découverte et d'extraction du minerai – ces travaux miniers, sont liés aux systèmes d'exploitation.

Sous découverte du gisement on entend le creusement d'ouvrages miniers (ou infrastructures d'accès), ouvrant les accès de transport de la surface terrestre (carreau de la mine) vers le gisement et permettant la préparation du front des travaux.

Dans le cas d'un gisement dressant, les variantes de découverte possibles sont indiquées à la figure suivante.

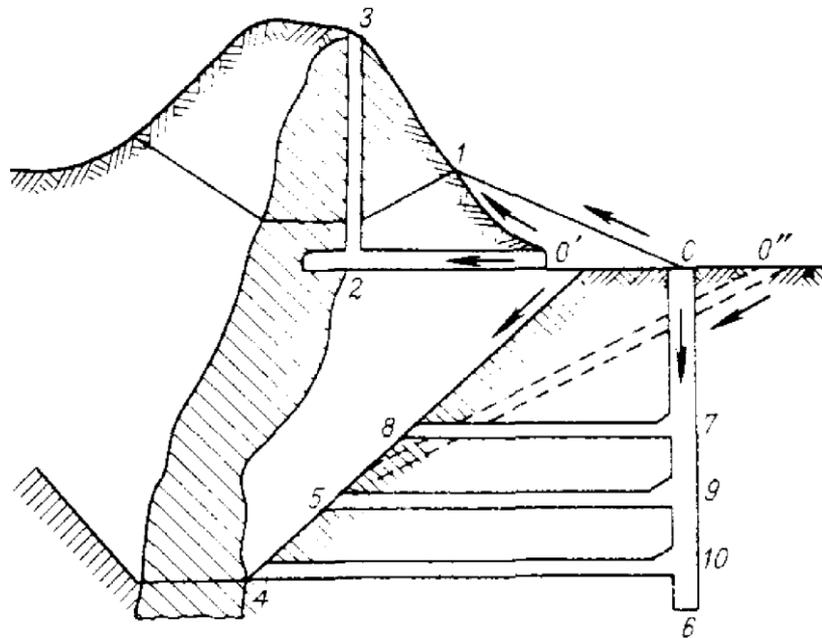


FIGURE 18 : SCHEMA DE LA DECOUVERTE DU GISEMENT

Les accès de transport vers la partie du gisement se trouvant au-dessus de la surface (niveau 0), peuvent être réalisés soit par demi tranchées suivant le relief du gisement (ligne 0' – 1 – 3), soit par remblai (ligne 0 – 1), soit par galerie et déversement dans le puit (ligne 0' – 2 – 3).

Pour la découverte des niveaux au-dessous de la surface terrestre (niveau 0), il faut creuser soit un système de tranchées inclinées à l'intérieur du champs de la carrière (ligne 0' – 8 – 5 – 4), soit le puit (0 – 6) avec les galeries (7 – 8, 9 – 5, 10 – 4), soit le puit incliné (0'' – 5).

Le champ de la mine se divise en profondeur en différentes couches horizontales, qui seront ensuite découvertes et préparées. Les gradins formés s'exploitent successivement de haut en bas.

Les tranchées d'accès, découvrant chaque gradin, forment dans l'ensemble le système de tranchées, typiquement qui caractérisent le mode de tranchée qui découvrent le gisement.

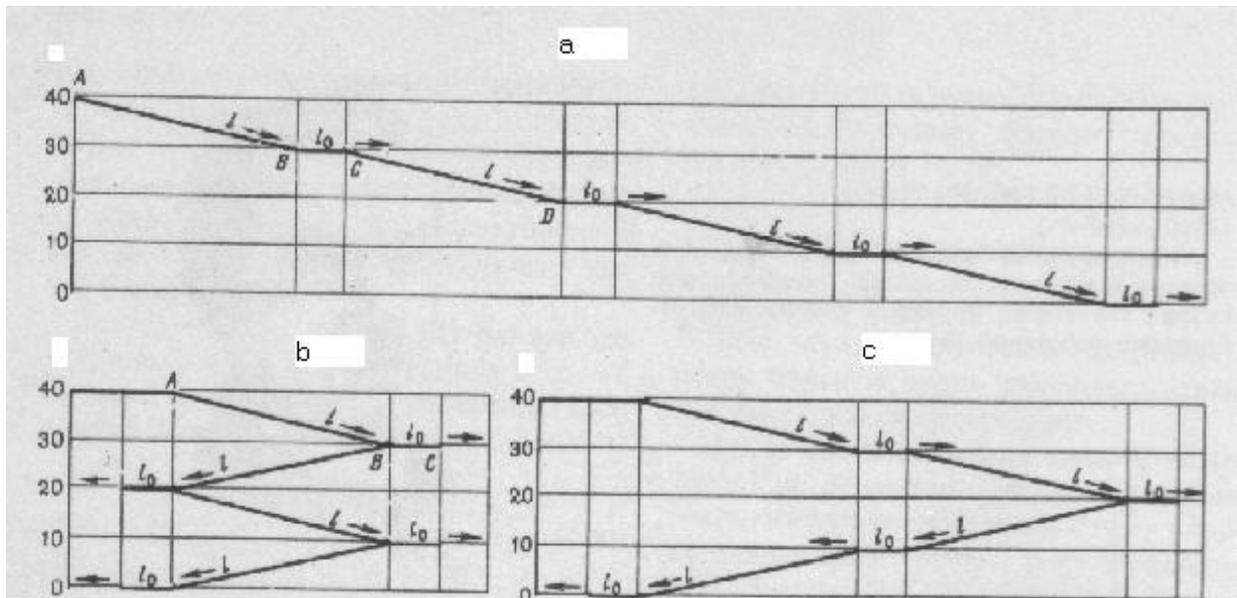


FIGURE 19 : PRINCIPAUX TYPES D'ACCÈS AU GISEMENT l - longueur de l'accès ; l_0 - longueur de la plate-forme de jonction

La résolution et la réalisation pratique de la découverte d'un gisement prédétermine pour longtemps et parfois définitivement l'agencement de l'exploitation de la carrière et sa rentabilité. Concernant ce problème une signification particulière est à retenir pour : le type et la disposition mutuelle des ouvrages de découverte (mode de découverte) ; la hauteur du gradin ; la direction de progression des travaux miniers dans l'espace, qui prédétermine l'emplacement des ouvrages miniers de découverte.

Lors du choix du mode de découverte plusieurs facteurs doivent être considérés : le contour final de la mine (limite), le système d'exploitation, le type de transport adopté, le délai de construction de la mine, les conditions et la forme du gisement, le relief de l'environnement, l'implantation à la surface d'installations et de terrils, la qualité du minerai, les facteurs climatiques, les conditions et les possibilités de financement.

Avant de procéder à l'exploitation à ciel ouvert ou souterraine d'un gisement, il convient d'exécuter des creusements pour accéder à celui-ci et permettre l'emploi de moyens de transport entre les terrains productifs et la surface du sol.

La découverte est l'enlèvement du terrain de recouvrement qui recouvre un gisement dans le but de l'exploiter à ciel ouvert.

La découverte d'un gisement se fait par creusement de tranchées principales qui donnent accès à la couche et de tranchées de découpage qui préparent le champ de la mine à l'exploitation. Les tranchées principales sont de section trapézoïdale et ont un profil longitudinal et transversal particulier. Si elles sont destinées au transport par engins à roues, leur pente est comprise entre 0,03 et 0,10 et on les appelle tranchées inclinées. Lorsqu'elles sont destinées à l'installation d'élévateurs (skips ou convoyeurs), leur pente est forte et on les appelle alors tranchées en pente raide.

Les tranchées principales peuvent être disposées en dehors du contour de la mine ou à l'intérieur de celle-ci. Dans le premier cas, elles sont dites extérieures, dans le second, intérieures. Les tranchées extérieures ont un volume de beaucoup supérieur à celui des tranchées intérieures, c'est pourquoi on les emploie pour la découverte des champs d'exploitation peu profonds.

Les tranchées intérieures sont employées dans le cas contraire.

Les tranchées extérieures sont creusées à partir de la surface, en dehors de la carrière, jusqu'à la limite de cette dernière, au niveau de la plate-forme de travail de l'horizon auquel elles donnent accès.

Les tranchées intérieures sont creusées suivant la limite de la carrière, à partir de la surface (ou à partir de l'horizon précédemment découvert) et jusqu'au niveau de la plate-forme de travail de l'horizon auquel elles donnent accès.

Les différents horizons ou bien leur ensemble peuvent être découverts par tranchées indépendantes ou bien par tranchées dépendantes.

Les tranchées extérieures sont dites indépendantes lorsqu'elles sont creusées en différents points de la limite de la carrière : par exemple, s'il y a deux gradins, l'une au niveau de la plate-forme de travail, au stérile (tranchée de découverte) et l'autre au minerai (tranchée d'exploitation). Dans ce cas, le transport des stériles et celui du minerai se font par des trajets différents.

La tranchée au stérile L1 et la tranchée au minerai L2 sont creusées côte à côte, parallèlement, et leurs bords contigus se recoupent.

Les tranchées intérieures dépendantes sont creusées non pas directement à partir de la surface mais à partir de l'horizon découvert par la tranchée précédente.

Les tranchées principales découvrant tous les gradins et constituant un système unique de tranchées dépendantes sont dites tranchées communes.

Il existe également plusieurs systèmes mixtes de disposition des tranchées principales.

Les tranchées principales au stérile sont le plus souvent disposées sur les côtés du secteur à exploiter.

Pour commencer l'exploitation, on creuse au minerai des tranchées horizontales que l'on appelle généralement tranchées de découpage.

L'exploitation se fait ensuite par élargissement progressif des tranchées dont on attaque par zones une seule ou les deux parois.

Les tranchées principales intérieures sont généralement disposées sur le bord inexploité de la carrière mais quelquefois aussi sur son bord de travail. Dans ce dernier cas, les voies qui y sont placées doivent être périodiquement déplacées du fait du recul de ce bord. Les précédents exemples n'illustrent qu'une partie des différents schémas existants de disposition des tranchées principales.

En partant de la disposition, du nombre et de la destination des tranchées principales, Chechko a établi la classification des procédés de découverte ci-dessous.

Classification des procédés de découverte d'un gîte dans l'exploitation à ciel ouvert (D'après E. Chechko)

Nomenclature des procédés	Principe des procédés
Découverte par tranchées séparées	Chaque gradin est découvert par une tranchée indépendante
Découverte par tranchées groupées	Des groupes de gradins successifs sont découverts par tranchées dépendantes les différents groupes de gradins sont découverts de manière indépendante
Découverte par tranchées communes	
Découverte par tranchées couplées	Tous les gradins sont découverts par un seul système de tranchées Premier, second et troisième procédés avec emploi de deux tranchées pour découvrir chacun, plusieurs ou tous les gradins de la carrière

Le choix du procédé de creusement des tranchées dépend :

1. des dimensions de la section transversale des tranchées ;
2. du relief de la région ;
3. de la possibilité de placer des déblais produits par le creusement des tranchées sur les bords de ces dernières ;
4. du type et des caractéristiques des excavateurs utilisés.

Les procédés de creusement des tranchées sont nombreux. Les principaux d'entre eux peuvent être classés en trois groupes : procédés dits sans transport, avec transport, et mixtes.

5.2. Découverte par tranchées isolées

Cette méthode est utilisée pour la découverte de gisement peu profonds et de faible puissance. On utilise soit des demi-tranchées soit des tranchées extérieures ou intérieures en fonction des conditions données. La pente des tranchées est fonction du type de transport utilisé. Le principal avantage de cette méthode est l'indépendance de la liaison de transport avec chaque niveau de gradin.

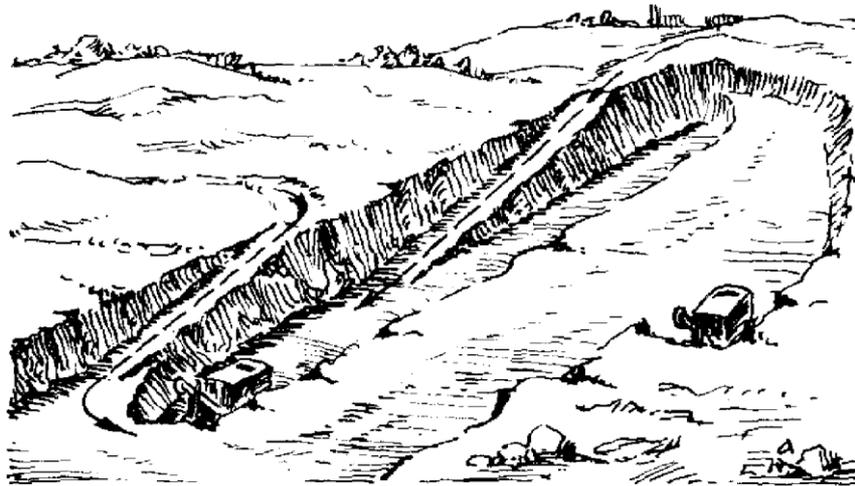


FIGURE 20 : VUE DU BORD DE LA CARRIERE EN DECOUVERTE PAR TRACHEES INTERIEURES SEPEEES.

5.3. Découverte par un système de tranchées successives

La nature de ce type d'accès est illustrée sur la Fig. suivante, sur laquelle est indiquée la projection du bord de la carrière sur une surface verticale. Pour l'accès au gradin d'altitude +30 m du point A vers l'altitude +40 m il est creusé une tranchée d'accès inclinée AB. Sur le niveau +30 m se forme une plateforme de jonction BC et ensuite dans cette même direction, d'une manière consécutive, est creusée la tranchée d'accès CD. Ainsi, tous les gradins de la carrière sont découverts et les moyens de transport (les camions) ne changent pas de direction lors du passage d'un gradin à un autre.

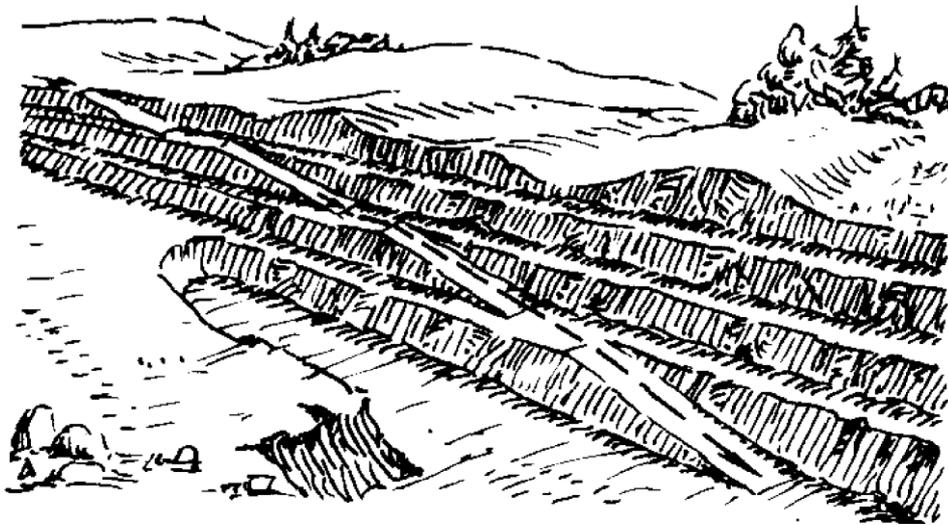
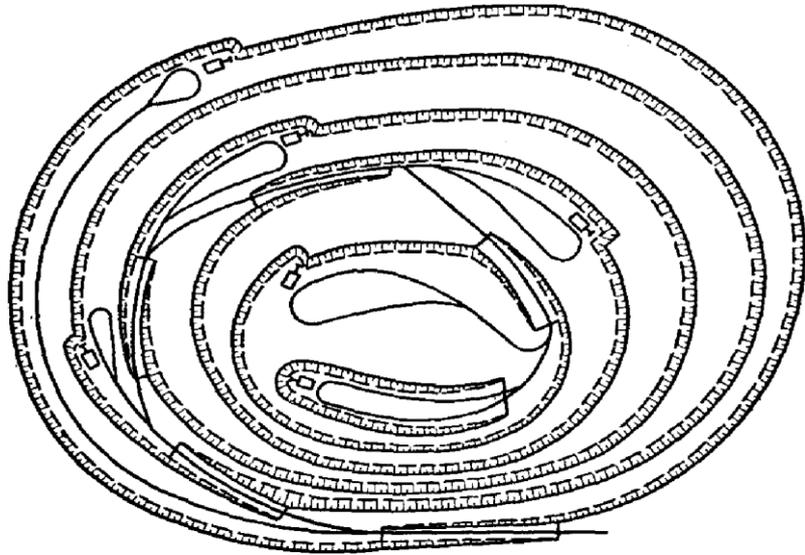


FIGURE 21 : ASPECT DU BORD DE LA CARRIERE EN DECOUVERTE PAR UN SYSTEME DE TRACHEES INTERIEURES CONSECUTIVES.

5.4. Découverte par tranchées successives en spirale

Lors de l'utilisation du transport par camion dans les carrières profondes la longueur des tranchées successives peut s'avérer beaucoup plus grande que la longueur de la carrière. Dans le plan l'allure de toutes les tranchées successive prend la forme d'une spirale (Fig. suivante).



5.5. Découverte par tranchées successives extérieures

Si le gisement n'est pas assez profondément, nous pouvons utiliser un tracé successif des accès à l'extérieur du contour de la carrière. L'aspect global de la carrière dans ce cas de découverte est illustré sur la Fig. .



FIGURE 22 : ASPECT DU SYSTEME DE TRANCHEES SUCCESSIVES EXTERIEURES

5.6. Découverte par un système de tranchées en cul de sac.

C'est le type d'accès le plus répandu et le plus souvent est combiné avec les autres types, est utilisé pour les gisements, exploités par un grand nombre de gradins. Le plus souvent sont utilisés les tranchées intérieures en boucle (Fig.).



Fig. Aspect du bord de la carrière lors d'une découverte avec un système de tranchées intérieures en boucles.

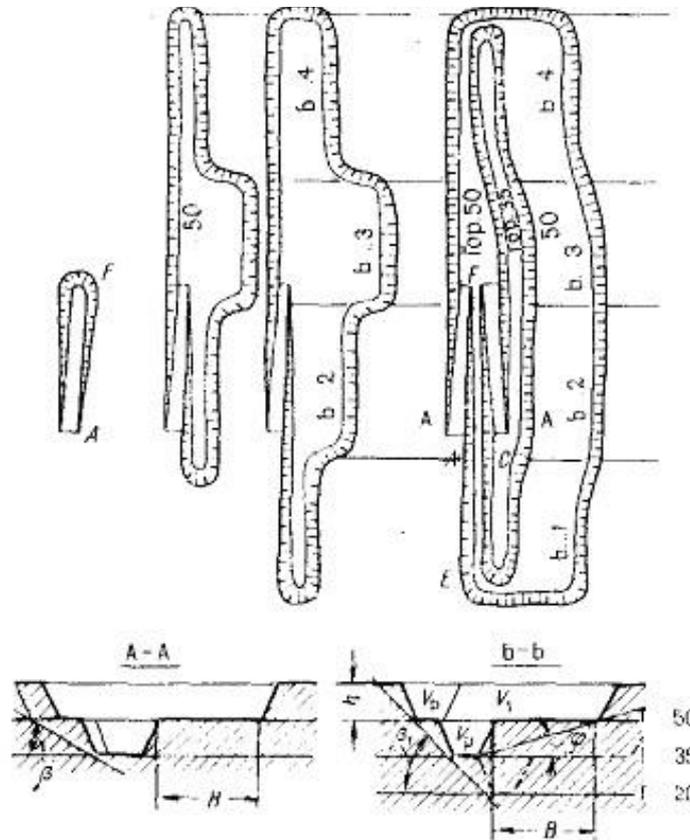
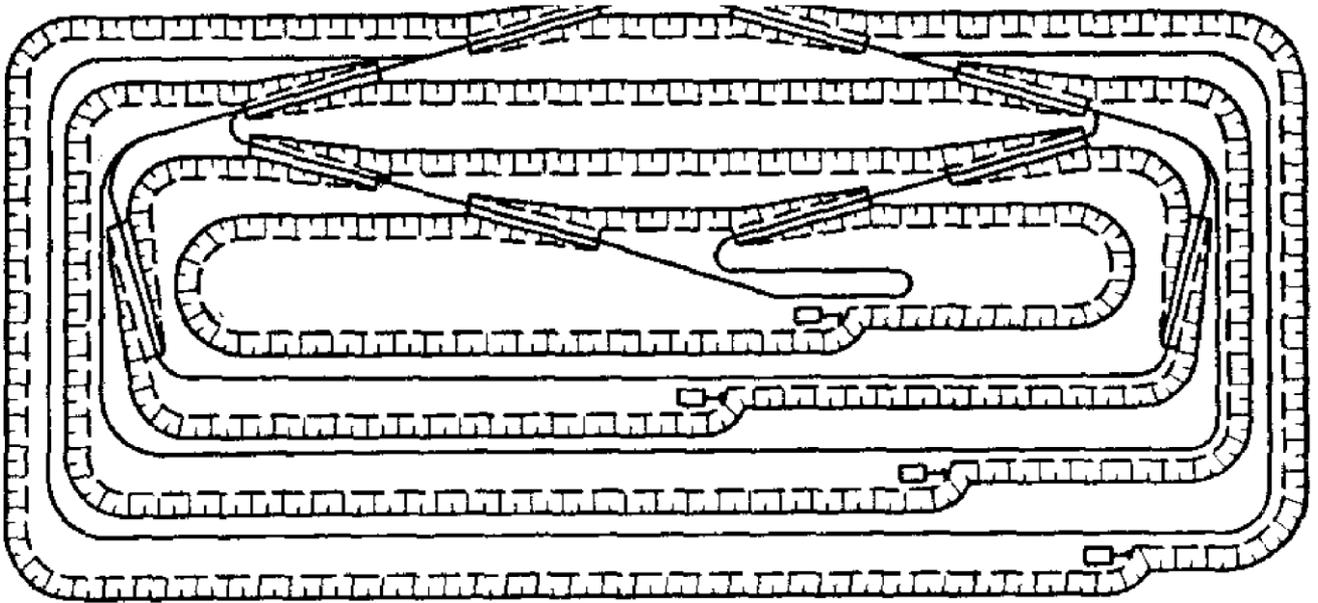


Fig. . Organisation des travaux miniers de la découverte avec des tranchées intérieures en cul de sac.

5.7. Découverte par tranchées combinées



5.8. Creusement des tranchées

La découverte des champs de carrière et la préparation des niveaux d'exploitation s'effectuent le plus souvent à l'aide de tranchées et demi-tranchées d'accès et de découpage (Fig.).

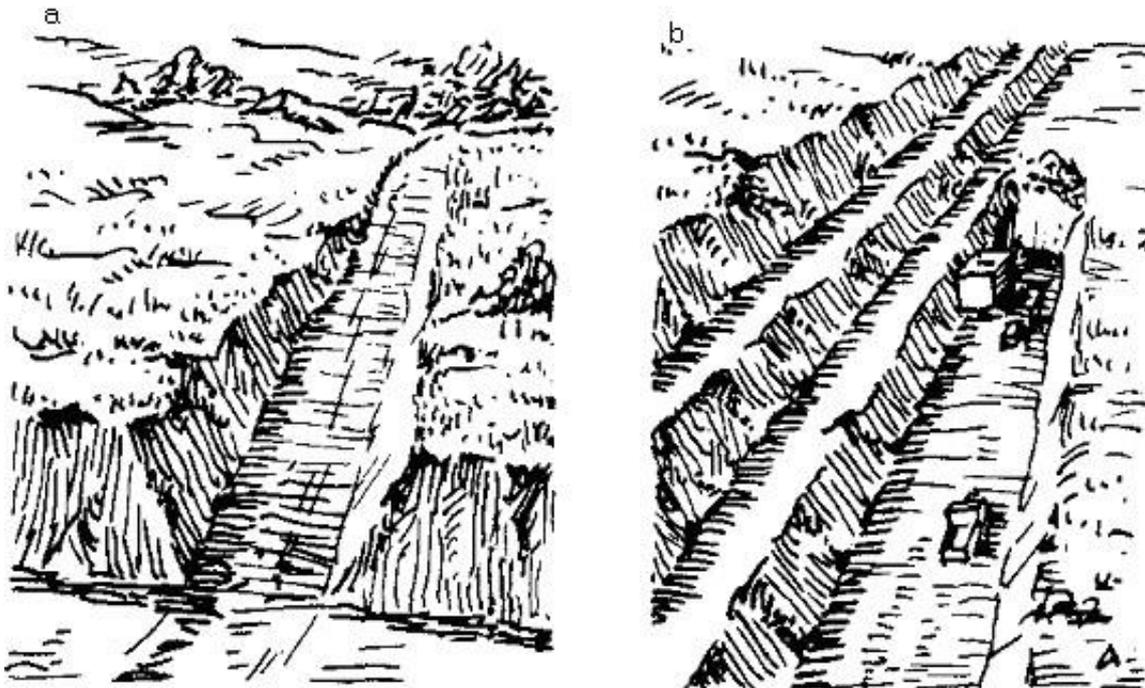




Fig. Découverte du champs de la carrière par tranchées :

a - d'accès ; b – de découpage et demi tranchée ; c – de découpage ; d – d'accès

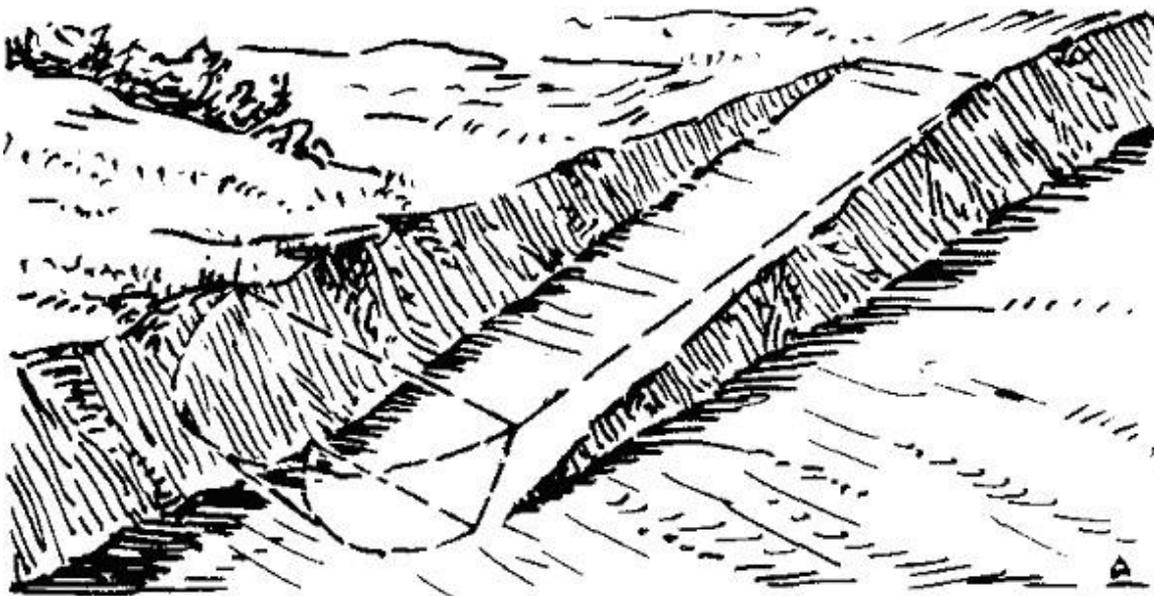


Fig. Schéma d'une tranchée d'accès.

Les tranchées d'accès et demi tranchées se creusent avec une inclinaison, qui dépend des conditions concrètes et du type de transport adopté. Les principaux éléments d'une tranchée : le fond et les talus des bords. Les principaux paramètres des tranchées : largeur du fond, angles des talus des bords, l'inclinaison du fond, profondeur finale et surface de la coupe transversale.

Les tranchées d'accès, en fonction des conditions concrètes, peuvent être horizontales ou inclinées. La longueur de l'accès incliné d'une tranchée pour la découverte d'un seul niveau (gradin) est égale à :

$$L_T = \frac{h}{i} , \text{ m,}$$

où h – hauteur du gradin, m ; i – inclinaison moyenne de la tranchée.

La largeur des tranchées d'accès dépend du nombre et de la largeur des voies de transport, ainsi que des dimensions des excavateurs de creusement utilisés ainsi que des engins de transport utilisés. Suivant la valeur de l'inclinaison les tranchées d'accès se divisent en tranchées inclinées destinées au transport par camion ($i = 0,00$ à $0,100$) et tranchées raides ($i = 0,325$ à $0,466$) destinées au transport par convoyeur à bandes.

La tranchée d'accès (ou demi tranchée) est considérée comme premier ouvrage minier, mené suivant le niveau de découverte dans le but de sa préparation (création du front des travaux) pour le chargement du minerai ou des stériles. Les tranchées d'accès habituellement possèdent une section trapézoïdale (Fig.).

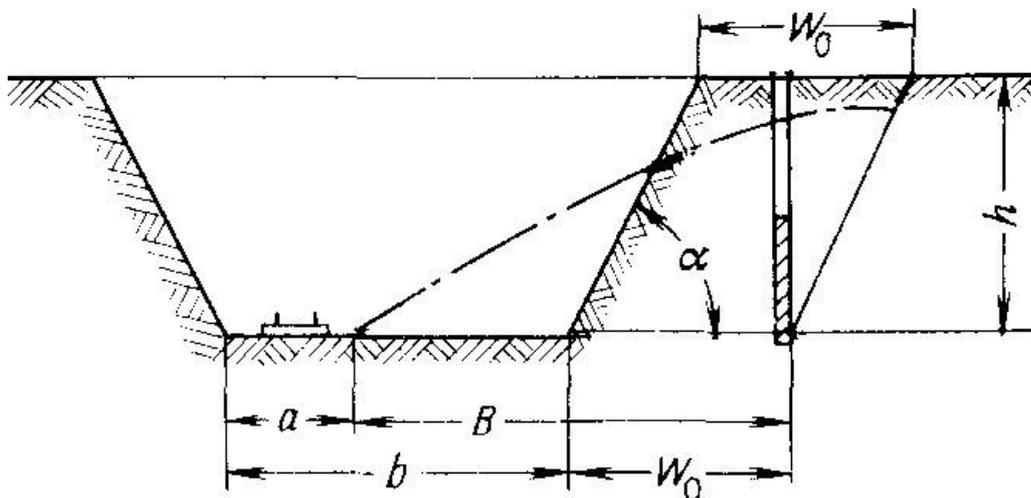


Fig. . Section d'une tranchée d'accès

Leurs dimensions dépendent des engins miniers adoptés, des propriétés physiques et mécaniques du massif de roche et doivent être de telle sorte à assurer une exploitation des gradins normale dans le futur avec un chargement frontal du minerai. La largeur des tranchées d'accès dans les roches dures et compactes doit être déterminée en fonction de la disposition du tas de roche abattu à l'explosif dans le but de préserver la plate-forme de transport lors de premier tir pour son élargissement. La largeur de la tranchée au niveau du fond b (Fig.) doit satisfaire la condition :

où B – largeur du tas de roche abattu après le tir, m ; a – largeur libre pour le transport, m ($a = 3$ à 4 m) ; W_0 – fardeau au niveau du pied du gradin, m.

La profondeur de la tranchée d'accès correspond à la hauteur du gradin du niveau préparé. Les angles des talus des bords des tranchées dépendent des propriétés des roches et les conditions de sécurité exigent l'assurance de la stabilité des talus.

Volume d'une tranchée d'accès horizontale :

$$V_B = hL_B \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{3}hctg\alpha \right) , \text{ m}^3$$

Volume d'une tranchée d'accès inclinée

$$V_B = h_i^2 \left(\frac{1}{2} b + 3 \frac{1}{2} h \operatorname{ctg} \alpha \right), \text{ m}^3$$

où h – profondeur finale de la partie inclinée de la tranchée, m ; b – largeur du fond de la tranchée, m ; L_B – longueur de la tranchée d'accès, m ; i – inclinaison de la tranchée d'accès.

5.9. Creusement des tranchées sans utilisation de moyens de transport :

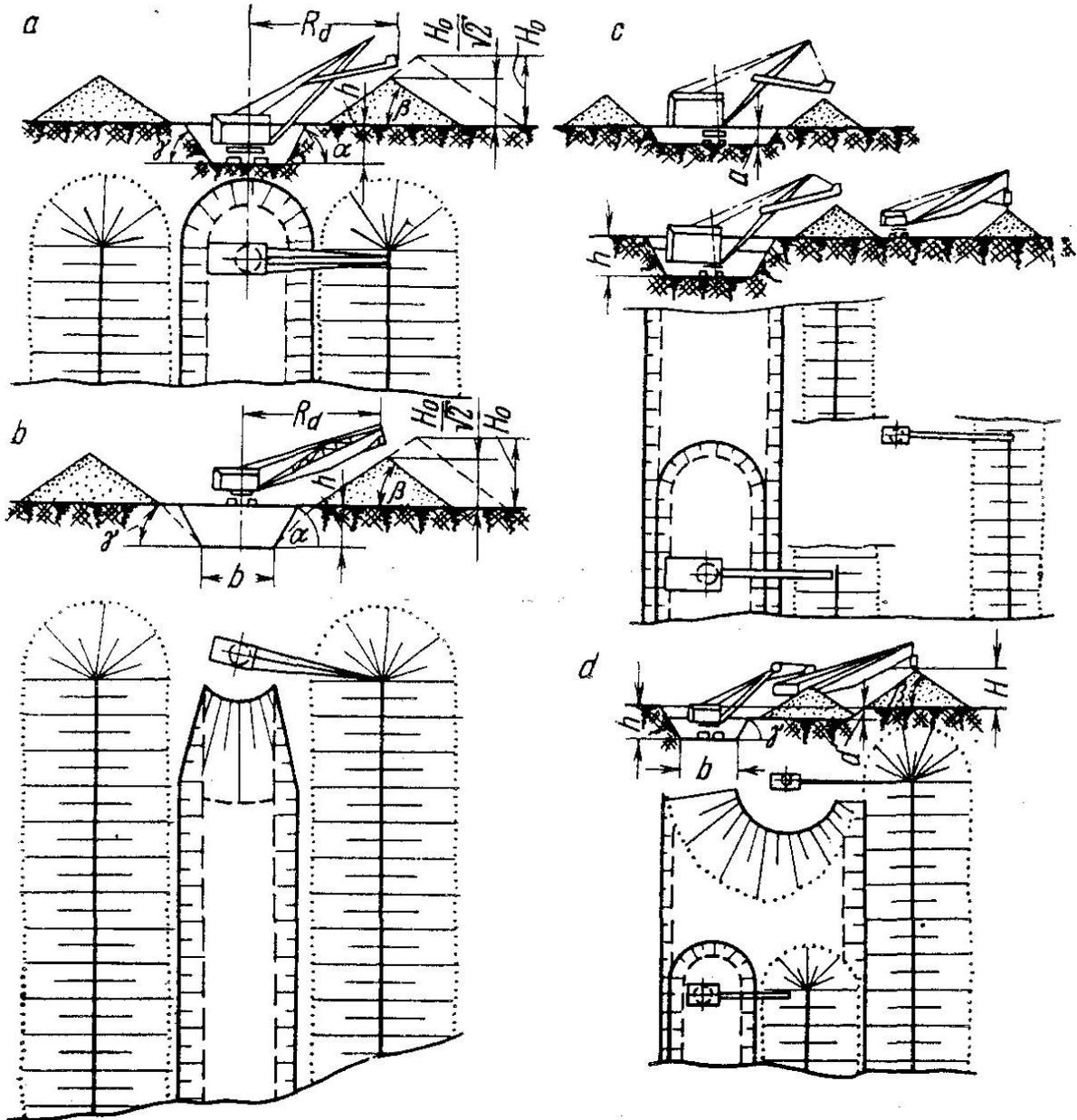


Fig. . Procédé de creusement des tranchées sans transport :

a —au moyen d'une pelle mécanique; b —d'une dragline; c et d
— avec emploi simultané d'une pelle et d'une dragline

5.10. Creusement des demi-tranchées par pelle mécanique

Ce type de creusement est effectué sur les flancs de coteaux en relief accidenté (Fig.).

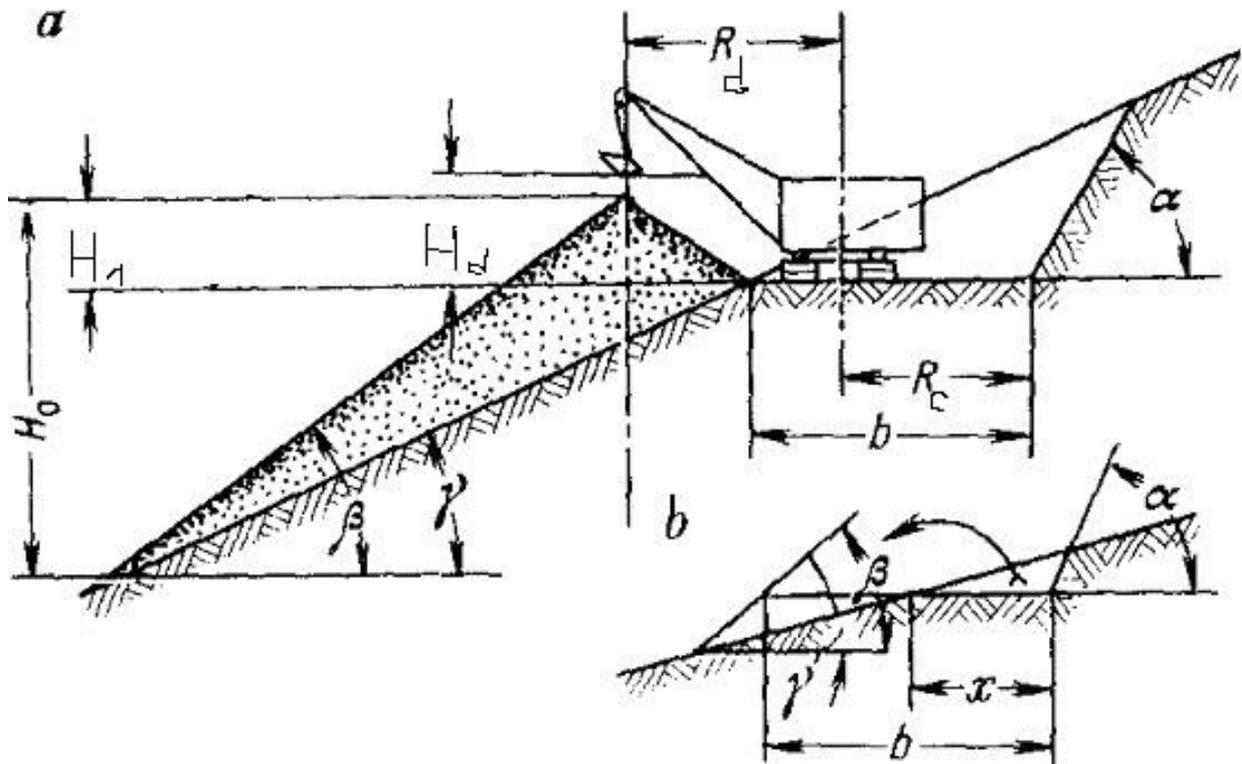


Fig. : Schéma de creusement par demi-tranchées

$$R_d \square b - R_c + H_1 \operatorname{ctg} \square,$$

$$H_d \square H_1$$

Où R_d – rayon de déversement de l’excavateur, m ; H_d – hauteur de déversement, m ; \square - angle du talus du terril, degré ; R_c – rayon de creusement de l’excavateur au niveau de stationnement, m ; b – largeur du fond de la tranchée, m ; H_1 – hauteur de dépassement du tas par rapport au niveau de la demi tranchée, m.

5.11. Creusement des demi-tranchées par dragline

Ce type de creusement est effectué sur les terrains réguliers et plats (Fig.).

- Si la dragline se situe sur l’axe de la tranchée, ayant une forme de trapèze régulier et que les roches sont disposées sur les deux bords de la tranchée, lors du creusement on doit satisfaire les conditions suivantes :

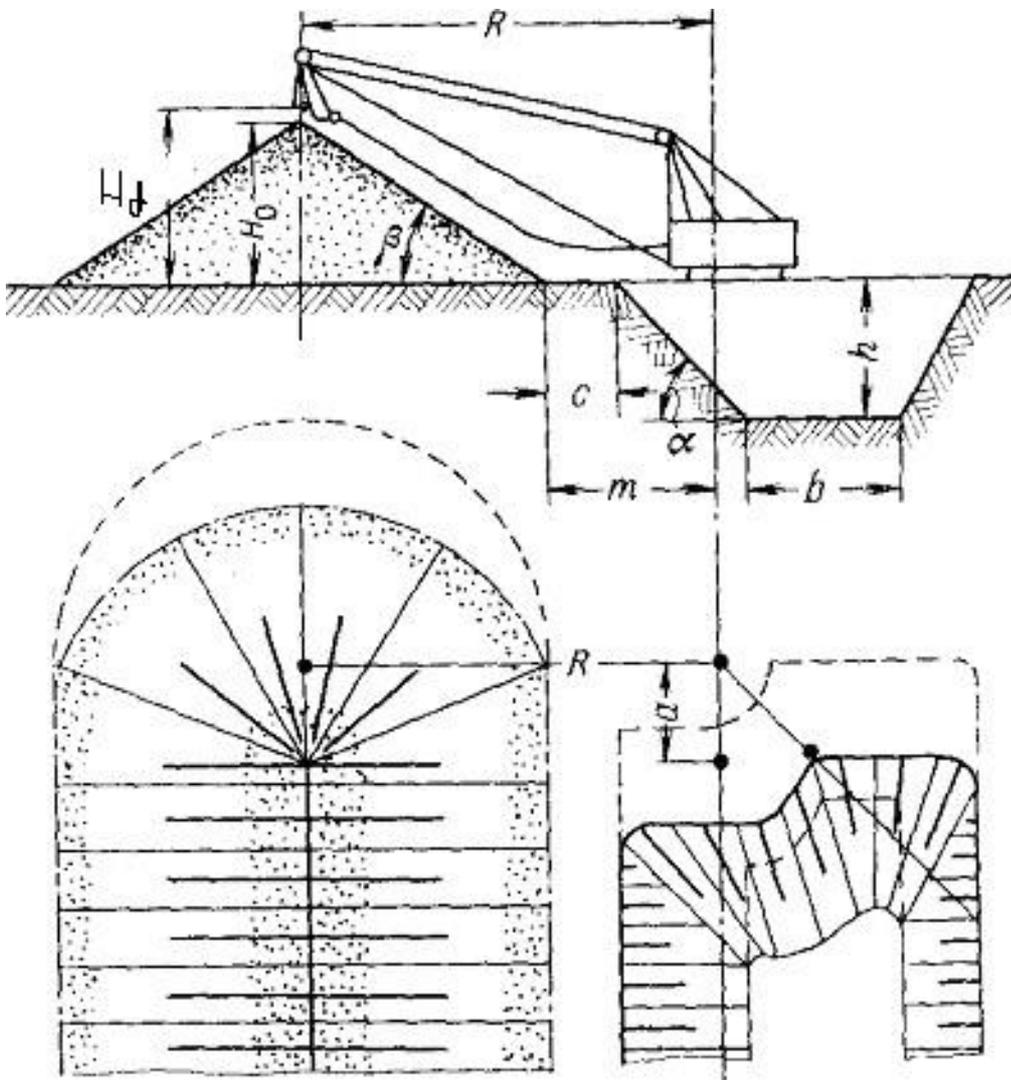


Fig. Creusement des tranchées par dragline avec disposition des roches sur un bord de la tranchée.

- Si la dragline ne se déplace pas suivant l'axe de la tranchée et dépose les roches sur un seul côté de la tranchée, on doit satisfaire les conditions suivantes :

$$R_d \geq m + H_0 \operatorname{ctg} \beta,$$

$$H_0 = \sqrt{\frac{K_f}{\operatorname{ctg} \beta} S_T}$$

où m – distance entre l'axe de l'excavateur jusqu'à la base du terril, m ; S_T – surface de la coupe transversale de la tranchée, m^2 .

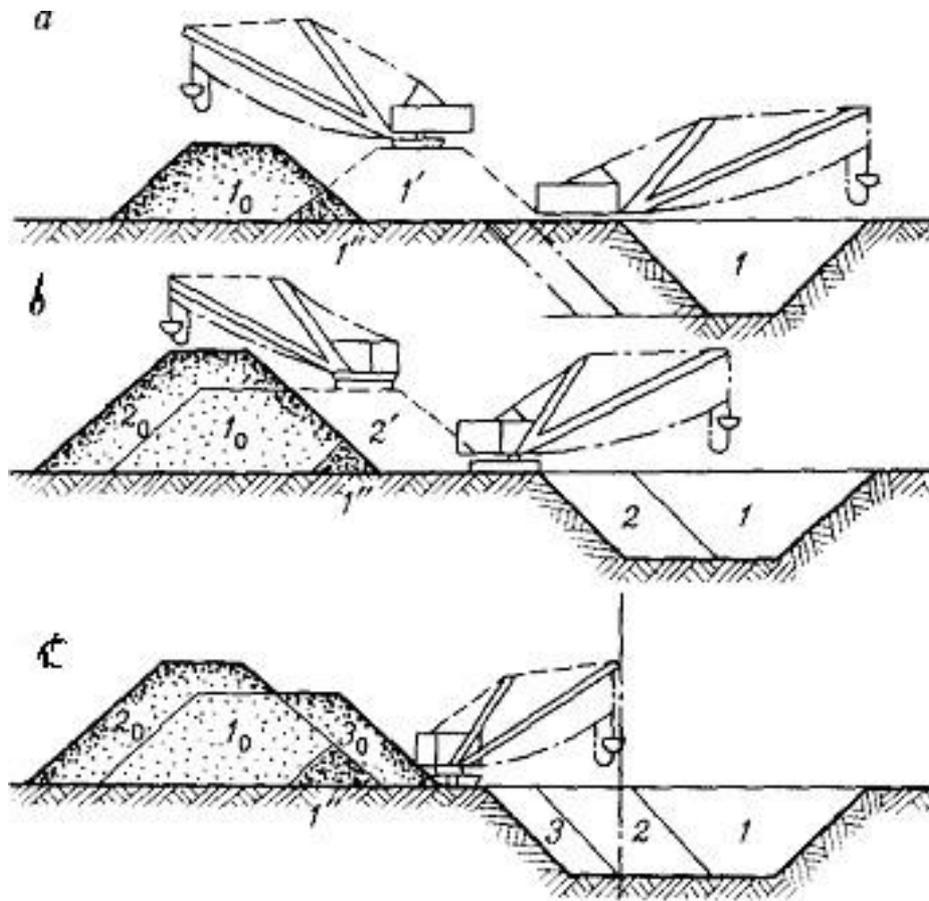


Fig. Creusement des tranchées avec ré excavation des roches.

Dans le procédé sans transport, la roche produite par le creusement de la tranchée est répartie sur les bords de cette dernière. Les excavateurs employés dans ce cas sont munis d'organes de travail de grandes dimensions. Ces excavateurs peuvent être : la pelle mécanique, la dragline ou bien à la fois la pelle mécanique et la dragline.

5.12. Creusement des tranchées avec utilisation des moyens de transport :

Dans la plupart des cas lors du creusement des tranchées il n'y a pas la possibilité de déposer les roches extraites le long de la tranchée à sa partie supérieure du gradin, et on est obligé de les évacuer vers la zone des terrils. C'est pourquoi dans la pratique, il est largement utilisé le creusement des tranchées avec transport des roches, bien que cette méthode soit moins économique.

Profil longitudinal de la tranchée

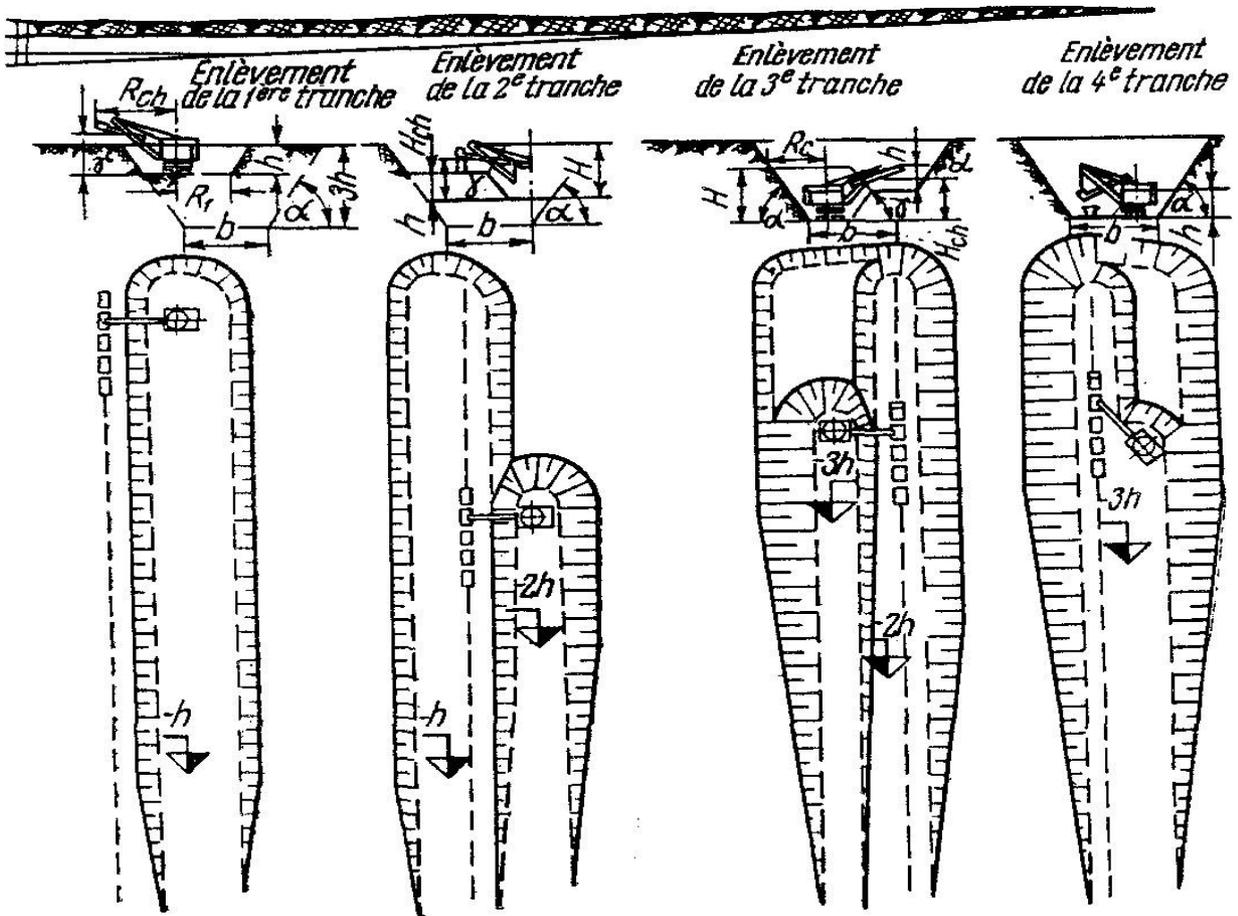


Fig. . Méthode de creusement des tranchées avec transport

La méthode la plus employée est le creusement par pelle mécanique et le transport par camions (Fig.).

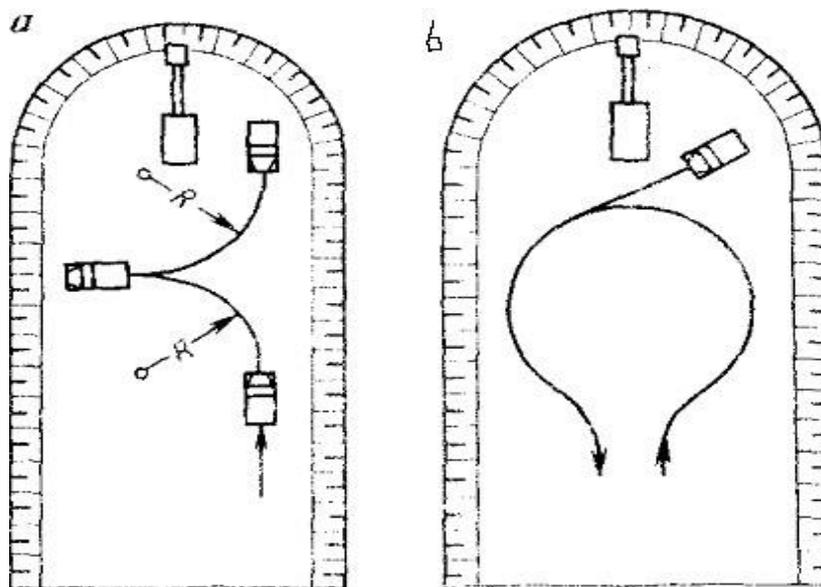


Fig. Creusement des tranchées de découpage avec pelle et transport par camions. a - en cul de sac ; b - approche des camions circulaire.

Lors du creusement des tranchées de découpage par excavateur et transport par camion, le rendement de l'excavateur s'améliore ainsi que l'organisation du travail.

La largeur minimale de la tranchée avec le schéma circulaire (Fig.) :

$$b_{\min} = 2 (R_c + 0,5 b_c + m), m$$

où R_c – rayon de braquage minimum du camion, m ; b_c – largeur de la benne du camion, m ;

La largeur minimale de la tranchée avec le schéma en cul de sac :

$$b_{\min} = R_c + 0,5 b_c + m + l_c , m$$

où l_c – longueur du camion à partir des roues avant jusqu'à l'arrière de la benne, m.

Le procédé avec transport (Fig.) est généralement employé lorsque les tranchées doivent avoir une largeur et une profondeur importantes. La roche est enlevée par tranches, toutes horizontales, sauf la dernière dont le mur possède une inclinaison correspondant au profil de la tranchée. Le chargement des déblais se fait vers le haut.

Les tranchées peuvent également être creusées au moyen d'excavateurs à godets multiples et, quelquefois, à l'aide d'appareils hydrauliques ou par tir.

Chapitre 6 : Méthodes et paramètres d'exploitation à ciel ouvert

6.1. Définitions

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les matériaux stériles qui surmontent le minerai dans une première phase (découverte), puis à récupérer le minerai dans une deuxième phase (exploitation proprement dite).

Selon V. Rjevsky (1968), « sous le système d'exploitation à ciel ouvert on accomplit un ordre bien déterminé d'exécution des travaux préparatoires, de découverte et d'exploitation, assurant pour le gisement donné la sécurité, l'économie et l'extraction la plus complète des réserves exploitables de minerai ».

Par analogie avec l'exploitation souterraine, les méthodes d'exploitation à ciel ouvert peuvent être définies comme étant l'ordre d'exécution dans le temps et l'espace d'un ensemble déterminé de travaux d'enlèvement des stériles et du minerai, établi pour des conditions déterminées. Cet ordre dépend de la variété du nombre des appareils utilisés pour les travaux d'enlèvement des stériles et du minerai et de l'organisation de ces derniers.

Dans l'exploitation à ciel ouvert, les moyens mis en œuvre pour déplacer les stériles déterminent les principaux paramètres de la méthode d'exploitation: la hauteur et le nombre de gradins au stérile, la largeur des plates-formes de travail, le nombre de rampes de liaison pour le transport, le nombre d'attaques (front de taille), l'ordre et le rythme de déplacement du front des travaux, la quantité de réserves découvertes et préparées, etc.

6.2. Classification des méthodes d'exploitation à ciel ouvert

Il existe plusieurs classifications des méthodes d'exploitation à ciel ouvert.

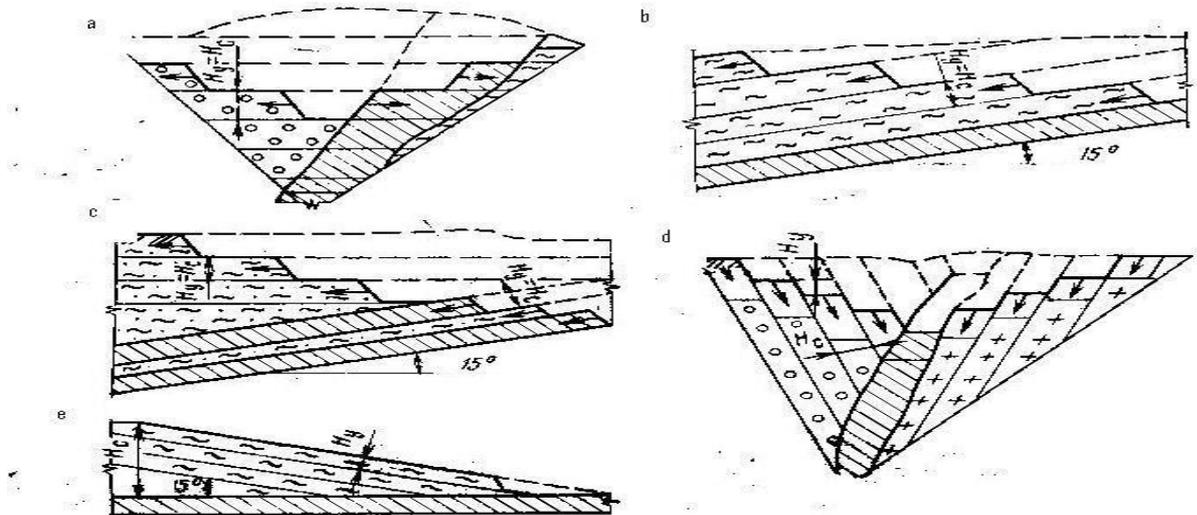
D'après Arsentiev et selon la disposition dans l'espace des zones minéralisées, on peut utiliser deux méthodes ; la fosse et la découverte

<i>Excavation gradins</i>	<i>des Direction de déplacement du front des travaux</i>	<i>Terrils</i>	<i>Gradins</i>	<i>Etat du chantier</i>
Fosse				
Passes (enlevures) :	A côté unique :	Extérieurs	Horizontaux	Rude
Longitudinales ;	Parallèle Transversales ;	Intérieurs	Inclinés	Tempéré
Eventail	Diagonales ;	Deux	Combinés	
côtés :				
Circulaires ;	Parallèle			
Radiales ;	Eventail			
Combinées.	Côtés multiples			
Découverte				

Passes (enlevures) :	A côté unique :	Extérieurs	Horizontaux	Rude
Longitudinales ;	Parallèle	Intérieurs :	Inclinés	Tempéré
Diagonales ;	Deux	avec	combinés	
côtés :		transfert		
Circulaires ;	Parallèle	unique	des	
Radiales ;	Eventail	roches ;		
Combinées.	Côtés multiples	avec		
	Suivant pendage	plusieurs		
	Suivant étendue	fois transfert		
		des roches ;		
		avec		
		déplacement		

longitudinal
des roches

Tous les systèmes d'exploitation se divisent en deux groupes : l'exploitation des gisements plats horizontaux à peu inclinés par découverte dont le développement s'effectue uniquement à l'horizontale ; et l'exploitation des gisements dressants et inclinés de forte puissance dont le développement des travaux miniers s'effectuent à la fois horizontalement et verticalement par fosse. La méthode d'exploitation est 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. Même ainsi, il n'a pas toujours été aisé de classer certaines exploitations. Lors de l'exploitation des gisements à ciel ouvert, toutes les formations se trouvant dans les limites du contour de la carrière se divisent en couches horizontales ou inclinées.



Chaque couche supérieure est exploitée avec avancement par rapport à la couche inférieure, et finalement la carrière obtient une forme de gradin.

6.3. La fosse

La fosse concerne la création d'un puits à ciel ouvert (open pit) avec une extraction de couches horizontales. L'exploitation est menée de haut en bas. Le vide résultant ne doit pas nécessairement avoir une forme d'un puits ouvert stéréotypé, les côtés d'une montagne ou d'une colline peuvent être utilisés par exemple. Avec la fosse, la réhabilitation est souvent retardée jusqu'à la fin de la vie du projet. Ceci est dû pour plusieurs raisons.

□ *La fosse, ou le cratère, lorsque le gisement s'enfonce dans le sous-sol avec une extension latérale réduite. La découverte porte alors non seulement sur les terrains stériles qui surmontent directement le minerai, mais aussi sur tout le volume du cône qui constitue la fosse. Tous les matériaux stériles doivent être évacués hors de la fosse et stockés (pour être éventuellement remis dans le trou en fin d'exploitation).*

Cette méthode est réservée aux filons, couches fortement pentées et amas. L'abattage est en général réalisé à l'explosif et l'évacuation des stériles, comme du minerai, nécessite des camions qui remontent le long des flancs de la fosse sur des pistes spécialement aménagées pour passer de gradin en gradin. Le chargement des camions peut être effectué sur chaque gradin (par des pelles ou chargeuses). Ou seulement au fond par des bouteurs, après abattage ou ébranlement à l'explosif, ou ripage au soc). L'angle de fosse ou inclinaison sur l'horizontale des parois de la fosse, doit, pour des raisons de sécurité, être limité à 30° pour des terrains peu consistants ; jusqu'à 70° pour des terrains très compacts et résistants. Le taux de découverte s'accroît très vite avec la profondeur, ce qui, dans le cas des filons, limite à une centaine de mètres les possibilités de la méthode : si le gisement se poursuit en profondeur il doit alors être exploité par des méthodes souterraines. Dans le cas des amas, il existe des fosses de plusieurs centaines de mètres de profondeur (**800 m à Bingham aux USA**).

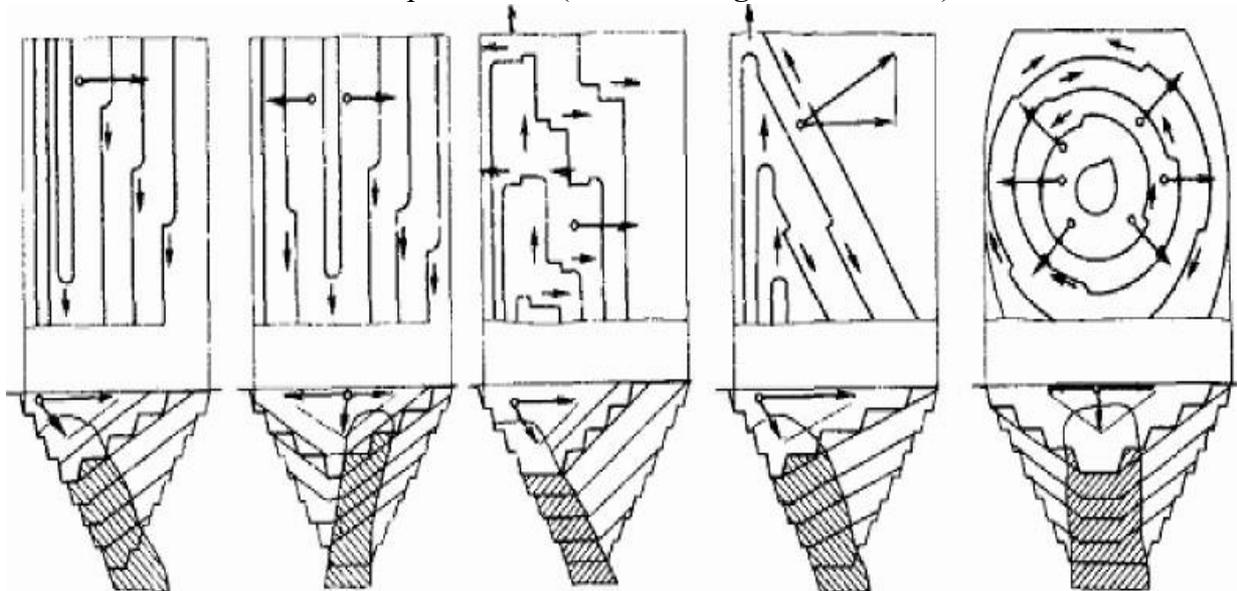


Fig. Schémas des systèmes d'exploitation en fosse : *a* — *enlevure longitudinale avec un seul bord de développement des travaux* ; *b* — *idem, avec deux bords de développement des travaux* ; *c, d* — *respectivement enlevures transversales et diagonales à un seul bord de développement des travaux* ; *e* — *enlevures raides*.

La principale caractéristique de la fosse est son développement suivant deux directions : développement des gradins à l'horizontale — exploitation des gradins et développement du fond de la fosse suivant la verticale — approfondissement de la fosse.

Considérons le système d'exploitation avec approfondissement de la fosse dans les coordonnées de la profondeur des travaux miniers — temps, c'est à dire, $H=f(T)$,

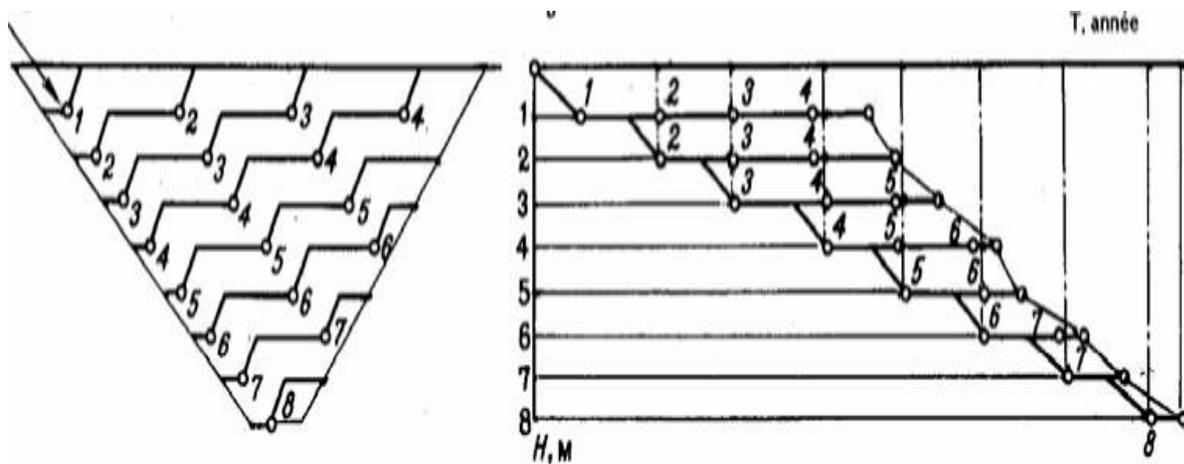


Fig. schéma d'exploitation de la fosse avec approfondissement (a) et graphique $H = f(T)$ de développement dans le temps des zones de travail (b).

Au fur et à mesure de l'approfondissement de la fosse le bord en activité se déplace vers le bas et vers la droite, occupant de plus en plus de nouveaux gradins. Sur chaque gradin en activité le front des travaux se déplace vers la droite et par conséquent passe à travers les points 1, 2, 3 etc., dans lesquels est assurée la possibilité de découverte et de préparation des gradins situés plus bas.

Le processus de travail de la fosse est illustré sur le graphique $H = f(T)$ par les lignes suivantes : inclinées — approfondissement de la fosse, horizontales — exploitation des gradins. L'apparition des points des gradins sont fixés sur chaque niveau dans les positions 1, 2, 3 etc.

*Si à partir des points inférieurs du graphique $H = f(T)$ on mène vers le haut des droites verticales, pour assurer la largeur minimale nécessaire des plateformes de travail tous les points supérieurs ayant les mêmes numéros doivent être disposés à gauche ou au-dessus des points inférieurs. Sur la base de ce graphique on peut élaborer le plan calendrier des travaux miniers, ayant les caractéristiques **du diagramme de Gantt**.*

6.3.1. Largeur des plateformes de travail

Cette largeur des plate-forme tient compte de l'implantation des engins nécessaires, des voies d'accès, des lignes de transmission électrique ainsi que de la disponibilité de réserve prête au chargement. La largeur nécessaire moyenne de la plate-forme de travail du gradin

$$Z = h(\text{ctg}\alpha - \text{ctg}\gamma), \text{ m}$$

Où h est la hauteur du gradin, m ; α l'angle de gradin en exploitation ($60 - 80^\circ$) ; γ l'angle de talus en liquidation ($35 - 60^\circ$)

Sur la Fig. sont portées les dimensions des plate-formes de travail pour un minage à plusieurs rangées. La largeur de cette plate-forme est de 75 à 80 m pour les roches compactes avec le transport par camion. Pour le minage à une seule rangée de mines elle peut être de 50 à 70 m.

Au cours du processus d'exploitation de la fosse l'angle du talus du bord exploitable et la largeur de la plate-forme varie en permanence. En fonction du type de roche, cet angle du bord de la fosse peut être de 7° à 17° pour des hauteurs de gradin allant de 10 à 15 m.

Avec le développement de la fosse le nombre de gradins varie — au début le nombre de gradins augmente, puis commence à diminuer.

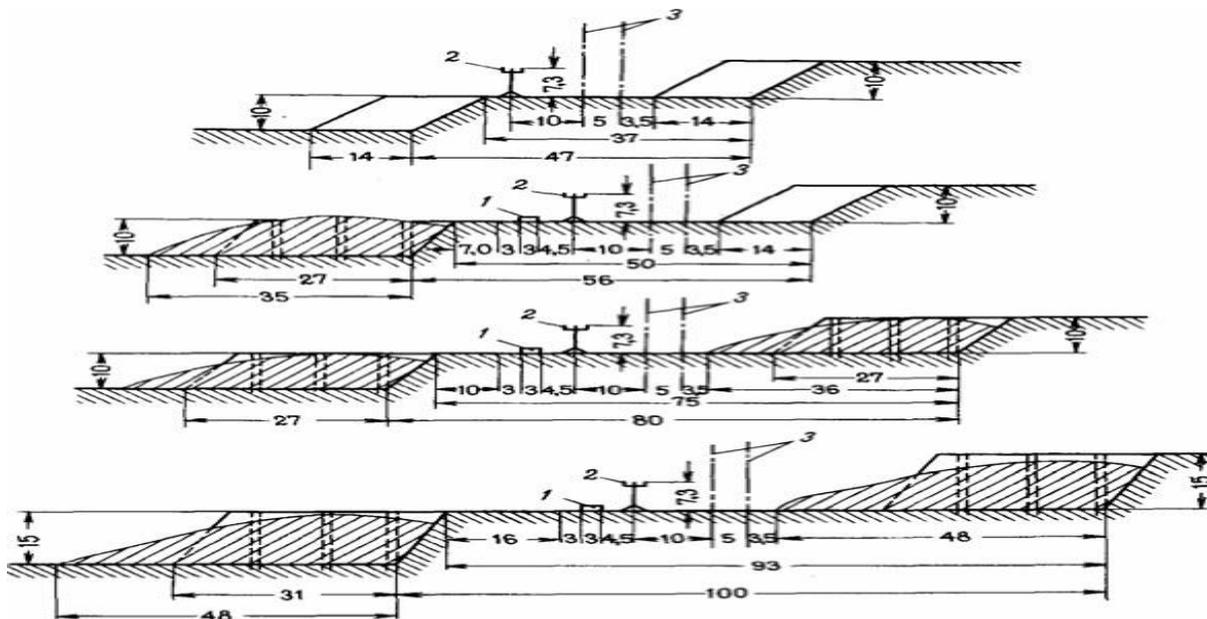


Fig. 42 Dimensions de calculs des plate-formes de travail.

1 — route pour camion ; 2 — pylône électrique ; 3 — axe de la voie.

6.3.2. Hauteur du gradin

Elle est déterminé en tenant compte de la sécurité des travaux, de l'homogénéité des roches de chaque gradin, des possibilités et des résultats de la fragmentation des roches compactes à l'explosif, et ainsi que de la disposition de la plate-forme de travail du gradin sur une assise stable et de la possibilité de l'abatage de tout le gradin sur toute sa hauteur.

La division du gisement en gradins pour son exploitation à ciel ouvert est un problème qui n'est pas simple, qui demande à chaque fois pour des conditions concrètes d'éclaircir beaucoup de contraintes quantitatives et qualitatives. L'augmentation de la hauteur du gradin possède un certain nombre d'avantages économiques : réduction du nombre de gradins et d'horizons de travail, réduction de la longueur des voies de communication, et du volume de leur déplacement, augmentation du rendement des excavateurs, possibilité d'utiliser des excavateurs plus puissants, réduction du nombre de bermes de sécurité etc.

Cependant, en travaillant avec des gradins très hauts : la sécurité des travaux diminue avec les apparitions d'affaissement et d'éboulement, les conditions d'une bonne fragmentation se réduisent.

Dans les calculs, la hauteur du gradin est limitée par les paramètres linéaires de l'excavateur. Pour les roches ne demandant pas de travaux de forage et de tir (minage) :

$$H_{\max} \leq H_{c.\max}, \text{ m O\grave{u}:}$$

$H_{c.\max}$: Hauteur de creusement maximum, m.

Dans les roches compactes avec minage préalable :

$$H_{\max} \leq 1,5 H_{a.\max}$$

Dans les matériaux non consolidés naturels (sables) homogènes ($d_{50} < 0,35\text{m}$; coefficient de foisonnement k_f 1,5, la hauteur du gradin est de :

$$H_{\max} \leq (2,5 \text{ \grave{a} } 2,7) H_{c.\max} \text{ Avec}$$

la contrainte suivante :

$$L_{\text{tas}} \leq R_{c g} - l_x / 2 - l_b + l_h, \text{ m}$$

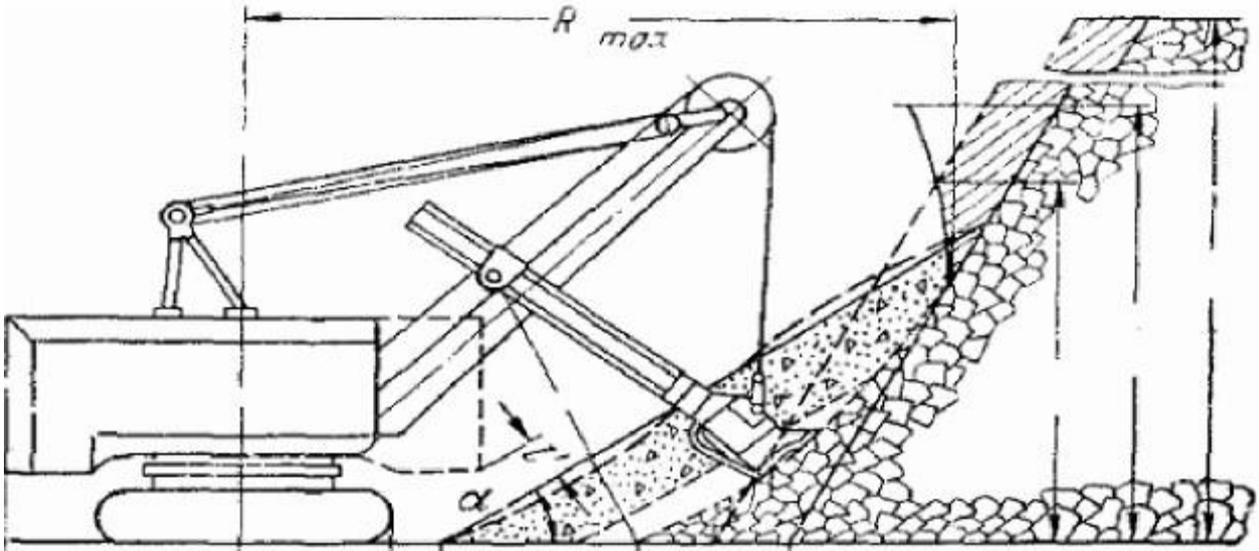


Schéma de détermination de la hauteur du gradin dans des roches compactes minées.

où :

- $R_{c g}$ - rayon de creusement au niveau du pied du gradin;
- L_{tax} — largeur du tas abattu ; d_t — distance de translation ; h - distance de sécurité (1 à 3 m) ;
- $l_{p g}$ — distance de creusement au pied du gradin ;
- H — hauteur du gradin ;
- $H_{e. \text{ max}}$ — hauteur de creusement maximum ;
- H_e * hauteur de creusement

Complement du cours : voir formule et TD