

PLAN DE COURS

Institution d'Enseignement : Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké

Département : Services Miniers

Section : Exploitation minière

Niveau : Licence III, Semestre V

Dénomination du cours : Technologie d'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert

Nombre de crédit : 6

Heures totales : 150 H

- Cours magistraux : 60 H
- Cours pratiques/projet (études des cas) : 90 H

Fréquences : trois (3) fois par semaine

Chargé de cours : M. Fodé Mohamed Camara/ M. Fodé Saïdou Doumbouya

Contact : (+224) 623 650 133/624 735 015

Email : fodemohamed76@gmail.com fodesaidou217@gmail.com

Disponibilité : voir l'emploi du temps

Descriptif du cours :

Ce cours vise à connaître les principes des méthodes d'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert, les techniques appliquées pour l'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert (machine de traçage, forage à pleine section pour la foration des ouvrages verticaux et/ou faiblement incliné, technique de forage au diamant, à percussion et rotatif. L'utilisation des explosifs sur des roches de dureté > 3 et les systèmes de mise à feu.

Conception des travaux de forage et de sautage. Aspects environnementaux des opérations d'excavation : sensibilisation, prévention et atténuation des effets négatifs.

Place de cours dans le programme de formation :

Le cours de technologie d'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert est un cours obligatoire dans le cursus de formation d'un ingénieur des mines, dispensé au 5^{ème} semestre du programme de License en génie minier.

Objectif de ce cours

Ce cours permet à l'apprenant de :

- ✓ Choisir entre l'exploitation à ciel ouvert et celle souterraine,
- ✓ Apprendre les modes d'ouverture et les systèmes d'exploitation des différents types de gisements et

- ✓ Maîtriser tous les calculs nécessaires pour les différents processus technologiques.
- ✓ Apprendre à l'apprenant la prise en compte des différentes matières acquises du génie minier entrant dans l'étude technique de faisabilité d'un projet minier à ciel ouvert et notamment :
- ✓ Connaître la planification minière, les revenus et les coûts miniers, la description du gisement à étudier,
- ✓ Connaître les considérations géométriques de la mine à ciel ouvert, la profondeur finale de la mine à ciel ouvert, la planification des opérations de la mine, les travaux de forage et de tir, les travaux de chargement et de transport et la disponibilité et l'utilisation des engins mécaniques de chantier.

Prérequis de ce cours :

Les cours de Mathématiques, Physique de l'ingénieur, Abattage, initiation à l'exploitation, machine et outillage des mines, transport miniers, ...

Ressources disponibles :

Programme et/ou plan de cours, bibliographie, internet, polycopie et le facilitateur et /ou professeur ou enseignant.

Méthodologie d'enseignement :

Conférences, travaux dirigés études des cas

Mode d'évaluation :

Evaluation formative et sommative, écrite ou orale, individuelle ou par groupe de TD ou TP et participation au cours.

Référence bibliographique (internet)

- 1- Konya CJ, 1995 « Blast Design », Intercontinental Développement, Montville, OH, USA.
- 2- « Tirs-Théories et technologie », les techniques de l'industrie minérale, N°13 mars 2002, France.
- 3- 17 « Tirs-Application et implications », les techniques de l'industrie minérale, N°14, juin 2002, France.
- 4- « Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines » [S – 2.1, r. 19.1], dernière modification : 20 janvier 2011, à jour 15 mars 2011 ; les publications du Québec, ISBN
- 5- « Rock Excavation Handbook », 1999. Edité par la compagnie Sandvik Tamrock, Tampere, Finlande.

NB : tout rapport pour un travail pratique remis après la date limite se verra diminuer de 10% de la moyenne par tranche de 24 heures de retard. Tous les membres de toutes les équipes seront invités à effectuer une auto-évaluation afin de permettre à l'enseignant de mieux voir la contribution réelle de chaque membre aux résultats finaux des travaux.

Un (e) étudiant(e) qui par son comportement démontre un manque de respect envers ses coéquipiers et manque d'effort pour réaliser un TP risque d'être exclu(e) de l'équipe par l'enseignant et lui attribuera un sujet unique pour le TP en question.

Note individuelle pour un étudiant est égale à la moyenne arithmétique des EO+Note collective rapport de TP) /2

Où: EO=Evaluation orales

Contenu du cours

Semaine 1 : Contact, présentation du plan de cours, évaluation et diagnostique du niveau des apprenants.

Semaine 2 : chapitre I : Les ouvrages miniers à ciel ouvert et leurs dimensions

- Les travaux de découverte
 - 1 - Les paramètres principaux des tranchées
 - Tranchées principales (accès)
 - Tranchées de découpage
 - 2 – Calcul des paramètres principaux de la tranchée
 - la largeur au fond
 - la profondeur finale de la tranchée
 - la pente directrice
 - les angles de talus

Semaine 3 : Calcul du volume de la tranchée

- Evaluation 1
- Données de base pour les TD et TP

Semaine 4 : Chapitre II : Le procédé d'excavation

1 – Classification des procédés d'excavation et leurs opérations principales

2 – Ameublissement préalable par explosif

Semaine 5 : 3 – Excavation des tranchées sans transport

Semaines 6 : 4 – Excavation avec transport

- Transport par camion
- Transport par train
- Rendement des engins d'excavation et de transport

Semaine 7 : - transport par convoyeur

- Transport Mixte
- Excavation de la tranchée à plusieurs tranches avec transport

Semaine 8 : Procédés spéciaux d'excavation de la tranchée

- Excavation de la tranchée à l'explosif
- Excavation de la tranchée par scrapeurs automoteur
- Excavation de la tranchée par monitor hydraulique

Semaine 8 : - Procédés mixtes d'excavation

- Le tracé
- Les différentes formes du tracé et les conditions d'application des différents modes de découverte.

Semaine 10 : Organisation des opérations minières (cyclo gramme)

Semaine 11 : -Vérification des études des cas TD et TP

- Soutenance des TP
- Evaluation finale.

INTRODUCTION

La création de toutes les entreprises minières commence toujours par la réalisation d'une série d'ouvrages miniers. Cette série comprend les excavations d'ouverture et celles préparatoires. Les ouvrages d'ouvertures permettent d'atteindre le minerai à partir du jour. Et les excavations qui sont destinés à l'installation des machines sont appelés les ouvrages préparatoires.

Suivant l'emplacement du gisement on distingue deux (2) groupes d'ouvrages ; les ouvrages d'excavation à ciel ouvert et les ouvrages souterrains.

Le choix entre l'exploitation à ciel ouvert ou l'exploitation en souterrain dépend de plusieurs facteurs qui sont entre autres :

- La profondeur du gisement ;
- La forme et les dimensions du gisement
- La teneur en minéraux utiles et
- Le coût d'extraction

La méthode d'exploitation à ciel ouvert dépend de deux paramètres techniques indépendants essentiels qui sont la sécurité et le taux de découverture (strip Ratio) pour le gisement se trouvent à une profondeur moyenne.

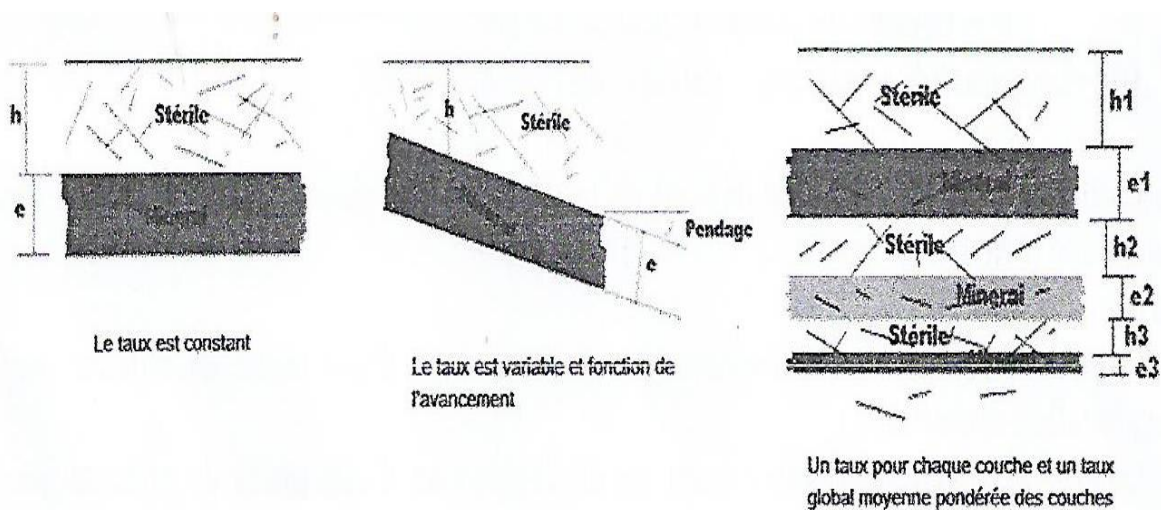
Le taux de découverture est défini comme étant la quantité de stérile à décafer pour extraire une tonne de minerai. Plus on décape de stérile le coût d'exploitation augmentera. On a intérêt donc à déplacer le minimum de stérile possible.

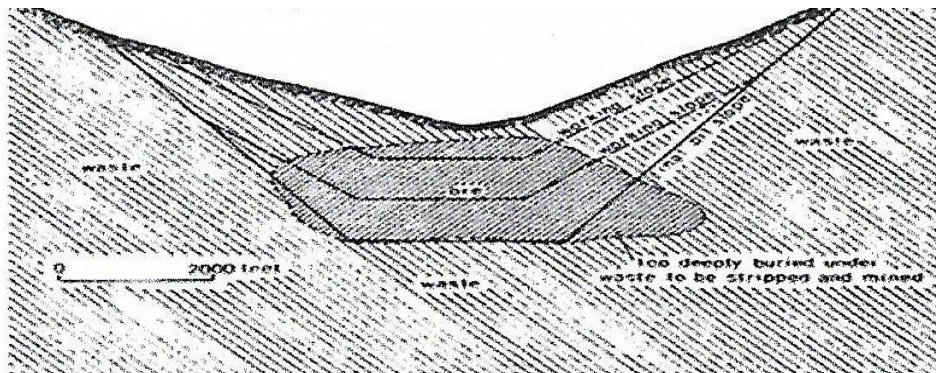
On définit le taux de découverture comme suit :

$$\tau = \frac{\text{masse ou volume de stérile déplacé}}{\text{masse de minerai extrait}}$$

Dans le cas d'un gisement sédimentaire :

Figure1





La séquence choisie dans ce cas est favorable à la stabilité alors que le taux décroît énormément

Figure 2 : exemples de configuration des gisements sédimentaires

Dans le cas d'une fosse, ce taux peut varier en fonction de la séquence d'exploitation :

Ce qui revient de noter qu'avant la découverte du gisement, nous devons choisir tout d'abord la méthode d'exploitation de celui-ci.

Travaux miniers

Découverte

La découverte est l'enlèvement du mort terrain qui recouvre un gisement dans le but de l'exploiter à ciel ouvert. Les gisements sont exploités à ciel ouvert.... Relief du terrain est favorable aux travaux d'accès et que le prix de revient d'une tonne du minerai tout venant est inférieur à celui qu'un obtiendrait en utilisant l'exploitation souterraine ainsi qu'au cours du marché d'une tonne du minerai extraite.

La découverte d'un gisement se fait par le creusement des tranchées principales qui donnent accès à la couche minéralisée et des tranchées de découpage qui préparent le champ de la carrière à l'exploitation.

Rapport de découverte

Le rapport de découverte est défini comme étant la quantité de stérile à décaper pour extraire une tonne du minerai simultanément dans un projet ou en phase d'exploitation.

Ce rapport apparaît comme une caractéristique moyenne réalisée à un stade d'exploitation ou réalisée à partir de ce stade.

Lorsque le gisement est stratiforme ou subhorizontal et ayant un recouvrement superficiel (ou mort terrain), on parle de taux de recouvrement ou de découverte.

Mathématiquement, le rapport de découverte est défini par l'expression suivante :

$$Rd = \frac{Vs}{Qm} \text{ Avec :}$$

- Rd : le rapport de découverte
- Vs : la quantité de stérile extraite ou excavée
- Qm : la quantité du minerai extraite.

Le rapport de découverte peut être exprimé soit en :

- m³/ m³, on parle du taux de découverte volumétrique
- t/t, on parle du taux de découverte pondérale

- m^3/t , on parle du rapport de découverte qui représente le cubage du stérile excavé pour extraire une tonne de minerai.

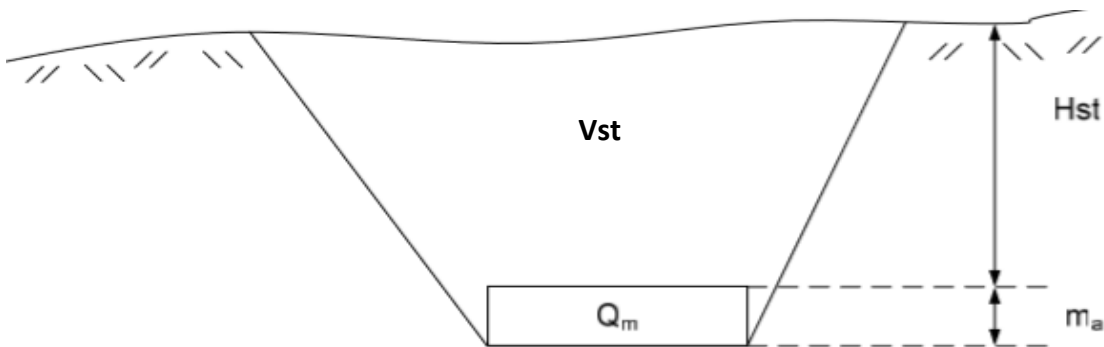
Le rapport de découverte dépend de la morphologie du gisement et de la profondeur à laquelle se trouve le gisement.

Mine à ciel ouvert avec R_d constant

Il s'agit des mines à ciel ouvert où le rapport de découverte reste constant durant toute l'exploitation. On arrive à une telle évolution lorsque la couche minéralisée a une grande extension horizontale et un recouvrement régulier des stériles (gisement en plateure ou subhorizontal). Dans ce cas, on peut approximativement définir le taux de découverte par le rapport de l'épaisseur des stériles

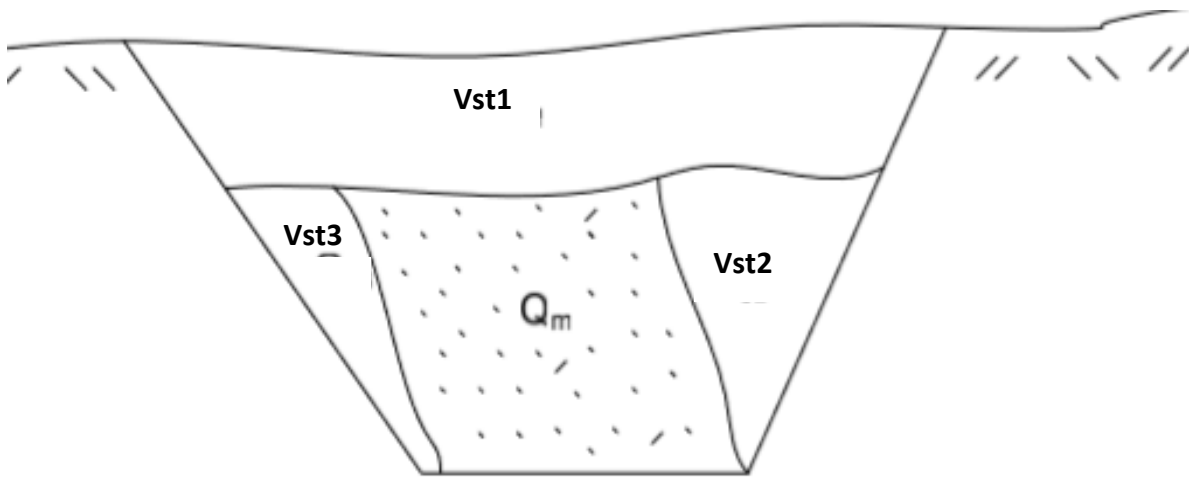
V_{st} : est le volume moyen de stérile de recouvrement du gisement. Ce rapport de recouvrement sera exprimé par :

$$R_d = \frac{V_{st}}{m_a}$$



I.3.2.2 Mine à ciel ouvert à R_d variable

Il s'agit des mines à ciel ouvert où le R_d varie avec l'approfondissement des travaux d'exploitation. Dans ce cas, comme le R_d augmente avec la profondeur d'exploitation (gisement dressant et semi dressant), le prix de revient d'une tonne extraite à ciel ouvert qui lui est proportionnel varie de la même façon.



L'expression du Rd par unité de l'étendue du gisement se définit par

$$Rd = \frac{Vst1 + Vst2 + Vst3}{Qm} ; m^3/t$$

Avec $Vst1$: la quantité de stérile de recouvrement

$Vst2$ et $Vst3$: la quantité de stérile intercalaire

En somme, le coefficient de recouvrement dépend de la puissance du gisement et de la profondeur se trouvant le gisement.

En posant,

a- le prix de vente de la tonne du minerai

b- le prix de revient d'extraction de la tonne de minerai pendant l'exploitation à ciel ouvert

c- le prix de revient de l'enlèvement de $1m^3$ de stérile.

Ainsi, la limite de rentabilité de l'exploitation à ciel ouvert correspond à l'égalité des deux prix de revient qui le prix de revient de l'exploitation à ciel et celui du traitement de la tonne du minerai. Donc $Pr = \sum a \times Q$, et $Pr_{ex} = \sum (bxQ + cVst)$

Ce qui donne $\sum a \times Q = \sum (bxQ + cVst)$

En divisant cette égalité par Q on aura : $a = b + c \frac{Vst}{Q}$ d'où $a = b + c\eta$ Ce qui donne ;

$$\eta = \frac{a - b}{c}$$

On arrête l'exploitation à ciel ouvert lorsque le Pr d'une tonne de minerai extraite en ciel ouvert est supérieur au prix de vente d'une tonne de minerai extraite ou traitée. Dans ce cas, la limite de rentabilité d'une mine à ciel ouvert correspond à l'égalité de ces derniers

La détermination du rapport limite de découverte nécessite des études assez complexes. Le passage de la mine à ciel ouvert à celle souterraine n'est pas du tout une simple opération.

CHAPITRE I : LES OUVRAGES A CIEL OUVERT ET LEURS DIMENSIONS

TRAVAUX DE DECOUVERTURE

Avant de commencer l'exploitation de la carrière, il est nécessaire de procéder à l'enlèvement des morts terrains situés au-dessus du gisement.

La découverture, c'est l'enlèvement des morts terrains qui recouvrent le gisement dans le but d'accéder à celui-ci et de permettre l'emploi des moyens de transport entre les terrains productifs et la surface du sol.

Au cours des travaux d'exploitation à ciel ouvert l'ouverture des gradins se fait l'excavation des tranchées habituellement inclinées qui s'appelle tranchées d'accès (ou principales) qui donne l'accès à la couche minéralisée et la préparation des gradins pour l'extraction des roches s'effectue par la tranchée horizontale appelée la tranchée de découpage qui prépare le champ de la carrière pour l'exploitation.

La tranchée de découpage d'un gradin est le prolongement de la tranchée d'accès.

On excave aussi la tranchée drainante pour l'assèchement du planchéier, pour la déviation des cours d'eaux se trouvant dans les limites de la carrière et pour la prise des mesures contre l'afflux d'eau, l'écoulement naturelle.

Le volume des travaux d'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert est de l'ordre de 10-15% du volume total de la carrière.

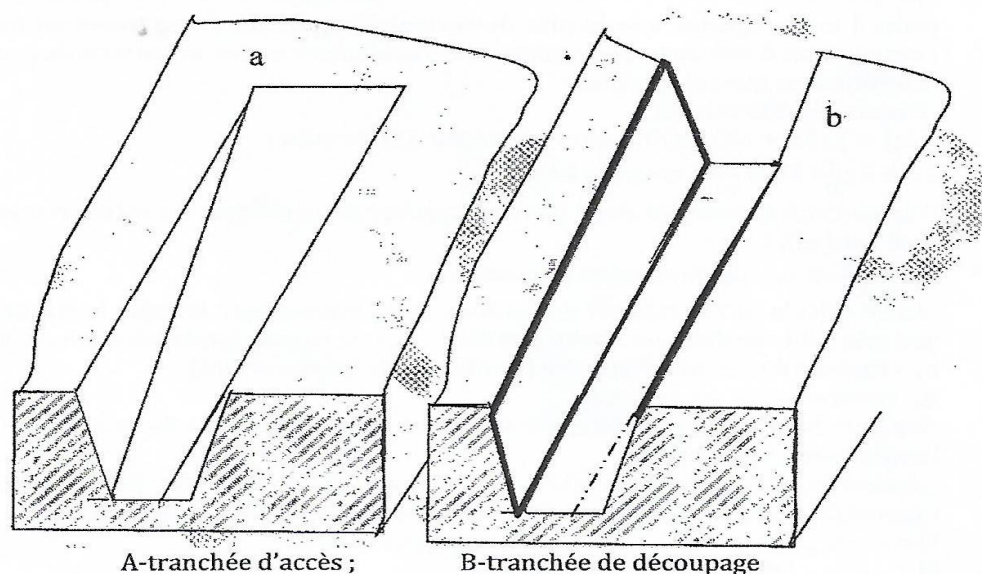


Figure N°2 : les ouvrages à ciel ouvert.

- 1- Les paramètres principaux des tranchées :
 - Les tranchées principales :

Les tranchées principales sont des excavations de section trapézoïdale et ou parfois triangulaire suivant la topographie du terrain la surface terrestre, la longueur est plus importante que la largeur et la profondeur.

- **Les tranchées de découpage :**

Les tranchées de découpage sont prolongement de la tranchée d'accès, elles sont généralement horizontales ou faiblement inclinées pour favoriser l'écoulement des eaux de recèlement.

Les paramètres : ce sont des ensembles de grandeurs mesurables. Toutes les tranchées (d'accès et de découpage) se caractérisent par les principaux paramètres suivants :

- La largeur en bas ou au fond de la tranchées (b) ; m
- La largeur en surface de la tranchées (B) ; m
- La profondeur finale de la tranchées (H) ; m
- La pente descendante ou directrice (i) ; ‰
- La longueur totale de la tranchées (l) ; m
- Angle du talus des bords du gradin (α ou β) ; °

On détermine ces paramètres en utilisant trois projections qui sont les suivantes : projection de la section transversale, projection axiale et celle en plan de la tranchée.

La section transversale de la tranchée peut être trapézoïdale ou triangulaire en fonction de la topographie du terrain. Cette section s'appelle le profil transversal et est caractérisée par la largeur en bas, l'angle d'inclinaison du talus des bords, la profondeur et la largeur en surface.

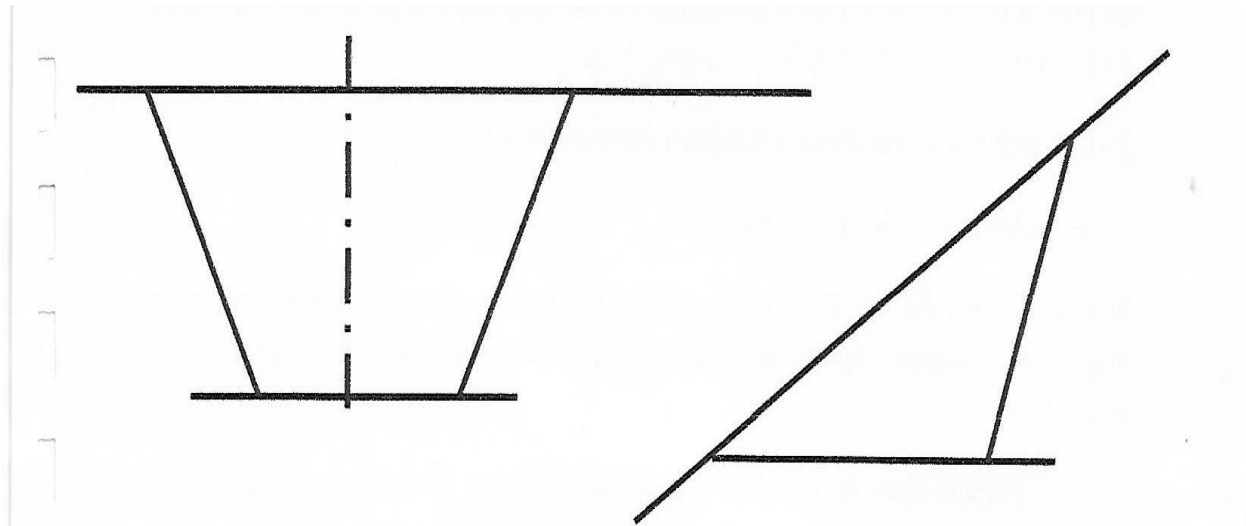


Figure n°3: les sections transversales de la tranchée

La section axiale de la tranchée peut être inclinée ou horizontale. Cette section s'appelle profil longitudinal et il est caractérisé par la pente descendante, la longueur et par profondeur de la tranchée

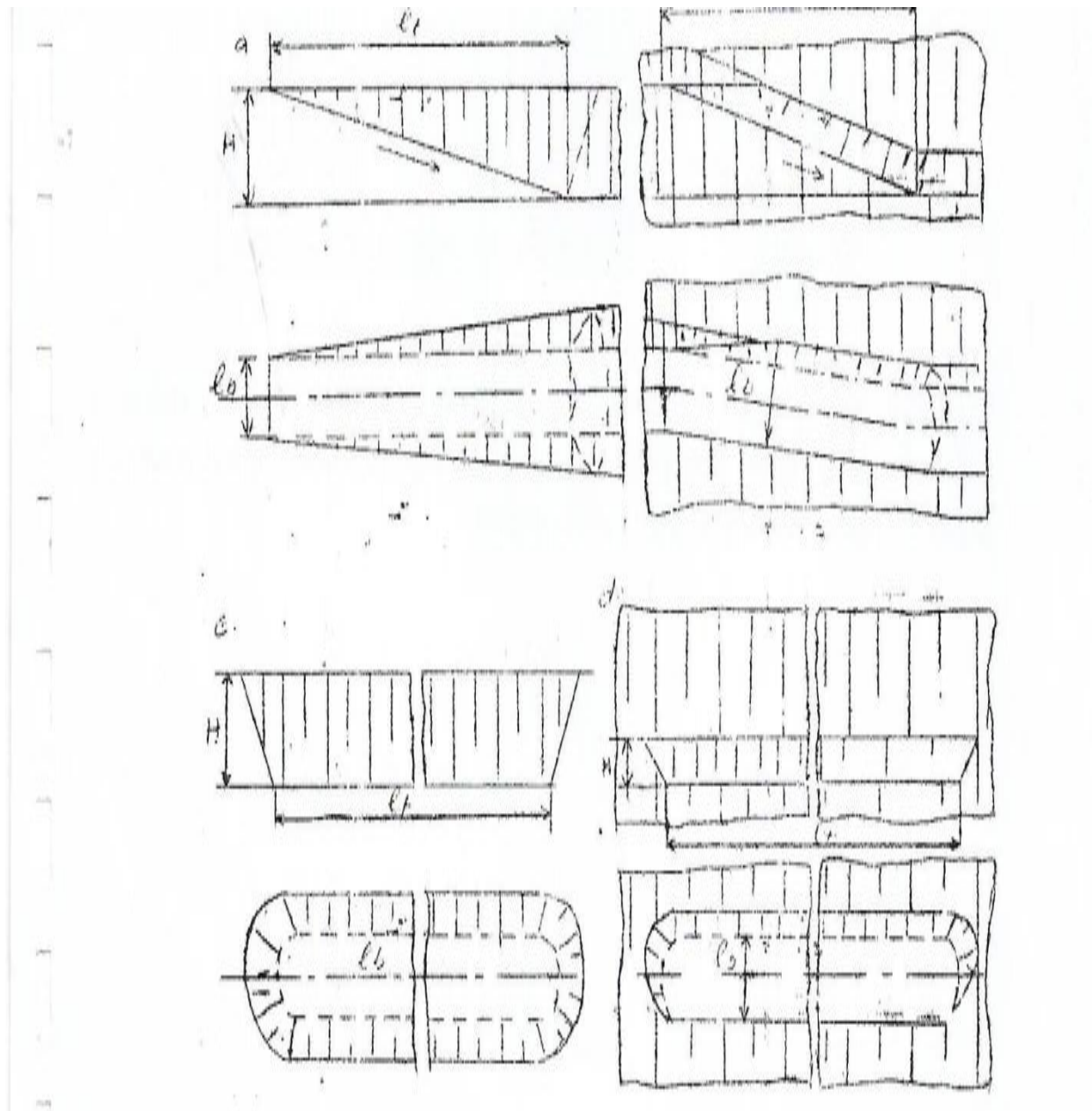


Figure n°4 : les sections axiales et plans de la tranchée

A, b- Tranchées d'accès

C et d – Tranchée de découpage.

La position en plan des tranchées dépend de la topographie du terrain (horizontale ou inclinée).

Un plan de la tranchée montre la position de son axe longitudinale par rapport à la surface. Cette position de l'axe longitudinale s'appelle le tracé.

2- Le calcul des paramètres principaux des tranchées :

a) - la largeur au fond de la tranchée :

Pour la tranchée d'accès (b) est déterminée en fonction des dimensions et des exigences des moyens de transport utilisant au cours de l'exploitation du gisement et celles des engins d'excavations.

Pendant l'exploitation, la tranchée d'accès doit assurer la circulation nécessaire pour transporter le volume prévu du stériles et minéral en tenant compte de la sécurité dans le travail.

Les valeurs de la largeur en bas de la tranchée d'accès sont déterminées soit par la méthode graphique ou soit par les données d'un tableau.

Tableau n°1 : largeur au fond de la tranchée d'accès

Moyens de transport	Largeur en bas de la tranchées d'accès ; m					
	A une voie		A deux voies		A trois voies	
Locomotive et wagons	7,6 à 8,00		17,7	12,1	15,8	16,5
Camions	6,0 à 9,5		10,0	17,0	17,5	22,0
Convoyeurs	2,5	3,0	4,0	4,5	6,5	7,00
Elévateurs	En fonction des conditions d'exploitation					

La méthode graphique nous amène à la détermination de la largeur en bas de la tranchée en utilisant les valeurs de ses composants : (la largeur des voies en fonction de leur nombre, la largeur des rigoles en fonction de la dureté des roches.

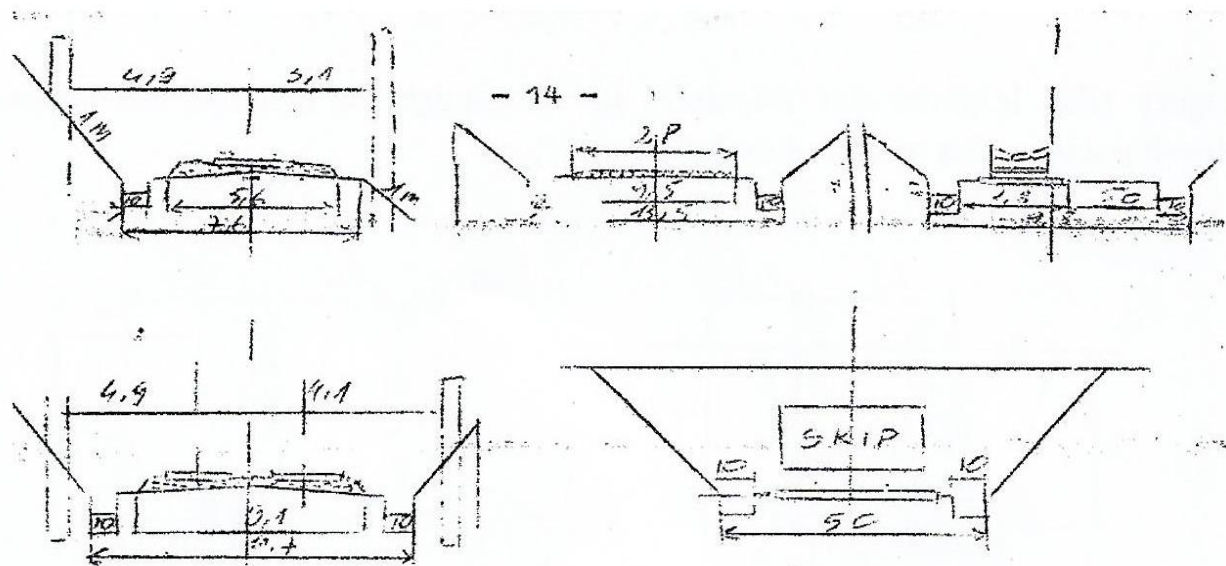


Figure n°5 : largeurs des tranchées de découpage en fonction des moyens de transport.

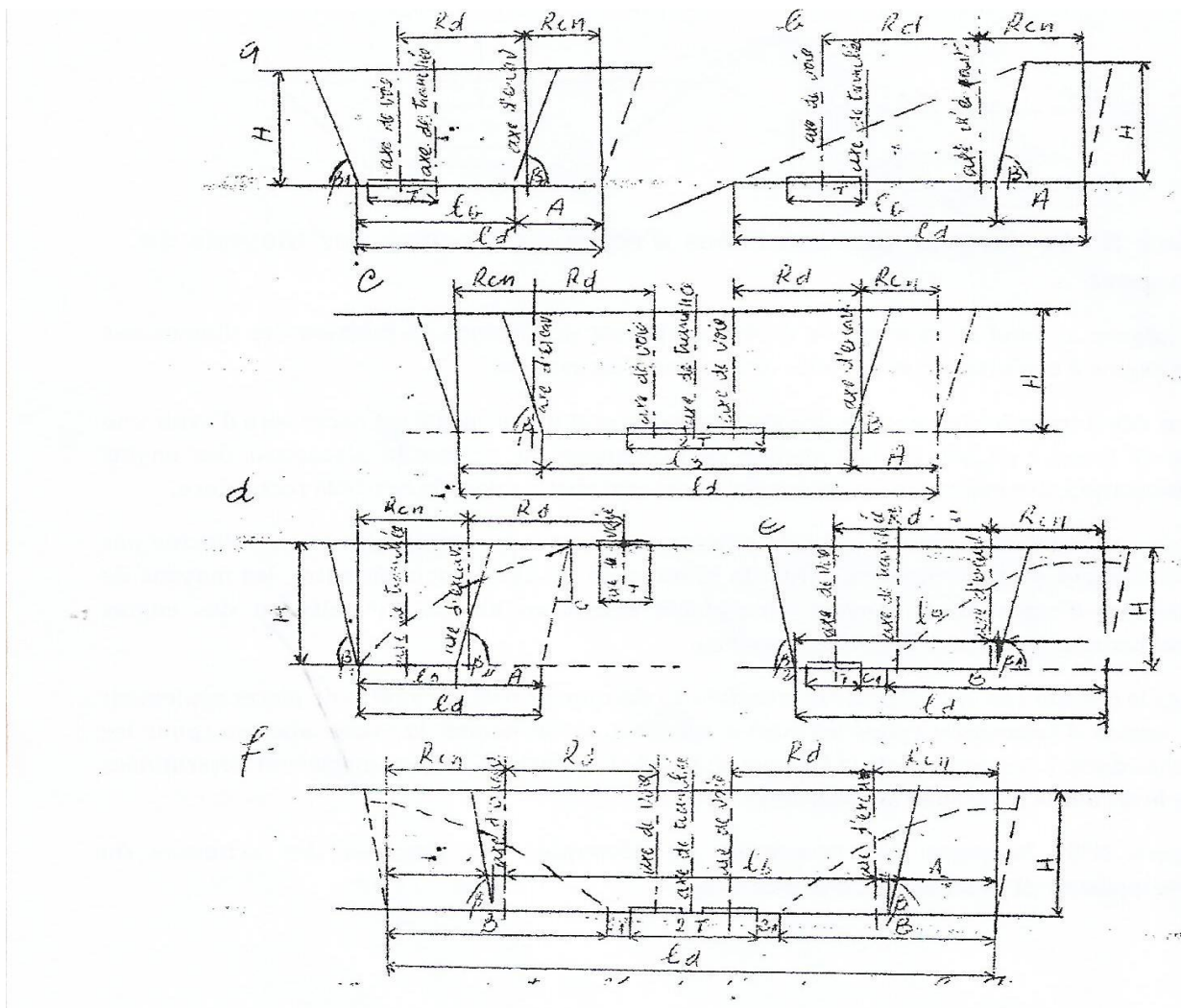
La largeur au fond de la tranchée de découpage est déterminée en fonction des dimensions des engins d'exploitation et celles des engins d'excavation.

Pour développer les travaux d'extraction du minéral et du stérile ; il est nécessaire d'avoir une grande largeur en bas de la tranchée de découpage qui assure le placement des engins d'excavations, des engins de transport et de la masse abattue dans le cas de la roche dure.

En fonction des conditions réelles, le développement des travaux d'extraction s'effectue par l'avancement d'un ou de deux bords de la tranchée de découpage. En outre, les moyens de transport d'exploitation peuvent être placés soit au niveau d'installation des engins d'excavation, soit plus haut que ce niveau.

Dans le dernier cas la largeur de la tranchée de découpage doit permettre de placer seulement les engins d'excavations (pour les roches tendres) ou seulement la masse abattue (pour les roches dures). Les valeurs de la largeur en bas de la tranchée de découpage sont déterminées par la méthode graphique et analytique.

Figure n°6 : largeurs des tranchées de découpage en fonction des schémas du développement des travaux d'exploitation



Où R_a : rayon de déversement de l'excavateur,
 R_{ex} : rayon d'excavation de l'excavateur au niveau d'installation

Lb- largeur en bas, Ld- largeur du développement des travaux ;

T-largeur d'espace ; Af-largeur de l'enlevure de forage ; B-largeur de la masse abattue ;
c et c'– distance de sécurité.

Pour le schéma n°1 : la largeur en bas est : $lb=ld-A$; m

$$ld = R_{ex} + Rd \frac{1}{2} T + e ; m$$

e- espace de sécurité entre les moyens de transports et le bord de la tranchée

$$A=1,7 \times R_{ex}$$

Pour le schéma N : largeur est :

$$Lb=ld-A ; m \quad ld=B \text{ et } A=nr \times w ; m$$

nr : nombre de rangées de trous et w- ligne de moindre résistance ; m

mais d'autre part $ld \leq (R_{ex} + Rd - H \cotg \beta - c - \frac{1}{2} T)$; m où $c = \geq 0,5-1,0$

Pour le schéma n°5 la largeur doit être égale à :

$$lb=ld-A ; ld=B+c+T+e ; m$$

$$A=nr \times w, m, B= (R_{ex}+Rd)-(C+\frac{1}{2}T) ; m \text{ pour une seule passe d'excavation}$$

Dans le cas des eux bords ouvrables (schémas n°3 et n°6) la largeur de la tranchée augmente deux fois.

La détermination de la largeur de la tranchée d'accès et de découpage en fonction des engins d'excavation est donnée dans le procédé d'excavation.

b- la profondeur finale de la tranchée d'accès

Cette dimension de la tranchée d'accès dépend du nombre de gradins ouvert par cette tranchée et leurs auteurs.

La profondeur de la tranchée d'accès qui ouvre un seul gradin est égale à la hauteur de ce gradin. $H= hg$; m

Dans les cas de l'ouverture de plusieurs gradins par une seule tranchée d'accès sa profondeur finale est égale à la somme des hauteurs des gradins ouverts.

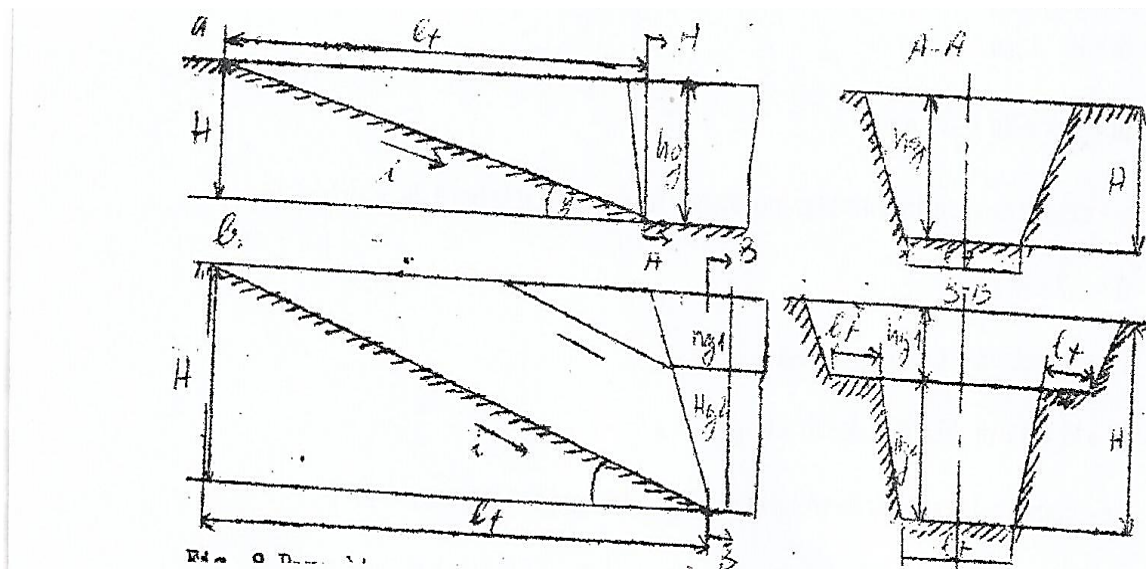
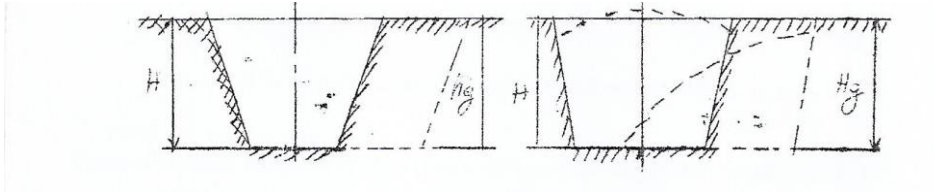


Figure n°7: les paramètres principaux des tranchées d'accès

La profondeur de la tranchée de découpage est égale toujours à la hauteur d'un gradin préparé.

Figure n°8 : profondeur de la tranchée de découpage**a- La pente descendante (i) :**

Ce paramètre caractérise seulement les tranchées d'accès. La pente descendante est prise en fonction des moyens de transport. Elle est exprimée soit en triangle J, soit en pour mille (voir figure n°). On peut déterminer la pente descendante de la tranchée d'accès (i) de la façon suivante :

$$i = tgJ = \frac{H}{La}$$

Par exemple : calculer la pente descendante (i) d'une tranchée d'accès de longueur qui a pour valeur suivante : $La = 450m$ de hauteur de gradin $h = 12m$. i en‰

Réponse $i = 0,026 = 26‰$

$i = 26‰$

En fonction des moyens de transport les valeurs de la pente descendante varient :

- ✓ Transport par locomotive électrique : 30-40‰
- ✓ Transport par camion 60-100‰
- ✓ Transport par convoyeurs à bande 250-330‰
- ✓ Transport par élévateur 500-1000‰

d-La longueur totale : (Ltr)

La valeur de ce paramètre de la tranchée d'accès est déterminée par la formule suivante :

$$Ltr = \frac{H}{i} ; m$$

Celle de la tranchée de découpage de la longueur du front du gradin.

e- L'angle du talus des bords (α ou β)

La valeur des angles du talus des bords dépend de la stabilité des roches et du type des tranchées.

Pour les tranchées d'accès dont le délai de service est égal à celui d'exploitation du gisement, on donne l'angle du talus la même valeur pour les deux bords dans les limites de 30-50° en fonction de la nature des roches.

Dans ces limites, on prend l'angle du talus du bord inexploité de la tranchée de découpage.

La valeur de l'angle de talus du bord ouvrable de la tranchée de découpage est égale à celle du gradin préparé et celle varie de 50-85° en fonction de la dureté de la roche. Elle est présentée dans le tableau suivant :

Désignation de la tranchée	Dureté d'après l'échelle du professeur protodiakonov			
	f=2÷4	f=5÷9	f=10÷14	f=15÷20
Tranchée d'accès	60	65	70	80
Tranchée de découpage	60	70	75	85

3-Calcul du volume des tranchées :

Le volume de la tranchée principale dépend des facteurs suivants :

- La forme de la section transversale ;
- Les paramètres principaux ;
- Et le relief topographique du terrain.

Le volume d'une tranchée incliné séparé d'un horizon est déterminé d'après la formule suivante :

- Pour la section trapézoïdale (fig n°...)

$$V = \frac{H^2}{i} \left(\frac{b}{2} + \frac{H}{3 \operatorname{tg} \alpha} \right), m^3$$

- pour la section triangulaire (figure n°...)

$$V = \frac{Q^b}{2i} \left(H - \frac{Q^b}{3} \right); m^3$$

$$Q = \frac{\operatorname{tga} \cdot \operatorname{tgy}}{\operatorname{tga} - \operatorname{tgy}}$$

Le volume d'une tranchée inclinée de deux horizons dont la section n'est que trapézoïdale sera :

$$V = \frac{H^2}{i} \left(\frac{b}{2} + \frac{H}{3 \operatorname{tg} \alpha} \right) + \frac{bt+bs}{2i} h_1^2 + \frac{bs+bt}{2i} (h_1 + h_2) + \dots + \left(\frac{h_1 + \dots + h_{n-2} + h_{n-1}}{2i} \right) (bt + bs) ; m^3$$

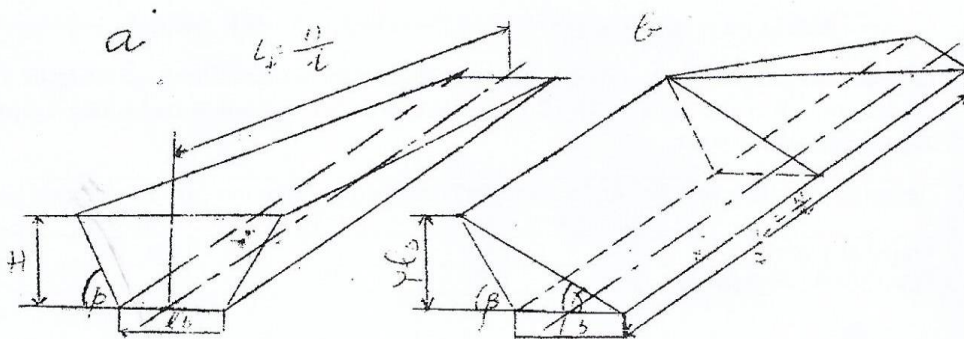


Figure N°9: volume des tranchées d'accès d'un horizon

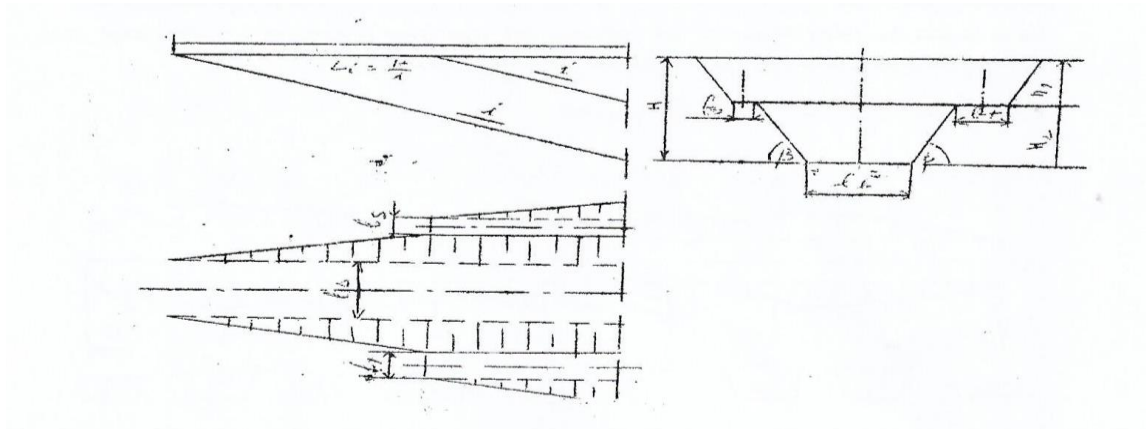


Figure N°10 : volume des tranchées d'accès de deux horizons

Le volume de la tranchée de découpage peut être déterminé de la façon suivante :
Pour la section trapézoïdale

$$Vd = (bd + H \cot \alpha) HL; m^3 \text{ avec } \alpha = \beta$$

Pour la section triangulaire

$$Vd = \frac{ld^2 \sin \alpha \cdot \sin \gamma}{2 \sin(\alpha - \beta)} L; m^3$$

bd – La largeur au fond de la tranchée de découpage

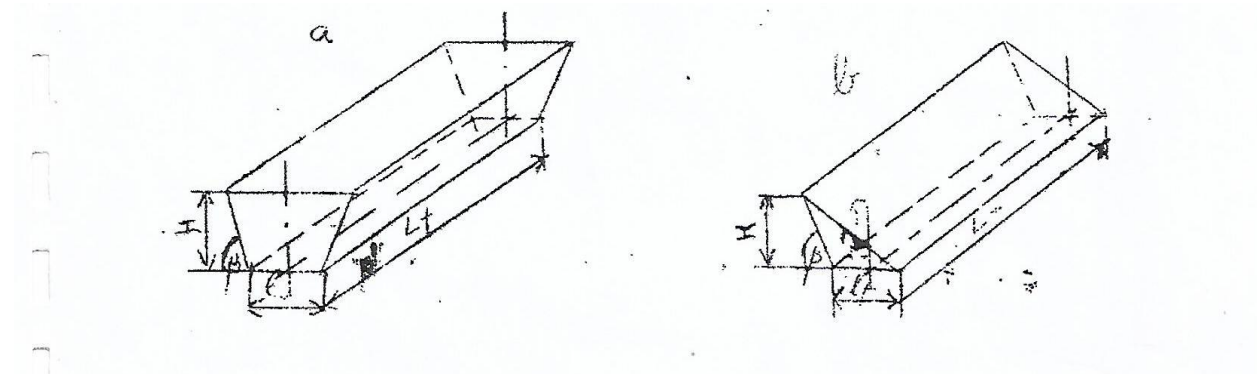
H – La profondeur de la tranchée

α – L'angle d'inclinaison du bord en état d'activité

β – L'angle d'inclinaison des bords en état de liquidation

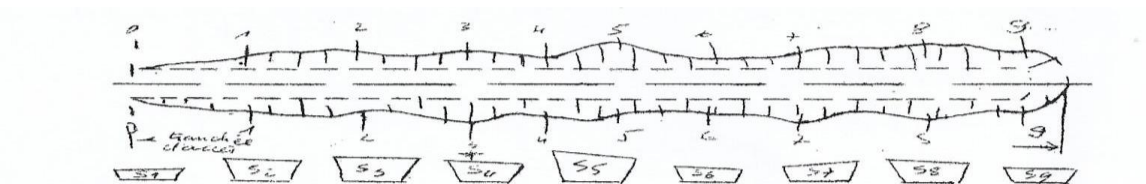
L – La longueur de la tranchée de découpage

Figure N°11 : volume des tranchées de découpage



Dans le cas des reliefs accidentés les volumes des tranchées d'accès et de découpage sont déterminés graphiquement par la méthode des coupes verticales.

$$V = \frac{s_0 - s_2}{2} \cdot l_1 + \dots + \frac{s_1 - s_2}{2} \cdot L_2 + \dots + \frac{s_{n-1} - s_n}{2} \cdot l_n \text{ m}^3$$



EXERCISE D'APPLICATION

Calculer le volume d'une tranchée d'accès à deux voies ferrées de la section trapézoïdale pour l'ouverture d'un gradin de la carrière.

La roche de ce gradin est dure et doit être enlevé par un excavateur de la hauteur du creusement de 13m.

Le transport de la roche se fait par locomotives électriques et wagons.

1 Hauteur du gradin ouvert

$$H_g = 1,5H_{cr} = 1,5 \times 13 = 20\text{m}$$

2 Paramètres de tranchée

$$H = h_g = 20\text{m (roche dure)}$$

$$l_b = 12,1\text{m (tableau 1)}$$

$$L = 40\% = 0,04 \text{ (locomotive électrique).}$$

En utilisant les mêmes paramètres, calculer le volume de section triangulaire.

3. Calculer le volume d'une tranchée de découpage avec un bord ouvrable. De la section trapézoïdale. Cette tranchée prépare un gradin des roches tendres. La largeur de ce gradin est égale à 300m. L'angle du talus- 60°

Le développement du bord se fait par une pelle mécanique de rayon d'excavation au niveau de 8m ; de celui de déversement 13m, de hauteur d'excavation 10m.

Les rayons de transport de gradin se trouvent au même niveau que l'excavateur. La largeur de prise est égale à 6m.

CHAPITRE II : LE PROCÉDE D'EXCAVATION DES TRANCHEES

1-Classification des procédés d'excavation et leurs opérations principales :

Actuellement il existe beaucoup de procédé d'excavation des tranchées qui dépendent des conditions de leurs utilisations.

En fonction des propriétés des roches, des dimensions de la section transversale d'ouvrage, de celle des engins d'excavation, on utilise les procédés d'excavation suivant :

- ✓ Sans transport ;
- ✓ Avec transport ;
- ✓ Mixte ;
- ✓ Spéciaux.

Les propriétés des roches déterminent la nécessité d'ameublissement préalable, la possibilité de la mise en place des roches extraites sur les bords de la tranchée ou de la mise en place des voies du transport sur les bords.

Les dimensions de la section transversale déterminent celle des engins d'excavation ou vice versa. Les paramètres principaux des tranchées déterminent le schéma de leur excavation.

Les procédés d'excavation ont les opérations principales suivantes ;

- Ameublissement préalable des roches ;
- Enlèvement et chargement des roches ;
- Transport des roches dans le cas des procédés avec transport.

L'ameublissement des roches tendre, se fait par machine d'enlèvement dans le même temps que l'extraction.

L'ameublissement des roches tendre, se fait soit par ripper porté soit par l'explosif.

On emploie l'ameublissement par ripper porté dans le cas de faible profondeur plus souvent on ameublit par l'explosion.

L'enlèvement et le chargement des roches sont réalisés par les draglines, les pelles mécaniques, chargeuse, scraper.....

Dans le cas de dragline ou pelle mécanique les roches extraites sont placées sur les bords des ouvrages ou sont transportées par les moyens du transport.

La chargeuse peut transporter la roche extraite vers la place de son déchargement ou peut aussi la charger dans les camions.

Le scraper transporte lui-même la roche extraite dans des terrils.

Dans le cas de procédés par explosif l'explosion enlève la roche et la met sur les bords d'ouvrage.

Comme moyen de transport des produits excavés on utilise le transport par chemin de fer, par camion et ou par convoyeurs à bande.

2-Ameublissement préalable par l'explosif

L'ameublissement par explosif comprend les processus suivants :

- ✓ Formation des trous ;
- ✓ Chargement des trous par explosifs ;
- ✓ Tir.

La foration des trous se fait par les sondeuses rotatives, celles roto percutants ou celles à mollette ou conique.

Le choix du type de sondeuse dépend de la propriété physique de la roche.

Tableau n°.... Types de sondeuses d'après la dureté de la roche

N°	Type de sondeuse	Dureté de roche
1	Rotative	< 6
2	Roto percutante	10-18
3	A mollette	6-14
	conique	12-25

A son tour le type de sondeuse détermine le diamètre des trous et il doit avoir la profondeur de foration correspondante de foration correspondant à la profondeur de la tranchée à réaliser.

La longueur des trous est déterminée en fonction de la profondeur de la tranchée et de la valeur de leur dépassement :

$$L_1 = H + L_d = (1,1 \div 1,2)H; m$$

Ce sont les trous, on détermine la maille de foration ou disposition régulière des trous le terrain : l'écartement des trous d'une rangée (a) et la banquette entre les rangées des trous et leur nombre (n)

Les composants de la maille sont déterminés d'après les formules suivantes :

$$a = (1, 0-1, 2).W; m$$

$$b = (0, 8-1, 0).W; m$$

$$n = \frac{b}{a} + 1$$

Où W est la ligne de moindre résistance, m

$$w = d_{t2} \frac{\sqrt{7,85\Delta\phi 3}}{\phi a.m}$$

où d_{t2} est le diamètre des trous, en m

Δ : est la densité d'explosif, en kg/dm^3

$l_2 = 0,5-0,7$

l_a : est la consommation spécifique d'explosif, en kg/m^3

m : est le coefficient de rapprochement ;

m = 0,8-2,0

Les valeurs de la consommation spécifique d'amusement (9 ou plus) pour l'explosive ammonite n°6 sont données dans le tableau.

F	2-3	4-5	6-8	9-12	13-20
l_a	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75

Il faut noter que la profondeur des tranchées d'accès est la grandeur courante en fonction de la largeur d'ouvrage. Ce paramètre se change de zéro à la profondeur finale le long de la longueur. C'est pourquoi on change la valeur de l'écartement des trous.

Le volume des travaux de foration pour les tranchées d'accès

$$V_f = \sum_{j=1}^n N_{tr} \cdot l_{trj}$$

Où l_{t2} longueur des trous de J-profil, m

Pour les tranchées de découpage

$V_d = N_{tr} \cdot L_{tr}$

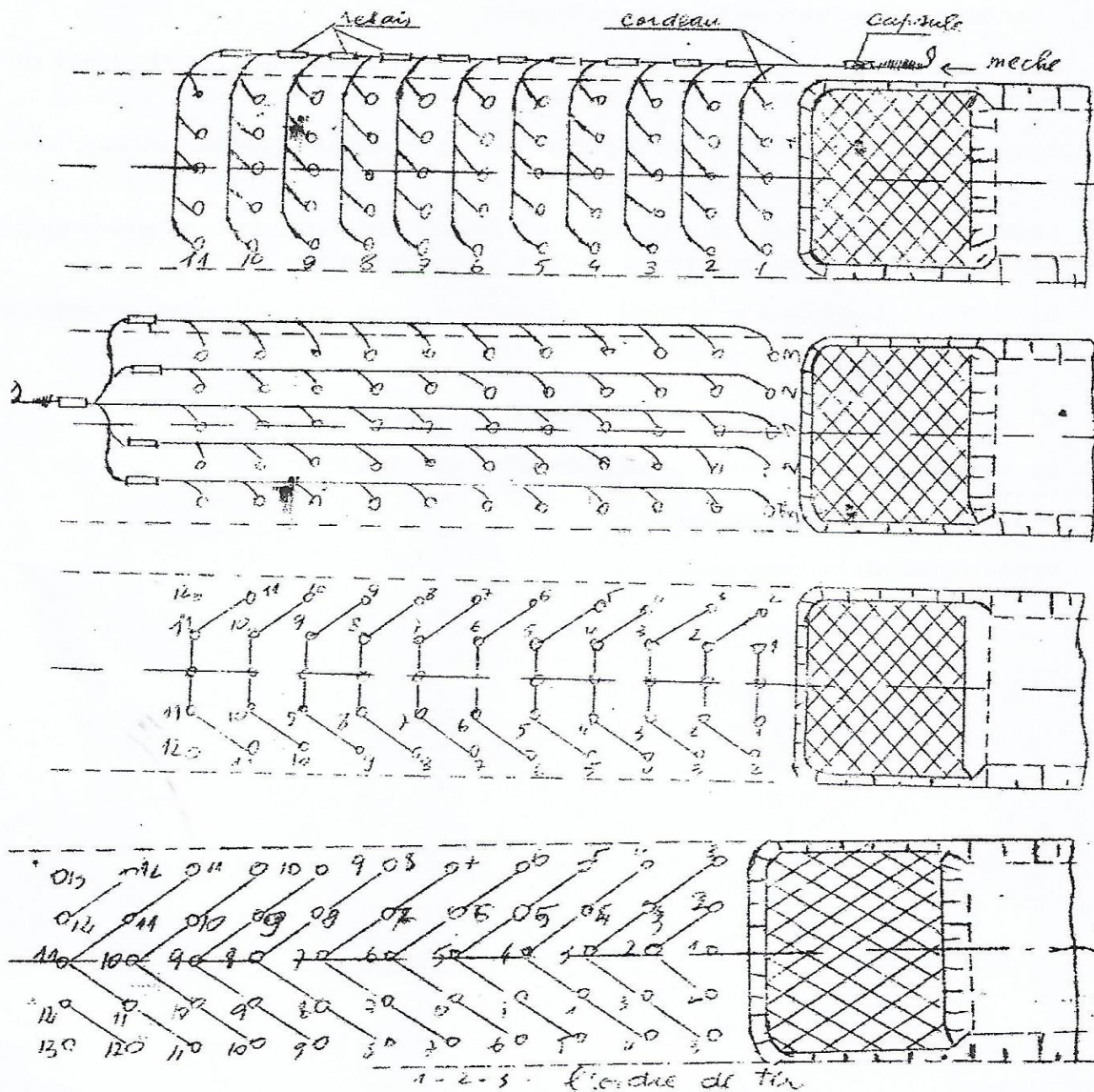
Où N_{tr} nombre total des trous d'ouvrage

Pour charger les trous on calcule la consommation totale d'explosif

$Q_1 = q \times V$ où V est le volume d'ouvrage m^3

Pour les travaux de tir on emploie une variété des schémas de tir en utilisant l'explosion à cour retard.

L'utilisation de tel ou de tel schéma dépend des conditions réelles.



Figures n°13 : les schémas de tir

Excavation des tranchées sans transport

Ce procédé est utilisé dans le cas de la possibilité de mettre le déblai sur les bords de la tranchée excavée.

On peut avoir cette possibilité lors de l'excavation de la tranchée extérieure ou de la tranchée de découpage à un bord ouvrage.

L'excavation des tranchées sans transport est réalisée par les draglines et parfois les pelles mécaniques. Pour les roches dures on applique l'ameublissement préalable.

La condition essentielle de ce procédé d'excavation est l'assurance de l'expression suivante :

$$nf \cdot V_o \geq V \cdot Kf$$

Où :

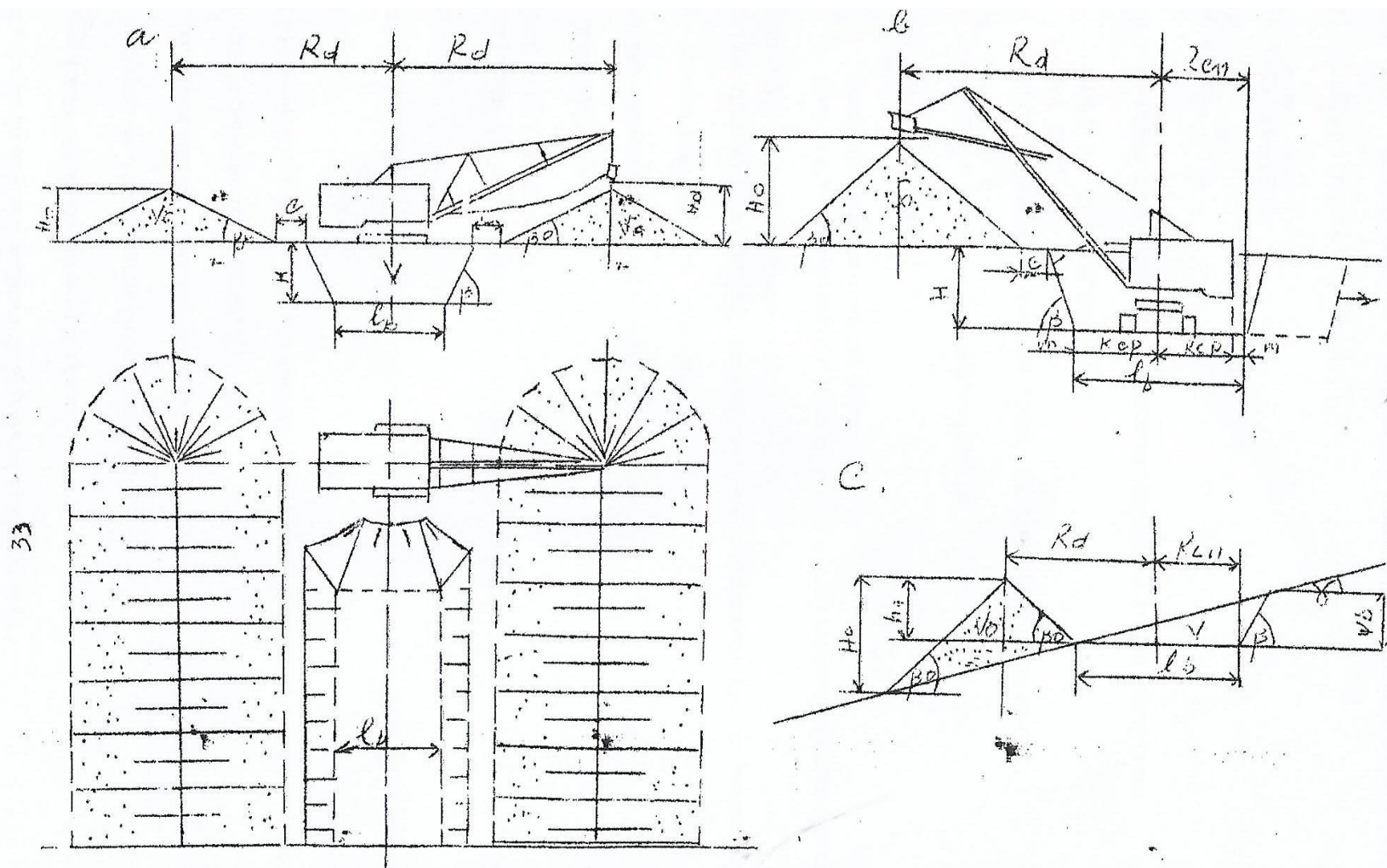
nf -nombre de bord de la tranchée sur lesquels on place les roches extraites

V_o Volume de la roche déplacée pour les bords de la tranchée

V -volume de la tranchée excavée

Kf - coefficient de foisonnement.

Figure n°14 : Excavation des tranchées sans transport



Le volume du déblai d'un bord de la tranchée sera :

$$V_0 = (R_d - c - H_0 \cotg \beta - \frac{b}{2}) H \cdot L; m^3$$

R_d - Rayon de déversement de l'excavateur, m

C - distance entre l'arrête supérieur du bord de la tranchée et du terril, m

β - angle de stabilité de terril ; ($\beta=30^\circ$)

H - La profondeur de la tranchée doit être inférieure à la hauteur d'excavation de la dragline

$$H \leq H_{ex}$$

La hauteur de terril ne doit pas dépasser la hauteur de déversement de l'excavateur.

$$H \leq H_d$$

Dans les cas de l'utilisation des pelles mécaniques, la largeur en bas de l'ouverture doit assurer la rotation de l'excavateur c'est-à-dire :

$$b \geq 2(R_{cp} + m) m$$

Où R_{cp} - Rayon de contrepoids de l'excavateur, m

m - espace de sécurité, m avec $m=0,5$ m

Le choix de type de machine d'excavation se fait en tenant compte des paramètres et de la forme de la section transversale de la tranchée.

Pour la tranchée de section trapézoïdale, les dimensions de l'engin d'excavation sont déterminées de la manière suivante :

$$H_d \geq H + H_0; m$$

$$H_d \geq \frac{b}{2} + H \cotg \beta + H_0 \cotg \beta; m$$

Pour la tranchée de section triangulaire, ces dimensions seront :

$$H_d \geq h_1; m$$

$$H_d \geq b - R_{ex} + H_1 \cotg \beta; m$$

Où R_{ex} - rayon d'excavation de l'excavateur au niveau de son installation

$$h_1 = b \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_f}{2 \cotg \beta}}; m$$

$$K_1 = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot \sin(\beta - \gamma)}{\sin(\alpha - \gamma) \cdot \sin(\beta + \gamma)}$$

K_1 = L'angle de surface de la terre

Pour toutes ces deux sections, il faut tenir compte de la valeur maximale de la largeur en bas.

$$b_{max} = 2R_{ex}$$

Ce procédé d'excavation assure la grande vitesse d'avancement, par ce que le coefficient d'utilisation est égal à 0,9 à 0,95

D'après les paramètres techniques de la pelle, on peut choisir la dragline avec les valeurs des paramètres qui sont supérieures ou égales. R_d ; R_{ex} calculées.

Détermination du rendement de l'excavateur choisi :

$$Q_{ef} = \frac{3600 \cdot E \cdot T_p \cdot k_u \cdot k_r}{t_c \cdot K_f}; m^3/p$$

Détermination de la vitesse de la technologie :

$$V = Q_{ef} / S_{tr} ; m/p$$

Caractéristiques technique de quelques draglines :

	Ech 5/45	Ech 13/50	Ech 6/60	Ech 10/70	Ech 15/90
Rd ; m	40.5	43	57.0	66.0	83.0
Re ; m	46.6	46	58.0	67.0	81.0
Hd ; m	14.5	20.3	24.0	29.0	42
Tc ; s	45	50	52	55.0	60

Exemple : Il faut choisir le type de dragline et déterminer les paramètres Q_{ef} ; et la vitesse d'après les données suivantes : $\alpha = 45^\circ$; $\delta = 35^\circ$; $c = 3.0 m$; $c' = 3m$; $K_f = 1.2$; $K_r = 0.9$; $\beta = 30^\circ$; $K_u = 0.8$; $H = 10.0m$; $b = 12.0m$; $T_p = 8h$ et $a = 10.0m$

NB : α et γ sont les angles des bords de la tranchée et β celui du terril

Solution :

On déterminera : $S_{tr} = ?$; $A = ?$; $H_t = ?$; $R_d = ?$; $R_c = ?$; $B = ?$

Typier ECH5/45

1- Excavation des tranchées avec transport

Comme d'habitude, pendant l'excavation on utilise les mêmes types d'engins de transport que lors de l'exploitation des gisements en question.

Le choix du schéma d'excavation se fait en tenant compte de la nature des roches, des engins d'exploitation et des indices techniques et économiques.

Comme engins de chargement on utilise plus souvent les pelles mécaniques parfois des draglines et des chargeuses.

Les schémas d'excavation dépendent des moyens de transport utilisés.

A-Transport par train :

Dans ce cas les moyens de transport peuvent être placés soit au fond de la tranchée (au niveau de l'excavation), soit sur les bords de la tranchée.

Placement des moyens de transport au niveau d'installation de l'excavateur.

Ce procédé d'excavation est utilisé aussi bien dans les roches tendres que dans les roches dures.

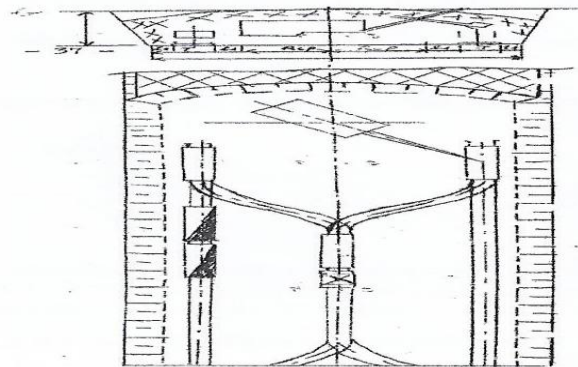
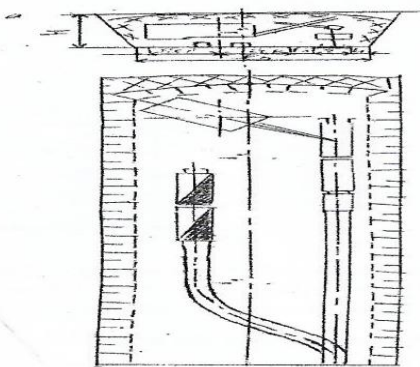


Figure N°15 : Excavation des tranchées avec transport par train placé au niveau d'excavateur

Les dimensions de l'excavateur et les conditions de travail ne permettent qu'un wagon à charger

En fonction des schémas utilisés, on installe les wagons d'un ou de deux côtés de l'excavateur.

Pour les manœuvres de chargement en place une impasse supplémentaire avec un aiguillage ou bifurcation bilatérale. Le schéma avec l'installation des wagons d'un côté et avec une impasse supplémentaire donne le coefficient d'utilisation de l'excavateur dans les limites suivantes :

$K_u=0.5$ pour les roches tendres

$K_u=0.4$ pour les roches dures

Cet indice dans le cas du schéma avec l'installation des wagons des deux côtés et avec une bifurcation bilatérale varie de 0,6 pour les roches dures à 0,7 pour les roches tendres.

La largeur minimale en bas de la tranchée est déterminée de la manière suivante :

- Pour la largeur le schéma N°1

$$b^{min} = 2R_{cp} + 2e_1 + T + m; m$$

- Pour le schéma N°2

$$b^{min} = 2(R_{cp} + e_1 + T) + m; m$$

Où e_1 espace entre les moyens de transport et l'excavateur.

La largeur minimale est déterminée par le rayon d'excavation de l'excavateur au niveau d'installation.

$$b^{min} \leq 2R_{ex}$$

Placement des moyens de transport sur le bord de la tranchée

Ce procédé est utilisé seulement sur les roches stables qui n'exigent pas la grande distance entre le bord de la tranchée et la voie pour assurer la sécurité du travail (pour éviter le glissement des roches sous l'action du poids de l'engin de transport).

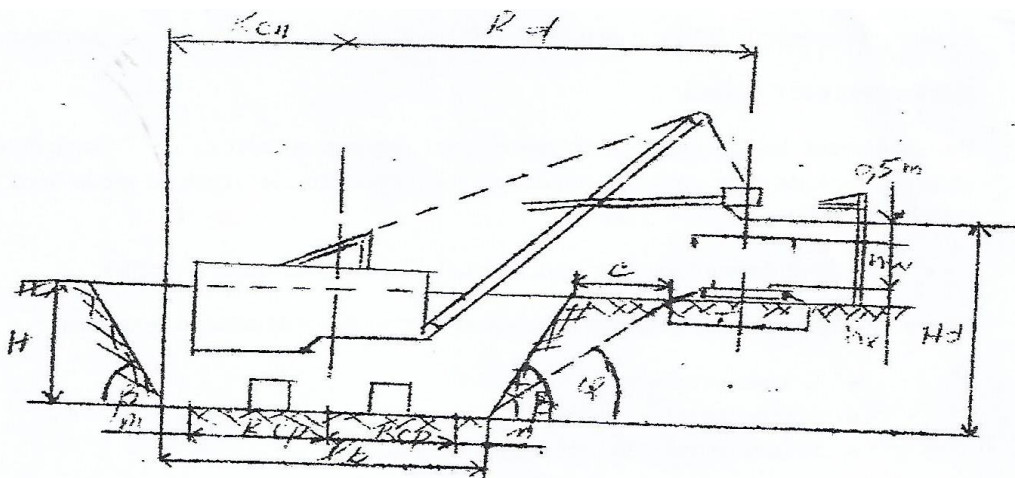


Figure N°16 : Excavation avec transport sur le bord

$$C \geq H(\cot \varphi - \cot \alpha)$$

Où φ - l'angle de glissement naturel de roche

La largeur minimale en bas de la tranchée est :

$$b^{min} = 2(Rc_p + m); m$$

La largeur maximale en bas est déterminée d'une part d'après l'engin d'excavation par la formule :

$$b^{max} = 2Re_x ; m$$

Et d'autre part d'après l'expression suivante : $b^{max} \leq 2Rd - C - H \cot \alpha - T; m$

Le choix de type d'engin d'excavation se fait par la valeur des dimensions calculées :

$$Hd \geq H + hv + hw + 0,5; m$$

$$Rd \geq Rc_p + m + H \cot \alpha C + \frac{1}{2}T; m$$

Où hw-la hauteur du wagon en m

0,5-l'espace libre entre le wagon et le fond ouvert du godet de l'excavateur

Ce procédé d'excavation permet de charger tout le train sans division par une rame wagons.

C'est pourquoi le coefficient d'utilisation de l'excavation est plus élevé que celui du procédé précédent.

La valeur de ce coefficient varie de 0,65 pour les roches dures et 0,8 pour les roches tendres.

B-Transport par camion :

Habituellement les moyens de transport sont chargés au niveau de l'installation des excavateurs. Mais dans certaines conditions il est nécessaire les camions sur bord de la tranchée excavée.

- ✓ Placement des camions au niveau d'installation de l'excavateur (voir fih)

Ce procédé d'excavation comprend les schémas de manœuvre de retournage suivant :

Schéma circulaire ;

Schéma en cul-de –sac ;

Schéma en cul de sac en niche

La largeur minimale de la tranchée est déterminée de la façon suivante :

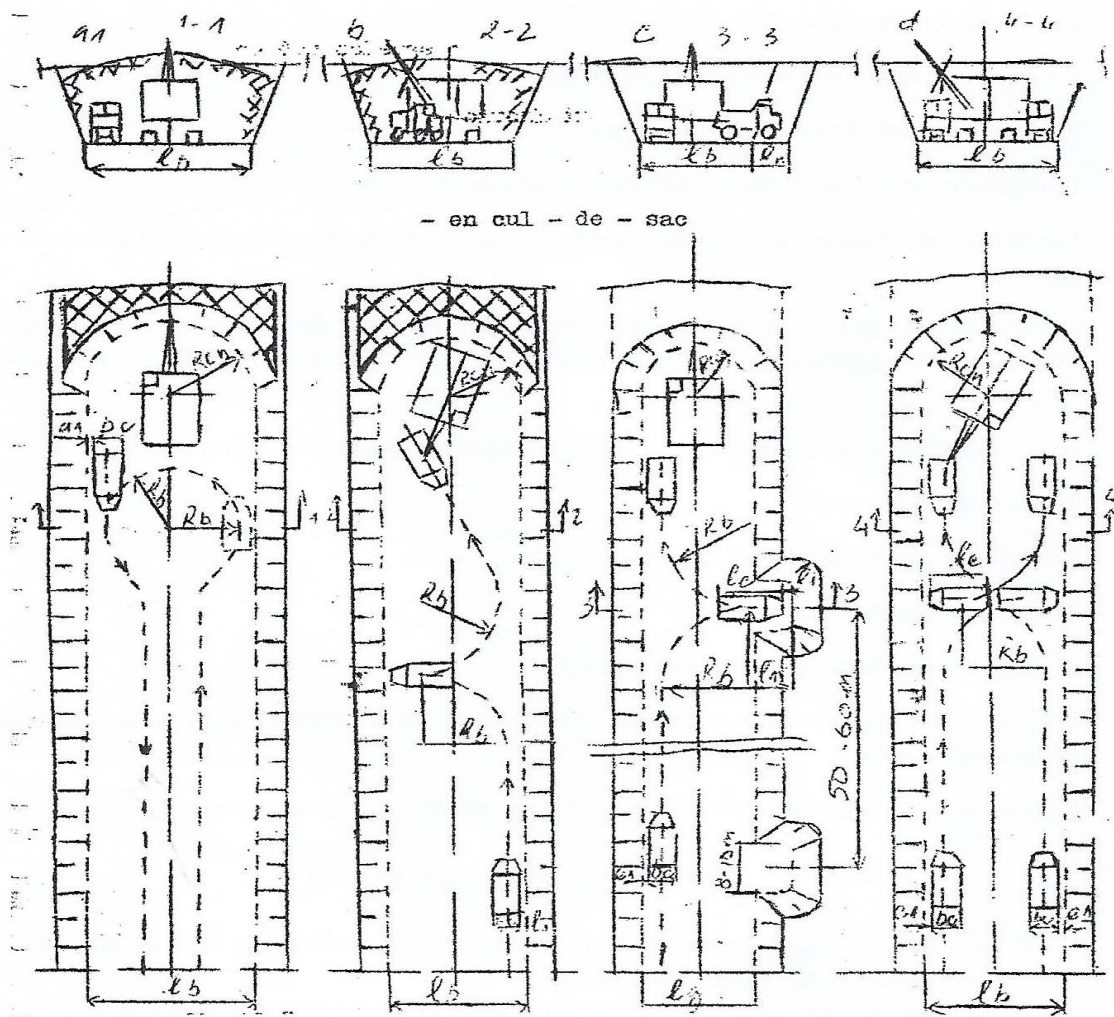


Figure N°17 : Excavation des tranchées avec camions placés au niveau de l'excavateur

Circulaire :

$$b = 2(R_b + 0,5lc + e), m$$

En cul-de-sac

$$b = R_b + 0,5(lc + Lc) + e, m$$

En cul de sac avec niche

$$b = R_b + 0,5(lc + Lc) + 2e - ln, m$$

En deux culs de sac

$$b = R_b + 0,5(lc + Lc) + 2e, m$$

Où R_b - rayon minimum de braquage du camion, m

Lc - largeur du camion, m

Lc – longueur du camion ; m

e -espace libre le camion et le bord de la tranchée, m ($e=1-2m$)

ln -longueur des niches, m ($ln=6-7m$)

La distance entre deux niches consécutives varie de 50-60m

La plus grande vitesse d'excavation est assurée par le schéma de manœuvre en cul-de-sac.

Le coefficient d'utilisation des engins d'excavation est plus élevé lorsque le transport est effectué par le camion que celui du transport par train. La valeur de celui-ci varie de 0,8-0,9.

Le procédé de travail de l'excavateur à godet unique comprend des Operations suivants :

- 1- Remplissage du godet ;
- 2- Déplacement du godet vers la place de déchargement ;
- 3- Déplacement du godet ;
- 4- Déplacement du godet vide vers le chantier.

L'ensemble de ces opérations forme un cycle de travail et le temps de leur réalisation s'appelle la durée d'un cycle.

Le choix du type d'excavateur se fait ces paramètres calculés suivants :

$$Hex \geq H; Rex = \frac{b}{2}; Rcp \leq \frac{b}{2} - m$$

- ✓ Le rayon d'excavation (Rex) est la distance horizontale entre l'axe de rotation de la cabine et le bord d'attaque du godet.
- ✓ La hauteur d'excavation (Hex) est la distance verticale entre l'emplacement de la pelle et l'arrêt du gradin.
- ✓ Le rayon de déversement (Rd) est la distance horizontale à partir de l'axe de rotation de la cabine jusqu'au godet en position de déverser.
- ✓ La hauteur de déversement est la distance entre le niveau de l'emplacement de l'excavateur et l'arrêt du gode en position de son ouverture.

Les valeurs de la largeur minimale en bas de la tranchée pour certains types de camion peuvent être choisies dans le tableau ci-après :

Tableau N°... : Les valeurs de la largeur minimale de la tranchée

Paramètres de camion	Largeur en bas de la tranchée en fonction du schéma de manœuvre, m			
	circulaire	Cul- de- sac	Cul-de-sac Avec niche	En deux culs de sacs
Rac=8.3m Lc=3.5m Lc=7.2m	23-25	15-16	11-12	16-18
RC=11m Lc=3.8m Lc=8.2m	25-27	17-18	12-13	18-20

RC=14m				
Lc=4.9m	35-37	22-23	16-18	22-25
Lc=9.7m				

Rendement des excavateurs a godet unique :

Le rendement d'un excavateur est le volume des roches que l'excavateur peut excaver par unité de temps. Il dépend :

- du type d'excavateur ;
- de la capacité du godet de l'excavateur ;
- de la propriété physico-mécanique des roches ;
- du schéma de manœuvre de travail d'un excavateur ;
- du type de transport ;
- de la forme et des dimensions du chantier.

LE RENDEMENT THEORIQUE :

Le rendement théorique correspond à l'utilisation complète des possibilités constructive de l'engin et peut être déterminé par la formule suivante :

$$R_{th} = E \cdot n = \frac{3600 \cdot E}{t_e} ; m^3/h$$

E= la capacité volumétrique du godet de l'excavateur en m^3 ;

n= nombre de cycle calculé théoriquement par heure

t= durée d'un cycle de l'excavateur pour un angle de giration est égale à 90°

En pratique les roches extraites n'occupent pas exactement le volume géométrique du godet c'est-à-dire lors du calcul pratique il faut tenir compte du coefficient quelconque.

Les roches bien fragmentées ne peuvent pas repli rien le godet que des matériaux fins.

C'est pourquoi dans les calculs, il faut tenir compte du degré d'utilisation de la capacité de godet par coefficient de remplissage $K_r = V_r/E$

V_r = volume réel des roches à l'état foisonné en m^3 dans le godet.

Lors du calcul du rendement effectif il faut tenir du foisonnement des roches dans le godet ; et l'angle réel de giration de l'excavateur et aussi le temps nécessaire de déplacement d'excavateur au cours de l'excavation et pertes de temps pour diverse raisons.

En pratique l'angle de giration diffère de 90° c'est pourquoi il faut introduire dans les calculs le coefficient qui tient compte de l'angle de giration.

LE RENDEMENT EFFECTIF :

Pour le calcul du rendement effectif de l'excavateur à godet unique on utilise la formule suivante :

$$R_{ef} = \frac{3600 E \cdot K_r \cdot T_p \cdot K_u}{t_c \cdot K_f} m^3/p$$

T_p =Durée d'un poste en heure

K_r = coefficient de remplissage du godet

K_f = coefficient de foisonnement des roches dans le godet

K_u = Coefficient d'utilisation de l'excavateur durant un poste

T_c = durée d'un cycle de l'excavateur en seconde

$K_u = (0.75 - 0.85)$ dans un chantier bien organisé quand les roches sont déchargées directement au stérile.

$K_u = 0.65 - 0.65$ quand les roches sont chargées dans les camions

La durée d'un cycle de l'excavateur est calculée approximativement à l'aide de la formule suivante :

$T_c = T_t \cdot K_g \cdot K_d$

T_t = durée d'un cycle de l'excavateur pour un angle de giration égale à 90°

D'après la caractéristique technique en seconde

K_g = coefficient qui considère l'angle de giration

Angle de giration degré	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
K_g	0.6 – 0.8	0.7 – 0.85	0.9	1.0	1.15-1.25	1.25-1.4	1.4-1.6

K_d = coefficient tenant compte des propriétés des roches excavées

Roches	Coefficient K_d
Sable, argile sable, argile légère	1.0
Argile compte roches, roches semi-dures bien fragmentées	1.05 – 1.1
Argile lourd, roches semi-dures tirées ou secouage	1.15 – 1.25
Roche à dureté moyenne fragmentées par tir	1.25 -1.35
Roches dures fragmentées par tir	1.35 – 1.6

Dans le tableau ci-dessous on présente les valeurs moyennes de coefficient de foisonnement et de

remplissage obtenu d'après l'expérience pratique

Coefficient de dureté Des roches (f)	Masse volumique T/m^3	Coefficient de foisonnement K_f	Coefficient de remplissage K_r	
			Pelle mécanique	Dragline
0.6 – 0.8	1.6	1.15	1.05 – 1.15	1.0
1 - 2	1.8	1.25	1.0 – 1.05	1.0

3 - 7	2.0	1.35	0.95 – 1.0		0.9
8 - 14	2.5	1.5	0.9 – 0.95		
15-20	3.5	1.60	0.85 – 0.9		

Pour les roches de faible dureté, denses qui peuvent être extraites directement du massif sans aucune préparation préalable on peut utiliser le tableau suivant :

Roches	Coefficient		
	Kf	Kr	Kex
Sable et sables argileux faibles	1.08 - 1.17	1.1-1.0	0.95
Roches tendres non compactées gravier jusqu'à 15mm	1.15-1.3	1.0-0.9	0.85
Roches tendres compactées, graviers	1.25-1.35	1.0-0.8	0.75
Roches denses à petites solidités	1.3-1.4	0.85-0.75	0.65
Roches denses sémi-solidités	1.35-1.45	0.8-0.7	0.6
Roches denses solides	1.4-1.5	0.75-0.65	0.55

Kex= coefficient d'extraction

$$Kex = \frac{Kr}{Kf} = \frac{Vp}{E \cdot Kf}$$

Vp= volume du godet rempli par les roches (m³)

E= capacité géométrique du godet en m³

Placement des camions sur le bord de la tranchée (voir fig 16)

Ce procédé d'excavation exige les mêmes conditions de travail que dans le cas du transport par train.

$$C \geq H(\cot g \varphi - \cot g \alpha); m \text{ ou bien } C \geq 3m$$

$$b^{mim} = 2(Rcp + m); m$$

$$b^{mim} = 2Rex \leq 2(Rd - C - H \cot g \alpha) - T$$

$$H \leq hd - hc - 0.5; \text{ où } hc - \text{hauteur du camion}$$

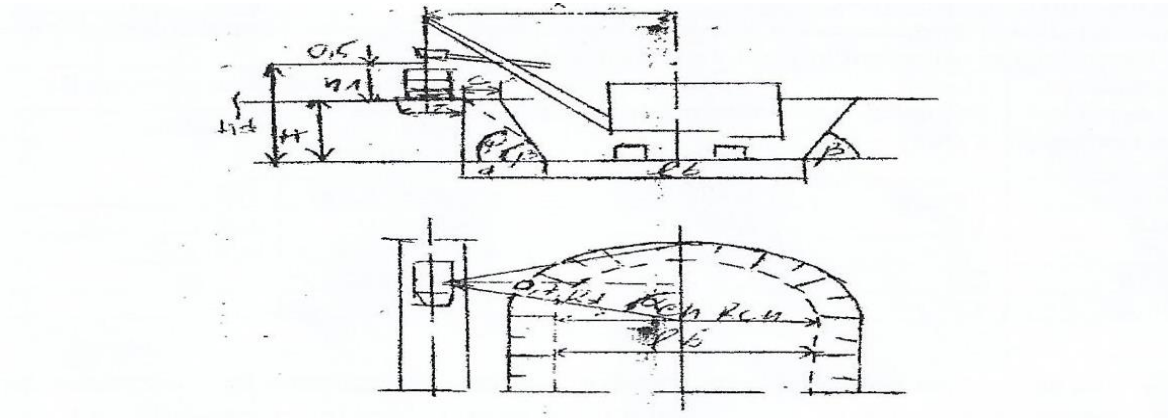


Figure N°18 : Excavation avec camions sur le bord

Au cours de l'excavation de la tranchée, ce schéma demande la position des camions à charger d'après les exigences suivantes :

- Le camion doit être placé en dehors du prisme de glissement de la roche ;
- La distance entre l'acte de l'excavateur et celui du camion ne doit pas dépasser $0.7 R_d$.

Cette position est déterminée l'angle de chargement du camion et distance X d'après la formule suivante :

$$X = 0.7 R_d \sin \delta; m \text{ ou encore } X = \frac{b}{2} + d + \frac{T}{2}; m$$

$$R_{ex} = \frac{b}{2}, m \quad d = H \cot \alpha + C; m$$

$$\text{D'ici } \sin \delta = \frac{R_{ex} + H \cot \alpha + C + \frac{T}{2}}{0.7 R_d}$$

En pratique nous prenons pour l'angle $\delta = 60^\circ$

C-Transport par convoyeur :

D'habitude des convoyeurs comme transport continu sont utilisés avec des excavateurs à godets multiples dans les roches tendres.

Mais actuellement en tenant compte du grand rendement de ce type de transport, on utilise les convoyeurs de plus en plus avec des excavateurs à godet unique dans les roches dures bien ameublées.

Les convoyeurs à bandes peuvent être placés aussi bien au niveau de l'excavateur que sur les bords de l'ouvrage.

D- Transport Mixte

Parfois on utilise au cours d'excavation des tranchées de transport mixte.

D'habitude le transport mixte est la combinaison de deux types de transport :

Camion – transport par train (sur les rails)

Camion- convoyeur à bande transporteuse

Les camions sont utilisés à l'intérieur de la tranchée et transportent des roches extraites vers un point de leur ralliement. Delà les roches sont transportées par locomotive trains ou par les convoyeurs dans les terriils.

E- Excavation de la tranchée à plusieurs tranches avec transport

Lorsque la tranchée a des dimensions importantes et lorsque les paramètres des engins d'excavations le permettent de charger toutes les roches de la section transversale de l'ouvrage. On utilise l'excavation à plusieurs tranches.

Dans le cas seulement de ma grande largeur en bas, on emploie l'excavation à plusieurs tranches verticales.

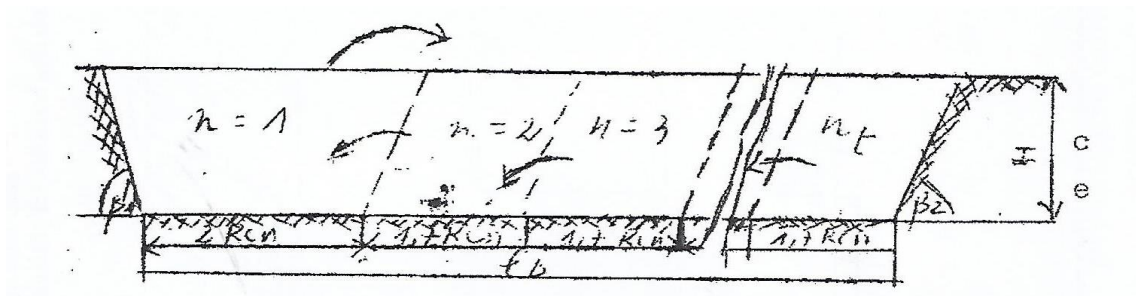


Figure N°19 : Excavation à plusieurs tranchées verticales

Dans le cas de la grande profondeur de la tranchée, on emploie l'excavation à plusieurs tranches horizontales (voir fig précédente)

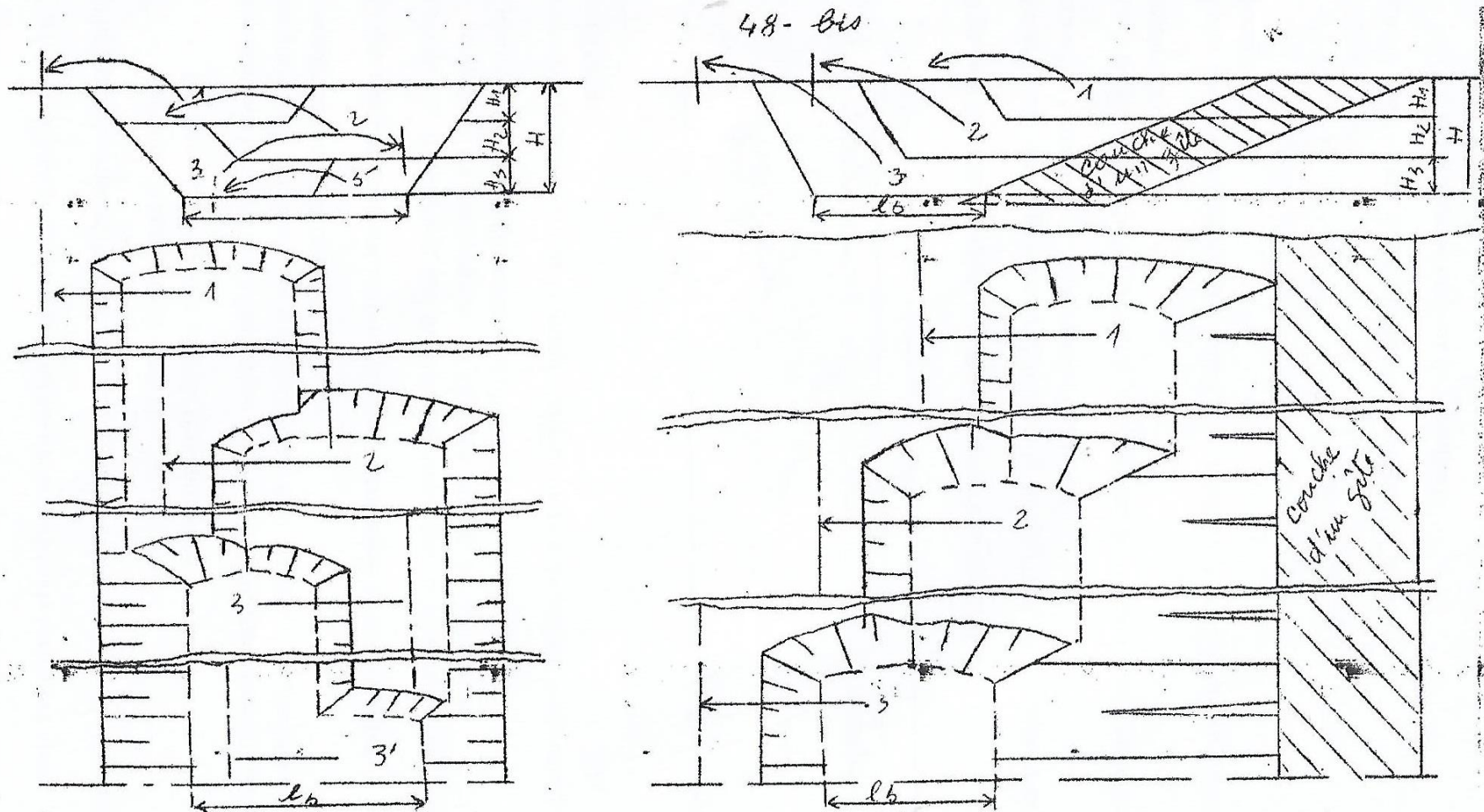
Ce procédé demande le placement des moyens de transport au niveau de l'engin d'excavation et sur le bord.

Cette dernière exigence détermine le nombre de tranche horizontale pour la profondeur finale.

$$H_f = \frac{H}{H_d^{max} - h - 0.5}$$

Où H_d = Hauteur de déversement maximale de l'excavateur

h = la hauteur de moyen de transport

Figure N°20: Excavation des tranchées à plusieurs tranchées horizontales

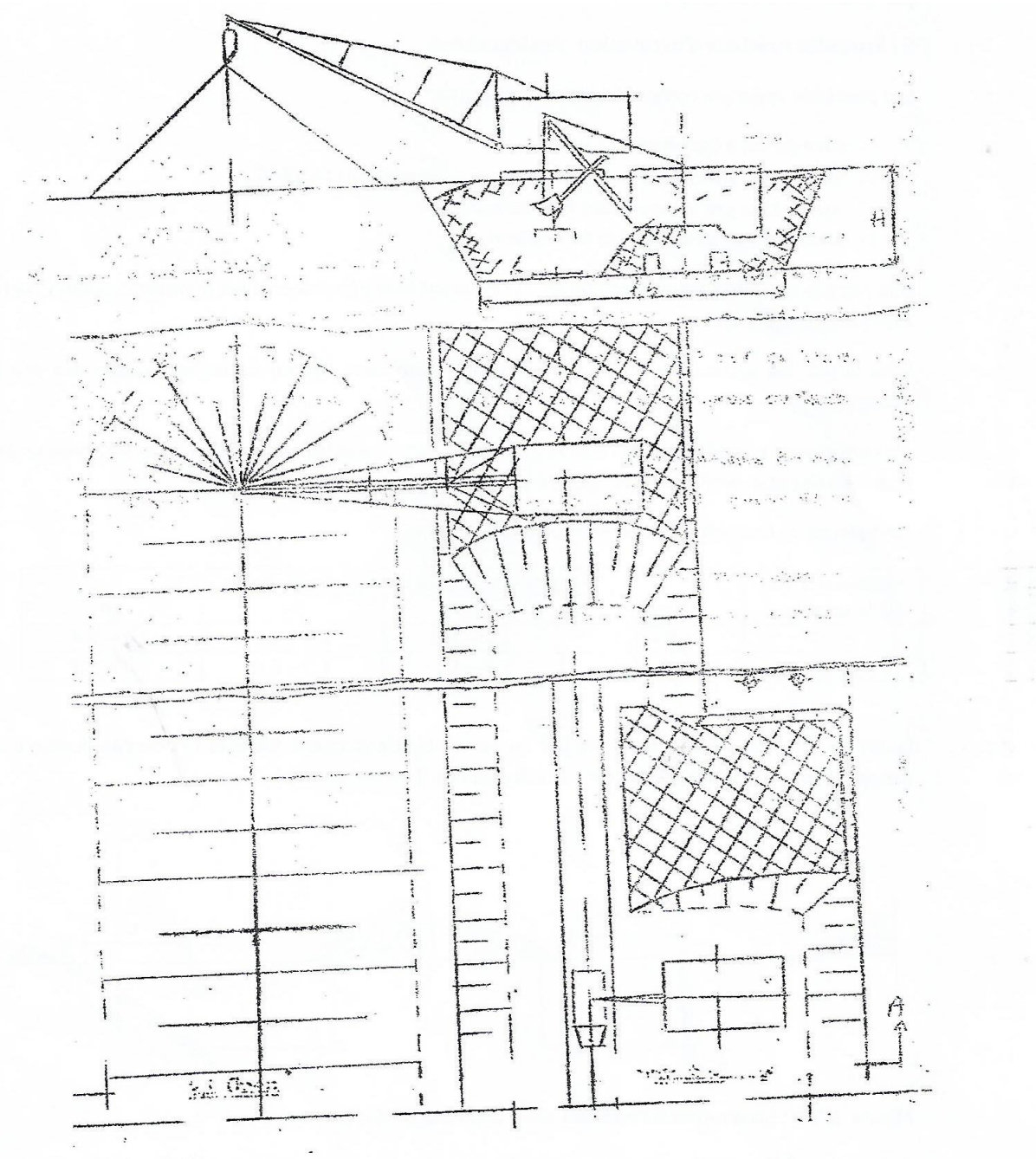


Figure N°21 : Excavation mixte d'une tranchée par tranchée verticales

L'enlèvement de chaque tranche se fait successivement par un excavateur ou simultanément par plusieurs excavateurs.

Procédés spéciaux des tranchées :

Les procédés spéciaux comprennent ceux suivant :

- excavation à l'explosif ;
- excavation par les scrapers automoteurs, ou par Bulldozers ;
- excavation par les monitors hydrauliques

1- excavation des tranchées à l'explosif

Dans ce cas on utilise les charges de jet qui peuvent être effectuées dans n'importe qu'elles rochent, sauf dans le sable aride.

Pour le jet des roches, on utilise à méthode de chambres (trous) de mine ou celle des charges allongées.

On commence par déterminée l'indice de Fournaux de mine (n) en fonction de la profondeur de la tranchées (H) et du volume de la roche à jeter sur les bords (Vj).

Les valeurs de cet indice sont données dans le tableau.

Profondeur (H) de la tranchée	Volume des roches à jeter sur les bords %			
	50	60	70	80
3-7	1,5-1,7	1,8-1,9	2,0-2,2	2,2-2,4
7-25	1,4-1n5	1,5-1,7	1,7-2,0	2,0-2,2

Le jet de la roche peut être réalisé sur un ou sur les deux bords. Dans le cas de l'expression à une rangée le jet de la roche sur deux bords (fig) ou sur un bord.

$$Ntr = \frac{r}{W}$$

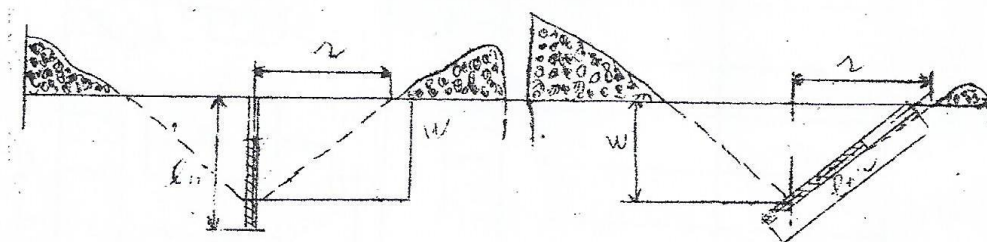


Figure N°22 : Excavation à l'explosif avec une rangée des trous

Excavation à l'explosif avec une rangée des trous, la longueur des trous (lt_2) est déterminé par la formule : $lt_2 = Kd \cdot W$

Où Kd- le coefficient de dépassement de la longueur des trous de mine Kd=1-1,3. La limite inférieure est prise pour les roches faciles à sauter.

Dans ce cas deux rangées la destruction des roches par les bords d'ouvrage se fait à l'aide de deux méthodes :

- L'utilisation des indices du fourneau variable
- L'explosion à retard.

Pour diriger le jet de la plus grande partie de roche sur un bord de la tranchée en donne pour la rangée la plus éloignés une valeur élevée à l'indice à (n) de fourneau.

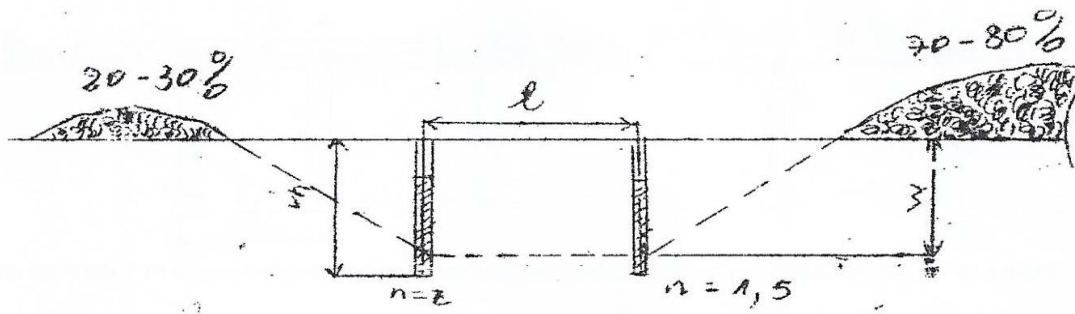


Figure N°23 : Excavation à l'explosif avec deux rangées des trous (jet dirigés d'un côté)

On utilise pour ça l'expression instantanée.

Parfois au lieu d'augmenter l'indice n de fourneau, on crée le retard pour la rangée éloignée un intervalle de temps de temps de tir de 2-4 secondes. Donc utilise l'explosion à court retard.

Dans le cas de la disposition des trous des mines en trois rangées on prend :

$$n_1 = n_2; n_2 = n_1 + 0,5$$

$n_1 ; n_2 ; n_3$ sont l'indice du fourneau de mine correspondante de première, de centrale et troisième rangée. La banquette (B) est prise égale à l'écartement (l'espacement) des trous (a). $b = a$

L'espacement des trous lors de l'excavation des tranches horizontales et la ligne de moindre résistance (w) égale à une constante s'obtient d'après la formule :

$$a = 0,5w(n+1), m$$

Pour les tranchées inclinées, la ligne moindre résistance est calculée d'après la formule :

$$W = w_{p2} + a.i : m \text{ et l'écartement sera } a = \frac{0,5w(n+1),m}{1-0,25(n+1)i}, m.$$

Le volume de le charge allongée sera : $Q_{t1} = q.v$ où q - est consommation spécifique d'explosif pour les charge de jet, kg/m^3 .

Les valeurs de q en fonction de dureté de la roche à tirer sont données d'après

Le table suivant :

Dureté (f)	1-3	3-6	6-8	8-12	12-14	14-16	16-20
q	0,9-1,1	1,1-1,2	1,4	1,5	1,5-1,8	1,8-2,0	2,1-2,4

Dans le cas de la méthode de chambre de mine on réalise des fouilles avec des fourneaux dans lesquels on met l'explosif.

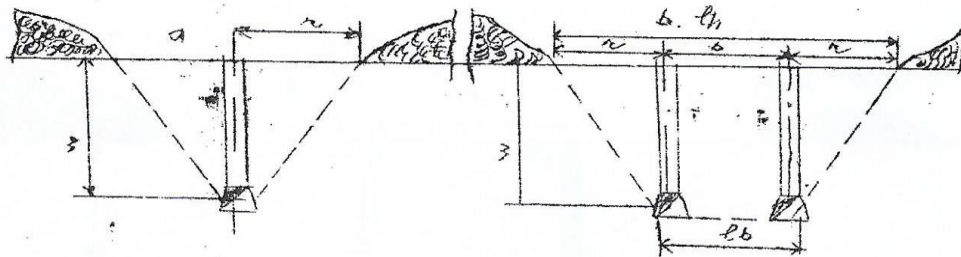


Figure N°24 : Excavation des tranchées par charge au fourneau à une rangée et à deux rangées

La profondeur prévue de la rangée après le tir au fourneau sera

$H=0.33W (2n-1)$, si $n \leq 2$; $H=W$, si $n > 2$;

$H=Q45W (2n-1)$ si $n \leq 2$ pour les roches argileuses, après le tir à plusieurs rangée la largeur de la tranchée en bas est déterminée par la formule suivante.

$L_B=b(n_2-1)$, m

Ou n_n -nombre de rangées ;

b - distance entre les rangées (banquette) ;

B – la largeur de la tranchée en surface sera

$B=2Nw+ b(n_r-1)$; m

Le volume la charge d'une chambre est déterminée

$Q_{ch}=q(0.4+0.6n^3).W^3.kg$

L'excavation de l'embouchure de la tranchée b (au début de l'excavation) est effectuée par les charges de morcellement.

2-Excavation des tranchées par les scrapers automoteurs

Ce procédé d'excavation est utilisée dans les roches tendres jusqu'à une profondeur d'ouvrage de 10-15m. La distance de transport des déblais peut atteindre 1500m.

Le schéma d'excavation d'une tranchée représentée sur la figure suivante. L'efficacité des scrapers augmente avec la diminution de la distance de transport.

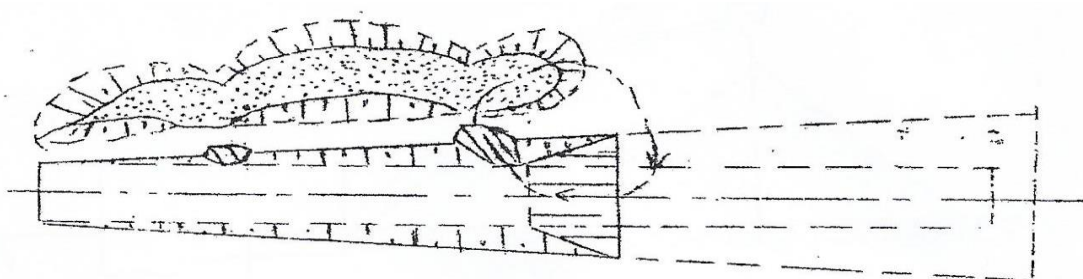


Figure N°25 : Excavation d'une tranchée par scraper automoteur

3-Excavation des tranchées par monitors hydraulique

Ce procédé d'excavation est utilisé dans les roches tendres avec les conditions favorables ; à savoir : l'existence des réserves d'eau permanentes (cours d'eau, lacs ou décanteur) ; la présence d'une source d'énergie électrique.

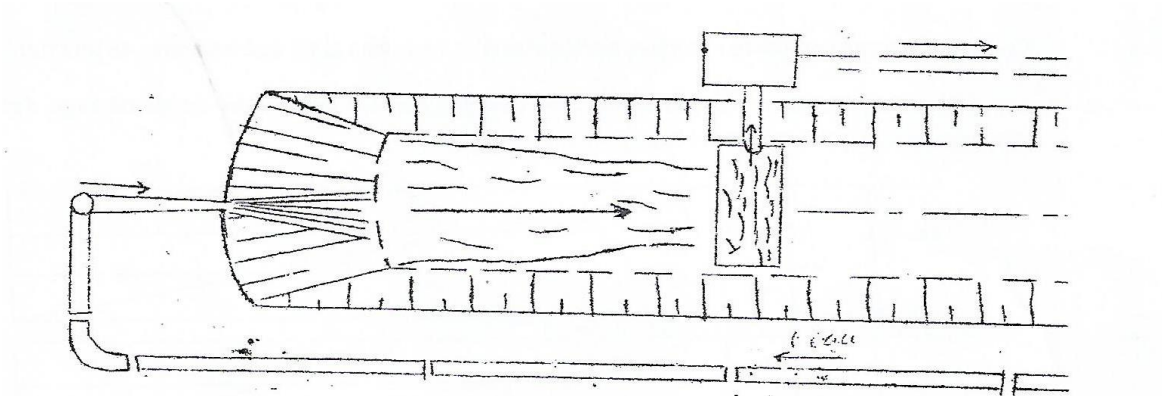


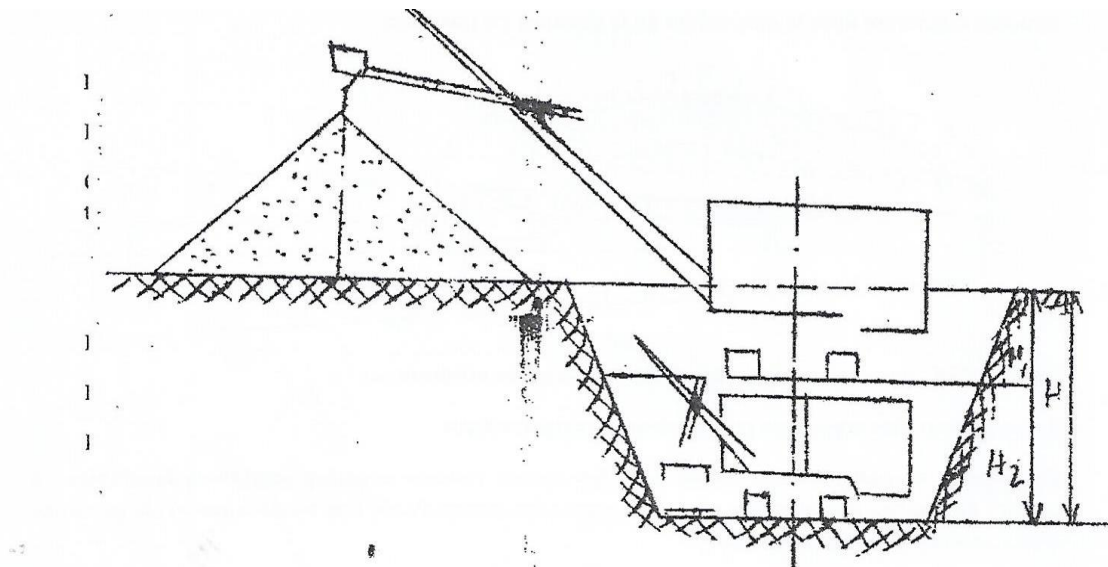
Figure N°26 ; excavation des tranchées par charges par monitor hydraulique

F- Procédé mixte d'excavation :

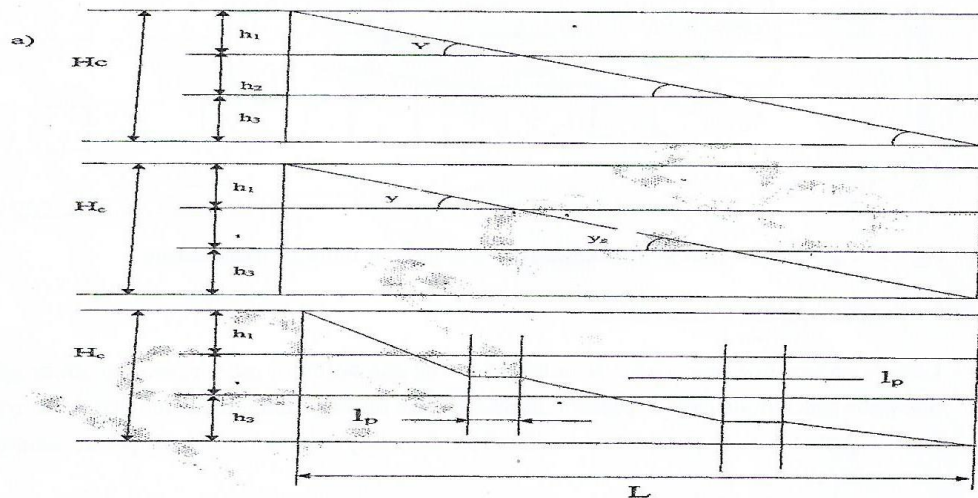
Lors de ce procédé une partie de la tranchée (de son volume) est excavée par une dragline ou une pelle mécanique avec le placement des déblais immédiatement sur le bord de l'ouvrage et l'autre est excavée avec l'utilisation des moyens de transport (train, camions ou convoyeurs).

Ce procédé d'excavation est utilisé pour excaver les tranchées de section importante quand il y a au moins un bord non ouvrable. L'enlèvement des roches de la section de l'ouvrage se réalise par tranche horizontale ou verticale.

Figure N°27 : Excavation d'une tranchée par tranche horizontale



Ce profil du tracé comporte les zones horizontales et inclinées ainsi que les zones de jonction. Les différentes de jonction sont définies par les conditions de démarrage des moyens de transport et leur arrêt imprévu.



- 1- Sur la jonction de la pente directrice (fig A) : l'arrêt des moyens de transport se fait directement dans la zone immédiate des travaux miniers.

Dans ce cas, la force de résistance au mouvement moment du démarrage dépasse considérablement celle du mouvement régulier. Avec ce profil du tracé la puissance de la locomotive doit augmenter de 10% à 50% ; la longueur du tracé et le volume de la trachée sont minimum.

$$L = \frac{H}{id} \cdot 1000; \text{ ou } L = \frac{H}{id} \times 1000$$

2-Sur la jonction de la pente souple.

Sans la partie supérieure de la tranchée d'accès est construite une zone avec une longueur déterminée, dont la pente est réduite ne dépassant pas de 60-65% de la pente directrice.

$$Is = (60 \div 65) id.$$

La longueur de la zone souple du tracé varie de 200÷250m.

Cela permet de démarrer et mettre en vitesse le train sans augmentation de puissance de la locomotive. Le tracé sera plus et sa valeur peut être déterminée de façon suivante :

$$L_{tr} = \frac{H}{tgy} + \left(1 + \frac{is}{id}\right) n \times ls; \text{ m où}$$

Is-longueur de la zone souple ; m

is-pente directrice ;

id-pente directrice ;

n-nombre des zones soupes (jonctions) ;

3-La jonction sur plateforme horizontale : (fig) elle sera sans influence sur le V3 de la tranchée par rapport au 2^{ème} cas, mais le tracé s'allonge à valeur ΔL qui est :

$$\Delta L = n p . l_p ; m \text{ Où}$$

l_p -longueur de la plateforme horizontale de la jonction ;

$l_p = (200 \div 250)$; m pour le train

$l_p (30/50)$, m pour le camion.

$$L_t = \frac{H}{tgy} + \Delta L ; m$$

On peut assurer le choix du tracé de découverture en remplissant les conditions suivantes :

1-Si $(L_a + l_o) n g L_t$; la découverture se fait par le tracé de tranchée principale droit.

Où :

$n g$ -nombre de gradins ;

l_o -distance entre deux (2) tranchées successives ;

L_a -longueur de la tranchée d'accès.

2- Si $(L_a + l_o) n g L_t$; la découverture s'effectue par tracé en cul-de-sac. Où L_t longueur totale en direction de la carrière.

Le tracé des tranchées d'accès en plan :

Le tracé est composé des zones curvilignes et rectilignes en conformité de sa forme, on peut diviser en simple et compliqué lorsqu'il a plusieurs zones ayant différentes directions. Suivant la position de ces zones dans le contour de la carrière est des modes de leur jonction, on distingue la forme du tracé suivant :

- D'une droite
- D'une courbe (spirale)
- D'un cul-de-sac

Formes de tracé de la tranchée d'accès (principale)

La position des axes longitudinaux des tranchées s'appelle le tracé de la tranchée. Ce tracé peut avoir les formes différentes :

- 1- Droite ;
- 2- D'une courbe (spirale)
- 3- En cul-de-sac

Les conditions d'utilisation des schémas de tracé envisagent :

La découverture par tracé des tranchées principales droites (fig1) est utilisée lorsque la dimension des champs de la carrière est grande, c'est-à-dire quand le prolongement du tracé ne dépasse pas la longueur du bord de la carrière où s'effectue le tracement. La découverture par tracé assure l'exploitation du gisement dans une direction unique.

Avantage :

Les tranchées sont disposées sur le bord de la carrière in déplaçable, c'est à dire elles sont permanentes ;

La direction du mouvement de transport n'est pas chargée.

Figure2 : la découverture par tranchée principale ayant du tracé en forme d'une courbe (spirale). Ce schéma est utilisé lorsque le gisement à une forme circulaire.

Procédés découverture du gisement

III.1 Généralités A ciel ouvert, l'une des formes principales d'excavation est la tranchée. La tranchée quelconque est un ouvrage de section trapézoïdale limitée par ses parois inclinées et à sa partie inférieure par son front. La longueur de la tranchée est plus importante que sa profondeur et sa largeur. Dans le plan, l'axe longitudinal d'une tranchée est appelée trace et peut se présenter sous forme d'une droite ou d'une courbe de rayon déterminé dont la longueur dépend des moyens de transport utilisés.

Le choix du procédé d'excavation des tranchées dépend :

- Des dimensions de la section transversale des tranchées
- Du relief de la région
- De la possibilité de placer des déblais (morts terrains) excavés lors du creusement des tranchées sur les bords de ces derniers
- Du type et des caractéristiques des excavateurs utilisés

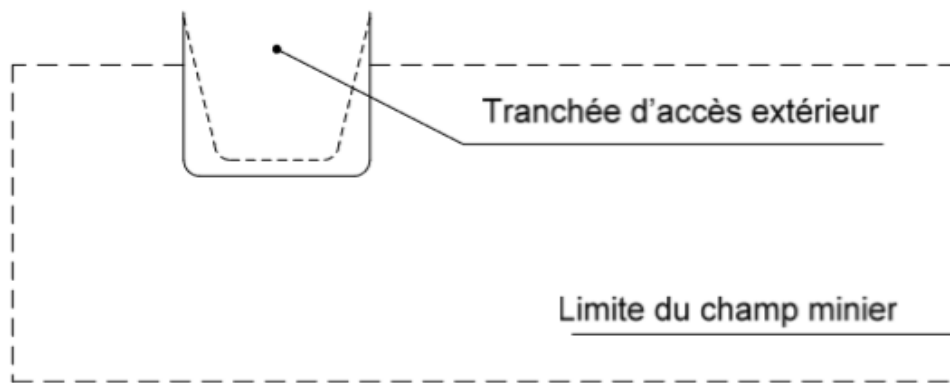
Suivant la position du fond, on distingue :

- Des tranchées inclinées (tranchées d'accès ou tranchées principales)
- Des tranchées horizontales ou tranchées de découpage

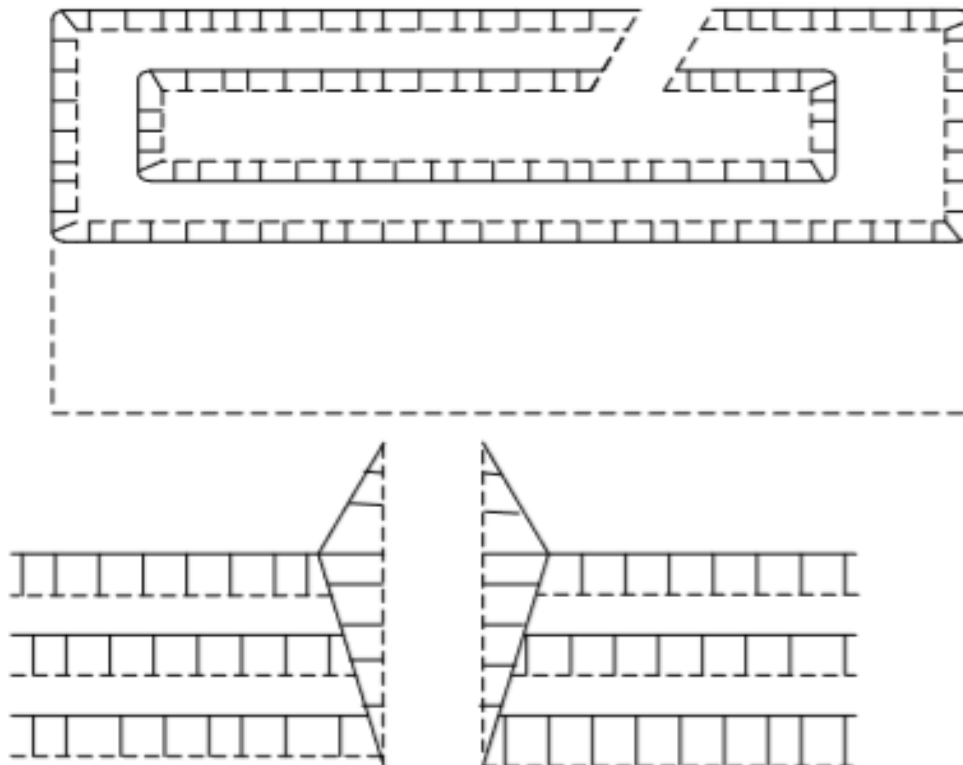
a) **Tranchées inclinées ou tranchées principales** : ces tranchées sont des ouvrages de section trapézoïdale et ont un profil longitudinal et transversal particulier. Elles donnent accès au gisement, permettent d'obtenir le front unilatéral de travail et assurent le transport des produits. Elles se conservent longtemps ou pendant toute la durée d'exploitation et peuvent être soit en dehors, soit à l'intérieur du champ minier. Si elles sont destinées au transport par engins à roues, on les appelle les tranchées d'accès, leur pente moyenne est généralement inférieure à 10 %. Lorsqu'elles sont destinées à l'installation d'élévateur (skips ou convoyeurs), leur pente est forte et on les appelle alors tranchée ou pente raide. Les tranchées d'accès sont des prolongements des gradins des tranchées principales.

1. **tranchées extérieurs** : ces tranchées ont un volume plus grand que celui des tranchées intérieures. C'est pourquoi on les emploie pour la découverte du champ d'exploitation profond.

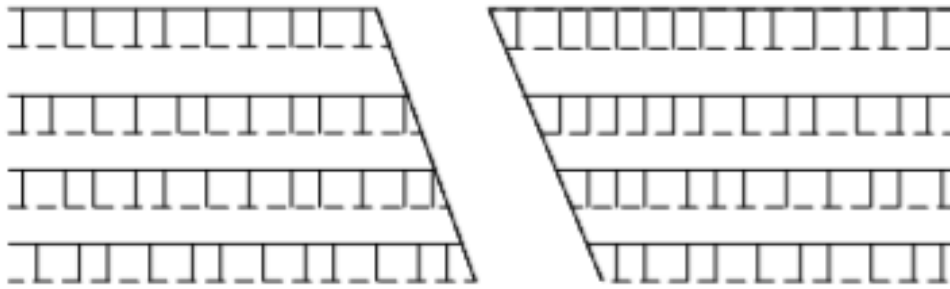
Elles sont creusées à partir de la surface du sol en dehors du champ de la carrière jusqu'à la limite de ce dernier au niveau de la plate-forme de travail de l'horizon auquel elle donne accès.



2. **tranchées intérieures** : elles sont employées pour la découverte des champs d'exploitation plus profonds. Elles sont creusées suivant la limite de la carrière à partir de la surface du sol ou à partir de l'horizon précédemment découvert jusqu'au niveau de la plateforme de travail de l'horizon auquel elle donne accès. Elles sont généralement disposées sur les bords inexploités de la carrière. Lorsque le transport des produits abattus se réalise par des convoyeurs à bandes ou des skips, on creuse sur les bords inexploités de la carrière des tranchées intérieures d'un pendage correspondant à la pente maximale des moyens de transport utilisés. Ces tranchées sont excavées perpendiculairement au talus ou en diagonal.



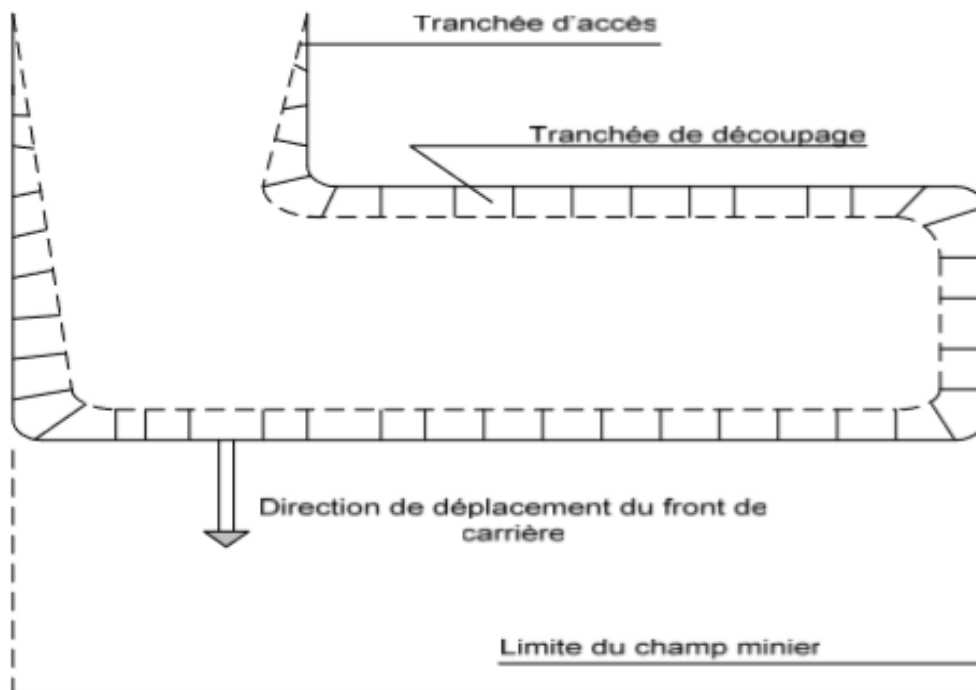
. Tranchées perpendiculaires au talus



Tranchées en diagonale

b) Tranchées horizontales ou tranchées de découpage : lorsqu'on commence l'exploitation du gradin, l'une ou les deux parois des tranchées d'accès sont abattues et ces dernières cessent d'exister en tant que tranchées d'accès pour devenir des tranchées horizontales ou de découpage. Les tranchées de découpage préparent le champ de la carrière à l'exploitation.

Leur excavation se fait sur la limite du champ minier à la cote finale des tranchées d'accès, soit dans les stériles, soit dans le minerai. Après l'achèvement des tranchées de découpage, on utilise les divers engins miniers (sondeuses, excavateurs, camions...) au moyen desquels on réalise l'élargissement de la plateforme de travail. L'ensemble des tranchées principales et des tranchées de découpage permet d'assurer finalement la découverte et l'exploitation du gisement.



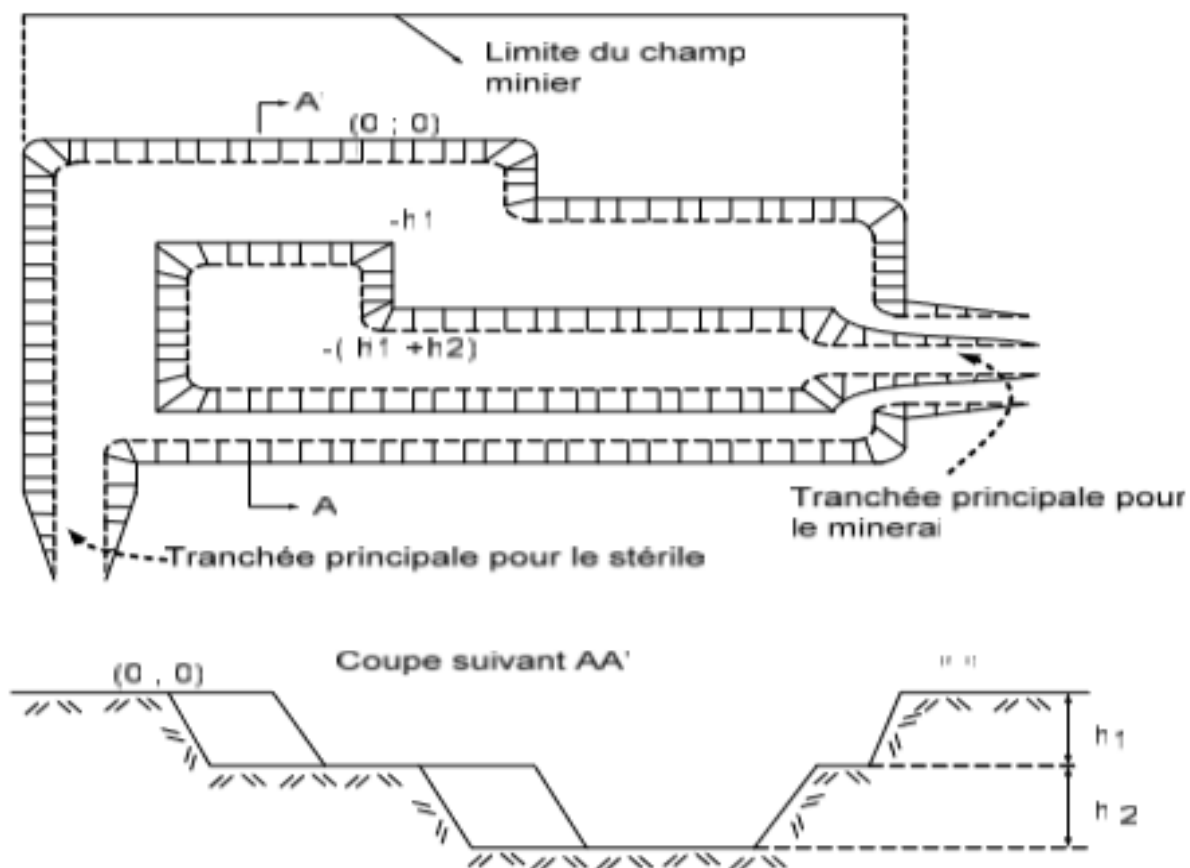
III.2 Différents types de la tranchée d'accès dans une mine à ciel ouvert

Dans la plupart des mines à ciel ouvert, l'accès au gisement est assuré par l'excavation des tranchées inclinées pouvant être soit extérieures, soit intérieures. M. E. CHECKO a classifié les schémas d'accès en quatre groupes suivants :

1. Accès au gisement par tranchées principales séparées, c'est-à-dire que chaque gradin est découvert par une tranchée indépendante
2. Accès au gisement par tranchées principales communes, c'est-à-dire que tous les gradins sont découverts par un seul système de tranchées dépendantes
3. Accès au gisement par tranchées principales groupées, c'est-à-dire que des groupes de gradins successifs sont découverts par des tranchées dépendantes ou bien différents groupes de gradins sont découverts de manière indépendante
4. Accès au gisement par tranchées principales couplées, c'est-à-dire le premier, le second et le troisième procédé avec emploi de deux tranchées pour découvrir chacun plusieurs ou tous les gradins de la mine.

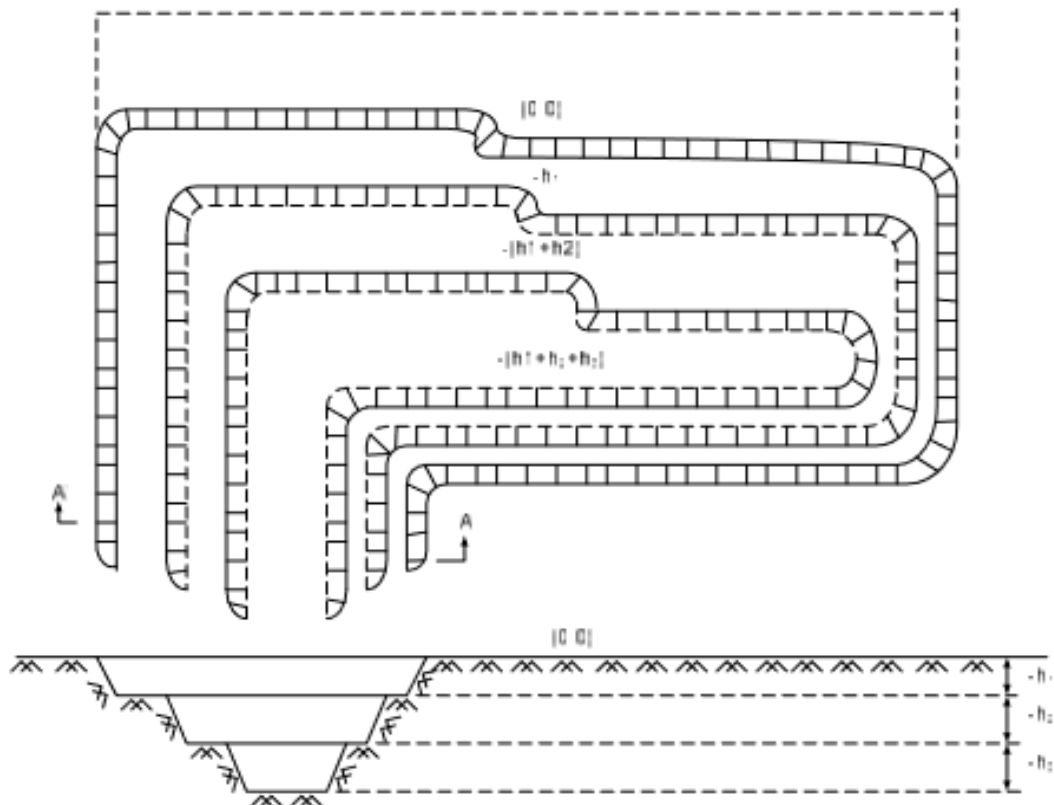
II.2.1 schémas d'accès par tranchées extérieures

a) Tranchées extérieures séparées : ce schéma est utilisé lors de l'exploitation des gisements subhorizontaux ou en plateure situés à une faible profondeur.

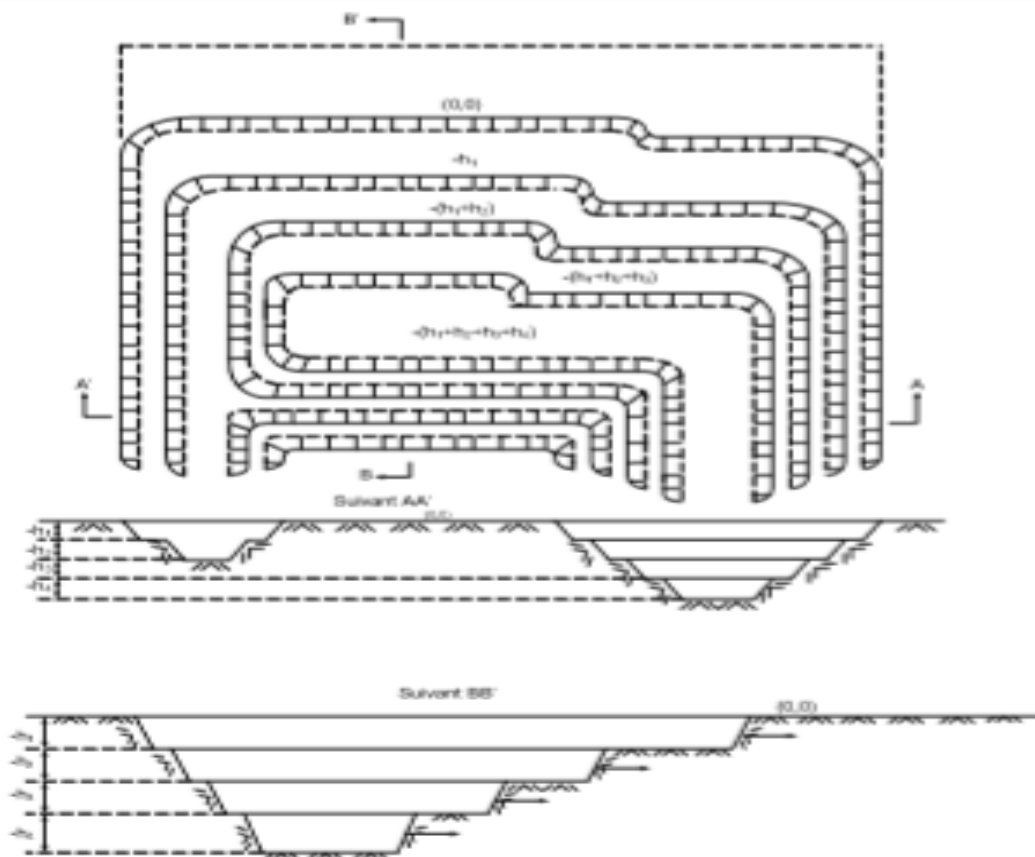


b) **Tranchées extérieures communes** : ces tranchées permettent d'accéder tous les gradins de la mine d'une manière dépendante. Dans ce cas, les travaux miniers diminuent par rapport au précédent. C'est ce qui donne la possibilité d'augmenter le nombre des gradins en exploitation sans investissements supplémentaires.

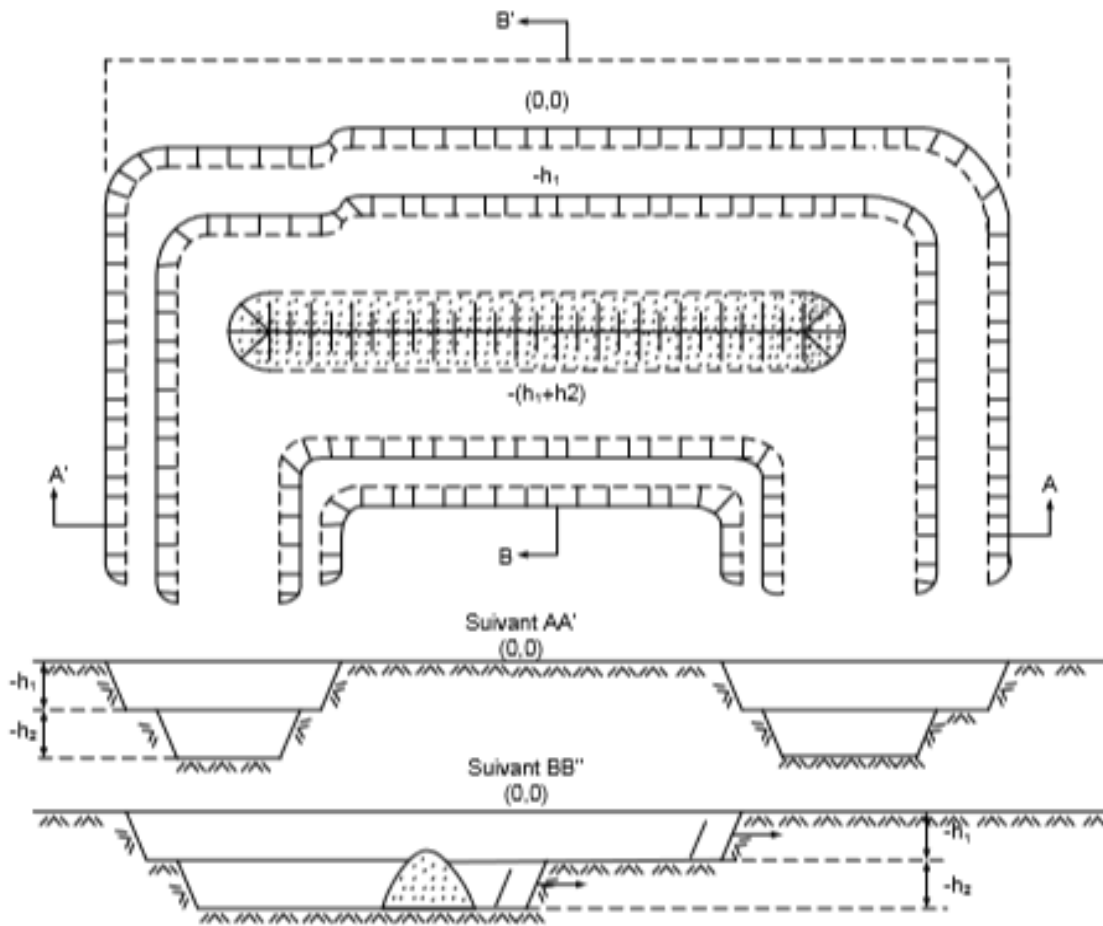
Le domaine d'application est généralement le même que dans le cas précédent mais avec une profondeur un peu plus grande de 40 à 50m.



c) Tranchées extérieures groupées : le schéma des tranchées extérieures groupées est utilisé lors de l'exploitation des gisements horizontaux ou faiblement inclinés dont la profondeur peut atteindre 60 à 80 m.



d) Tranchées extérieures couplées : Le schéma des extérieures couplées est utilisé lors de l'exploitation des gisements subhorizontaux dont l'épaisseur des morts terrains est assez grande et dépasse sensiblement celle de la couche minéralisée. Dans ce cas, on creuse toujours deux tranchées communes ou séparées pour accéder aux gradins de la carrière.

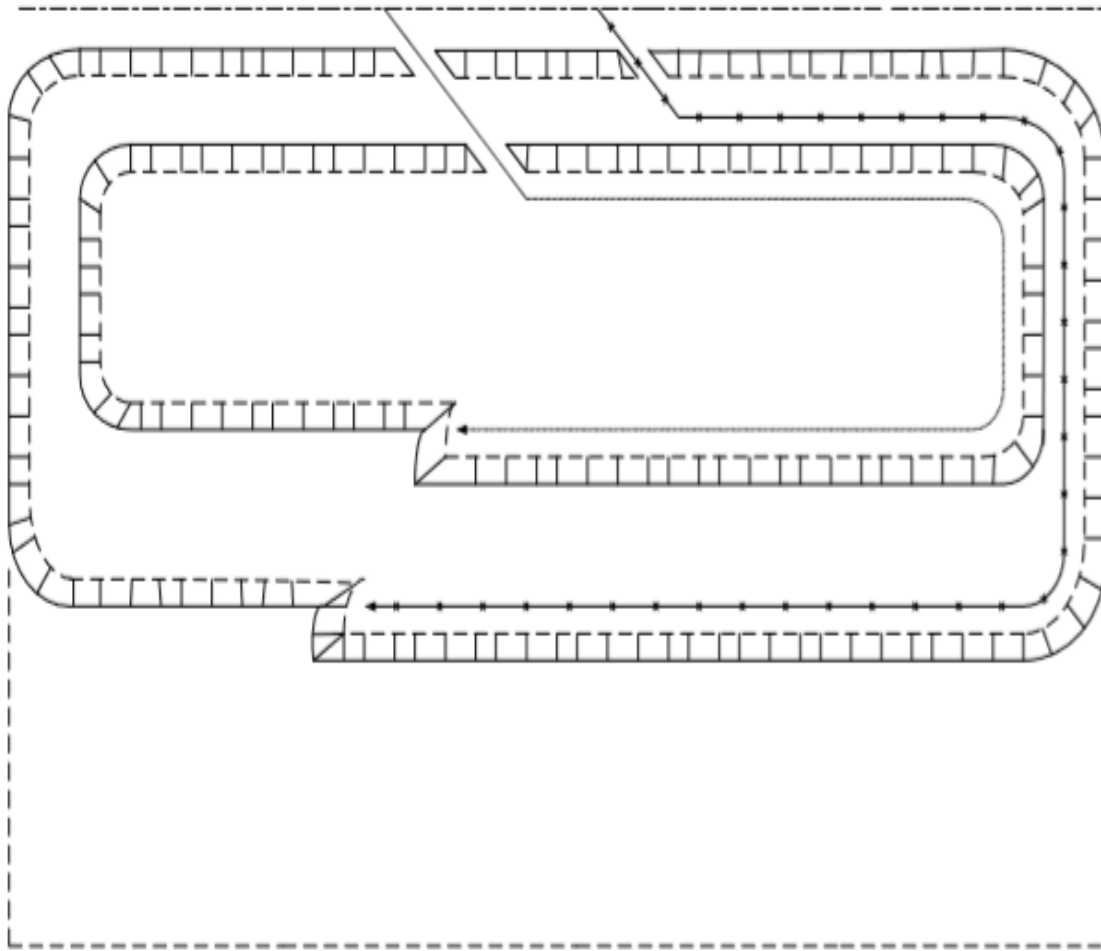


III.2.2 Schéma d'accès par tranchées intérieures

Les tranchées principales intérieures sont généralement situées sur les bords inexploités de la carrière pour permettre une circulation facile des moyens de transport.

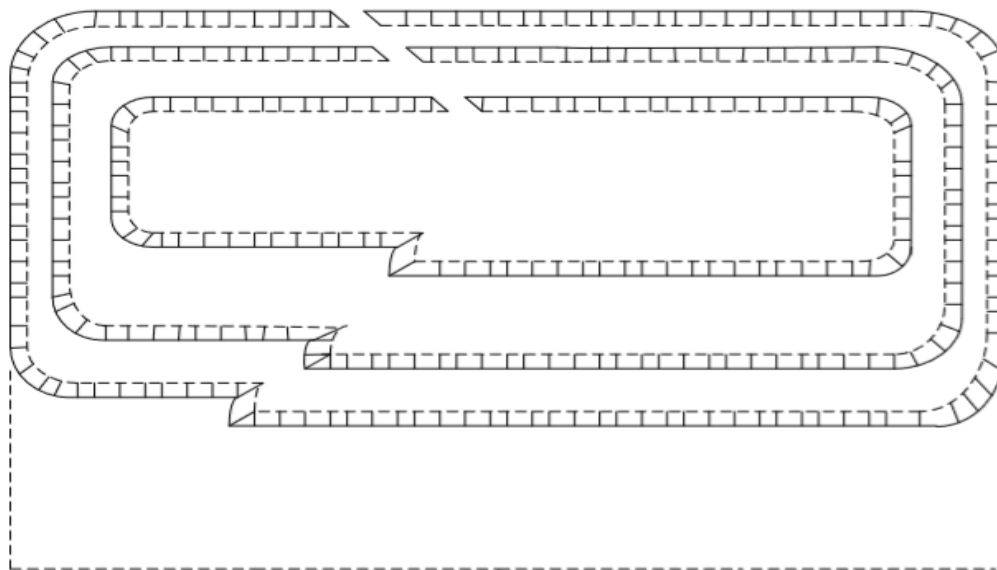
Dans certains cas, on les place aussi sur le bord de travail de la carrière. Dans ce cas, les routes qui y sont placées doivent périodiquement être déplacées au fur et à mesure du recul du bord, cela entraîne évidemment une augmentation des frais d'exploitation et présente certaines difficultés aussi bien pour le régime de circulation des unités de transport que pour le travail des excavateurs. a) Tranchées intérieures séparées : chaque gradin est accédé par une tranchée indépendante, cela facilite l'organisation des travaux miniers et l'emploi rationnel des moyens de transport divers (camions, locomotives et wagons, bande transporteuse).

En contrepartie, les investissements destinés aux travaux capitaux sont importants ou considérables. Le schéma est applicable aux gisements puissants semi dressants et dressants dont la profondeur ne dépasse pas 100 m

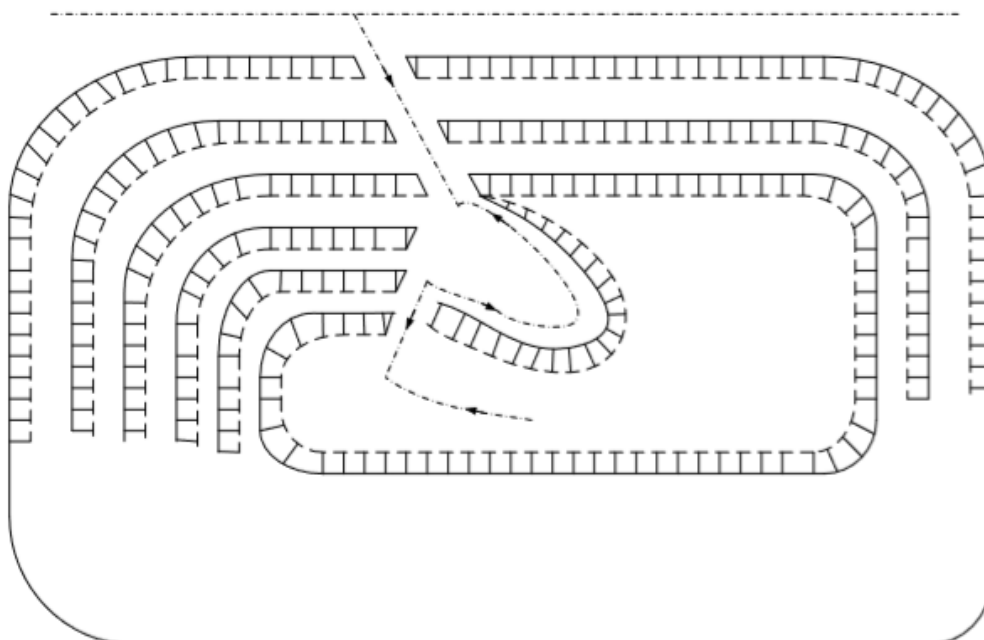


b) **Tranchées intérieures communes** : on distingue pour ce cas quatre d'accès :

I. Schéma par tranchée intérieure commune droite : pour ce schéma, la tranchée intérieure commune se trouve sur les bords inexploités de la carrière. Dans ce cas, une seule tranchée inclinée permet d'accéder à tous les gradins de la carrière. Ce schéma est applicable aux gisements dressants et semi dressants dont la profondeur ne dépasse pas 100 mais avec des investissements un peu plus faibles que dans le cas des tranchées intérieures séparées. Par contre, ce schéma demande une étendue du gisement plus grand par rapport au schéma précédent. On emploie également ce schéma lorsque le pendage du gisement ne dépasse pas 30° et que les moyens de transport utilisés sont des camions et engins dérivés des camions (remorques)

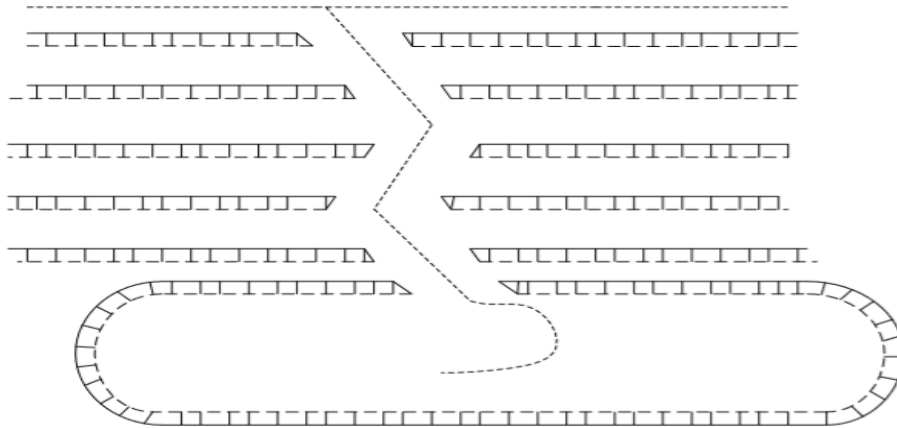


II. Schéma par tranchée inclinée commune avec une plateforme : il s'agit d'un schéma d'accès par tranchée inclinée commune ayant une plateforme sous forme d'une bouche dans le but chargement de direction à l'intérieur de la carrière. Cette plateforme artificielle est destinée aux manœuvres des moyens de transport utilisés. En effet, dans le cas des gisements de pendage supérieur à 30, il existe une version spéciale de la tranchée principale comporte deux tronçons inclinés avec chargement de direction principale de transport sur une plateforme circulaire. Ce schéma est assez simple car l'approfondissement de la carrière se réalise sans reconstruction coûteuse des tranchées principales. L'inconvénient majeur est l'augmentation considérable des dépenses destinées à la constitution de la plateforme artificielle.



III. Schéma d'accès par tranchée intérieure commune en cul de sac Il s'agit d'une tranchée qui comprend plusieurs tronçon inclinés et horizontaux alternés successivement et qui sont placés à l'intérieur du champ minier ou de la carrière.

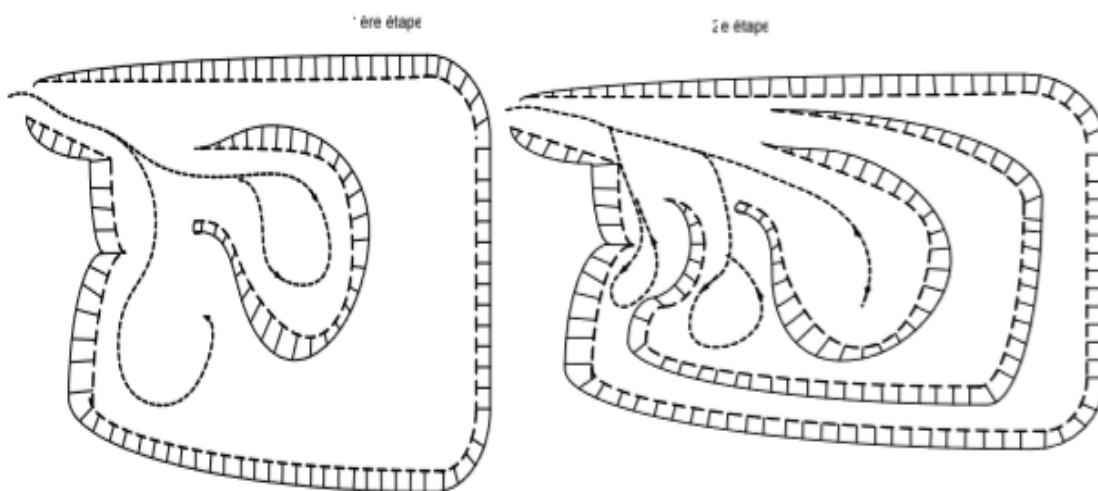
L'approfondissement d'une tranchée et accompagné de changement de sa direction pour chaque tronçon incliné. Ceci permet d'assurer la pente suffisante à la tranchée d'accès sans augmentation de la longueur d'excavation. La tranchée est placée sur le bord inexploité de la carrière et on applique ce schéma aux gisements semi dressants et dressants puissants de n'importe quelle profondeur.



IV. Schéma d'accès par tranchée intérieure commune en spirale : chaque fois qu'on attaque un nouveau gradin, on entreprend de prolonger la tranchée principale avec une pente descendante satisfaisante pour la circulation facile des moyens de transport adaptés. Le développement des travaux d'exploitation s'effectue en éventail en gênant aussi l'extraction simultanée de plusieurs gradins.

Ainsi, pour découvrir un nouveau gradin en contre bas, on doit extraire presque complètement le gradin précédent.

Pratiquement, ce schéma est applicable aux gisements semi dressant et dressants d'une grande profondeur sous condition que la configuration de gisement en plan soit plus ou moins ronde tandis que la surface horizontale soit vaste.

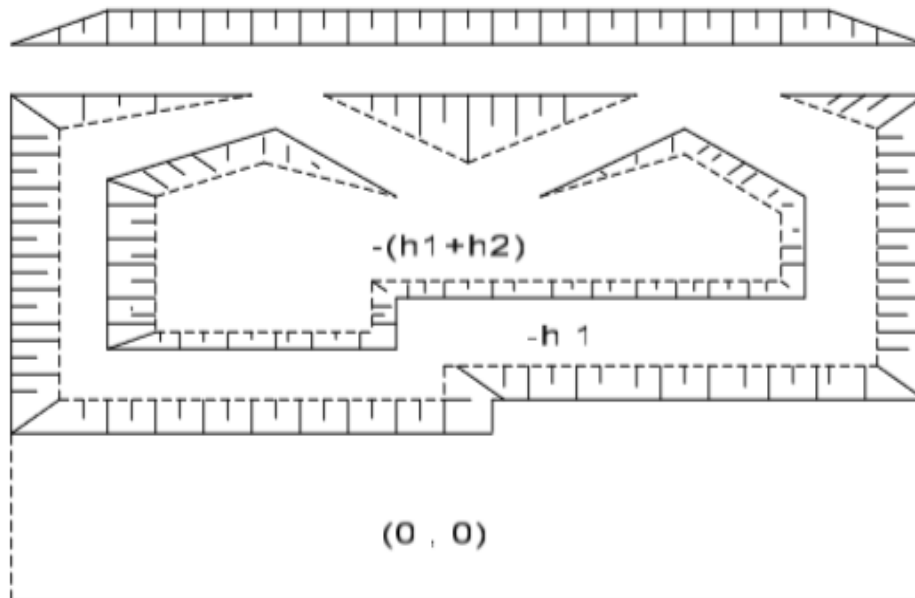


V. Tranchées intérieures couplées :

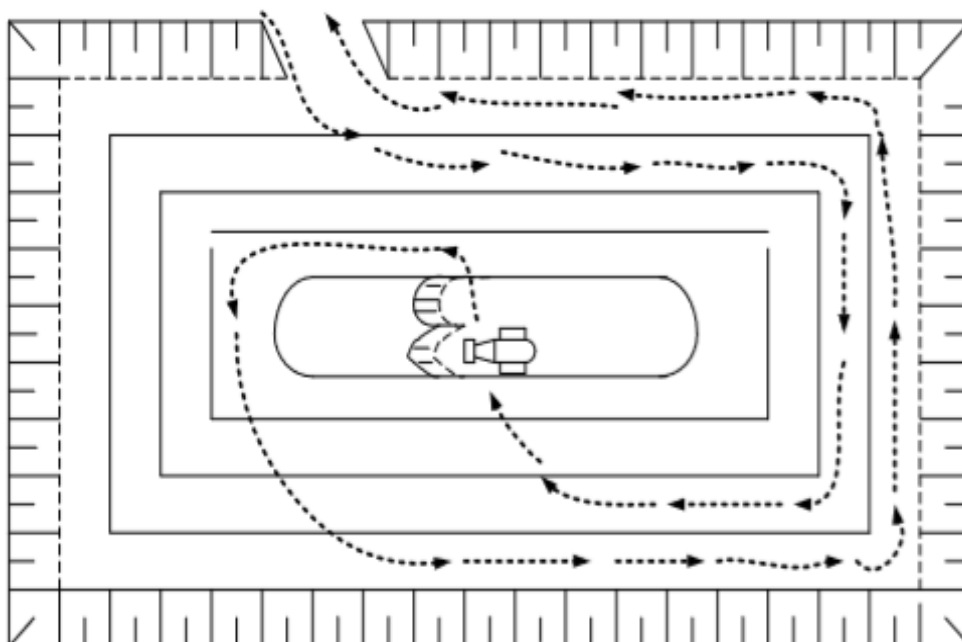
a. le schéma représente un ensemble des tranchées de n'importe quelle configuration (droite, spirale, en cul de sac). Ces tranchées sont destinées à découvrir tous les

gradins de la carrière de manière à posséder toujours deux voies de transport au niveau de chaque gradin (l'une pour le transport des bennes vides, l'autre pour les bennes chargées)

b. schéma d'accès par tranchée intérieure couplée droite : cette version est employée lors de l'exploitation des gisements subhorizontaux ou en plateure.



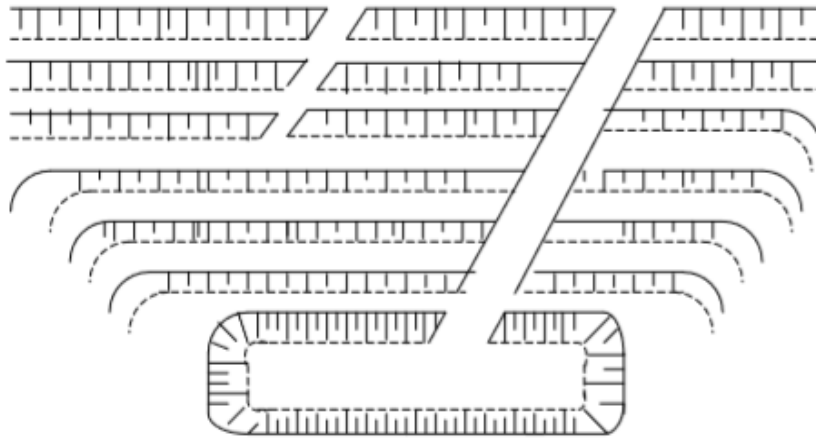
c. schéma d'accès par tranchée intérieure couplée en spirale : cette version est employée dans les carrières profondes avec transport par camions.



VI. Tranchées intérieures groupées : les schémas d'accès par tranchées intérieures groupées se réalisent généralement au moyen d'excavation des groupes indépendants des tranchées communes droites. Chaque groupe des tranchées est destiné à l'accès

de deux ou plusieurs gradins. Les schémas sont généralement employés lors de l'exploitation des gisements en plateaux puissants ou très puissants.

On emploie différents engins de transport pour le minerai et le stérile.



III.2.4 Schéma d'accès combiné :

Lors de l'exploitation des gisements irréguliers de grande profondeur, on donne souvent accès aux niveaux supérieurs et inférieurs par une combinaison des tranchées intérieures et extérieures.

Dans la plupart des cas, les niveaux supérieurs sont découverts par les tranchées extérieures séparées ou communes tandis que les niveaux inférieurs peuvent être découverts par une combinaison des tranchées en spirale et en cul-de-sac ou bien en cul-de-sac successivement.

6-Organisation des travaux d'excavation des tranchées :

Les travaux d'excavation des tranchées comprennent les opérations minières suivantes :

- 1- La foration des trous de mine (pour les roches de dureté $f \geq 3$)
- 2- Le chargement des trous par explosif et tir
- 3- Les travaux de voiries (nettoyage du sol de la tranchée et le déplacement des voies)
- 4- L'excavation des roches et le chargement dans les engins de transport ;
- 5- Transport des roches ;
- 6- Débitage secondaire.

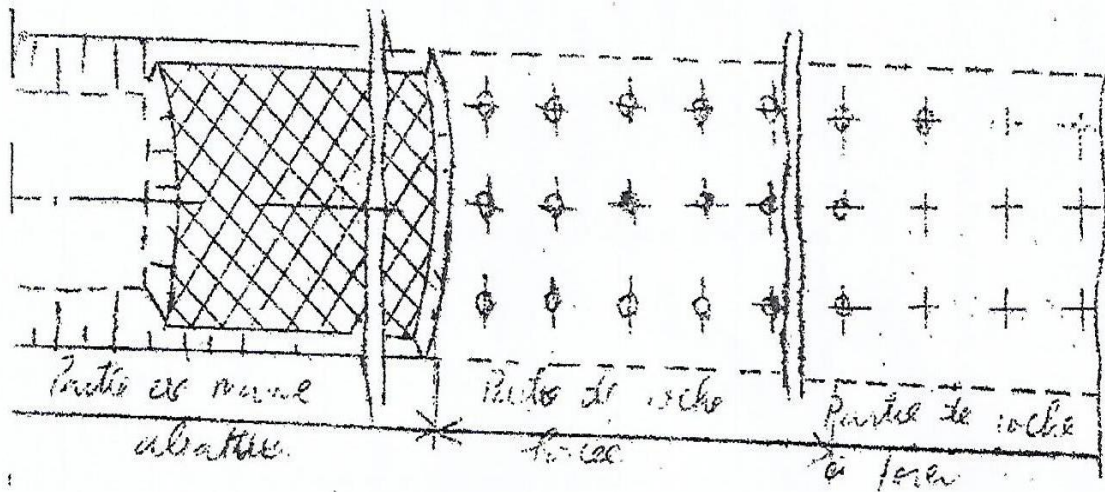
En fonction des procédés d'excavations utilisés telles ou telles opérations peuvent être exclues.

Au début des travaux, la réalisation de ces opérations se fait successivement. A la suite, ces opérations se font simultanément dans les parties différentes de l'ouvrage excavé. On partage la longueur d'ouvrage excavé par parties d'après les exigences d'exploitation à ciel ouvert.

L'exploitation à ciel ouvert exige la présence pour chaque excavateur les parties suivantes :

- 1- Partie masse abattue
- 2- Partie des roches forées

3- Partie des roches à forer (voir figure)



Dans chaque partie d'ouvrage la réalisation des opérations se répète. C'est pourquoi les travaux d'excavation des tranchées sont cycliques.

La durée des opérations déterminée par la division du volume des travaux de chaque opération par le rendement du mécanisme minier utilisé $T = \frac{V}{R}$ exprimé en poste ou par heure.

		TEMPS COURANT (JOURS)																		
OPERATIONS			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Foration	Tt			Tf ₁						Tf ₂							Tf ₃		
2	Chargements des trous	T _{tr}				T _{tr1}								T _{tr2}					T _{tr3}	
3	Tir	T _{tir}							T _{tir1}							T _{tir2}				
4	Travaux de voirie				Tv ₁				Tv ₂		Tv ₃					Tv ₄			Tv ₅	
5	Chargement du déblai	Tch									Tch ₁							Tch ₂		
6	Transport du déblai	T _t									T _{t1}							T _{t2}		



Figure N°28 : cyclo gramme des travaux d'excavation des ouvrages miniers à ciel ouvert

Exemple de l'organisation des travaux d'excavation des tranchées.

Envisageons des schémas du creusement de la tranchée d'accès et celle de découpage lorsqu'on utilise le transport par train qui est placé au fond de la tranchée.

L'ameublement préalable par une bande étroite, la pente de la tranchée $i=40\%$, les propriétés mécano-physique des roches $f=14$; $\beta=70^\circ$, $k_f=1,6$; $K_1=0,9$

Les caractéristiques techniques de l'engin du creusement $E=8m^2$; $t_c=30s$; la durée d'un poste $T_p=8h$.

Le coefficient d'utilisation $K_u=0,4$; la hauteur du gradins $h_g=20m$ la longueur de la tranchée d'accès $L_a=500m$; la largeur point de la tranchée $b=26m$ le rendement de sondeuse $R_s=50m/p$; le rendement d'un mètre foré $R_f=30m^3$; le nombre de sondeuse $N_s=2$, le coefficient des postes du trou de forage $n=1,1$; le temps de chargement des trous par l'explosif et le tir $T_{ch}=1$ poste et le temps de travail de la voirie $T_{tu}=1$ poste.