



Ecole des Mines, de l'Industrie et de la Géologie



**Bienvenue au module de Transport et
manutention**



**Chargé du cours M. Roufaï HALADOU OUMAROU Ingénieur
des Mines et Environnement, doctorant à l'université de
Diffa**



Année académique 2024-2025

TRANSPORT DANS LES MINES/CARRIERES

1. Notions générales

Le transport en milieu minier et dans les carrières a pour objectif principal d'acheminer la masse minérale depuis les chantiers jusqu'aux points de déchargement, tels que les terrils, les stocks et les trémies.

Ce processus joue un rôle essentiel dans l'efficacité des opérations minières, car les coûts de transport représentent entre 30 et 70 % du coût total d'exploitation. En raison de son impact financier, le transport influence le mode d'ouverture de la mine, les méthodes d'exploitation, le choix des équipements miniers ainsi que les stratégies de mise en terril.

La quantité de matériaux déplacés (exprimée en tonnes ou en mètres cubes) par unité de temps (heure, jour, semaine, mois, année) est appelée **trafic minier**. Ce dernier comprend le transport des stériles, des minerais exploitables ainsi que d'autres charges telles que les combustibles, les explosifs, les pièces de rechange et divers matériaux nécessaires aux opérations minières.

Le réseau de transport repose sur des voies fixes ou temporaires :

- **Voies stationnaires** : installées sur les bords inexploités des carrières, elles sont destinées à un usage à long terme.
- **Voies provisoires** : situées sur les gradins, elles sont déplacées progressivement en fonction de l'évolution et de l'approfondissement des travaux miniers.

Les voies de transport sont caractérisées par des pentes dont l'inclinaison varie en fonction du moyen de transport utilisé. La pente est définie par la tangente de l'angle d'inclinaison, selon la formule suivante :

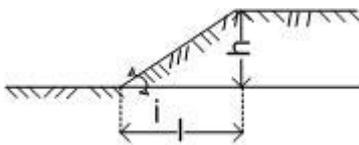


Fig.1 : Pente 'une tranchée

$tgi = \frac{h}{l}$ avec h : hauteur de la montée de charge, l : projection horizontale de la voie

2 Particularités et exigences aux transports de carrières/mines.

A°) Particularités

- Grand volume de charge à transporter;
- Grande densité de circulation sur des pentes importantes ;
- Augmentation permanente de la distance de transport (en longueur et en profondeur)
- Charge dynamique importante : chute de gros morceaux lors du chargement.
- Dépendances des autres processus de transport et plus particulièrement le chargement.

B°) Exigences

- La distance de transport soit minimale ;
- La réduction au maximum possible des temps morts pour mieux utiliser les machines d'extraction et de chargement.
- Les paramètres des moyens de transport doivent correspondre à ceux d'extraction et de chargement en tenant compte des propriétés des roches en particulier la dureté et l'abrasivité.
- Les coûts du transport doivent être vers le minimum.
- La garantie de la sécurité du travail.

Selon les exigences citées le choix du moyen des transports dépend des facteurs suivants.

- * Conditions géologiques et surtout topographique du gisement.
- * Les propriétés des roches (stériles et minéraux utile).
- * Dimension de la carrière.

* Distance de transport et rendement de la carrière

Les différentes conditions naturelles imposent l'utilisation de divers moyens de transport adaptés aux spécificités des sites miniers et des carrières. Parmi ces moyens, on retrouve :

- **Transport par voie ferrée**
- **Transport par camions**
- **Transport par convoyeurs**
- **Transport à câble ou téléphérique**
- **Transport par gravité**

Dans certaines situations, un **transport combiné** est privilégié afin d'optimiser les performances et les coûts. Par exemple, l'association de camions avec un autre mode de transport comme la voie ferrée, le convoyeur, le skip, le transport aérien ou encore le transport par gravité permet une meilleure gestion du flux de matériaux.

3. Transport par camion

Le transport par camion est l'une des méthodes les plus couramment utilisées dans les carrières modernes. Il est particulièrement efficace pour le déplacement de la masse minière sur de courtes distances et est souvent privilégié pour l'exploitation de gisements complexes, l'approfondissement des carrières et la construction de nouveaux sites d'extraction.

Avantages du transport par camion

- Maniabilité et flexibilité d'utilisation
- Capacité à franchir des pentes élevées
- Meilleure organisation du travail et adaptation aux besoins spécifiques du site

Inconvénients

- Coûts élevés liés aux réparations et à l'entretien
- Distance de transport économiquement viable limitée à **4 à 6 km**

3.1 L'Ordre générale du transport par camions

L'ordre général du calcul est le suivant :

A°) Choix des Camions

B°) Traitements des données de départ et l'élaboration du schéma de Calcul de transport C°)

Calcul de traction

D°) Détermination du nombre des camions.

E°) Détermination de la consommation des combustibles.

Parmi les données de départ on a :

- La productivité annuelle de la carrière.
- La productivité par poste de tous les chantiers
- Régime de travail de la carrière
- Caractéristiques des routes (plan, profil, revêtement)
- Caractéristiques des charges à transporter
- Caractéristiques des machines de chargement.

3.2 Choix des Camions

Les recommandations générales pour le choix des camions sont les suivantes :

- Le rapport rationnel du volume de la benne du camion au volume du godet de l'excavateur est dans les limites suivantes :

Distance du transport L (km)	1 – 1,5	1,5– 5	>5
V_b/V_g	4 – 6	6 – 10	8 – 12

- Densité en place (ρ_p t/m³) : c'est la masse d'un (1) m³ de roches en massifs.
- Densité en vrac (ρ t/m³) : c'est la masse d'un (1) m³ de roches en vrac.
- Coefficient de foisonnement : $k_f = \frac{\rho_p}{\rho} = \frac{V_f}{V_p} > 1$;

- Angle de repos. $\alpha = 30 \div 35^\circ$

En outre, on distingue l'angle d'éboulement φ en mouvement dont sa valeur varie de : $\varphi = (0,3 \div 0,5) \alpha$.

- D'après son volume, le nombre de godet dans une benne du camion sera égal à :

$$n'_g = \frac{K_1 * V_{nom}}{V_g * K_r * K_C} \quad \text{Godets}$$

Où :

V_{nom} : Capacité nominale de la benne du camion K_1 : Coefficient de chargement avec dôme $K_1 = 1,0 \div 1,25$;
 V_g : Volume du godet de la chargeuse ;
 K_r : Coefficient de remplissage du godet ; $K_r = 0,8 \div 1,05$

K_C : Coefficient de compactage de la roche dans la benne ; $K_C = 0,7 \div 0,99$;

- D'après la capacité de la charge, le nombre de godet sera déterminé par l'expression suivante :

$$n''_g = \frac{K_f * m_{nom}}{V_g * K_r * \gamma_m} \quad \text{Godets}$$

Où :

K_f : Coefficient de foisonnement $K_f = 1,3 \div 1,5$ m_{nom} :

Capacité nominale de la benne ; t γ_m : Densité de la roche en place ;
 t / m^3

Remarque : Il faut toujours prendre le nombre de godet le plus petit et l'arrondir.

- La capacité des charges réelles (utile) des camions est déterminée par :

$$m = \frac{n_g * V_g * K_r * \gamma_m}{K_f} \quad \text{tonnes}$$

La masse totale du camion sera égale à :

$$P = m + m_0 \quad \text{tonnes ;}$$

Où :

m : Capacité de la benne ;

m_0 : Tare

- Le coefficient d'utilisation de la capacité de la charge est déterminé par l'expression suivante :

$$K_{uv} = \frac{n_g}{n_g''}$$

- Le coefficient d'utilisation du volume de la benne est déterminé par l'expression suivante :

$$K_{uc} = \frac{n_g}{n_g'}$$

3.3 Choix des routes

Pour le choix des routes, on détermine tous les éléments du tracé des routes :

- catégorie de la route
- type de revêtements
- dimension transversal
- pente maximale
- rayon de courbures.

A°) la catégorie de la route : est basée sur l'intensité de circulation, cette dernière est déterminée par l'expression suivante :

$$I_c = \frac{Q_r}{m_t * t_p * k_u}; \text{ camion}$$

Q_r : le trafic de la route avec la charge pendant un poste (t/poste) ;

k_u : coefficient d'utilisation du temps de poste $k_u = 0,7 \div 0,9$

Capacité de la charge du camion (t)	Catégorie de la route		
	A	B	C
	I_c		
<10	>100	100 – 15	15
10 – 20	85	85 – 12	12
20 – 50	80	90 – 11	11
50 – 75	70	70 – 10	10

B°) Type de revêtement

Le choix de type de revêtement est en fonction du trafic journalier qui est égale à :

$$Q_r' = Q_r * l * n \quad t.km$$

l : la longueur de la route (km)

n : le nombre de poste de travail par jour (p/j)

Groupe des routes.

Trafic journalier t.km (Q'_r)	Capacité de charge des camions		
	10 – 20	20 – 50	50 – 100
Jusqu' 200	C	B	-
< 200	B	A	A

Groupe A : c'est une route construite en béton ou en asphalte .

Groupe B : ce sont les routes en macadam traités par des liants organiques

Groupe c : ce sont les routes en pierres concassées des roches locales traités par des liants organique

Et ayant choisie le type de revêtement on peut déterminer les valeurs du coefficient et de résistance spécifique aux mouvements.

Coefficient d'adhérence du camion

Routes	Etat de revêtement	
	Sec	Humide (mouillé)
Fixes B et C	0,75	0,5
A	0,7	0,4 – 0,45
Provisoire		
Dans les tailles	0,6	0,4
Dans les stériles	0,4 – 0,5	0,2 – 0,3

Résistance Spécifique au mouvement des camions

Routes	Types de revêtement	W kg/t
Fixes	A	10 – 25
	B	25 – 35
	C	35 – 45
Provisaires	Sans revêtement	50 – 80
		80 -150
Tailles		
stériles		

Remarque : les valeurs données s'appliquent uniquement pour les camions chargées, pour ceux à vide $W > 25\%$ des valeurs données dans le tableau.

C°) Dimensions transversales

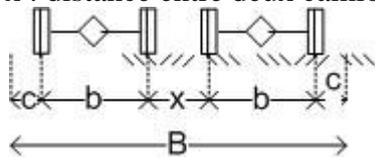
La longueur de la chaussée des routes est déterminée par la formule suivante :

- Dans le sens unique : $B_1 = b + 2c$ m
- A double sens : $B_2 = 2b + 2c + x$ m

b : largeur du camion

c : largeur de la bande de sécurité (distance de sécurité) $c = 0,4 - 1$ m

x : distance entre deux camions croisés, $x = 0,7 - 1,7$ m



D°) Pente maximale des routes

On prend les valeurs de la pente maximale de routes suivantes le tableau ci-dessous.

Pentes maximales (rationnelles) des routes ‰

Routes	Camion chargé dans le sens de la montée	Camion vide dans le sens de la descente
Fixes A	60 – 30	90 – 100
B et C	70 – 80	100 – 140
Provisaires	40 – 50	70 - 80

Remarque : la pente ne doit pas dépasser 40 à 50 ‰ dans le cas de courbe de routes (virages).
E°) Rayon des courbures

Le rayon de courbure minimale des routes choisie en fonction du rayon de braquage des camions

4°) CALCUL des tractions

1°) La masse admissible d'après la puissance du moteur

Sera égale à

$$m_{cp} = \frac{F_t}{w + I_d}$$

Ou : F_t est la force de traction du camion.

La puissance du moteur :

$$N = \frac{F_t * V}{1000 * \mu} \quad (kw)$$

V : vitesse

minimale du camion (<20 km/h)
spécifique au mouvement.

w : coefficient de résistance

I_d : pente directrice (‰).

μ : rendement en transmission,

$$\mu = 0,5 \div 0,8$$

2°) masse d'après l'adhérence.

$$m_{ca} = \frac{1000 * m_a * \varphi}{(w + i_d + 108 * a_{\min})}$$

m_a – a masse d'adhérence du camion. . pour le camion à 2 essieux (tractions) et à 1 seul essieu

$$m_a = (0,7 \div 0,8)m_c,$$

pour le semi-remorque à un seul essieu

$$m_a = 0,4 * m_c$$

φ – Coefficient d'adhérence

a_{\min} – Accélération de démarrage

$$a_{\min} = 0,5 \div 1 \text{ m s}^{-2}$$

(°) Masse du camion adopte

$$1. \quad m_c < m_{ca}$$

$$2. \quad m_c < m_{cp}$$

On peut constater que la puissance du moteur et l'adhésion sont suffisante pour le fonctionnement normal du camion (conditions données), par contre il faut diminuer la pente ou changer le type de revêtement de la route pour que les inégalités soient justes.

4°) Vitesse admissible du camion d'après le freinage

On fait la vérification pour les éléments les plus difficiles du point de vue freinage sur la descente (dans les tranchées d'accès). Cette vitesse admissible est déterminée par la formule suivante :

$$V_{adm} = \sqrt{2 * l_a * a_f + (a * t_p)^2} - a_f * t_p \quad \text{m s}^{-1}$$

$$a_f = \frac{1000 * \varphi * w \pm i}{108} \text{ m s}^{-2}$$

$l_a = l_{vis} + 10; m$ l_a – distance d'arrêt

l_{vis} – distance de visibilité $l_{vis} = (40 \div 80)m$

a_f – deceleration

a – acceleration

5°) Vitesse critique d'après le dérapage

Cette vitesse est déterminée par l'expression suivante :

$$V_{cr} = \sqrt{g * R (\varphi_d + i_t)} \quad m s^{-1}$$

g – Accélération de la pesanteur (9,81 – 10 ms⁻²)

R – rayon de braquage –virage) m

φ_d – Coefficient d'adhérence transversal)

$$\varphi_d = (0,3 \div 0,5)$$

i_t –Pente transversal de la route dans le virage

$$(i_t = 20 \div 60\text{‰})$$

Calcul de la durée d'un cycle du camion

C'est un paramètre aléatoire, c'est la raison pour laquelle le temps d'un cycle de camion sera déterminé par :

$$T_c = 60 * \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_v \times v_{chi}} + 60 * \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_v \times v_{vi}} + \theta \quad mn$$

L_i : longueur de plusieurs éléments du tracé, km

v_{vi}, v_{chi} ce sont les vitesses technique de plusieurs éléments du tracé du camion a charge et à vide km/h

k_v : Coefficient qui tient compte de la variation de la vitesse du camion $k_v = 0,75 \div 0,9$

θ : La durée des opérations au point de chargement et de déchargement :

$$\theta = t_m + t_{déch} + t_{ch} + t_{att} \quad , mn$$

t_m – Temps de manœuvre du camion $t_m = 10 \div 60 \text{ sec}$

$t_{déch}$ –Temps de déchargement du camion en minute du camion $t_m = 1,3 \div 1,7 \text{ mn}$

t_{ch} –Temps de chargement du camion en minute du camion $t_{ch} = n_g \times \frac{t_c}{60} \text{ mn}$

t_{at} – Temps d'attente du camion en minute du camion $t_m = 1 \div 2 \text{ mn}$

B°) Vitesse des camions sur les différents éléments du tracée.

Cette vitesse est égale à : $V = \frac{270 \times N_{nom} \times \eta_{tr}}{m_c (w+i)} \quad km/h$

N_{nom} – Puissance nominale du moteur en cv

I - pente d'un seul élément du tracé ‰,

η_{tr} – Rendement de transmission, $\eta_{tr} = 0,5 \div 0,8$

7°) Nombre de camion

Le nombre de camion est déterminé par la formule suivante :

$$n_i = \frac{Q_{pi} \times k \times T_i}{60 \times m * t_p \times k_u} \quad (\text{pièces})$$

Q_{pi} – Production du ième point de chargement (production d'une carrière) t/poste.

K : Coefficient d'irrégularité de travail de l'excavateur ou de la chargeuse ($k=1,1 - 1,2$)

T_i – Durée d'un cycle de camion sur cet itinéraire (mn)

m – : Capacité de chargé réelle d'un camion tonnes

t_p – Durée d'un poste en heure

k_u –Coefficient d'utilisation du temps de poste de travail ($k_u = 0,7 \div 0,9$)

n – la somme de n_i d'où : $\sum_{i=1}^n n_i$

Cette formule est utilisée si tous les camions circulent sur tous les itinéraires.

Dans le cas contraire c'est-à-dire si chaque camion ne dessert qu'un seul itinéraire, dans ce cas là, le nombre de camion : $n = n_1 + n_2 + \dots + n_n$, on arrondit chaque terme de la somme par excès.

Si tous les camions circulent sur tous les itinéraires (éléments du tracé) $n = (n_1 + n_2 + \dots + n_n)$.

On arrondit toute la somme par excès $\sum_{i=1}^n n_i$.

Pour déterminer le nombre total des camions, on tient compte du coefficient de réserve : $k_r = (1,2 \div 1,4)$; $n_y = n * k_r$

8°) Performance technique des camions.

A°) productivité d'exploitation d'un camion par poste

$$Q_p = m_{nom} \times k_{uc} \times \frac{60 \times t_p \times k_u}{T_c}$$

m_{nom} – Capacité nominale d'un camion ;

k_{uc} – Coefficient d'utilisation de la capacité du camion ($k_{uc} = 0,9 \div 1$)

t_p – Durée d'un poste de travail en heures

k_u – Coefficient d'utilisation du temps de poste ($k_u = 0,7 \div 0,9$)

T_c – Durée d'un cycle du camion en minutes (mn)

B°) Parcours total des camions par poste

$$L_t = \frac{Q_p \times (L_{mch} + L_{mv})}{m} \quad (\text{km/poste})$$

L_{mch}, L_{mv} – distance moyenne de transport du camion chargé et à vide (km)

m – Capacité de la charge réelle du camion (t)

C°) Consommation des Combustibles

$$Q_{cc} = 0,01 * L_t * Q_n * \gamma_{man} * \gamma_{gar} * \gamma_{hiv} \quad (\text{l/poste})$$

Q_n – Consommation d'un camion (en combustibles) par 100 km (d'après les caractéristiques techniques) en litres

γ_{man} – Coefficient de consommation pour les manœuvre ($\gamma_{man} = 1,1 \div 1,2$)

γ_{gar} – Coefficient de consommation pour les besoins du parc ($\gamma_{gar} = 1,05 \div 1,07$)

γ_{hiv} – Coefficient d'augmentation de combustible :

- Pendant l'hiver ($\gamma_{hiv} = 1,5 \div 1,25$)

- Dans les normes internationale ($\gamma_{hiv} = 1,1 \div 1,15$)

Type	Paramètres	769 C	771 c	773B	775B	777c
Généralités	Longueur (mm)	8007	8200	9120	9330	9780
	Largeur (mm)	3632	3620	3785	4252	5064
	Rayon de braquage (mm)	3851	4000	4305	4305	5024
	Hauteur latérale de benne	3236	3290	3773	3861	4160
Moteur	Marque	CATERPILLAR				
	Type	3408	3408	3412	3412	3508
	Puissance (kw)	336	336	485	485	649
	Vitesse de rotation (tr /mn)	2000	2000	2000	2000	1750
Boîtes de vitesse	Nbre de vitesse avant AV	7	5	7	6	7
	Vitesse maximale (km/h) AV	75	40	64	47,2	60,4
	Nbre de vitesse AR	1	1	1	1	1
	Vitesse maximale (km/h) AR	13,5	13,5	12	12	12
Equipement benne	Capacité (m ³)	23,6	25,8	34,1	39,3	51,5
	Charge utile (t)	36	40	52	60	86
	Charge AV (%)	33	33	33	31	33
	Charge AR(%)	67	67	67	69	67
Equipement masse	A Vide (t)	30,6	34,1	38,3	42,3	61,8
	Totale en charge	67,6	74	92,5	101,7	147

1. LE CONVOYEUR A CHAINES :

D'utilisation très courante dans les tailles, ce type de matériel a été mis au point avec les moyens mécaniques d'abattage (rabots).

Son principe est le suivant : des chaînes sans fin portant des « raclettes » sont placées dans des bacs métalliques à deux compartiments superposés, chacun d'eux contenant un tapis (ensemble chaînes / raclettes). Une ou deux motrices placées aux extrémités du convoyeur assurent le mouvement des chaînes qui glissent dans les bacs, les chaînes supérieures assurent, par glissement de leurs raclettes, l'entraînement des produits à transporter.

a. Les bacs :

Un bac est formé d'une tôle de font de 10 mm d'épaisseur environ et de deux longerons mécano-soudés de forme particulière pour assurer le guidage supérieur et inférieur des chaînes. De longueur de 1,5 mètre, leur largeur dépend du débit à transporter (de 350 à 500 mm d'entraxe de chaînes) et leur hauteur d'environ 180 mm.

b. Les chaînes :

Les chaînes sont de type marine élaborées à partir de fils de 13,5 ; 16 ou 18mm soudées en série et traitées thermiquement pour augmenter leur résistance (50 kgf/mm² à la rupture)

Les raclettes sont en acier laminé d'un profil spécial et montées sur les chaînes par l'intermédiaire de faux maillons qui assurent le glissement et encaissent les efforts latéraux. Une raclette et deux tronçons de chaîne constitue un équipage mobile.

c. Les têtes mobiles :

- Elles se compose de :

- * un bâti métallique qui se raccorde aux bacs,
- * une noix d'entraînement (tambour moteur des chaînes)
- * un réducteur
- * un coupleur hydraulique,
- * un ou plusieurs moteurs (air comprimé ou électrique de 35 à 50 kW)

- La vitesse de déplacement des chaînes peut varier de 43 à 90 cm/s

d. Les accessoires divers :

- les rehausses qui augmentent la capacité des bacs,
- les pousseurs pour le ripage de l'installation.

Calcul de la puissance motrice nécessaire :

Elle dépend de :

- * vitesse du convoyeur,
- * poids des chaînes,
- * la longueur du convoyeur (limitée à 250 m Maxi)
- * des coefficients de frottement (chaînes et minerai)
- * des coefficients de glissement,

- * de la pesanteur,
- * du débit du convoyeur,

Des formules ou des abaques (WESTPHALIA) permettent de calculer la puissance théorique du convoyeur, la puissance réelle est supérieure car il faut tenir compte du rendement mécanique de l'installation (facteur multiplicateur de 1,2) et des conditions d'installation (rectitude horizontale et verticale) facteur multiplicateur de 1,4

2. LE CONVOYEUR A BANDES :

Une bande sans fin, supportée par des rouleaux, entraînée par un ou plusieurs tambours moteurs, sert au transport des matériaux.

Il se compose de :

- * la bande,
 - * l'infrastructure,
 - * les têtes motrices.

La bande :

Les bandes classiques sont réalisées à partir de « plis » (4 ou 5) de tissu de coton, collés entre eux puis recouvert de caoutchouc et vulcanisé.

L'évolution des fabrications a permis d'augmenter la résistance des bandes (utilisation de plis en Nylon) et de diminuer les frottements (utilisation du chlorure de polyvinyle.

Les bandes sont caractérisées par :

- * leur résistance à la rupture (de 300 à 500 kgf/cm²)
 - * les tensions de travail (de 20 à 50 kgf/cm)
 - * la largeur (de 650 à 800 mm)

Les infrastructures :

Ce mot désigne tout le matériel destiné à supporter les deux brins de la bande entre les extrémités du convoyeur.

Les modèles sont très divers :

- * structures posées au sol (longerons et pieds),
 - * structures suspendues (chaînes et câbles)

Les rouleaux :

D'un diamètre normalisé (89 mm) le tube cylindrique est en acier traversé par un axe fixe et des roulements à bille avec joints d'étanchéité..

Le support du brin supérieur de la bande se fait par trois rouleaux en forme d'auget. Le brin inférieur est supporté par un rouleau unique.

La tête motrice :

Il y en a une seule par convoyeur. Elle est toujours réalisée à partir d'un châssis métallique qui porte le ou les tambours moteurs sur lesquels passe la bande. Un moteur électrique entraîne les tambours par l'intermédiaire d'un réducteur, la bande étant maintenue tendue par un tambour de contrainte.

Les différentes constructions se différencie surtout par le nombre de tambours moteurs et par l'angle total sous lequel la bande les embrassent (paramètre important pour la bonne marche du convoyeur.).

Limite de débit :

Le débit Q est proportionnel à :

- * V la vitesse de la bande,
- * d la densité du matériau
- * la section verticale du minerai en tas (proportionnel à la largeur l de la bande

$$Q = K. V.l.d$$

$$K = \begin{array}{l} 0,3 \text{ pour les convoyeurs horizontaux} \\ 0,25 \text{ pour une pente } < \text{ à } 10^\circ \end{array}$$

Ce débit s'exprime en tonnes/heures

Des abaques sont fournies par les constructeurs, ce qui simplifie les calculs en débit et en puissance installée.

Pour des débits supérieurs à ceux à chaînes, les convoyeurs à bande exigent une puissance très inférieure, par contre, sur de longues distances il est concurrencé par le transport ferroviaire.

3. LES BERLINES :

Les berlines sont composées de :

- * une caisse en tôles de 6 à 12mm, embouties et soudées
- * un châssis auquel sont fixés les attelages, les tampons et les roues.

Les roues sont de plusieurs types :

- * à axe fixe et roulements coniques,
- * des bogies (chariots à 4 roues) de type AXLESS
 - axe vertical de rotation,
 - ressort de suspension,
 - barre de liaison entre les demi-bogies

L'attelage :

Il permet d'accrocher les berlines les une autres avec la garantie de facilité de manœuvre

On peut citer :

- les attelages secs
- les attelages élastiques (grandes berlines)

Les tampons :

Ils servent à amortir les chocs entre les berlines

La capacité des berlines

Elle est très variable en fonction de l'exploitation (de 600 à 20 000 l)

Les grandes berlines sont source de simplification et d'économie car on constate :

- * une réduction du parc,
- * une simplification de l'organisation des mouvements de trains,
- * une simplification du chargement des wagons,
- * simplification du réseau de voies de roulage,
- * réduction du personnel pour la conduite
- * économie pour l'entretien,
- * diminution des charges d'amortissement,
- * économie des dépenses d'énergie,
- * réduction des pertes de production.

Les berlines de grande capacité sont d'un intérêt indiscutables, mais il ne faut pas ignorer qu'elles posent quelques problèmes :

- difficultés de transport de matériel,
- circulation pratiquement impossible dans les plans inclinés,
- complication de son chargement dans les chantiers de creusement de galeries,

Il n'est pas étonnant de voir dans certaines mines des berlines de petite et de grande capacité.

4. LA TRACTION PAR LOCOMOTIVES :

Les locomotives ont un double but :

- * mettre les trains en mouvement (traction),
- * arrêter les trains (freinage)

La traction :

La locomotive est capable de développer une force (effort au crochet) que l'on utilise pour tirer les trains.

Cet effort au crochet dépend :

- * du poids de la machine,
- * de sa puissance.
- * de l'adhérence

Le freinage :

Les règles de sécurité exigent qu'un conducteur puisse à tous moments arrêter son convoi dès qu'il découvre un obstacle (limite de visibilité).

Le freinage peut se faire soit :

- * par action sur les roues (sabots commandé mécaniquement ou par air comprimé)
- * action électromagnétique (sur les rails)

Les types de locomotives :

Quatre types de locomotives sont principalement utilisées :

- * électrique à trolley
- puissante, rapide et légère, elle est principalement utilisée dans les mines de fer et dans les entrées d'air dans les mines grisouteuses,

* électrique à accumulateurs (Pb de dégagements gazeux lors des charges (8 h)) machines lourdes, lentes, elles sont utilisées pour des charges lourdes sur de courtes distances ou en travaux en cul-de sac.

* à air comprimé (par moteur à pistons et bielles d'entraînement des roues) lourde, lente et de faible puissance.

* diesel, de plus en plus utilisée (<60% du parc) malgré

- risque d'incendie
- risque d'intoxication
- risque d'inflammation du grisou

5. L'ORGANISATION DU ROULAGE :

Le roulage établit la liaison entre les chantiers de production et le puits d'extraction du minerai. Il ne faut pas créer de gêne ni à la production (travail de 4 à 5 h par poste), ni à l'extraction (travail de 6 à 7 h par poste).

L'organisation du roulage se pose de la façon suivante :

- connaissant :

* la mine et son circuit de voies,

* les caractéristiques de la production (lieu, valeur,répartition dans le temps),

* le nombre de berlines disponibles,

* le nombre de locomotives disponibles,

* les possibilités du puits d'extraction ;

- il faut déterminer :

* la composition des trains,

* les règles de circulation,

* la répartition des berlines.

C'est un problème évolutif en fonction de l'avancement des travaux.

Les règles de circulation :

On distingue le type et le mode de roulage :

- Le type de roulage (itinéraire des convois):

* roulage en étoile du puits au chantier à vide du chantier au puits en charge.

* roulage navette avec des gares intermédiaires circulation entre les gares.

* roulage étoile- navette : combinaison des deux types précédents

- le mode de roulage :

On peut choisir entre :

* roulage à l'horaire (heures fixes de départ et d'arrivée),

* roulage à la capacité (départ au convoi complet)

* roulage au dispatching (à la commande du dispatcher) moyens de communication et d'information biens établis.

ENGINS DE CHARGEMENT

PELLES

I. Production des pelles à câbles

I.1 Production théorique

Elle est définie par la géométrie du matériel.

Les paramètres à prendre en compte sont :

- Capacité du godet : G (m^3).
- Le nombre de cycle théorique par heure : N .
- La longueur de la flèche qui influe sur :
 - Le facteur de traînage : t ,
 - Le facteur de levage : l .

$$P_{th} = G \times N \times t \times l \text{ (en } m^3 \text{)}$$

Pour les draglines hydrauliques en estime $N=120$ cycles.

Certains constructeurs fournissent des tableaux de temps de cycles en fonction de l'angle de rotation et de la longueur de la flèche.

	Facteur de traînage					
Longueur de flèche	15	18	21	24	27	30
t	0,83	0,79	0,75	0,72	0,69	0,69
	Facteur de levage					
Longueur de flèche (en m)	15	18	21	24	27	30
l	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87

I.2 Production instantanée

Elle se définit par les conditions de travail.

P_{ins} Est défini par :

$$P_{ins} = P_{th} \times g \times v \times R \times C \times d$$

P_{th} = production théorique

- *Nature du travail* :

g = facteur de giration

v = facteur de vidage

	Facteur de giration g		
Angle (en °)	90	120	180
g	0,98	0,95	0,91
	Facteur de déchargement du godet : v (vidage)		
déchargement	Un camion	Une trémie (*)	Au sol
v	0,93	0,92	0,91

(*) Les formes et dimensions de la trémie sont déterminantes dans la valeur de v

Le *coefficient de remplissage* du godet est lié à la nature des matériaux. L'expérience de l'exploitant permet d'estimer celui-ci. Il est parfois judicieux de procéder à des pesées de matériaux contenus dans le godet en veillant à ce que ce soient des godets normalement remplis ; les conducteurs ayant tendance, lorsque l'on procède à des essais, à remplir à refus les godets.

Nature des matériaux	Coefficient de remplissage R
- Sable ou gravier fin, sec	1,10 – 1,20
- Sable ou gravier légèrement humide	1,00 – 1,10
- Sable ou gravier fin, humide	0,90 – 0,80
- Limon ou argile, sablonneux, sec	0,95 – 1,00
- Limon ou argile, cohérent, sec	0,90 – 0,95

- Limon ou argile, bien cohérent, dur	0,88 – 0,90
- Sol avec sable ou gravier, sec	0,85 – 0,88
- Sol à l'état vierge, limon sablonneux, argile	0,80 – 0,82
- Sol à l'état vierge, argile maigre, légèrement humide	0,75 – 0,80
- Roche schisteuse, gravier grossier	0,72 – 0,75
- Gravier avec limon ou argile, dur	0,70– 0,72
- Déblai avec limon ou argile, légèrement humide	0,68– 0,70
- Déblai avec limon ou argile, durs	0,70 – 0,72

- *Exploitation du matériel*

Le facteur de conduite est lié à la dextérité du personnel de conduite et à la précision du travail :

Conducteur	Expérience		
	Très bonne	Moyenne	Aucune
C	1	0,95	0,85

Le facteur temps de travail réel par heure est fonction des contraintes de la chaîne globale de production :*

- La machine travaille seule sans contrainte avec une extraction en masse sans déplacement : 60 min/h, soit d=1.
- La machine se déplace avec un gisement présentant des contraintes avec quelques temps d'attentes : 50 min/h, soit d=0,83.
- La chaîne de production impose des arrêts du matériel d'extraction, où le gisement est de faible épaisseur avec des contraintes d'extraction (argile, etc.) : 40 min/h, soit d=0,67.

En pratique, on utilise en prédétermination de production : 50 min/h, soit d=0,83.

I.3 Production industrielle.

Elle se situe sur une durée d'exploitation beaucoup plus longue (durée de vie du matériel ou du gisement) :

Production industrielle = production instantanée x disponibilités

$$La\ disponibilit\acute{e} = \frac{HO - HP - HA}{HO}$$

Où : HO=les heures d'ouvertures de poste

HP =les heures de panne : la machine est techniquement arrêtée

HA= les heures d'arrêts pour entretien, arrêt de production, absence de chauffeur, etc.

Les différentes productions exprimées en m³/h sont multipliées par la densité des matériaux extraits pour obtenir les productions moyennes en tonnes extraites par heure de poste

Pelles Hydrauliques

Le temps de cycle de base d'une pelle hydraulique comporte le remplissage du godet, une rotation a charge, le vidage et une rotation retour à vide.

Remarque : il est important d'associer à chaque taille de godet la machine réellement adaptée si l'on équipe la machine de base d'un godet très gros, le temps de cycle augmentera. La même machine équipée d'un godet trop petit n'aura pas un temps de cycle plus court.

Equipement rétro

Tableau des production théoriques en fonction des tailles de godet et des temps de cycles

s e c	mi n	1, 5	2, 0	2, 5	3, 0	3, 5	4, 0	4, 5	5, 0	6, 0	7,0	8,0	9,0	10	11	12	pré vus	pa ri
1 7	0, 28	4 4 5															3,5	2 1 0
1 9	0, 32	2 8 4	3 9 8	4 7 4	5 8 1												3,1	1 8 5
2 1	0, 35	2 5 7	3 6 0	4 2 9	5 3 1	6 0 0	7 0 3	7 7 1	8 7 4								2,8	1 7 0
2 4	0, 40	2 2 5	3 1 5	3 7 5	4 6 5	5 2 5	6 1 5	6 7 5	7 6 5	9 0 5	10 50	12 00	13 50				2,5	1 5 0
2 7	0, 45	2 0 0	2 8 0	3 3 3	4 1 3	4 6 7	5 4 7	6 0 7	6 8 0	8 0 0	93 3	10 67	12 00	13 30	14 67	16 00	2,2	1 3 3
3 0	0, 50			3 0 0	3 7 2	4 2 0	4 9 2	5 4 0	6 1 2	7 2 0	84 0	96 0	11 80	12 00	13 20	14 40	2,0	1 2 0
3 5	0, 58				3 6 0	4 2 2	4 6 3	5 2 5	6 1 6	7 1 5	72 0	82 3	92 6	10 29	11 31	12 34	1,7	1 0 2
4 0	0, 67								5 4 0	63 0	72 0	81 0	90 0	99 0	10 80		1,5	9 0
4 5	0, 75													80 0	88 0	96 0	1,3	7 8

	Extraction	Description
A	Facile	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation inférieur à 30% - Débattement vertical à 30% de la profondeur maxi sans difficulté de pénétration <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'obstacle au vidage
B	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation inférieure à 60% - Débattement vertical à 40% de la profondeur maxi

		pénétration aisée - Peu d'obstacle au vidage
C	Moyenne à difficile	- Orientation inférieur à 90% - Débattement vertical à 50% de la profondeur maxi Résistance à la pénétration, utilisation du cavage - vidage nécessitant de la précision
D	Difficile	- Orientation inférieur à 120% - Débattement vertical à 70% de la profondeur maxi Roche résistante : cavage et pénétration
E	Très dure	- Orientation inférieur à 180% - Débattement vertical à 90% de la profondeur maxi Roche compacte à la pénétration difficile (utilisation du cavage et de la pénétration) - Pas d'obstacle au vidage

A chaque taille de godet correspond 5 valeurs de production et de temps de cycles représentent des conditions de travail du matériel.

Equipement butte

Tableau des productions théoriques en fonction des tailles de godet et des temps de cycles

se c	mi n	1, 5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	prév us	pa ri
1 8	0,3 0	50 0	62 0	80 0	10 00	12 00	14 00								3,3	20 0
2 1	0,3 5	42 9	53 0	68 6	85 7	10 29	13 71	15 43	17 14	18 86	20 57	22 29	22 29	24 00	2,8	17 0
2 4	0,4 0	37 5	46 5	60 0	75 0	90 0	10 50	12 00	13 50	15 00	16 50	18 00	19 50	21 00	2,5	15 0
2 7	0,4 5	33 3	41 3	53 3	66 7	80 0	93 0	10 67	12 00	13 33	14 67	16 00	17 33	18 67	2,2	13 3
3 0	0,5 0	30 0	37 2	48 0	60 0	72 0	86 0	96 0	10 82	12 00	13 20	14 40	15 60	16 80	2	12 0
3 3	0,5 5							87 3	98 2	10 91	12 00	13 09	14 18	12 57	1,8	10 8

A chaque taille de godet correspond 5 valeurs de production et de temps de cycles représentent des conditions de travail du matériel.

	Extraction	Description
A	Facile	- Orientation inférieur à 90% - Vidage à 70% de la hauteur maxi. - Matériau bien foisonné - Pas de précision au vidage.
B	Moyenne	- Orientation inférieur à 120% - Vidage à 70% de la hauteur maxi. - Matériau ne nécessitant pas l'utilisation du cavage. - Pas de précision au vidage.

C	Moyenne à Difficile	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation inférieure à 120° - Vidage à 90% de la hauteur maxi - Matériau compact
D	Difficile	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation inférieure à 120° - Vidage à 90% de la hauteur maxi. - Matériau hétérogène nécessitant l'utilisation du cavage - Précision au vidage.
E	Très dure	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation inférieure à 120° - Vidage à en fin de course. - Présence de blocs – utilisation du cavage. - Précision au vidage.

Les paramètres à prendre en compte sont :

- La capacité SAE du godet en m³ : G
- Le Nombre théorique par heure : N

$$P_{th} = G \times N$$

B. Production instantanée

Elle se définit par les conditions de travail :

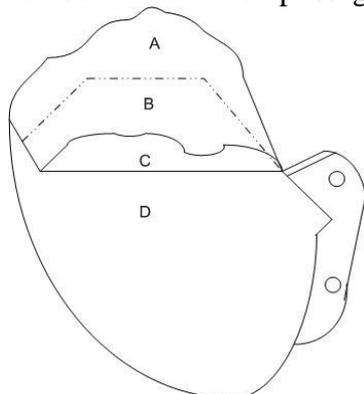
$$P_{ins} = P_{th} \times v \times r \times c \times d$$

P_{th} = Production théorique

- Nature du travail

Facteur de déchargement du godet : v (vidage)			
Déchargement dans V	Benne de capacité		Au sol
	≥4 fois G	< 4 fois G	
V	1	0,95	1,05

Le coefficient de remplissage



	Nature des matériaux	Coefficient de remplissage R
A	De bonne cohésion : <ul style="list-style-type: none"> - terre végétale humide - Argile humide - Argile sablonneux 	1,10 à 1,15
B	D'assez bonne cohésion <ul style="list-style-type: none"> - Terre végétale sèche 	0,92 à 1,05

	- Sable et gravier	
C	De Cohésion moyenne ou ne permettant pas un dôme important - Roche fragmentée - Tout venant sec - Argile, sec	0,80 à 0,90
D	Matériaux ou conditions ne permettant pas de dôme - Matériau fluant - Extraction en eau - Roche mal fragmentée	0,70 à 0,75

Exploitation du matériel

Facteur de conduite

Conducteur	Expérience		
	Très bonne	Moyenne	aucune
	1	0,95	0,85

- Le facteur de travail réel par heure est lié aux contraintes globales de production :
 - Le matériel travaille seul, les matériaux sont mis en cordon ou en trémies sans contrainte de déplacement : 60 min/h soit d=1.
 - La machine travaille en chargement de tombereaux avec une bonne organisation (correctement espacées sans attentes au vidage) : 50 min/h soit d= 0,83
 - La chaîne de production impose des attentes : tombereaux, concasseur primaire, bloc à l'extraction : 40 min/h soit d=0,67.

C. production industrielle

Elle prend en compte une durée d'exploitation plus longue :

$$Production\ industrielle = production\ instantanée \times disponibilité$$

$$La\ disponibilité\ de\ la\ pelle = \frac{HO - HP - HA}{HO}$$

Où : HO= les heures d'ouverture de poste

HP= les heures de pannes : la machine est techniquement arrêtée

HA= les heures d'arrêts pour entretien, arrêt de production, absence de chauffeur, etc.

Les différentes productions exprimées en m³/h sont multipliées par la densité des matériaux extraits pour obtenir **les productions moyennes en tonnes extraites par heure de poste**

Exemple : une pelle en équipement butte avec un godet de 5m³ extrait un basalte bien fragmenté (densité 1,9) ; l'extraction est assez difficile malgré un bon minage.

Les matériaux sont chargés sur des tombereaux de 50 t (benne de 26 m³). le chauffeur est excellent. Il y a peu d'attente dans la chaîne de production. La disponibilité de la pelle est de 92% sur l'année.

Chargeuses sur pneus.

Généralités.

La chargeuse est le matériel le plus répandu dans les carrières. Toutes les exploitations possèdent au minimum une chargeuse. Ces machines servent à l'extraction, au chargement et à la reprise des matériaux bruts ou traités. Elles assurent aussi, parfois, une fonction de transport en alimentation des appareils de traitement.

La multitude des fonctions remplies par les chargeuses est dues à leur grande mobilité qui est le facteur déterminant de leur emploi.

En fonction de son âge, la chargeuse peut être utilisée successivement à des tâches de contraintes plus faibles : extraction dans un premier temps, puis reprise au stock et, enfin, secours.

Production théorique

Elle est définie par les paramètres suivants :

- Capacité du godet : G (en m^3)
- Le nombre de cycles théoriques par heure : N (temps de cycle de manutention).

Le temps de cycle de manutention

Il s'obtient en faisant la somme des temps de remplissage (les temps des manœuvres sont pris en compte dans le transport des matériaux) :

$$N = \frac{3600}{\text{Cycle}} \text{ (le cycle est mesurée en secondes)}$$

$$P_{th}(m^3/h) = G \times N$$

Le tableau ci-après indique le nombre de cycles en fonction de la taille du matériel ainsi que la production estimée.

Taille des godets (m ³)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5			
Cycles																													
Nbre/h																													
0,35																													
0,40	150	150	150	150	150	150																							
0,45	133	133	133	133	133	133	53	60	66	73	80	86																	
0,50	120	120	120	120	120	120	48	54	60	66	72	78	84	90	96	100	100	110	120	120	130	130	140	150	150	160	20		
0,55	109	109	109	109	109	109	43	49	54	60	65	70	76	81	87	92	98	100	110	120	120	130	130	140	150	160	170	71	
0,60	100	100	100	100	100	100	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	100	110	110	120	120	130	130	140	50	
0,65	92	92	92	92	92	92	36	41	46	50	55	60	64	69	73	78	83	87	92	96	100	100	110	110	120	120	130	40	
0,70	86						34	38	43	47	51	56	60	64	69	73	77	81	86	90	94	99	100	100	110	110	120	120	65
0,75	80												56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	100	110	110	80	

-les zones supérieures correspondent à des conditions faciles.

Les zones inférieures correspondent à des conditions dures.

Aptitude au cavage	Exemples des matériaux
- Facile à caver	- Vase, terre meuble, gravier sableux
- Moyennement facile à caver	- Terre compactée, argile dure, gravier
- Assez difficile à caver	(< 25% de pierres)

<ul style="list-style-type: none">- Difficile à caver- Très difficile à caver	<ul style="list-style-type: none">- Terre fortement compactées, gravier pierreux (< 50% de pierres) Argiles à blocs, argile morainique gravillonneuse, (Terre fortement compactée (<75% de pierres)) <ul style="list-style-type: none">- Argile morainique dure à blocs, roche friable, calcaire, schiste
--	--

Morainique : Ensemble de roches transportées ou déposées par un glacier.

Product instantanée

Les paramètres suivants, liés aux conditions de travail sont pris en compte

- La nature du travail :

Les matériaux définissent le coefficient de remplissage du godet → R

- Exploitation du matériel :
- - facteur de conduite → C
- Facteur temps de travail → d

La production instantanée est définie ainsi :

$$P_{ins} = P_{th} \times R \times C \times d \text{ (en } m^3 \text{)}$$

Coefficient de remplissage du godet R

	Rendement volumétrique R
<ul style="list-style-type: none"> • Matériau non tassé - Mélange non homogène humide - Mélange homogène <3 mm - De 3 mm à 9 mm - De 12 mm à 20 mm - Plus de 24 mm 	95 – 100% 95 – 100 90 – 95 85 – 90 85 – 90
<ul style="list-style-type: none"> • Matériau abattu à l'explosif - bien fragmenté - moyen - Mal fragmenté 	80 – 95 % 75 – 90 60 – 75
<ul style="list-style-type: none"> • Divers - Mélanges d'alluvions rocheux - Terre glaise - Terre végétale, galets, racines - Matériaux consolidés 	100 – 120% 100 – 100 80 – 100 85- 95

Facteur temps de travail : d

Il est fonction des conditions d'exploitation et de la position de la machine dans la chaîne de production :

- La chargeuse travaille seule sans contraintes, les matériaux à extraire sont disponibles en quantité et il n'y a pas d'attente au vidage : 60 min/h soit $d= 1$.
- La chargeuse change de zone d'extraction avec une attente lors du vidage : 50 min/h soit $d=0,83$.
- La chargeuse subit l'attente imposée par la chaîne de production ou le gisement : 40 min/h soit $d= 0,67$.
- En général, pour les calculs de prédétermination on prend : 50 min/h soit $d=0,83$.

C. Production industrielle

Elle se définit sur le long terme.

$$Production\ industrielle = Production\ instantanée \times disponibilit $$

$$La\ disponibilit  = \frac{HO-HP-HA}{HO}$$

Où : HO= les heures d'ouverture de poste

HP= les heures de pannes : la machine est techniquement arrê e

HA= les heures d'arrêts pour entretien, arrê  de production, absence de chauffeur, etc.

Les différentes productions exprimées en m^3/h sont multipliées par la densité des matériaux extraits pour obtenir **les productions moyennes en tonnes extraites par heure de poste**

La distance de transport est supérieure à 10m

Le calcul précédent reste le même. Il faut intégrer le temps de transport supplémentaire au temps de cycle de base.

Détermination du temps de transports supplémentaires :

On peut utiliser le graphique suivant :

- La distance en m de transport correspond à la longueur d'un trajet simple entre le point de chargement et le point de vidage.
- Le temps de transport en secondes est la durée totale du cycle de transport aller et retour les virages inclus.

Exemple : une chargeuse se déplace sur une distance de 120 m dans de bonnes conditions. Durée du cycle transport 60s. il est nécessaire d'ajouter le cycle de transport pour obtenir le temps de cycle total de la chargeuse.

On peut, si l'on veut, avoir des temps de transport plus précis.

Il est nécessaire de déterminer la pente équivalente totale sur laquelle évolue la chargeuse.

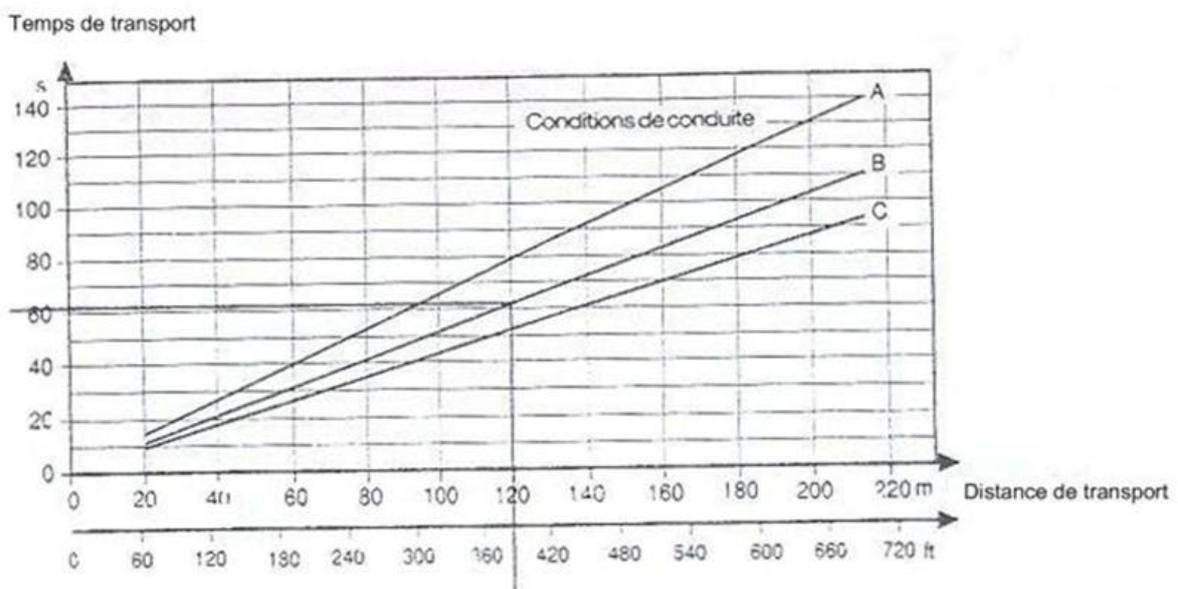
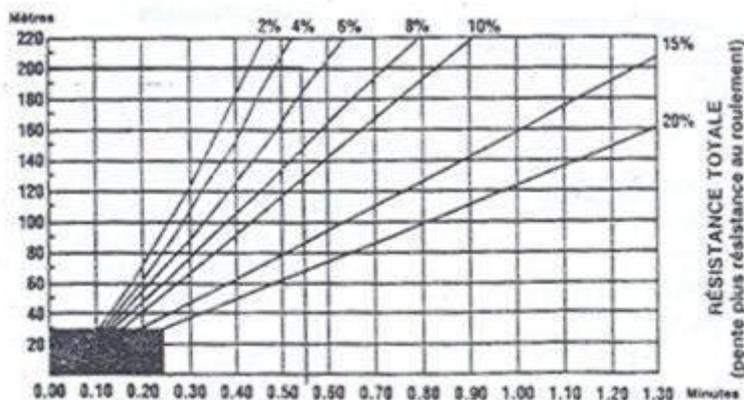


Diagramme distance et temps de transport

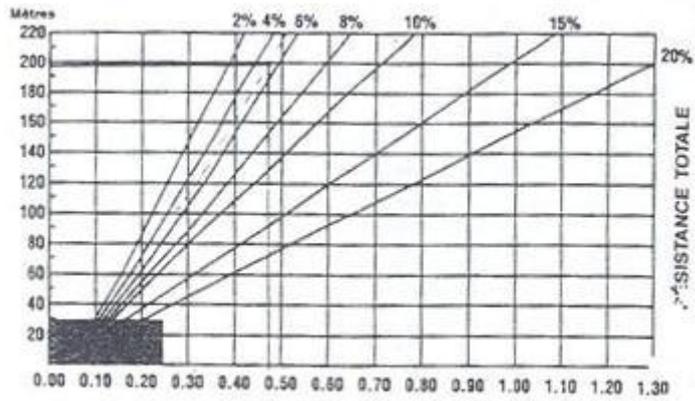
Courbe A : Conditions de travail difficiles, vitesse moyenne : 12 km/h

Courbe B : Conditions de conduites normales, vitesse moyenne : 16 km/h

courbe C : Conditions de conduite bonnes, vitesse moyenne : 20km/h



980F Durée du trajet à charge



980F - Durée du Trajet à vide

Chargeuses de godet (capacité en m ³)	Durée de vie (en h)
De 3 à 4	12 000 à 14 000
De 4 à 6	14 000 à 16 000
De 6 à 10	16 000 à 20 000
De 10 à plus	20 000 à 30 000

Les tombereaux rigides (les camions)

Généralités

Les tombereaux rigides n'ont pas l'exclusivité des transports en carrières. Dans certaines exploitations (en alluvionnaire principalement) on fait appel à des transporteurs à bandes.

Leur flexibilité d'emploi justifie leur utilisation lorsque les points d'extraction sont multiples. Les distances importantes et la présence de gradins en roche massive légitime leur emploi, mais la réglementation sur les bruits et les poussières ne plaident pas en leur faveur. En transport et alimentation d'installation, les tombereaux rigides sont souvent au nombre de 2 ou 3. L'augmentation des capacités unitaires de transport et le souci de diminuer le nombre de chauffeurs se traduisent par une réduction du nombre de machines en service, mais les investissements deviennent plus lourds et la fiabilité ainsi que la souplesse d'exploitation s'en ressentent.

Les outils de chargement devant s'adapter aux tombereaux représentent un surcoût d'investissement et d'entretien car leur taille représente un suréquipement en regard de la production réalisée. Il est important de comprendre qu'en carrière on a affaire à une chaîne de production en regard de la production réalisée. Il est important de comprendre qu'en carrière on a affaire à une chaîne de production dont la capacité est définie par l'installation de traitement qui doit répondre aux besoins du marché.

Tout suréquipement ou sous équipement d'un des maillons pénalise les résultats de la chaîne : productivité, investissement et coût.

Exploitation et production

Tous les exploitants sont unanimes à reconnaître l'importance des pistes mais, dans la réalité, des progrès importants peuvent encore être accomplis. Dès la conception du plan d'exploitation, les pistes doivent être intégrées en s'imposant des pentes inférieures à 10%. Les tombereaux peuvent franchir des pentes plus fortes mais les prix reviennent s'en ressentent.

Il est préférable d'avoir des rampes de pente constante qui permettent de rester sur le même rapport de boîte de vitesses. Une fois le profil défini, le tracé doit prendre en compte les virages qui seront les plus larges possibles et correctement relevés. Par ailleurs, la largeur des pistes doit permettre le croisement des tombereaux dans de bonnes conditions de sécurité. Dans les pentes, des zones d'arrêt seront aménagées de manière à stopper les tombereaux à la dérive : le sol de ces zones sera constitué de matériaux très foisonnés dans lesquels les pneus s'enfonceront. Des blocs ou des merlons de matériaux seront disposés du côté vide des pistes. La structure de la piste doit rester rigide et ne doit pas se déformer sous le trafic. Les matériaux plastiques (argile) seront purgés. Il faut éviter toute remontée d'argile sous la piste.

La couche de roulement doit être composée de matériaux fins avec des gravillons sans blocs, mais avec suffisamment de fines pour assurer une bonne fermeture et une bonne cohésion en surface.

L'épaisseur doit être suffisante pour éviter que les matériaux des sous-couches apparaissent en surface. Une piste bien réalisée ne tiendra pas si les problèmes des eaux n'ont pas été traités : eau de pluie et de neige, eau provenant du massif.

Un assainissement est nécessaire pour limiter l'infiltration et supprimer tout ruissellement qui, avec les pentes, provoque des ravinements. Il ne faut pas que l'eau puisse prendre de la vitesse. Pour assurer l'écoulement des eaux, des changements de pente sont réalisés dans le sens transversal des pistes. Ces changements de pente se feront exclusivement en alignement droit.

Une bonne piste nécessite un entretien régulier pour :

- Maintenir le profil en long et en travers
- Remettre en place les matériaux qui ont été chassés dans les zones de roulement et de rippage des pneus.

- Supprimer les déformations et dégradations ponctuelles qui risquent de s'amplifier. L'influence des pistes sur la productivité des tombereaux se caractérise par les éléments suivants :

Résistance au roulement

La résistance au roulement RR est la force opposée par le sol à la progression des roues. Cette force doit être vaincue pour que le véhicule avance. Les facteurs intervenants sur la résistance sont :

- Le frottement mécanique interne propre au matériel sur l'ensemble de chaîne cinématique (boîte de vitesses, transmission, pont, réducteur).
- La flexion des pneus augmente la résistance à l'avancement par déformation des flancs et de la bande de roulement. Cette déformation est fonction de la structure et de la sculpture des pneus, de la pression du sol et de l'état du sol.

Pour ces deux facteurs il est admis d'appliquer la règle empirique largement admise *de 2% du poids total en charge*. PTC= poids du matériel à vide + poids de la charge.

2% du PTC est équivalent à 20kg/t.

Il faut exercer un effort de traction de 20kg pour faire avancer une machine de 1 t sur un sol dur, uni et horizontal.

- L'état de la route ou de la piste influe sur la résistance au roulement qui augmente proportionnellement à l'enfoncement des pneus dans le sol.

On estime que pour chaque centimètre la résistance au roulement augmente de 6 kg/t.

Par exemple : un matériel s'enfonce de 3 cm, la résistance au roulement est de $6 \text{ kg} \times 3$ (pour enfoncement) + 20kg (frottement + fléchissement) soit 38 kg/t.

Les conditions des sols ou des pistes varient à l'infini. On peut simplifier le problème en utilisant les valeurs suivantes qui sont la résistance totale au roulement interne + flexion+enfoncement et état de la piste.

Coefficient de résistance au roulement	Kg/t
- Route arrosée, entretenue, à revêtement stabilisé, dur et lisse ne cédant pas sous le poids du véhicule	20
- Route en terre ou à revêtement léger, arrosée, assez bien entretenue ; sol ferme et lisse cédant sur le poids du véhicule	35
- Neige :	
• Tassée	25
• Poudreuse	45
- Route en terre, à ornière, peu ou pas entretenue, non arrosée, cédant sous le poids du véhicule de 25mm ou plus	50
- Route en terre molle, non stabilisée, pas entretenue, à ornières ; pénétration des pneus de 100 à 150 mm	75
- Sable ou gravier non compacté	100
- Sol mou, boueux, pas entretenu, a ornières	100 à 200

La pente introduit une composante de gravité que doit vaincre le véhicule. La pente est exprimée en pourcentage, chaque pour cent de pente fournit une force correspondant à 10 kg/t du poids total en charge qui aide (descente) ou contrarie (montée) la machine.

La résistance totale (RT) et pente équivalente

- La pente est ascendante : la résistance totale est égale à la résistance au roulement plus la résistance due à la pente :

$$RT = RR + RP$$

- La pente est descendante : la résistance totale est égale à la résistance au roulement moins la résistance due à la pente : $RT = RR - RP$
- La résistance totale peut s'exprimer en %. On parle alors de pente équivalente totale en utilisant le rapport : $10 \text{ kg/t} = 1\%$

La pente équivalente totale est utilisée sur tous les abaques des constructeurs.

Exemple : un tombereau roule sur une piste lisse au sol ferme avec un coefficient de résistance au roulement de 30 kg/t et une pente équivalente de 3%.

La pente équivalente totale est : la pente due à la résistance au roulement $30 \text{ kg/t} = 3\%$ + pente ascendante 3% soit 6%.

Il est important de connaître les pentes équivalentes correspondant au parcours effectué par les matériels roulants. Il en est de même pour la distance parcourue.

Temps de cycle des tombereaux

Il se décompose en quatre temps.

- Attente pendant le chargement : AC
- Roulage en charge : RC
- Vidage : V
- Roulage à vide : RV
- Les temps de manœuvre sont intégrés dans ces temps de base.

Attente pendant le chargement : AC

Elle est fonction de l'outil de chargement. Il est nécessaire de déterminer le nombre de godets nécessaires au remplissage du tombereau.

A°) à partir des poids : $\frac{\text{capacité de charge du tombereau}}{\text{Poids de matériaux dans le godet}} = \text{Nombre de godets}$

B)) à partir des volumes $\frac{\text{volume utile de la benne}}{\text{Volume utile du godet}} = \text{Nombre de godets}$

Il sera pris en compte le plus petit nombre de godets chargés arrondi au nombre entier supérieur. Nota : une grande différence entre les deux chiffres s'explique par la présence de matériau de faible densité dont le foisonnement est très important.

Dans ce cas, des rehausses peuvent être montées sur les bennes, en accord avec les constructeurs et en vérifiant la stabilité du tombereau (position du centre de gravité).

Recommandation

Il est impératif de respecter le Poids Total en charge donné par les constructeurs car la sécurité, les coûts d'exploitation et la durée de vie en dépendent.

Attente pendant le chargement

$$= \text{nombre de godets} \times \text{temps de cycle de la machine de chargement}$$

Roulage en charge : RC

La pente équivalente totale est déterminée pour la phase considérée. Le tableau page suivante permet de déterminer le temps de roulage.

Vidage : V

En simplifiant, dans des conditions normales, le temps de vidage sera :

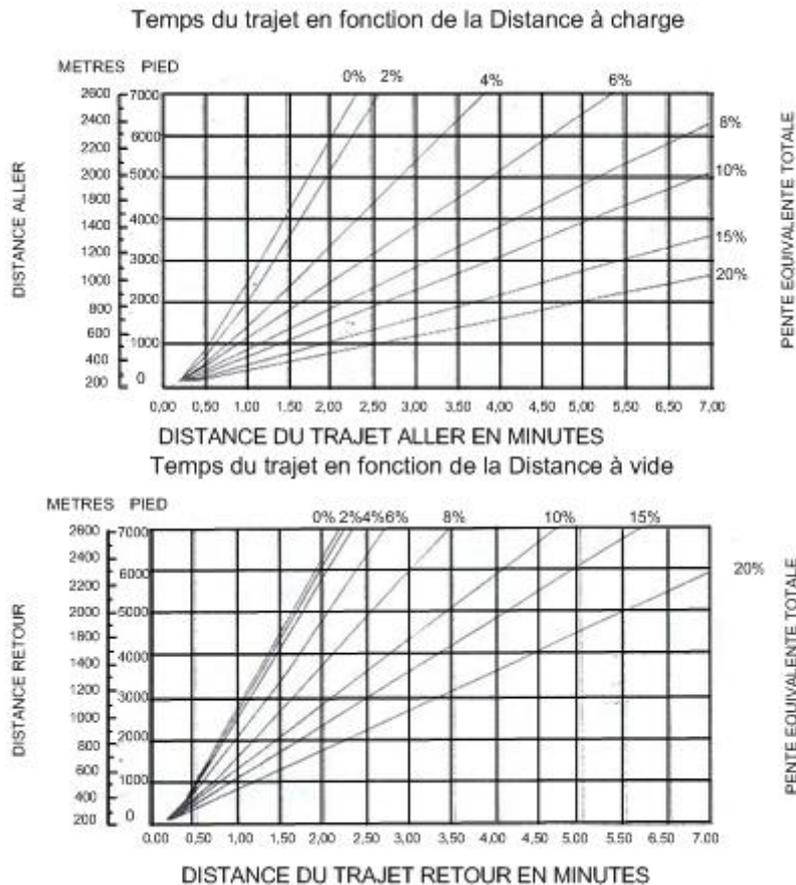
- 1 min pour les tombereaux jusqu'à 85 t,
- -1,5 min : pour les tombereaux au-dessus de 85 t.
- Ces temps intègrent les temps des divers manœuvres liées à la phase de vidage.

Temps de roulage à vide : R_v

La pente équivalente totale est déterminée pour la phase considérée.

Temps de cycle total :

$$\text{temps de cycle} = AC + RC + V + RV$$



Production théorique :

Nombre de cycle : $N = \frac{3600 \text{ s}}{\text{Temps de cycle en s}}$ (arrondi à l'unité inférieure)

Production théorique = volume dans la benne x N ou Charge utile x N

Remarque : On constate un accroissement de la taille des tombereaux exploités justifié pour des raisons économiques : moins de machines, donc moins de chauffeurs...

Avant de prendre une telle décision, il est important de vérifier les points suivants :

- Capacité de l'installation à absorber un débit instantané plus élevé.
- Capacité des trémies de recette à recevoir des volumes déversés plus élevés.
- Vérifier le temps d'attente des tombereaux au vidage : faire des chronométrages.
- Faire un bilan qualifié.

En conclusion

Ne pas utiliser des tombereaux plus grands dans les carrières où les machines en service ont déjà des attentes élevées au vidage. Ne pas surinvestir et créer des temps d'attente supplémentaires sous prétexte de faire l'économie d'un salaire.

Production instantanée

Les paramètres liés aux conditions instantanées sont :

- Nature du travail
 1. Coefficient de remplissage :

Les matériaux dans la benne sont foisonnés. Dans le cas de faible densité, le tombereau roulera à la charge nominale ou au volume maximum de la benne. C'est le nombre de godets et le poids dans chaque godet qui définissent la charge ou le volume dans la benne : il faut reprendre les valeurs définies au § « attente pendant le chargement » : nombre de godets x poids dans le godet ou volume de godet.

<Noya. Il est souhaitable que le nombre de godets ne conduise pas à des pertes de matériaux sur les pistes.

2. Exploitation du matériel

Facteur de conduite : C

Conducteur	Expérience		
	Très bonne	Moyenne	Aucune
	1	0,95	0,85

Facteur temps de travail : d

Les tombereaux sont très souvent dans la chaîne production entre la machine d'extraction ou de chargement et une trémie de recette.

Par ailleurs, tous les incidents se répercutent par des attentes des tombereaux, d'autant plus importante que leur nombre dans la chaîne est élevé et que leurs parcours sont variables.

Les différences de taille entre les tombereaux travaillant dans le même cycle provoquent des perturbations dans le cycle de production (temps de chargement, temps de roulage).

Le facteur d est estimé comme suit :

- Pas d'attente au chargement, au vidage, conditions de roulage bonnes et sans difficulté de croisements sur des pistes très bonnes : 60 min/h=d=1.
- Légère attente au chargement, conditions de roulages correctes, avec un espacement moins régulier entre les tombereaux : 50 min/h=d=0,83.
- Attente au chargement, au vidage, piste présentant des difficultés de roulage, de croisements, parc hétérogène ; 40 min/h=d=0,67.

La production instantanée est définie par : $P_{in} = N \times B \times C \times d$

Où : N= poids ou volume réel dans la benne

C : facteur de conduite

D= facteur temps de travail (en moyenne on prend 0,83 soit 50 min/h).

Production industrielle

Elle est fonction de la chaîne. Il est important d'intégrer les facteurs liés à la machine de chargement. En théorie, il faut prendre en compte la disponibilité de l'outil de chargement et la disponibilité propre du tombereau. Mais en pratique, ce mode de calcul est très pénalisant pour la production du tombereau. Mais, en pratique, ce mode de calcul est très pénalisant pour la production des tombereaux et peut conduire à un excédent de matériel de transport.

Nous retiendrons plutôt la disponibilité de l'outil de chargement et la fiabilité du tombereau :

Production industrielle = $P_{ins} \times \text{disponibilité chargement} \times \text{fiabilité tombereau}$

- Disponibilité chargement (voir paragraphe chargement)

- *Fiabilité tomberau = $\frac{HM}{HM+HP} \times 100$*

Où : HM = heure de marche compteur

HP=heure de panne

Transport par camion (Transport cyclique)

Les camions peuvent être employés pour le transport dans les carrières lorsque les distances sont faibles (2 à 5 km). Le plus souvent les camions servent au transport du minerai et plus rarement pour les stériles. Les camions sont généralement à benne basculante et se déchargent vers l'arrière. La benne est mue par un mécanisme hydraulique qui l'incline à 60°.

Des bonnes routes sont nécessaires pour utiliser pleinement les camions et éviter leur usure rapide ; il n'est pas nécessaire d'avoir des routes en bon état pour les tracteurs à chenille qui par contre se déplacent beaucoup plus lentement : leur vitesse atteint 50 km/h.

Les camions peuvent être largement utilisés pour le transport du minerai lorsqu'on exploite en employant le transfert (c'est-à-dire lorsque les stériles sont directement rejetés dans le vide créé par l'exploitation).

Méthode rétro

L'extraction se fait sur le plan d'appui de la pelle.

La pelle est sur le gisement à extraire.

Elle extrait les matériaux sur des tombereaux roulant :

- a) Sur la banquette inférieure : temps de cycle plus court ;
- b) Sur le toit du gisement avec un chargement à couple : temps de cycle le plus long.

Les conditions de roulage imposent les choix entre les solutions a) et b).

→ Les contraintes principales pour le matériel sont :

- La pression au sol
- La cinématique
 - Avantages
- Temps de cycle court.
- Bonne visibilité permettant une bonne répartition du chargement dans les tombereaux
- Possibilité de tri des matériaux
- Investissement moins élevé si la nature des matériaux ne nécessite pas un châssis renforcé (travaux de terrassement en découverte)
 - Inconvénients :
- Mauvaise visibilité du front
- La hauteur du gradin est liée à la cinématique
- Difficulté de récupérer les matériaux hors de portée pouvant se situer dans la zone de roulage
- Une bonne tenue en place des matériaux est nécessaire (même après minage !) une bonne homogénéité des matériaux est favorable à cette méthode.

Méthode butte

L'extraction se fait au-dessus du plan d'appui de la pelle. La pelle est sur le carreau. Elle extrait les matériaux avec en direct avec ou après abattage. Le chargement se fait sur des tombereaux à couple.

→ Les contraintes principales pour le matériel sont :

- L'adhérence.
- Les hauteurs de vidage
- -> Bonne visibilité des fronts
- Nettoyage possible de la piste de roulage autour du point de chargement.
- Nettoyage des pieds de front.
- Concassage possible des blocs par chute
- Recul rapide possible de la machine par rapport au front avec l'équipement en protection

- → Inconvénients :
- Temps de cycle plus long
- Chargement diddemetrique des tombereaux (le godet a trappe réduit ce problème).
- Difficulté de purger le front
- Investissement plus élevé (coût de l'équipement=
- La bonne assise du matériel impose une plateforme bien réglée.

Méthode mixte

L'extraction se fait au-dessus et au-dessous du plan d'appui de la pelle (mixte)

Les contraintes principales pour le matériel sont :

La tension et la flexion sur le châssis

Les bacs sur les réducteurs de translation et l'usure du godet dans les matériaux abrasifs.

Avantages

- Temps de cycle en chargement court
- Purge des fronts facile
- Bonne répartition des charges sur les tombereaux
- Investissement inférieur à l'équipement en butte mais châssis renforcée nécessaire (H.D)
- Recul rapide possible de la machine par rapport au front avec l'équipement en protection.

Inconvénients

- Mauvaise visibilité du front.
- La hauteur du gradin est liée à la cinématique
- Difficulté de pouvoir récupérer les matériaux se trouvant hors de portée pouvant se situer dans la zone de roulage.
- La création de plateforme et sa destruction à l'avancement oblige à manipuler une partie du matériau deux fois.
- Evacuation rapide impossible en cas de glissement du front.
- Concassage secondaire pour les grosses machines

Conclusion

Avant d'opter pour une méthode, il est important de faire l'analyse objective des avantages et des inconvénients de chaque méthode.

Il faut se méfier des modes ou argumentaires tout faits en faveur d'une méthode.

Le manque d'objectivité traduit, souvent un manque d'expérience sur une méthode, des produits non performants dans un type d'équipement ou des prix mal situés dans le marché.

L'exploitant se doit de faire sa propre étude et de rechercher des informations objectives auprès d'autres exploitants.

L'examen des gammes montre que les constructeurs proposent les deux types d'équipement à partir de 40t minimum

Par ailleurs toutes les grosses pelles ont des châssis renforcés communs à tout l'équipement (série H.D)

Types de manutention

A. Manutention manuelle

Dans certaines opérations à petite échelle ou lors de tâches spécifiques, la manutention manuelle peut être utilisée. Cependant, cette méthode est de plus en plus rare dans les grandes exploitations minières et les carrières en raison des contraintes de sécurité et de productivité.

B. Manutention mécanique

Elle englobe l'utilisation d'équipements motorisés pour déplacer des matériaux. Cela peut inclure :

- **Convoyeurs** : Utilisés pour le transport continu des matériaux extraits, les convoyeurs sont courants dans les mines et les carrières. Ils permettent de déplacer les matériaux sur de longues distances avec une efficacité énergétique relativement élevée.
- **Chargeuses sur pneus** : Ces machines sont utilisées pour charger les camions ou pour déplacer les matériaux dans des zones de stockage ou de traitement.
- **Excavatrices et pelles** : Équipées de grandes bennes, elles sont utilisées pour extraire et charger rapidement de grandes quantités de matériaux.
- **Grues et systèmes de levage** : Dans les mines souterraines ou dans des opérations spécialisées, les grues peuvent être utilisées pour soulever des équipements lourds ou des matériaux.

2. Types d'équipements de manutention

A. Systèmes de convoyage

- **Convoyeurs à bande** : Utilisés dans les mines à ciel ouvert et souterraines, ils permettent de transporter de grandes quantités de matériaux sur des distances longues, limitant le besoin de camions.
- **Convoyeurs à godets** : Utilisés pour des matériaux plus fins, comme le sable ou les petits graviers, ils fonctionnent par cycles en déplaçant des volumes spécifiques de matière.
- **Convoyeurs inclinés** : Ces convoyeurs permettent de transporter les matériaux d'un niveau plus bas à un niveau plus élevé, notamment dans les exploitations souterraines ou pour des installations de traitement situées en hauteur.

B. Équipements de levage et de chargement

- **Pelles mécaniques** : Elles sont couramment utilisées pour extraire des matériaux dans les carrières et les charger dans les camions ou sur les convoyeurs.
- **Chargeuses sur chenilles ou sur pneus** : Elles facilitent le déplacement des matériaux dans les zones de stockage temporaire ou pour les charger dans des camions.
- **Chariots élévateurs** : Utilisés principalement dans les zones d'entreposage, ils servent à manipuler des charges plus petites ou des produits transformés.

C. Véhicules de transport spécialisés

- **Camions bennes** : Ils sont utilisés pour transporter de grandes quantités de matériaux sur des distances relativement courtes, de la zone d'extraction vers les usines de traitement ou les stocks.
- **Véhicules de transport minier** : Ce sont des camions plus grands et souvent plus spécialisés que ceux utilisés dans les autres industries, adaptés aux environnements miniers accidentés.

3. Méthodes de manutention selon le type de mine ou de carrière

A. Mines à ciel ouvert

- La **manutention mécanique** prédomine, avec l'utilisation de camions bennes, de chargeuses et de systèmes de convoyeurs pour le transport des matériaux depuis les zones d'extraction vers les unités de traitement ou de stockage.
- Les **bennes de grande capacité** (jusqu'à plusieurs centaines de tonnes) sont fréquemment utilisées pour optimiser la quantité de matériaux déplacés à chaque voyage.

B. Mines souterraines

- Les **convoyeurs inclinés** et les **systèmes de rail** sont souvent utilisés pour acheminer les matériaux vers la surface.
- Les **véhicules de transport compacts**, adaptés aux espaces restreints et aux routes accidentées des mines souterraines, sont indispensables pour assurer une manutention efficace dans des environnements confinés.

C. Carrières

- Les carrières utilisent fréquemment des **pelles mécaniques**, des **chargeuses** et des **convoyeurs** pour déplacer les pierres, le gravier et le sable. Les matériaux extraits sont souvent transportés sur de courtes distances vers des installations de concassage ou de traitement.

4. Automatisation et technologies avancées

- De plus en plus, les exploitations minières et les carrières adoptent des **systèmes automatisés** pour la manutention des matériaux. Cela inclut des convoyeurs automatisés, des camions sans chauffeur, et des systèmes de levage robotisés.
- **Systèmes de gestion de la manutention** : Ces logiciels permettent de surveiller en temps réel les flux de matériaux, d'optimiser les itinéraires des camions et de réduire les coûts d'exploitation.
- **Capteurs et télémétrie** : Les capteurs intégrés dans les équipements de manutention permettent de suivre l'état des machines, prévenir les pannes, et assurer une maintenance préventive.

5. Sécurité et enjeux environnementaux

A. Sécurité

- Les opérations de manutention impliquent souvent de manipuler des charges lourdes et volumineuses. Par conséquent, des **normes strictes de sécurité** doivent être respectées pour minimiser les accidents liés à la manutention.
- **Formation des opérateurs** : Les employés doivent être formés à l'utilisation des machines, à la gestion des charges et aux mesures de sécurité spécifiques à chaque équipement.
- **Prévention des accidents** : Des dispositifs de sécurité, tels que les systèmes anti-collision et les systèmes d'arrêt d'urgence, sont couramment installés sur les équipements de manutention.

B. Impact environnemental

- La manutention des matériaux peut avoir un impact sur l'environnement, notamment à cause des émissions de gaz à effet de serre générées par les machines. Les entreprises minières cherchent de plus en plus à réduire cet impact en utilisant des **équipements électriques ou hybrides**, ou en optimisant la gestion des flux de matériaux pour limiter la consommation d'énergie.
- La **poussière** générée lors de la manutention est également un enjeu important dans les carrières. Des systèmes de **contrôle de la poussière** sont souvent utilisés, comme des pulvérisateurs d'eau ou des dispositifs de filtration d'air.

6. Coût et efficacité de la manutention

- Le coût de la manutention représente une part importante du coût global d'exploitation des mines et des carrières. L'optimisation des **itinéraires** et la **réduction des temps d'arrêt** des machines sont des éléments clés pour maîtriser ces coûts.
- **Maintenance préventive** : Une gestion rigoureuse de la maintenance des équipements permet de réduire les pannes et d'augmenter la durée de vie des machines, contribuant ainsi à améliorer la rentabilité des opérations.

En résumé, la manutention dans les mines et carrières repose sur une combinaison de méthodes et d'équipements sophistiqués pour assurer l'efficacité, la sécurité et la durabilité des opérations. L'évolution vers des technologies plus automatisées et écologiques contribue à améliorer les performances tout en réduisant l'impact environnemental.

CHAPITRE MISE à TERRIL

1. Qu'est-ce qu'un terril ?

- Un terril est une accumulation de roches, de déblais et de résidus non exploitables, également appelés **stériles**, qui sont extraits lors du processus minier. Ces matériaux ne contiennent pas suffisamment de minerai pour être traités et sont donc déposés en dehors des zones d'extraction.
- Ils peuvent aussi contenir des déchets issus du processus de concentration et de traitement des minerais, appelés **résidus**. Ces résidus peuvent contenir des produits chimiques utilisés dans le traitement du minerai, comme le cyanure ou les acides.

3. Types de terrils

- **Terrils de stériles** : Ce sont les accumulations de matériaux sans valeur économique (roches, gravats) qui proviennent des travaux d'excavation. Ces terrils peuvent parfois être réutilisés pour d'autres fins (construction de routes, remblayage, etc.).
- **Terrils de résidus miniers** : Ils résultent du processus de traitement du minerai, après que le minerai utile a été extrait. Ces terrils peuvent contenir des éléments chimiques potentiellement dangereux et doivent être gérés de manière stricte.
- **Terrils charbonniers** : Dans le cas des mines de charbon, ces terrils peuvent contenir des fragments de charbon mélangés à des roches stériles. Ils ont la particularité de pouvoir s'enflammer spontanément en raison de la présence de carbone et de chaleur interne.

4. Gestion des impacts environnementaux

A. Gestion des risques de contamination

- **Dérive des particules fines** : Les terrils peuvent générer de la poussière fine, susceptible de se disperser dans l'environnement, posant ainsi des problèmes de qualité de l'air et de santé publique. Des systèmes de contrôle de la poussière, comme la pulvérisation d'eau, peuvent être mis en place.
- **Drainage minier acide (DMA)** : Les roches sulfureuses présentes dans certains terrils peuvent réagir avec l'air et l'eau pour former des acides. Ce drainage minier acide est une des plus grandes menaces environnementales des terrils, car il peut contaminer les eaux souterraines et de surface. Des systèmes de drainage et des bassins de décantation sont souvent nécessaires pour gérer ce problème.
- **Infiltration de produits chimiques** : Les résidus miniers contenant des produits chimiques, comme le cyanure ou les acides utilisés dans le traitement du minerai, peuvent s'infiltrer dans les sols ou les nappes phréatiques si les terrils ne sont pas correctement confinés.

B. Réhabilitation des terrils

- **Reboisement et végétalisation** : Une des méthodes les plus courantes de réhabilitation des terrils consiste à les recouvrir de terre fertile et à planter de la végétation. Cela permet de stabiliser le sol, de réduire l'érosion et de réintégrer le site dans l'écosystème local.
- **Stabilisation des sols** : Des techniques de stabilisation, telles que l'ajout de ciment ou de chaux, peuvent être utilisées pour solidifier les terrils et prévenir les glissements de terrain ou l'effondrement.
- **Couverture de géomembranes** : Dans certains cas, des membranes imperméables sont installées pour empêcher l'infiltration des eaux de pluie et réduire les risques de drainage acide ou de fuite de produits chimiques.

5. Sécurité des terrils

A. Stabilité des terrils

- Les terrils, en particulier ceux de grande taille, peuvent présenter des risques d'effondrement ou de glissement de terrain. La conception et la gestion des terrils doivent prendre en compte la géologie du site, la composition des stériles, et les conditions climatiques.

- **Surveillance** : Des capteurs de pression, des caméras de surveillance et d'autres systèmes sont souvent utilisés pour surveiller en temps réel la stabilité des terrils et anticiper les mouvements dangereux.

B. Incendies dans les terrils charbonniers

- Les terrils issus des mines de charbon peuvent s'enflammer spontanément en raison de la présence de résidus de charbon. Ces incendies peuvent être dangereux et difficiles à éteindre, et ils peuvent durer des décennies. Des systèmes de surveillance thermique et des techniques d'extinction spécialisées sont utilisés pour gérer ces incendies.

6. Réglementations et responsabilités

A. Normes et réglementations environnementales

- Les gouvernements imposent généralement des normes strictes concernant la gestion des terrils, notamment pour les résidus toxiques. Les exploitants miniers doivent se conformer à ces règles en matière de stockage, de contrôle des effluents et de réhabilitation des sites.
- **Permis d'exploitation** : Les exploitants miniers doivent obtenir des permis spécifiques pour la gestion des terrils, incluant souvent des plans de surveillance à long terme et des obligations de réhabilitation après la fin de l'exploitation.

B. Responsabilité sociale et environnementale

- Les entreprises minières sont de plus en plus conscientes de leur impact sur l'environnement et les communautés locales. La gestion des terrils fait souvent partie de leur politique de responsabilité sociale et environnementale (RSE), et des efforts sont faits pour minimiser les risques à long terme liés aux déchets miniers.

7. Utilisations alternatives des terrils

- Dans certains cas, les terrils peuvent avoir une seconde vie :
 - **Exploitation touristique** : Certains anciens terrils sont transformés en parcs ou en sites de randonnée.
 - **Matériaux de construction** : Les roches stériles peuvent être recyclées et utilisées dans les travaux de construction, par exemple pour la fabrication de routes ou de digues.
 - **Valorisation énergétique** : Les résidus de charbon présents dans les terrils peuvent être réutilisés comme source d'énergie dans certaines industries.

8. Défis et opportunités

A. Défis

- La gestion des terrils est complexe en raison des risques environnementaux, des coûts élevés de confinement et de réhabilitation, et des besoins en surveillance à long terme.
- Les sites miniers doivent faire face à la gestion d'énormes volumes de matériaux tout en garantissant la sécurité et la durabilité des opérations.

B. Opportunités

- L'innovation dans les technologies de confinement, le recyclage des résidus miniers, et la réhabilitation des terrils offre de nouvelles perspectives pour une gestion plus durable.
- Les opportunités d'utiliser ces espaces à d'autres fins, comme des parcs ou des projets d'énergie renouvelable, contribuent à la valorisation des terrils post-exploitation.

En résumé, la mise à terrils dans les mines est un processus complexe nécessitant une gestion rigoureuse pour minimiser les risques environnementaux et assurer la sécurité des opérations. Les innovations en matière de technologie, de surveillance, et de réhabilitation permettent aujourd'hui de mieux gérer ces déchets miniers tout en envisageant des solutions plus durables pour l'avenir.

Les différentes techniques de mise à terrils dans les mines et carrières sont utilisées pour gérer et stocker les stériles et résidus miniers extraits au cours de l'exploitation. Ces techniques visent à optimiser l'utilisation de l'espace, à réduire les impacts environnementaux, et à garantir la sécurité du site minier. Voici les principales techniques de mise à terrils :

1. Empilement par couches successives

- **Description** : Cette méthode consiste à déposer les stériles ou résidus miniers en couches successives, créant ainsi un monticule ou une colline.
- **Avantages** : Simple à mettre en œuvre, elle est adaptée aux zones où il y a suffisamment d'espace.
- **Inconvénients** : Ce type d'empilement peut provoquer de l'érosion, des problèmes de drainage, et des risques de glissements de terrain si le site n'est pas correctement conçu.

2. Terrassement en plateaux

- **Description** : Dans cette méthode, le terril est aménagé sous forme de terrasses ou de niveaux. Les matériaux sont déposés en pente douce sur chaque niveau, facilitant ainsi la stabilisation des matériaux et la gestion des écoulements d'eau.
- **Avantages** : Améliore la stabilité du terril et facilite le contrôle des eaux de ruissellement, réduisant ainsi les risques d'érosion.
- **Inconvénients** : Plus complexe à mettre en place et nécessite un suivi constant pour éviter les accumulations d'eau et les affaissements.

3. Remblayage dans les fosses ou galeries épuisées

- **Description** : Les matériaux de stériles ou les résidus sont déposés directement dans les anciennes fosses ou galeries d'extraction, généralement après la fin de l'exploitation.
- **Avantages** : Cette méthode permet de réutiliser les espaces déjà excavés, réduisant ainsi la surface de terre nécessaire pour les terrils.
- **Inconvénients** : Nécessite une analyse minutieuse pour éviter les affaissements ou la contamination des eaux souterraines.

4. Stockage sous eau

- **Description** : Les résidus miniers, particulièrement ceux contenant des substances chimiques (comme le cyanure ou les métaux lourds), sont stockés sous une couche d'eau dans des bassins de confinement.
- **Avantages** : La couverture d'eau réduit la dispersion de la poussière et minimise les réactions chimiques (comme le drainage acide) avec l'air, réduisant ainsi les risques environnementaux.
- **Inconvénients** : Le risque de rupture des barrages ou de fuites doit être soigneusement surveillé. Cela peut également nécessiter une gestion à long terme pour maintenir les niveaux d'eau adéquats.

5. Systèmes de confinement géotechnique

- **Description** : Cette méthode consiste à entourer les résidus miniers par des **géomembranes**, des barrages en terre ou des murs de confinement pour empêcher la dispersion des matériaux et les infiltrations d'eau.
- **Avantages** : Très efficace pour prévenir la contamination de l'environnement par les résidus toxiques ou acides. Elle réduit également les risques d'effondrement.
- **Inconvénients** : Coûteux et nécessite une maintenance régulière pour éviter la dégradation des systèmes de confinement.

6. Mise en terril avec stabilisation des sols

- **Description** : Les résidus ou stériles sont mélangés avec des matériaux stabilisants comme de la chaux ou du ciment, afin d'améliorer la cohésion du sol et de réduire les risques de glissements ou d'effondrement.

- **Avantages** : Cette technique améliore la stabilité à long terme du terril, réduit les risques d'érosion et peut également limiter les infiltrations d'eau.
- **Inconvénients** : Elle peut augmenter le coût des opérations et nécessite un suivi pour garantir la stabilité continue.

7. Reboisement et couverture végétale

- **Description** : Après la mise en terril, une couverture de sol fertile et des plantes (généralement des espèces locales) sont utilisées pour recouvrir le terril.
- **Avantages** : Favorise la stabilisation du sol, limite l'érosion, et aide à réintégrer le site dans l'environnement naturel. Cette méthode est aussi une approche de réhabilitation écologique.
- **Inconvénients** : Peut prendre du temps pour être pleinement efficace et nécessite un entretien initial pour s'assurer que la végétation prend bien racine.

8. Dépôts en cuvette ou vallée

- **Description** : Utilisée principalement dans les zones montagneuses, cette technique consiste à déposer les résidus dans des cuvettes naturelles ou des vallées pour profiter de la topographie pour le confinement naturel.
- **Avantages** : Réduit le besoin de grandes structures artificielles et peut être une solution économique et naturelle.
- **Inconvénients** : Il existe des risques de contamination de l'environnement local si les matériaux ne sont pas correctement confinés. La gestion des écoulements d'eau est également cruciale.

9. Décharges à ciel ouvert contrôlées

- **Description** : C'est une méthode plus moderne qui combine le dépôt des résidus à ciel ouvert avec un contrôle rigoureux des flux d'eau et de l'érosion. Des géomembranes et des systèmes de drainage sont souvent utilisés pour minimiser l'impact environnemental.
- **Avantages** : Réduit l'impact sur les eaux souterraines et de surface tout en offrant une gestion plus sécurisée des résidus.
- **Inconvénients** : Complexe et coûteux à mettre en œuvre, il nécessite une gestion continue et une surveillance post-fermeture.

10. Terrils temporaires

- **Description** : Parfois, des terrils sont créés temporairement et déplacés ou réutilisés ultérieurement, en particulier si de nouvelles méthodes d'extraction ou de valorisation des stériles deviennent disponibles.
- **Avantages** : Flexibilité dans la gestion des résidus miniers, et permet de minimiser les impacts en fonction des évolutions technologiques.
- **Inconvénients** : Nécessite des infrastructures pour le déplacement ultérieur des matériaux, ce qui peut être coûteux et énergivore.

Facteurs à considérer pour choisir une technique de mise à terril :

- **Topographie du site** : La forme du terrain et les caractéristiques géologiques déterminent souvent la meilleure méthode à utiliser.
- **Type de résidus** : Les résidus non toxiques peuvent être stockés de manière plus simple que les résidus chimiques ou acides, qui nécessitent des mesures de confinement.
- **Conditions climatiques** : Les régions avec des précipitations élevées ou un climat aride présentent des défis spécifiques en termes de gestion des eaux et de stabilisation.
- **Coût** : Certaines techniques, comme le confinement géotechnique, sont plus coûteuses, tandis que d'autres, comme l'empilement par couches, sont plus simples mais peuvent être moins durables.

- **Réglementations environnementales** : Les réglementations locales et internationales imposent souvent des normes strictes en matière de stockage des résidus miniers, en particulier dans les zones proches des sources d'eau.

En conclusion, la mise à terril dans les mines dépend de nombreux facteurs, et la meilleure technique à adopter est souvent un compromis entre efficacité, sécurité et coût. Les avancées technologiques, notamment en matière de confinement et de réhabilitation écologique, offrent aujourd'hui de nouvelles options pour limiter l'impact environnemental des terrils.