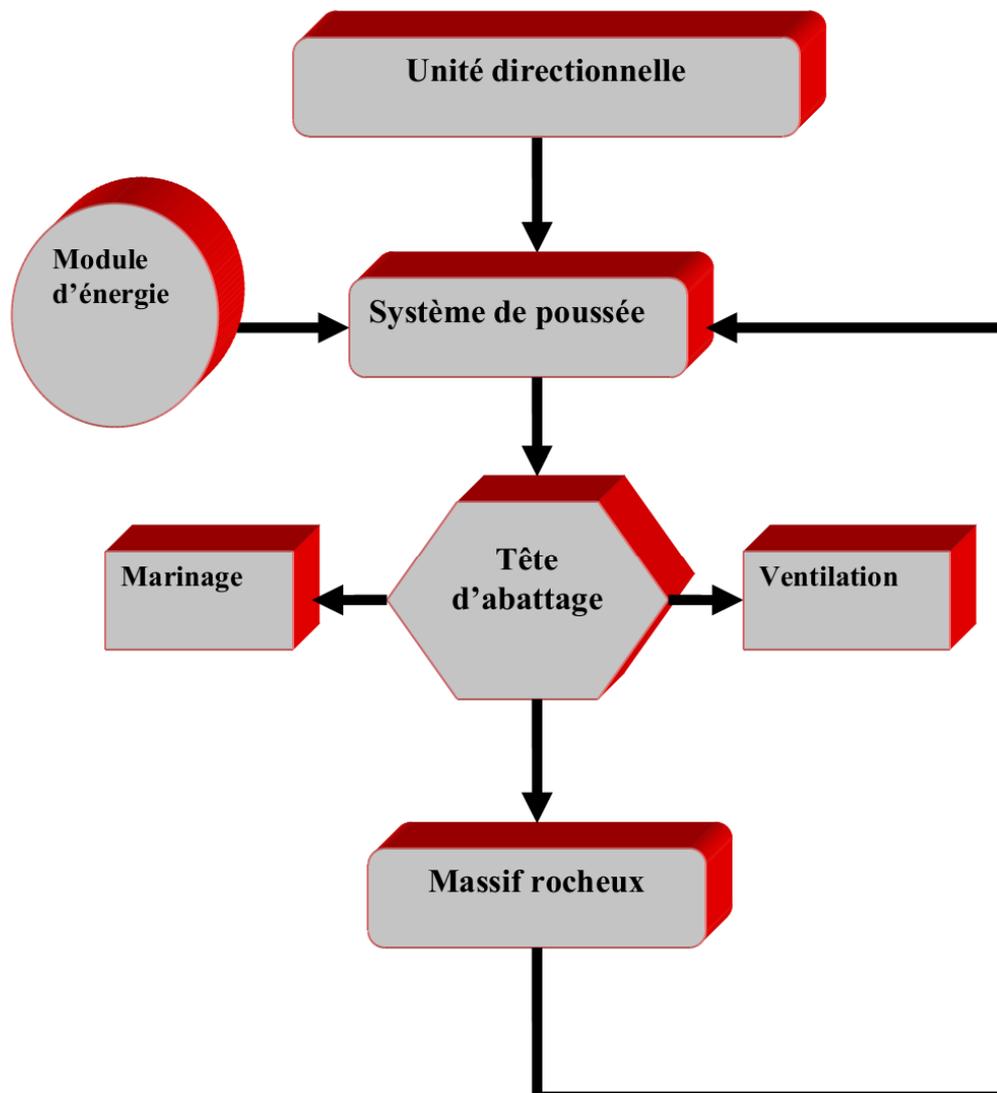


### ChpIII : SONDEUSE OU MACHINES DE FORAGES

#### Introduction générale sur les machines d'abattage et les sondeuses

Malgré la diversité des systèmes d'abattages existant et leurs domaines d'utilisations, on peut considérer que tout système est avant tout conçu pour détruire la masse rocheuse à l'emplacement de l'ouvrage projeté (le tunnel, la galerie, le puits, le forage, la saignée, etc.....) Ce système, qui peut être schématisé par la Fig.1., est toujours composé d'une tête d'abattage de la roche ; garnie de plusieurs éléments de coupe c'est-à-dire les outils qui sont en contact direct avec la roche au front de taille. Le système est muni d'un dispositif de poussée ainsi que d'un système directionnel permettant de suivre une trajectoire déterminée. Par ailleurs, le système est doté d'un module d'énergie, d'une unité d'évacuation de la roche extraite et si nécessaire d'un dispositif contre la poussière produite. Ces composantes, dont le principe reste grossièrement le même sur les divers systèmes d'abattage, doivent être adaptées le mieux possible à la nature du massif rocheux à abattre



On appelle forage l'ensemble des opérations permettant le creusement des trous généralement verticaux .l'utilisation principale des forages est la reconnaissance et l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz naturel. les autres utilisations , qui sont nombreuses, comprennent notamment : les forages géologique ou géophysiques pour la reconnaissance des gisement de minerais ; les forages destinés a la recherche des nappes d'eau profondes ,au drainage de gaz ou de l'eau dans les

exploitations minières ;les forages permettant l'injection de gaz dans des formations poreuses et perméables, pour réaliser dans des dômes de sel ,agrandis ensuite par l'injection d'eau douce et permettant le stockage de gaz liquéfiés comme le propane .alors que maintenant il est plus utilisé dans les mines et carrières pour l'abattage de roches soit pour extraire le minerai soit pour des granulats des calcaire par exemples dans beaucoup de carrières c'est-à-dire utilise plus pour l'exploitation minières a ciel ouvert ou en sous terrain

Alors le forage, c'est l'action de construire un trou de mine de forme cylindrique dans le massif par la destruction de la roche .le forage est effectué au moyen d'outils dont l'action peut-être le cisaillement, la coupe, etc. Selon le caractère de destruction des roches, il existe aussi le procédé physique a savoir : thermique ou hydraulique.

A partir du procédé de destruction des roches a trouvé une très large application lors des travaux miniers. Ce procédé peut être devise selon le travaille de l'outil et l'application des charges :

- destruction suivant le mode de forage rotatif.
- destruction suivant le mode de forage percutant.

L'apparition du 1<sup>er</sup> perforateur qui date de 1839 a permis de creuser un puits de 20m de profondeur .en 1857,l'ingénieur français sommelier a modifié une machine a vapeur en machine a forer qui fonctionne a l'aide de l'air comprimé . Cette machine a été utilisé lors du creusement d'un tunnel dans les hautes alpes (France) .le marteau utilisé comprenait un moteur propre pour la rotation du fleuret et le nettoyage de trou était assuré a l'aide d'un tube installé a coté du fleuret. La grande productivité réalisée par les perforateurs à accélérer leur perfectionnement, vers les allures que les marteaux actuels.

### **forage des trous de mines?"**

Les principaux facteurs qui influencent le choix de la méthode de forage sont les suivants:

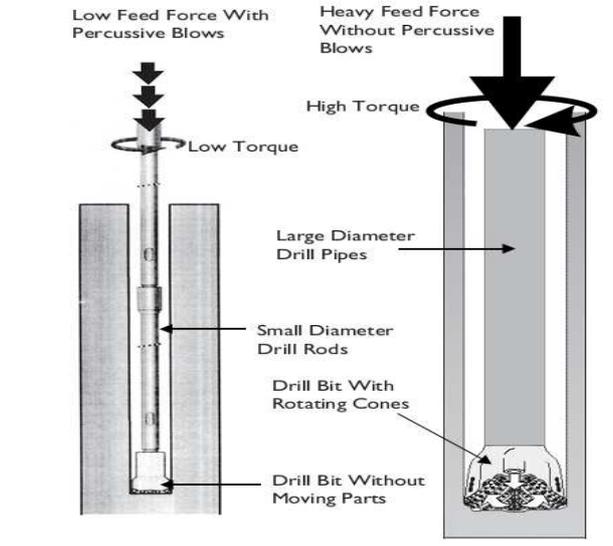
- 1 -Période pendant laquelle les opérations se poursuivent.
- 2- Diamètre du trou.
- 3- Profondeur du trou.
- 4- Caractéristiques de la formation à forer. (Propriétés intrinsèque de la roche surtout on se base sur l'indice de destruction ; indice de forabilité, est la dureté de la roches ou du terrain) .Les roches sont classe selon leurs duretés en général on a les roches :
  - Extrêmement dur Plus de 345 MPa
  - Très dure de 207-345 MPa
  - dure 103-207 MPa
  - Légèrement dure de 69-103 MPa
  - doux de 34-69 MPa
  - Très doux 7-34 MPa
  - Extrêmement doux ou souple Moins de 7 MPa
- 5-l'indice économiques (DA/mètre a foré) :

La machine de forage doit être choisie en fonction des objectifs du projet qui résulte d'un compromis optimal entre la puissance de la machine, la ligne d'outils et la résistance des horizons traversés. Pour permettre une bonne interprétation, le type et les caractéristiques de la sondeuse et de l'outil perforateur ne doivent pas changer pendant un même chantier. Les changements ou réparations d'outils, imposés par l'usure ou les conditions de terrains, devront être signalés pour être pris en compte dans l'interprétation des enregistrements. (Influence sur le diamètre et l'attaque). De même, il est conseillé de ne pas changer d'opérateur, car celui-ci peut avoir une forte influence sur les résultats. La pompe d'injection doit permettre un débit constant sous une pression maintenue constante et sans à-coups, et d'atteindre un

minimum de 3 MPa (sauf indication contraire). Le train de tiges ne doit pas présenter de fuites aux raccords et son diamètre ne doit pas changer pendant un même chantier.

Dans les laboratoires Théoriquement, il existe de nombreuses formes d'énergie qui ont été appliquées à une masse rocheuse pour sa désintégration, mais dans la pratique actuelle sur le terrain il ya que de l'énergie mécanique qui est largement utilisée.

Il existe Deux formes d'énergie mécanique, à savoir : Percussion et rotatif, sont utilisés pour le forage. En conséquence, ces deux méthodes sont appelées forage à percussion et forage rotatif. Pour forage à percussion l'énergie générée au forage est sous la forme de Coups répétés, comme ceux d'un marteau.



**Processus de forage.** Le forage est utilisé pour carottage ou pour destruction pour ce dernier l'outil de forage arrache les fragments de roche par abrasion ou par percussion

L'exploitation rationnelle des machines de forage demande une connaissance profonde de la nature du terrain. La résolution de ce problème demande une analyse détaillée du processus de forage. Alors que ce dernière est l'ensemble des opérations qu'on doit exécuter pour forer un trou, tel que : vitesse de rotation et d'avancement, force axiale et soufflage donnée à l'outil de forage.

La pénétration de l'outil dans la roche est soumise à certains paramètres tels que : - Nature de la formation (dureté, abrasivité, humidité, etc...) - Paramètres des travaux de tir (diamètre, du trou, angle d'inclinaison, type et quantité d'explosifs, distance entre les trous). - Paramètres de réglage (vitesse de rotation et poids exercé sur l'outil), ces paramètres sont limités par la puissance de commande et la hauteur des dents de l'outil. - Indices qui caractérisent l'organisation du travail (coefficient d'utilisation de la machine, temps de manœuvre). - Paramètre de sortie caractérisant les résultats de ce processus (prix du mètre foré, prix de mètre cube des roches abattues, vitesse de pénétration).

### **"Quelles méthodes devrait être utilisé pour le Machine utilisé**

Dans les roches tendre et d'une dureté moyenne le forage à percussion ne donne pas de bon résultats d'où l'utilisation des sondeuses rotatives entraîne par l'énergie électrique pneumatique et hydraulique sera mieux à adapter. Toute l'énergie est employée pour la rotation et la pénétration de l'outil de forage. Ce mode de forage utilise généralement les outils diamants surtout pour le forage profond ou des outils en carbure de tungstène.

Exemple couronnes diamantées : outil de coupe en acier au quel on a fixe sous forte pression et haute température une matrice contenant des grains en poudre de diamant sur la face de l'outil passe l'eau pour refroidir ou évacues les déblais arraché à la roche.

Dans la pratique réelle, le forage est effectué en utilisant un trépan de forage relié à la partie inférieure d'un train de tige. Qui se compose de tiges de forage, comme le montre la figure1. Un train de tiges souvent compose de certains autres éléments, non représentés dans la figure, qui ont des fins spécifiques.

Trépan de forage est destiné à interagir avec la roche. La chaîne de forage permet un approvisionnement continu du foret ou de taillant de sorte que la roche soit fracturée en continu et dans les profondeurs.

Comme le taillant interagit avec la roche et la fait briser, des débris de roche sont formés. Ces coupes sont écartées au moyen d'un fluide en circulation qui est pompé à travers le trépan. L'alésage central à tous les composants du train de tiges. Lorsque le fluide évacué à partir du bit et commence à se déplacer jusqu'à la surface du sol à travers l'espace annulaire, comme représenté sur la figure, il entraîne les déblais avec elle et les dépose sur la surface du sol. Ainsi, le taillant continue à casser de nouvelles portions de la roche.

**Outil de forage et moyen qui constitue la machine.**

**1-porteur** : camion, remorque, chenillard

**2-mat** : d'une longueur supérieure la tige

**3-têtes de rotation (moteur)** : couple, vitesse

**4-Table de rotation**

**5-Frein de tige**

**6-Treuil**

**7 Pompes**

**8-Compresseur**

**9-Réservoir à eau , etc.....**

## **1-Forage rotatif**

### **Introduction**

La construction des mécanismes de rotation et d'avancement déterminent les différences entre les divers types de sondeuses, les limites de variation des vitesses de rotation et d'avancement de l'outil de travail, les valeurs des charges axiales et des couples de rotation et la durée des opérations auxiliaires avant la mise en marche de la machine ou après le forage.

Le mécanisme de rotation peut être disposé en bas (sur la plate-forme, châssis) ou en haut (sur un chariot mobile) selon la répartition des charges sur le train des tiges.

Les machines de forages sont divisées selon le mode (c'est-à-dire selon le procédé de destruction de la roche et leurs destinations). Comme cité déjà dans les cours précédents. En trois modes à percussion ; rotatif et roto-percutant.

Pour ce qui concerne le forage rotatif dont ces machines sont destinées à forer des trous de mines (tir) et à la recherche géologique (carottage).

Selon leur construction sont identiques elles se différencient d'après l'outil de forage ou quelle option et opérations générées d'une machine à l'autre.

### **1-c'est quoi La technique Rotary ? :**

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920.

La technique rotary est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

Un outil appelé trillâmes (tricot) est mis en rotation depuis la surface du sol par

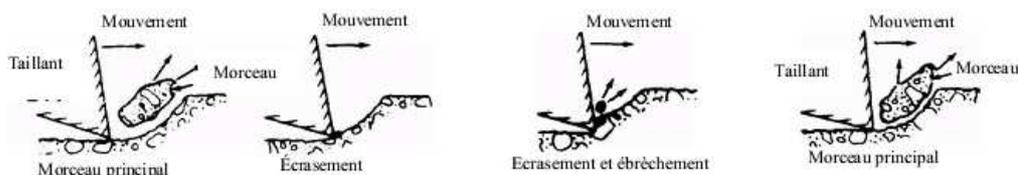
l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements).

Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil.

La circulation d'un fluide (air ou liquide = liquide visqueux : la boue) permet de remonter les déblais à la surface. Par exemple dans le forage du pétrole ou forage à l'eau. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore tubées et les maintient momentanément en attendant la pose de tubage.

Mais pour le forage dans les mines généralement la profondeur n'est pas grande alors l'utilisation du soufflage par air est la meilleure solution au dégagement des déblais ou débris.

La planification ou l'action de forage rotary de trépan à lames est effectuée par une série d'outils, y compris la lame et les exercices de diamant comme la corde, la chaîne. Indépendamment des géométries du dispositif, l'action de dragage sur la surface de découpage est assurée par deux forces : pousser, une charge statique agissant normalement, et le couple, le composant de force tangentielle du moment de rotation agissant sur la surface de roche.<sup>[28,38]</sup>



### Mécanisme de la pénétration par un outil rotatif.

Le mécanisme de la pénétration dans le forage rotary de trépan à lames est comme suit

1. Que le taillant en contact avec la roche, apparaît une déformation élastique
2. La roche est écrasée dans la zone haute contrainte à côté de taillant.
3. Les fissures propagent le long de la trajectoire de cisaillement sur la surface, formant des morceaux ;
4. Le taillant avance pour entrer en contact avec la roche en planche encore, déplaçant les fragments cassés.

## Mécanismes de manœuvre

### 1- mécanisme de rotation et d'avancement :

#### 1.1-Généralistes

Leurs constructions déterminent les différences entre les divers types des sondeuses ; alors que ces machines sont limitées par :

a- variation des vitesses des rotations et d'avancement de l'outil de travail.

b- les valeurs des charges axiales

c-couples de rotation

d- dures des opérations auxiliaires avant la mise en marche ou après le forage

-le mécanisme de rotation peut être disposé en bas (sur la plate-forme, châssis) ou en haut sur un chariot mobile.

-il existe d'après le procédé de la transmission de l'effort axial les schémas avec application des charges inférieures (par mandrin) ou supérieures agissant par la longueur de train de tige. Alors que pour les sondeuses à molette on peut citer trois mécanismes par mandrin, par broche et par rotor alors que le mécanisme avec broche avec avance à câble ou à chaîne est le plus utilisé.

#### Mécanismes de rotation

Ils sont composés d'un moteur et d'un réducteur ; il en existe deux du point de construction :

1-mécanisme qui se déplace avec le train de tige utilisé pour les sondeuses rotatives ; roto percutantes et thermiques

2-mécanisme fixe utilisé pour les sondeuses à molette ou la course de l'avancement est limitée

Dans le mécanisme de rotation on utilise des moteurs électriques à courant continu ou alternatif et des moteurs hydrauliques.

#### Mécanismes d'avancement :

Il existe les mécanismes d'avancements par gravité (sondeuses rotatives qui travaillent dans les roches tendres), par crémaillères (on a une grande course d'avancement), à câble (sondeuse percutante ou thermique) et par vérins pneumatiques (sondeuses percutantes)

alors que pour l'utilisation de mécanisme d'avancements par vérins hydraulique est nécessaire pour l'application de grands efforts axiaux

### Outil de travail

Pour le forage destiné pour le carottage on utilise des couronnes à différentes matières ; peut être une fraise à dents pour les roches tendres et à plaquettes en acier dur ou carbure de tungstène pour les roches dures et mi-dures alors que le diamanté utilise pour les roches très dures.

Pour le forage de destruction on utilise : des outils diamantés (carbone congelé artificiellement) ou tungstène.

### Taillants (Couronnes) :

On distingue plusieurs types de taillants, classés selon le nombre de tranchants, le mode de fixation, la forme de l'arrêt, le mode de renforcement par des alliages durs et la disposition des dents sur le corps, il y a des taillants avec une arête continue et avec des arêtes discontinues, dans le dernier cas on peut appliquer des dents amovibles.

Les taillants avec arête continue se renforcent des lames d'alliage dur 3, fixés directement sur le corps 2 qui possède une queue 1, le corps avec la queue présente une pièce coulée, la grande longueur de l'arête ne permet pas de créer des efforts spécifiques élevés ce taillant est destiné au forage des roches monolithes (sans fissures).

Les taillants étagés forment un front de sondage aussi étagé et diminuent la consommation d'énergie, le taillant de type KPB-1 (fig 1.4). Possède des dents amovibles 1, fixées sur le corps 2 à l'aide des goupilles il a une queue filetée et des canaux pour l'accès de l'air comprimé pour le nettoyage des débris du sondage. [1]

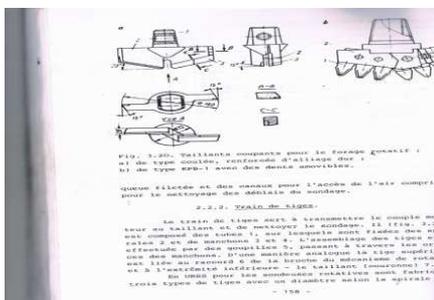
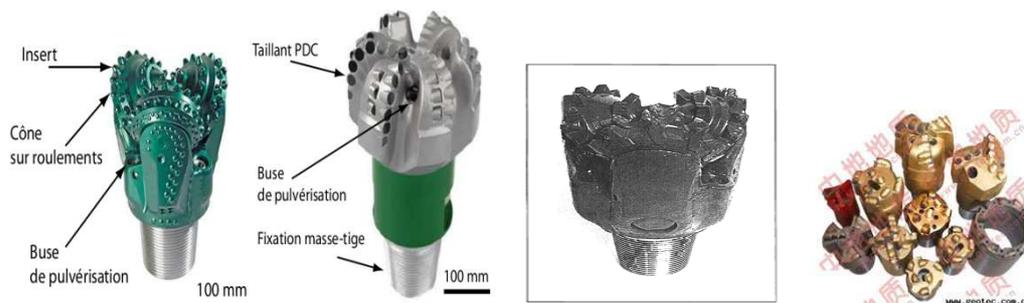
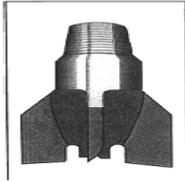


Fig. : outils à coupant

Deux familles d'outils de forage sont couramment utilisées sur les chantiers : les outils tricônes à inserts en carbure et les outils à taillants PDC (utilisés dans les machines à molette).





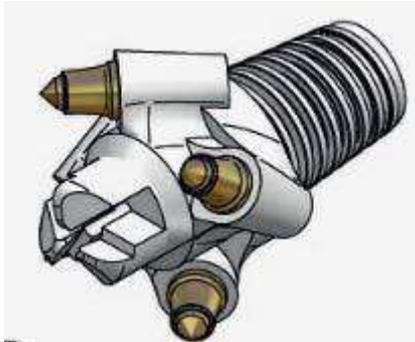
À lame. L'outil utilise pour le forage à outil coupant



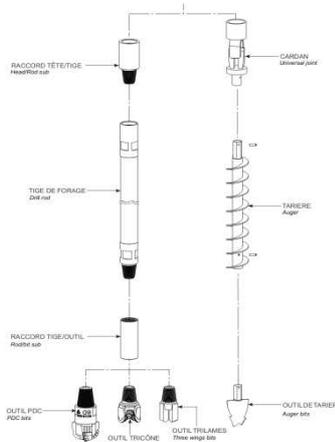
Figure 5.1 Chevron blade type drag bit.



Figure 5.2 Step blade type drag bit.



> SCHEMA DE PRINCIPE / PRINCIPLE SCHEME



**Le trépan** est une sorte de couteau en acier, trempé à basse température ; on le fait tourner d'un certain angle après chaque coup. Le trépan est muni d'une amorce centrale qui facilite l'attaque. Le trépan peut aussi être pourvu d'oreilles latérales qui alèsent le trou. Quand le diamètre du trou est un peu considérable, on se sert du trépan composé, formé de plusieurs couteaux ou trépan élémentaires.

### Les tiges

Train de tiges :

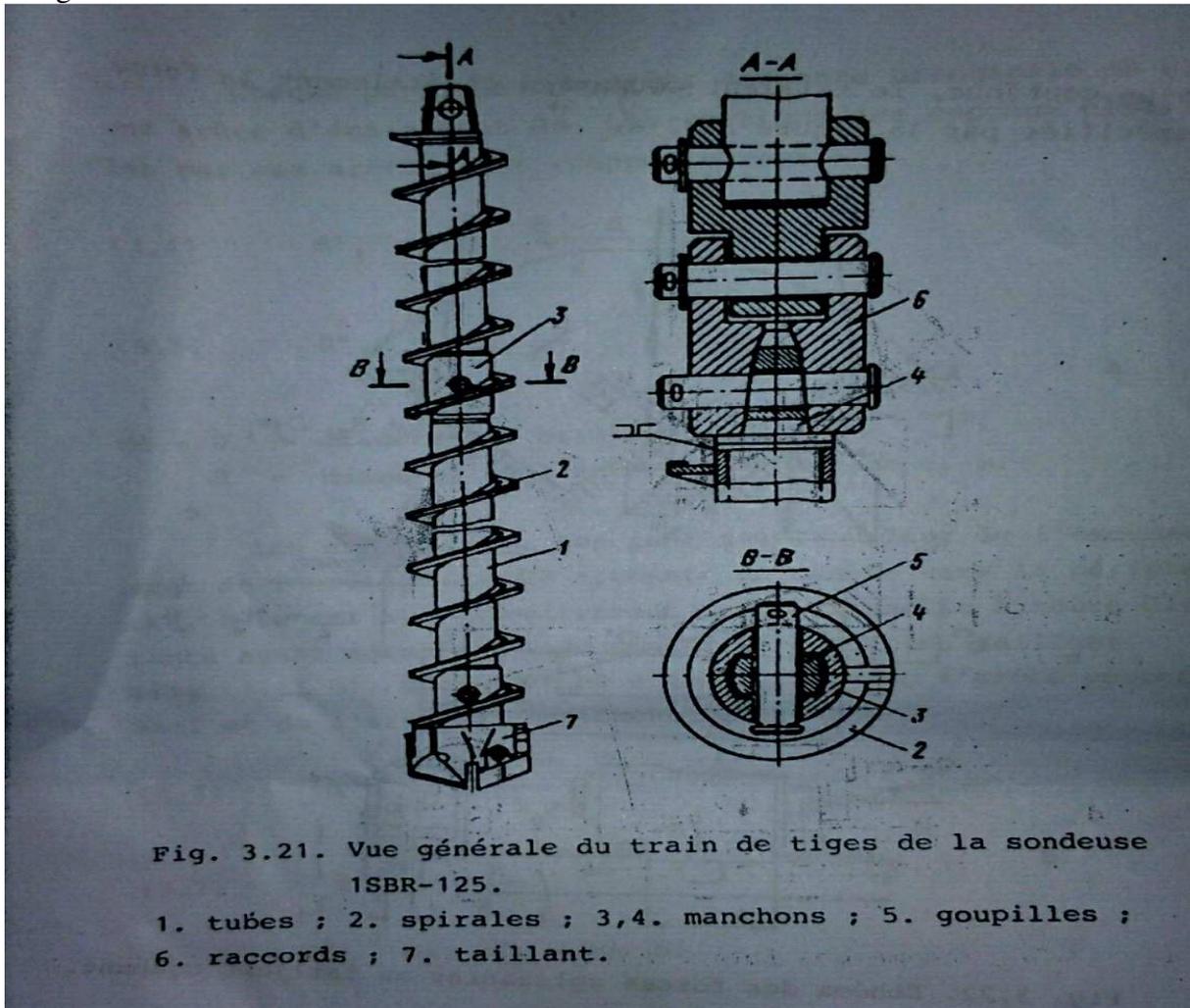
Sert à transmettre le couple moteur au taillant et de nettoyer le sondage ; compose des tubes (fixe sur eux des manchons et des spirales) l'assemblage de ces tiges est faite par des goupilles la tige supérieure de est liée à la broche du mécanisme de rotation

Peuvent être en fer plein, en bois, en fer creux ou en corde. Les tiges en fer plein, doux et estampé, sont à section carrée, octogonale ou ronde, d'une longueur qui atteint 12 mètres. On les assemble à enfourchement, ce qui permet un mouvement de rotation dans les deux sens, mais a l'inconvénient de nécessiter pour la réunion, des boulons qui peuvent tomber, ou bien par lui pas de vis, ce qui est plus simple, mais oblige à ne tourner les tiges que dans un sens déterminé, au risque de les dévisser.



Ces principales fonctions sont :

- Relier la tête d'injection et la dernière tige de forage
- Transmettre le mouvement de rotation au train de tiges
- Permettre la circulation du fluide de forage de la tête d'injection qui ne bouge pas à l'intérieur du train de tige en rotation



### Installation d'évacuation des déblais des sondages et de récupération des poussières

Les déblais sont évacués selon trois procédés : par hélices transporteuse ; par soufflage et par aspiration. Les deux premiers sont utilisés dans les sondeuses rotatives, le dernier est utilisé pour les sondeuses percutantes et à molettes.

#### Exigences techniques essentielles

- 1- Le taillant de forage, destiné à briser la formation rocheuse, doit avoir une adéquation entre la dureté, la résistance à la chaleur, la force, la ténacité, etc., de sorte qu'il peut continuer de travailler sur une longue période de temps.
- 2- une forme de l'énergie, de l'une des nombreuses formes possibles (pneumatique, hydraulique ou électrique ...), doit être fournie à l'outil pour amener la roche à la désintégration.
- 3- Le trépan de forage doit être mis en rotation pour assurer un trou circulaire, quelle que soit la section transversale du taillant.
- 4- Les composants de la chaîne de forage doivent aussi avoir des propriétés spécifiques à la force effectivement transférée (alimentation, couple de rotation, coups de percussion, etc.), sans excessive déformation.
- 5- Les débris de roche formés dans le procédé de formation doivent être pris hors du trou dès que possible, afin qu'ils ne gaspillent pas d'énergie en se faisant écraser encore une fois.
- 6- Le forage devrait être en mesure de fournir suffisamment d'énergie pour le foret à travers les composants de la chaîne pour provoquer la formation de fractures.
- 7- Le taillant de forage doit être avancé dans la direction prévue du forage.

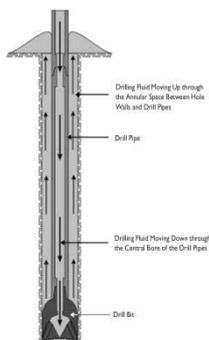
8 Les parois du trou, formé dans le forage a progresse, doivent être empêchés de effondrer l'intérieur du trou.

9- Après avoir atteint la profondeur de forage souhaitée, il doit être possible de retirer la garniture de forage composé de foret, tiges de forage et d'autres accessoires.

D'autres besoins environnementaux et économiques. Ceux-ci sont, des Boutures de très petite taille - sous la forme de poussière - générés pendant le processus de Forage, devrait être empêché de mélange avec l'air atmosphérique et polluer.

II- Le processus de forage devrait continuer à une vitesse optimale de façon à maintenir le coût de l'opération à un strict minimum.

III-Bruit généré par l'équipement de forage doit être maintenue à un faible et acceptable niveau.



Les paramètres principaux de la foration rotative sont les suivants

- Le soufflage,
- La poussée,
- La rotation.

## A/ Le soufflage

L'objectif du soufflage est d'évacuer les débris de foration à une vitesse supérieure à 15-20 m/s. Cette vitesse peut être calculée simplement en utilisant la formule suivante :

$$V = \frac{21.220.Q}{D^2 - d^2}, (m/s) \quad (1.1)$$

où :

V : vitesse ascensionnelle (m/s),

Q : débit d'air (m<sup>3</sup>/min),

D : diamètre de trou (mm),

d : diamètre des tiges (mm).

## B/ Poussée

L'objectif de la poussée est de maintenir en permanence l'outil en contact avec la roche. Celle-ci sera déterminée empiriquement en fonction de la nature de la roche et du diamètre de foration. L'augmentation de la poussée se traduit par une augmentation de la vitesse jusqu'à une certaine limite au-delà de laquelle la vitesse diminue.

## C/ Rotation

Contrairement à la foration roto percutante, la relation de l'outil en forage rotatif a pour objectif la destruction de la roche. La vitesse de rotation décroît avec le diamètre de l'outil, et la vitesse de pénétration croît avec le diamètre de l'outil, et la vitesse de pénétration croît avec la vitesse de rotation (fig.1.10).

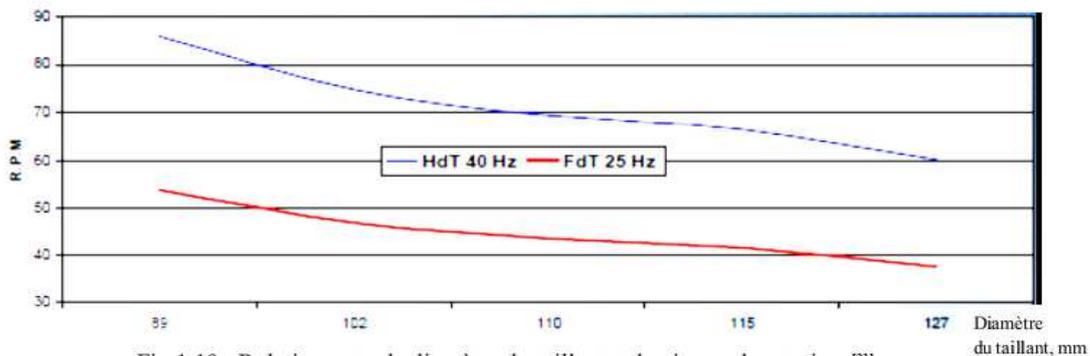


Fig.1.10 : Relation entre le diamètre du taillant et la vitesse de rotation. [23]

Généralement les déblais sont évacués selon trois procédés par hélices transporteuses ; par hélices transporteuses et soufflage ( pour sondeuses rotatives) et par aspiration (dans certains types de sondeuse)

-Le soufflage utilise dans sondeuses percutantes et a molettes

Alors que la consommation d'air est déterminée par la formule :

$$C_{air} = (\pi \cdot D^2) / 4 \cdot v_{f,max} \cdot \varepsilon$$

Où D : diamètre de sondage ;m

$v_{f,max}$  : vitesse de forage maximale m/mn

$\varepsilon$  : consommation spécifique de l'aire comprime en m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

### Les paramètres de forage

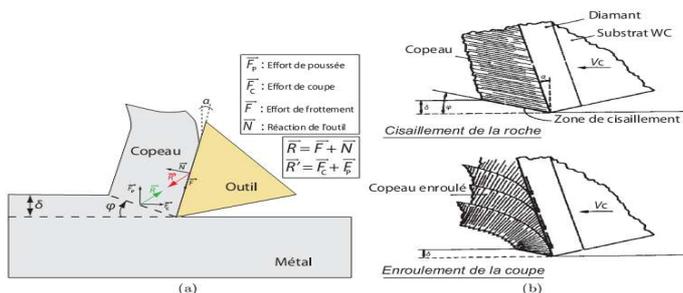
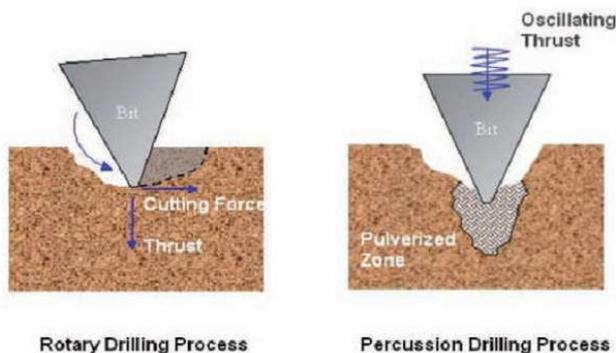
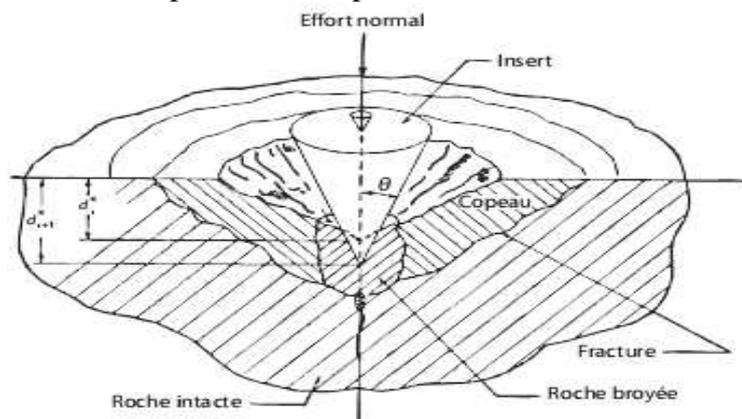
On appelle paramètres de forage les différents facteurs qui conditionnent la vitesse d'avancement d'un outil de forage (le poids sur l'outil, la vitesse de rotation)

Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les paramètres mécaniques.
- Les paramètres hydrauliques.

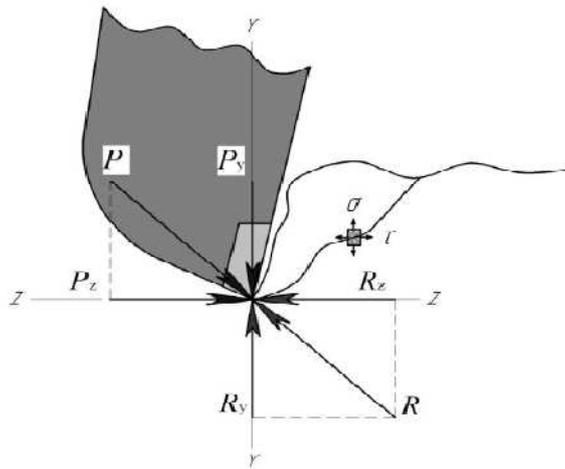
Les efforts exercés lors de l'abattage des roches

D'après le schéma représentatif en peu voire les efforts transmis a la roche par l'outil.



### Mode de travail des machines de forage a outil coupant et forces induites

Dans le forage rotatif des forces agissant sur le l'outil de forage peuvent être présentés sous la forme du la figure ci-dessous. Sur les côtés de l'outil de forage fonctionne une paire de forces:  $P_y$  - poussée et  $P_z$  - la force de coupe. Ensemble, ils agissent sur la matrice comme la force résultante  $P$ . à son tour de la roche à l'outil fonctionne la force  $R_y$  qui caractérise la résistance de la roche sur outil d'introduction et  $R_z$ , qui caractérise la résistance de la coupe de roche. Les forces résultantes agissant sur la partie de la masse rocheuse dans l'outil désigné comme  $R$ . Après avoir atteint un niveau critique de contraintes dans la roche sera devant écaillage cassante de la face avant de l'outil de coupe. Puis tourner l'instrument à travers un certain angle autour de son axe, il vient en butée contre la nouvellement formée par l'étape de clivage et le processus est répété.



$P_y$  - poussée;  $P_z$  - force de coupe;  $P$  - résultant la force d'outil;  $R_y$  - résistance à de la roche a la pousse;  $R_z$  - résistance de la roches de coupe;  $R$  - résistance résultante de la roche sur l'outil;  $\sigma$ ,  $\tau$  - limitant le stress de rupture

Une destruction de la roche solide se produit à la suite de l'introduction de ces lames d'outil et dans la plupart des cas est fragile car avantageusement appliqué aux roches de ce type.

Calcul des paramètres de forage dans l'ordre suivant :

1. La force de traction de forage de la roche,  $N$ ,

$$P_y = 2 \cdot 10^6 dh \sigma_{tr} \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) k_3$$

Où  $d$  - de diamètre bit, m;

$h$  - profondeur d'immersion de la lame, m;

$\sigma_{tr}$  - résistance de la roche à la traction mécanique, MPa ;

$\alpha$  - angle de coin de la lame, au d'affutage

$k_3$  - coefficient d'émoussement de la roche

$\mu_1$  - coefficient de frottement entre le taillant et la roche

### Hauteur de coupant Pénétration maximale de chaque outil de coupe dans la roche (en m)

$$H_{\max} = \frac{Va}{n_s v_r}$$

Où:  $n_s$  : est le nombre d'outils passant dans même trace (saignée ou ligne de coupe).

### Couple de rotation sur la tête (en N.m)

$$C = \frac{30 P}{\pi v_r}$$

Où :  $P$  : est la puissance consommée (en KW).

### Débit de roche abattue (en t/min)

$$Q = \rho \cdot V_a \cdot S_p$$

Ou  $S_p$ : est la section de la passe (en  $m^2$ ).

$\rho$  : La masse volumique de la roche (en  $t/m^3$ )

### Calculs du régime de fonctionnement des machines de forage rotatif taillant coupants.



**Généralités :** sont utilisées lors du forage des sondages verticaux et inclinés à 60 degrés, d'un diamètre jusqu'à 250mm et de profondeur jusqu'à 25 m dans les roches d'une dureté allant jusqu'à 12 selon l'échelle de Mr PROTODIAKONOV

Le régime de fonctionnement de ces machines est caractérisé par

- la vitesse de rotation.
- l'effort axial de l'avancement de la tige de forage.
- l'efficacité de l'évacuation des déblais.
- types de l'outil de forage (taillant).

Les plus souvent les sondeuses de ce type possèdent un mécanisme de translation sur chenilles DM45 et DM50E (Ingersoll Rand, EU), SVB-2, SVB-2M et SBR-160 (URSS), mais on peut rencontrer des sondeuses 1SBR-125 (URSS). Les caractéristiques techniques de certaines sondeuses rotatives sont montrées sur le tableau 1.2.

Sondeuses 1SBR-125. La sondeuse (fig 1. 2) est automotrice, son mécanisme de translation marchant possède un entraînement électrique. Elle est destinée au forage des sondages verticaux et inclinés dans les carrières avec des roches tendres.

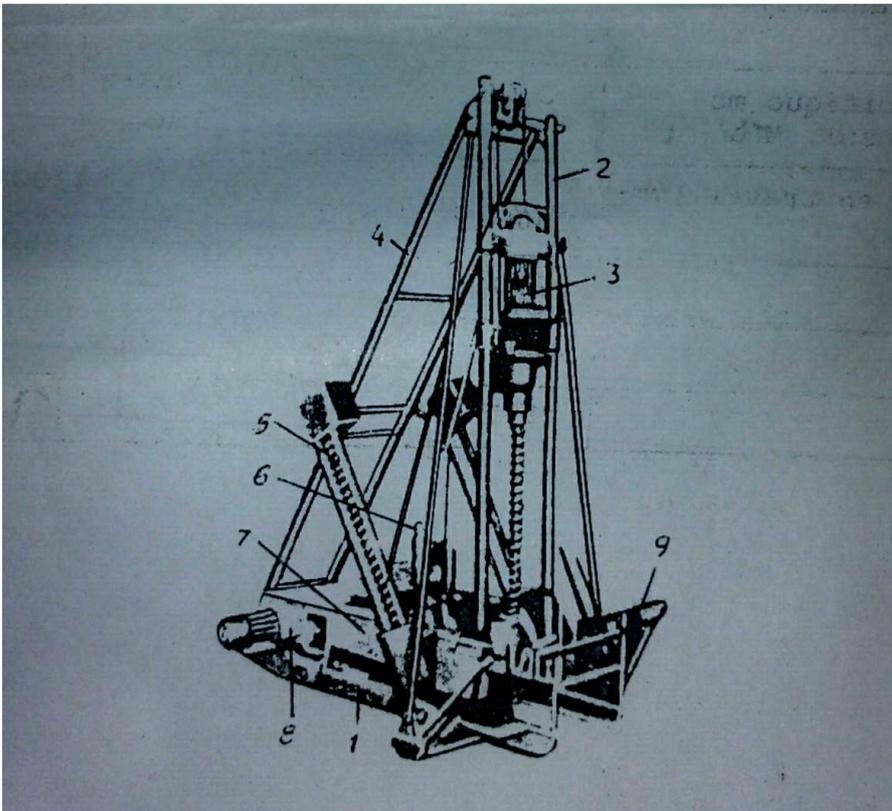


Fig 1. 2 : vue générale de la sondeuse 1SBR-125 (URSS). (référence da figure ok)

1. châssis ;2.mât ;3.orange de travail ;4.montants télescopiques ;5.caisson ;6.mécanisme marchant ;7.plate ;8.moteur électrique



Sondeuse INGERSOLL-RAND MD50E

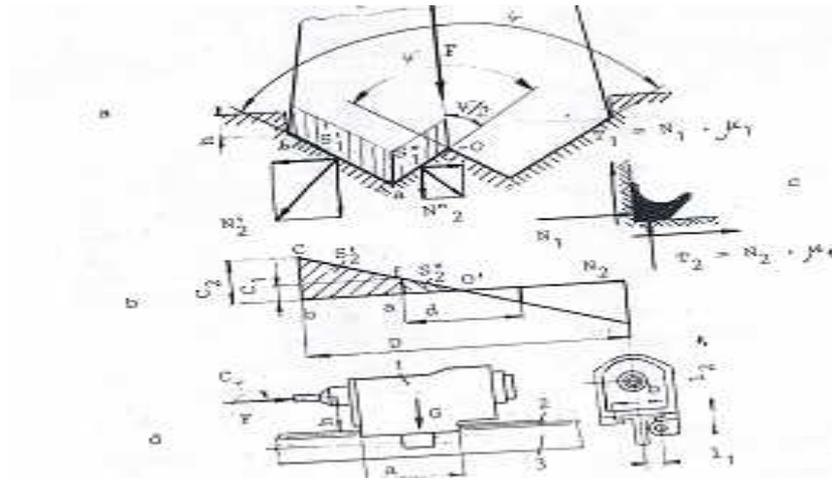
Paramètres	Type de la sondeuse			
	1SBR-125	2SBR-125	SVB-2M	SBR-160A
Diamètre de sondage, mm.	125	125	160	160
Profondeur du forage, m.	25	29	25	24
Vitesse de rotation, du train, m /mn.	220	0 - 250	120 – 210	102-132-198
Vitesse d'avancement du train, m/mn.	2.4	–	–	3.0
Effort axial de poussée, KN.	à 10	à 50	à 50	à 80
Type du mécanisme de translation Km/h	Marchant sur chenilles	Sur chenilles	Sur chenilles	Sur chenilles
Vitesse de translation Km/h	0.3	1.3	1.36	0.9
Pression spécifique moyenne sur le sol MPa.	0.06	0.07	0.052	0.01
Encombrement en travail .mn : longueur	3360	5200	4300	7495
Largeur	1970	3500	2850	4900
Hauteur	4250	7200	6030	12980
Poids, t.	2.3	10	9.25	25

Tableau 1.2 : Caractéristiques techniques des sondeuses rotatives, fabriquées en URSS.

PARAMETRES	DM45E	DM50E
Diamètre du sondage, m.	200	249
Profondeur du forage, m.	35	30
Effort axial de poussée, KN.	204	227
Vitesse d'avancement, m/min	48	48
Vitesse de rotation, tr/mn.	0 - 200	0 - 130
Couple moteur, N.m.	8362	9716
Nombre de tiges .	5	3 - 4
Longueur d'une tige, m.	7.62	7.62
Pression spécifique sur le sol, KPa	3.4	3.4
Poids, t .	31.8	34.7

Caractéristiques techniques des sondeuses rotatives, fabriquées par la firme INGERSULL-RAND, E.U

**Théorie du forage rotatif avec outil à taillant coupant :**



D'après le professeur MIKHAILOV V il considère que dans le cas de la foration continue le taillant coupant à généralement la forme spécifiée voir figure ci-dessus  
 En faisant une rotation autour de son axe le taillant avance vers la taille .chacun des arrête cisaille une section des copeaux, d'épaisseur égale :

$$h=v/(n.z) ;m$$

v : vitesse d'avancement du taillant m/mn

n : vitesse de rotation du taillant tr/mn

z : nombre de tranchants (arêtes)

**Choix du régime de fonctionnement rationnel des sondeuses rotatives**

Paramètre des taillants coupants selon leurs domaines d'application

Paramètres de l'outil a coupant	F (dureté) Inferieur a 3	F=3-6	F=6-8	F=8-12
$\alpha$	60-65	65-70	70-80	80-90
$\beta$	37	37	30	22
z	1	1	1	1
$\Delta$	0.25	0.20	0.15	0.10-0.15

Ou :

$\alpha$ :angle d'affutage des tranchants en degré

$\beta$  : angle compris entre l'horizontale et l'arête tranchante en degré

$\Delta$  : coefficient relatif caractérisant la discontinuité de l'arête tranchante

**Détermination de la hauteur du copeau**

$$ou ; h = \frac{2,4.F.C_{fg}}{\sigma_{comp.D.(1-\Delta).z}}, m$$

teleque :

F: poussée ou effort axial en; N;

D : diametre du trou En, m

$\sigma_{comp}$ .Est en pa.

$C_{fg}$ : coefficient tenant compte de la forme géométrique del'arrete tranchante dutaillant

$$C_{fg} = \frac{\cos(\frac{\alpha}{2})(\cos^2\beta + \cos\beta \cdot \sin(\beta - \frac{\alpha}{2}))}{tg(\frac{\alpha}{2}) + \mu_1}$$

Ou :

$\alpha$ : Angle d'affutage de la tranchante de taillant

$\beta$  : Angle de disposition de la tranchante de taillant

$\mu_1$ : Coefficient de frottement de la roche contre le taillant (0.5 à 0.7)

### **Puissance nécessaire du mécanisme de rotation**

Est fonction de la vitesse de rotation  $P=f(v)$

En pratique la puissance de forage sera plus grand que celle calculer a cause de la consommation de l'énergie pour évacuer les déblais et les pertes par frottement ; elle a été déterminé par :

$$P_u = (1.5P_{uc})/\eta$$
$$\text{ou: } P_{uc} = \frac{0,125 p.D.n_r.C.\mu_1}{95600(1-\Delta)},$$

C : coefficient tiennent compte de l'augmentation de la résistance de frottement

Pour les taillant en forme V : C=2, pour la forme U : C=1.3, pour une dureté moyenne C=1.04

$\eta$ :Rendement de réducteur ou de la machine.

$n_r = n$  vitesse de rotation de taillant;

On peut la déterminer aussi par la formule :

$$P_u = \frac{D^2 \cdot \sigma_{comp} \cdot \mu_1 \cdot C}{0.122 \cdot \eta \cdot C_{fg}} \cdot v ; \text{ en Kw}$$

$\sigma_{comp}$  en ; Mpa et D en ; m

### **Détermination de l'effort de pousse pour le forage rotatif**

$$F = \frac{1}{2} \cdot z \cdot \sigma_{comp} \cdot D \cdot (k \cdot C_f \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_2)$$

ou: k ; coefficient tient compte de la fragilité de la roche

et son contacte incomplet avec la roche = 0.5 – 0.7

Z= nombre de tranchants

$C_2$ =émoussement du taillant

### **Le couple de rotation**

Il est donné par la formule

$$C_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{2} \cdot T \cdot z \text{ en N.m}$$

ou T effort agissant sur les arêtes du taillant perpendiculaire à l'axe de l'outil

$$T = \frac{\sigma_{comp}}{4D} \left[ 2 \cdot k \cdot h \cdot D^2 + \mu_1 \cdot C_2 \left( \frac{D^2 - d^2}{\sin \frac{\phi}{2}} + \frac{d^2}{\sin \frac{\Psi}{2}} \right) \right], \text{N}$$

Ou

D : diamètre de taillant

T : force résultante de tous les efforts agissant sur les arêtes du taillant sur le plan perpendiculaire à l'axe de l'outil en newton

$\phi$  : Angle des arêtes coupantes en degré

$\Psi$  : Angle des arêtes d'écartement en degré

K :coefficient tenant compte de la fragilité de la roche et son contacte incomplet avec le taillant il est de 0.5 à 0.7 pour les alliage de carbure de tungstène ;

### **La puissance du moteur de la puissance de moteur de rotation de rotation il est nécessaire de tenir compte du rendement de la transmission :**

$$P = K_p \cdot \frac{C_r \cdot n}{7162 \cdot \eta}, \text{ch}$$

ou:

$k_p$ : Coefficient de sécurité =1.15 à 1.20

$\eta$  : Rendement de la transmission du moteur au taillant

n :vitesse de rotation du taillant ;tr/mn

**la vitesse de forage :** elle est donnée par :

$$v = f(h) = h n_r \cdot z ; \text{ m/min}$$

## Productivités des sondeuses rotatives

### Productivité théorique.

C'est le nombre de mètres de trous forés pendant l'unité de temps.

$$Q_{th} = v \cdot T, \text{ m/poste}$$

T = temps d'un poste en mn

### Productivités technique. Pour les perforatrices d'un diamètre jusqu'à 75 mm

$$Q_{tech} = \frac{T - (T_{pr} + T_{tir})}{(k_f m_p v)^{-1} + (t_{depl} + t_{in} + q \cdot t_{tch}) \cdot k_{rep}}$$

$T_{pr}$  : temps de préparation par poste mn

$T_{ch}$  : temps de changement de l'outil mn/m

$K_{rep}$  : coef tenant compte de repos des ouvriers

$T_{tir}$  : temps de pose pendant le tir en mn

ou  $k_f$  : coefficient tenant compte d'un nombre de sondeuse 0.8 – 0.9

$m_p$  : nombre de sondeuse ou de perforateurs en fonctionnement

$t_{depl}$  : temps de déplacement de la machine d'un endroit à l'autre

$T_{in}$  : temps inactive de la course de la tige mn/m

$q$  : consommation spécifique de l'outil de forage pièces/m

$k_f$  : coef tenant compte du nombre de perforateurs ou sondeuse en fonctionnement si  $m_p=2$ ,  $k_f=0.7$

$$q = \frac{50 \cdot m \cdot \sigma_{comp} \cdot C \cdot C_f \cdot C_B \cdot (1 - \Delta)}{u_s \cdot p^2}$$

$m = z$  : nombre de double tranchantes

$C_B$  : coefficient de disposition de l'angle d'affûtage de la tranchante du taillant par rapport à la ligne d'agissement de la pression axiale.

$$C_B = \frac{tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{C_{ft}}$$

$u_s$  : usure spécifique de la tranchante  $kgf/m/cm^3$   
donnée pratique.

### Pour le diamètre > a 75mm on utilise :

$$Q_{tech} = \frac{T - T_{pr}}{(v)^{-1} + \left(\left(\frac{L}{B} + 1\right) \cdot \frac{t_a}{l} + \frac{t_{ch}}{B} + (t_{depl} + t'_{depl}(m - 1))/m \cdot L\right) \cdot k_{rep}}$$

Ou L : profondeur d'un sondage ; m

B : durée de la vie de l'outil ; m

l : longueur de la tige ; m

$t_a$  : temps d'assemblage d'une tige 2 à 3 mn

$t_{ch}$  : temps de remplacement de l'outil de forage de 10 à 15 mn

$t_{depl}$  : temps de déplacement de la machine d'un endroit à l'autre ; mn

$t'_{depl}$  : temps de déplacement de la tête de forage d'un sondage à un autre ; mn

m : nombre de sondage

$k_{rep}$  : coefficient qui tient compte de repos des foreuse = 1,12

### productivité d'exploitation :

$$Q_{exp} = Q_{tech} \cdot K_u$$

$K_u$  : coefficient d'utilisation 0.7 à 0.8