



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger
Département de Génie Minier
Cimenterie de LAFARGE M'Sila
MEMOIRE DE MASTER

Présenté par

BEDDIAR Mohammed Ismail

Thème

Etude des déviations de foration sur le
fonctionnement de tir (Carrière de Chauff-Ammar)

Soutenue le 25 Juin 2015 à l'ENP
Membres du jury d'examen

Présidente
Examineur
Promoteur

S.BENTAALLA-KACED
R.GACEM
S.BERDOUDI

M.A.A. à l'ENP
M.A.A à l'ENP
M.C.B à l'ENP

ENP 2015

Je profite de cette occasion pour dédier ce modeste travail :
À celle qui m'est chère et qui m'a appris beaucoup...Ma mère ;
À celui qui m'a appris comment affronter la vie en souriant...Mon père ;
À Mes sœurs et mes frères ;
À toute ma famille et mes proches ;
À tous mes amis chacun par son nom ;
À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

BEDDIAR M.Ismail

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier en premier lieu notre promoteur **Mr. S.BERDOUDI** pour la confiance qu'il a placé en nous, pour sa permanente disponibilité, son investissement et ses précieux conseils qui nous ont guidés dans l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également tout les personnels de la cimenterie de M'sila en particulier ceux de la carrière surtout : **M. AFOUFOU & F. BAALI**.

Nous adressons également nos remerciements à tous les membres du jury **Mr. R.GACEM & Mm. S.BENTALAA** qui ont pris le soin de consulter notre document, et de juger notre travail.

Nous adressons également nos remerciements à tous les enseignants qui ont participé à notre formation et l'aide qu'ils nous ont fournie pendant la période d'étude.

ملخص

في مجال المناجم , حسابات مخطط التفجير لا تزال على اساس مخطط الحفر النظري ابتداء من الحفر بصفة منتظمة, او مائل حسب قيمة محددة, دون انحرافات محددة. وفي الواقع, فان البيانات كثيرا ما تكون مختلفة تماما و ثلاثة اسباب للأخطاء يمكن ان تتواجد: سوء تحديد المواقع في الحفر, وسوء الميل في حفر في الفضاء الخارجي او الانحرافات المتعلقة بالمعدات او المشرف على عملية الحفر او الكتلة الصخرية.

المثال المقدم في هذه العمل يشير الى اهمية هذه العوامل, ومعظمها يمكن كبحه. الا ان الانحرافات المتعلقة بالكتلة الصخرية يصعب السيطرة عليها.

الكلمات المفتاحية: خطأ- حفر- انحراف

Résumé

Dans le domaine du minage, les calculs de schémas de tir se font toujours sur la base de plans de foration théoriques à partir de forages régulièrement implantés, inclinés selon une valeur bien précise et sans déviations particulières. Dans la pratique, les données sont souvent totalement différentes et trois causes d'erreur peuvent exister : mauvais positionnement du forage, mauvaise inclinaison du forage dans l'espace ou déviations liées au matériel, au foreur ou au massif. L'exemple présenté dans cet mémoire montre l'importance de ces différents paramètres, dont la plupart peuvent être maîtrisés. Seules les déviations liées au massif sont difficilement maîtrisables. L'incidence de ces « erreurs » de foration est déterminante dans le résultat d'un tir.

Mots clés : Erreur - Forage-Déviaton

Abstract

In the area of mining, the shoting patterns of calculations are always based on theoretical drilling plans from regularly implanted boreholes inclined at a specific value with no particular deviations. In practice, data are often quite different and three causes of error can exist : poor positioning of drilling, poor tilt in space or drilling deviations related to hardware, the driller or massif. The example presented in this memory show the importance of these parameters, most of which can be controlled. Only deviations related to massive are difficult to control. The impact of these "errors" of drilling is decisive in the result of shoting.

Key words : Error - Drilling - Deviation

Table des matières

Table des matières	iv
Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction	viii
I GENERALITE SUR LE FORAGE	1
I.1 Schéma du processus de forage	1
I.2 Classification des méthodes	1
I.3 Facteurs influençant le forage	2
I.4 Choix de la méthode de foration.	4
I.5 Indice de forabilité (D_f).	4
I.5.1 Évaluation de l'indice de forabilité (DRI)	6
I.6 Théorie de pénétration	7
I.6.1 Composants d'opération de système	7
I.6.2 Mécanismes de pénétration	8
I.6.3 Forage à percussion.	8
I.6.4 Forage rotative ou rotary coupante.	9
I.7 Paramètres d'optimisations de rendement	11
Nomenclature	1
II ETUDE DES DEVIATIONS DE FORATION SUR LE FOCTIONNEMENT DE TIR	12
II.1 Introduction	12
II.2 Définition	14
II.2.1 erreur de positionnement d	14

II.2.2	erreur d'alignement d_a	16
II.2.3	déviations de trajectoire dt	16
II.3	Méthodes de mesure	17
II.3.1	Mesure sur talus réalisés	17
II.3.2	Mesure dans les forages avant minage	18
II.3.3	les avantages des techniques utilisées	18
II.4	Cause des déviations en foration	19
II.4.1	Déviations dues au matériel	19
II.4.2	Déviations dues au foreur	20
II.4.3	Déviations dues au massif	20
II.5	Influence de l'orientation de trou sur le volume abattu et sur la consommation spécifique	21
II.5.1	Calcul du volume abattu par un mètre de trou entre les quatre trous	22
II.5.2	calcul de consommation spécifique	23
II.6	Influence de la variation de la dureté du terrain et du changement de diamètre de taillant sur les paramètres de forage	24
II.7	Conséquences des déviations de foration	25
II.8	Comment réaliser une foration de qualité	27
II.9	Procédure de choix de la machine de forage	28
	Conclusion	30
	References	31

Table des figures

I.1	Choix du type d'équipement. [2]	5
I.2	Différents types d'action de forage dans l'attaque mécanique des roches . . .	8
I.3	Mécanisme de la rupture par un outil à percussion.	9
I.4	Mécanisme de la pénétration par un outil rotatif.	10
I.5	Paramètres principaux de la foration rotative	10
II.1	Déviations naturelles des forages causées par les strates du terrain (à gauche : avec tige guide pour limiter les déviations ; à droite : sans tige guide). D'après Meyer, 2002	13
II.2	Influence d'une surforation irrégulière sur la qualité de la plate-forme inférieure après tir[4]	13
II.3	Les principales causes de déviation.	14
II.4	exemple d'erreur de positionnement	15
II.5	incidence de la position du forage sur le minage	15
II.6	Pour une déviation d'alignement de 40 cm, la maille réelle à 9 m de profondeur peut varier dans un rapport de 1 à 4.	16
II.7	Principe de mesures de déviation sur talus.	17
II.8	profileur à distancemètre laser	18
II.9	Sonde Pulsar et principe de la mesure de trou. Le nombre de points de mesure n'est pas fixe ; il dépend de la profondeur du trou et de l'intervalle de mesure choisi.	19
II.10	exemple de déviation des axes des trous au pied de gradin.	21
II.11	Adaptation de la poussée au terrain.	24
II.12	Poussée / changement de taillant / terrain.	25
II.13	Erreurs d'implantation, inclinaison, incidence sur la maille de forage. . . .	26

Liste des tableaux

I.1	Variables d'exploitation du forage et de leurs effets sur les différentes méthodes.	3
I.2	Catégories de classification de Df.	6
I.3	Classification de Df de chaque type des roches	6
I.4	Classification des roches selon l'indice de forabilité	7
II.1	Tableau récapitulatif de résultats de variante N° : 01	23
II.2	Tableau récapitulatif de résultats de variante N° : 02	23

Introduction

Dans les travaux de minage, les schémas de tirs sont toujours calculés sur la base de plans de foration théoriques, où les forages sont régulièrement implantés avec des inclinaisons connues. Dans la pratique, différentes erreurs viennent perturber cette géométrie théorique. Les déviations de foration ont des conséquences généralement bien visibles sur la géométrie des parois découpées, mais peuvent également avoir des incidences considérables sur le résultat d'un tir de masse. Il est particulièrement important de connaître les causes de ces déviations afin d'en estimer les effets sur la géométrie globale du minage.

Dans ce projet de master, je commence par une partie théorique où je mets les importantes processus de forage, puis une partie pratique pour voir les influences de déviation de forage sur les résultat des tir et enfin, je termine par une conclusion générale .

Chapitre I

GENERALITE SUR LE FORAGE

I.1 Schéma du processus de forage

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. Le processus de forage 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[1].

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 manoeuvre).
- Paramètre de sortie caractérisant les résultats de ce processus (prix du mètre foré, prix de mètre cube des roches abattues, vitesse de pénétration).

I.2 Classification des méthodes

Une classification des méthodes de forage peut être faite sur plusieurs bases. Celles-ci incluent la taille du trou, la méthode de support, et le type de puissance. L'arrangement qui semble le plus logique à utiliser, générique, est basé sur la forme d'attaque de roche ou le mode de l'application d'énergétique menant à la pénétration.

Puisque le forage occupe seulement une catégorie dans la classification, la pénétration de roche plus de limite est préféré pour toutes les méthodes de former un trou directionnel dans la roche plus générale. Par conséquent il est préférable de parler de la perforation de gicleur comme méthode de pénétration thermique plutôt que le perçage thermique. Le forage est réservé pour les systèmes mécaniques d'attaque[1].

La classification préconisée ici s'applique générale, à toutes sortes d'exploitation et entourer toutes les formes de pénétration de roche. Ainsi les machines utilisées pour le découpage aussi bien que le perçage sont incluses. Cette classification soutient de la ressemblance à une pour des méthodes de fragmentation de roche (telles que le soufflage et d'autres techniques en gros de rupture), puisque les principes sont identiques, et la rupture de roche est l'objectif commun.

I.3 Facteurs influençant le forage

Un certain nombre de facteurs affectent la pénétration de roche ou le déplacement de découpages dans le processus de forage.[2] Les divers facteurs peuvent être groupés en six catégories :

- 1) Machine de forage, (drill)
- 2) Tige, (Rod)
- 3) Taillant,(Bit)
- 4) Fluide de circulation, (Circulation fluide)
- 5) Trou de forage, (Drill hole)
- 6) Roche. (Rock)

Ces facteurs de conception dans les catégories (1- 4), les composants du système de forage lui-même, désigné sous le nom des variables d'opération. Ils sont contrôlables dans des limites, en corrélation parfois, et doivent être choisis pour assortir les conditions environnementales reflétées par la catégorie 6, type de roche. Ces variables d'importance primordiale dans les divers systèmes de forage sont énumérées dans le Tableau I.1.

Les facteurs de trou de forage de la catégorie 5, diamètre, profondeur, et inclinaison, sont dictés principalement par des conditions extérieures et sont des variables indépendantes dans le processus de forage.

TABLE I.1 – Variables d'exploitation du forage et de leurs effets sur les différentes méthodes.

	percussion	rotative	roto percutants
Machine de forage.			
Puissance de forage.	x	x	x
Poussé de forage.	x	x	x
Couple de forage.		x	x
Vitesse de forage.		x	x
Energie de coup.			x
Fréquence de coup.			x
Tige.			
Dimensions de tige.	x	x	x
Géométrie de tige.	x	x	x
Propriétés de matériels	x	x	x
Taillant.			
Diamètre de taillant.	x	x	x
Géométrie de taillant.	x	x	x
Propriétés de matériels	x	x	x
Fluide de circulation.			
Débit de fluide.	x	x	x
Propriétés de matériels	x	x	x

Les facteurs de roche (catégorie 6) sont ambiant dérivés. Ils sont également des variables indépendantes dans le processus de forage et incluent le suivant :

1. Propriétés matérielles (résistance à la pénétration, la porosité, la teneur en eau, la densité, la dureté de rivage, résistance à la compression, coefficient de résistance de la roche, etc.)
2. Conditions géologiques (péto logiques et literie structurale, ruptures, failles, fissures, etc.)
3. État d'effort (pression in situ et pression de pore sans importance en trous peu profonds).

Un autre groupe de facteurs est externe au processus de forage lui-même et peut désigner sous le nom des facteurs du travail ou de service. Il s'agit notamment des variables opérationnelles liées au travail, la supervision et le chantier, l'échelle des opérations, disponibilité de l'énergie, et la météo. Bien que les facteurs d'emploi ne soient pas impliqués dans les mécanismes de pénétration de la roche, ils peuvent exercer une influence considérable sur

les performances de forage.

I.4 Choix de la méthode de foration.

Les quatre grandes méthodes utilisées sont (figI.1) :

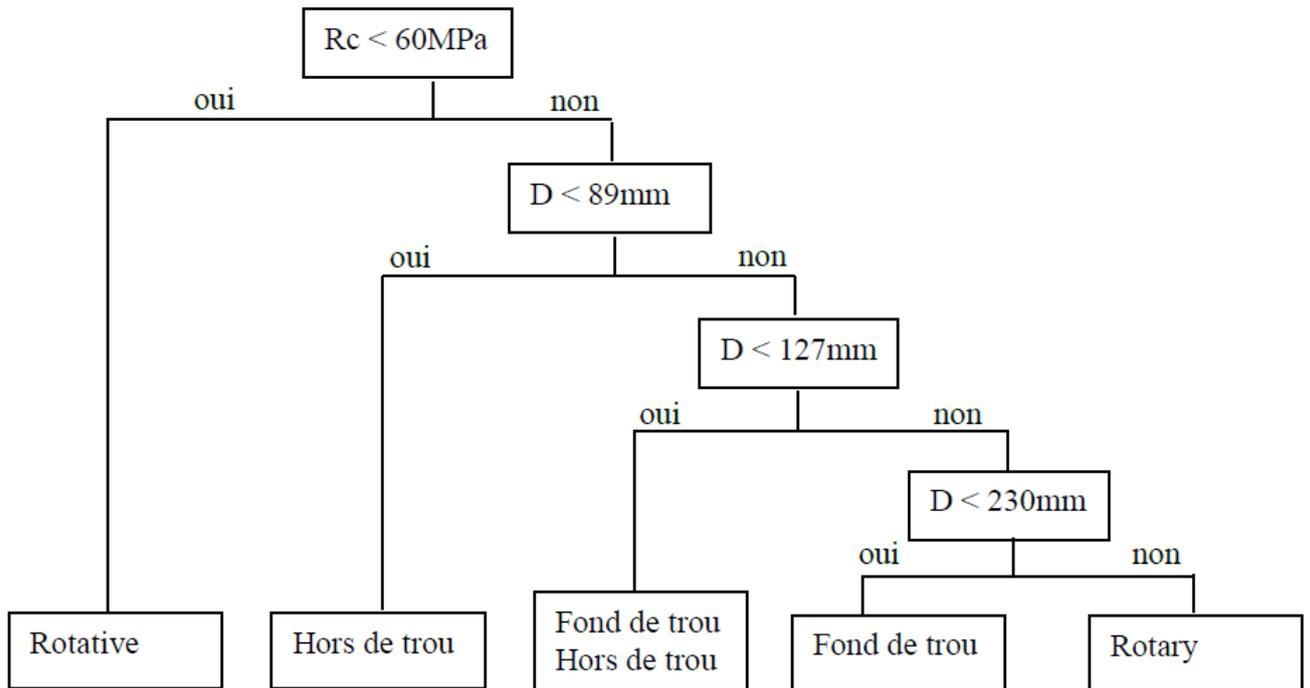
- La foration hydraulique hors de trou.
- La foration fond de trou.
- La foration rotative ou rotary coupante.
- Le forage rotary.

Le choix de la méthode de foration fondamentalement dicté par :

- La résistance de la roche à forer (Indice de forabilité D_f)
- Le diamètre de foration

I.5 Indice de forabilité (D_f).

La forabilité d'une roche exprime la facilité avec laquelle un outil de forage pénètre dans la roche. Elle dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier de la résistance, dureté et texture de la matrice rocheuse, et de son abrasivité. Certains essais, généralement utilisés dans les pays anglo-saxons, ont pour but de quantifier la forabilité. Il ne faut pas perdre de vue toutefois que la forabilité in situ dépend aussi de la densité de discontinuités. Pour mesurer l'aptitude d'une roche au forage on effectue un test de laboratoire appelé (Drilling Rate Index) que l'on pourrait traduire par " indice de forabilité" car il inclut à la fois des tests de friabilité, d'écrasement au choc, et d'abrasion, (arrachement de morceaux de roche à l'aide d'une lame à profil normalisé).



1" = 25,40000mm

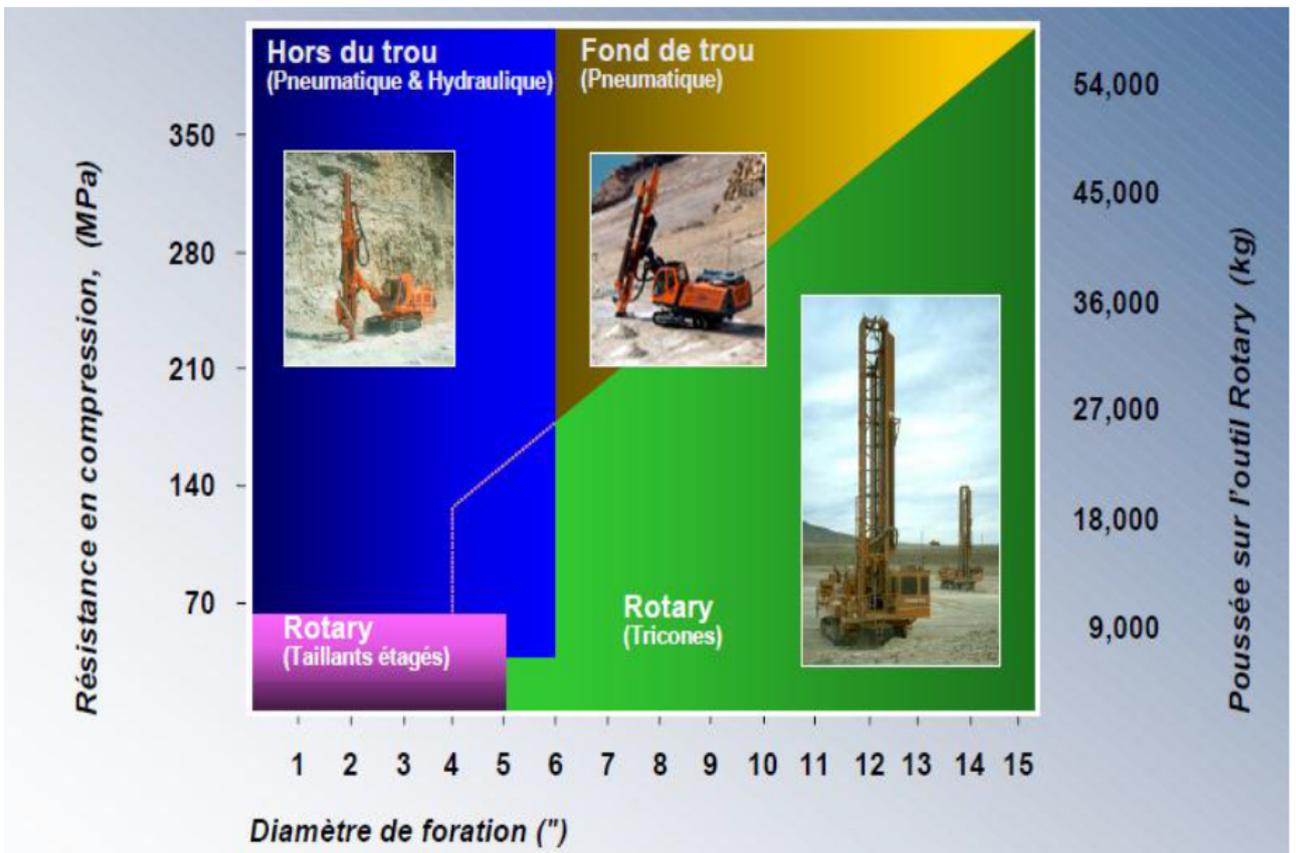


FIGURE I.1 – Choix du type d'équipement. [2]

I.5.1 Évaluation de l'indice de forabilité (DRI)

L'indice de forabilité est déterminé par la formule suivante[3] :

$$I_f = 0,007 \times (\delta_c + \tau) + 0,7\rho \quad (I.1)$$

Où :

δ_c : Résistance à la compression (du calcaire) $f = \frac{\delta_c}{100} \Rightarrow \delta_c = f * 100, kgf/cm^2$

τ : Résistance au cisaillement $\tau = (0.16 \div 0.33)\delta_c, kgf/cm^2$

ρ : La densité du calcaire, Kg/m^3

La classification de D_f est présentée dans le tableau (I.2). La classification de D_f de chaque roche est donnée dans le tableau (I.3).

TABLE I.2 – Catégories de classification de Df.

Indice de forage	Nature de la roche	Df
0.5-0.7	Basalte, diorites, silex, quartz, quartzite dure	30-40
0.7-0.9	Trapp, granit dur, gneiss, ryolithe, gabbros, quartzite	40-50
0.9-1.1	Porphyre, granit, taconite, grès, hématite, cornéenne	50-60
1.1-1.3	Diorite, marbre, calcaire dur, phyllades, andalousite	60-70
1.3-1.7	Calcaire, shistes, gypse, bauxite, marne dure, latérite	70-80
1.7-2.2	Calcaire marneux, marnes craie, argile, talc	80-90

TABLE I.3 – Classification de Df de chaque type des roches

catégories	Df
Extrêmement lent	≤ 25
Très lent	26 -32
Lent	33 - 42
Moyen	43 - 57
Rapide	58 - 69
Très rapide	70 - 82
Extrêmement rapide	≥ 93

Après calculer l'indice de forabilité on cherche dans le tableau au-dessous quelle est le type de forabilité, leur classe et catégorie (tableau de classification de la forabilité des roches.)

TABLE I.4 – Classification des roches selon l'indice de forabilité

Degré de forabilité des roches	I_f	classe	catégorie
forabilité facile	<5	1	1, 2, 3, 4, 5
forabilité moyenne	5,1÷10	2	6, 7, 8, 9, 10
forabilité difficile	10,1÷15	3	11, 12, 13, 14, 15
forabilité très difficile	15,1÷20	4	16, 17, 18, 19, 20
forabilité extrêmement difficile	20,1÷25	5	21, 22, 23, 24, 25

I.6 Théorie de pénétration

Puisque la grande majorité de la pénétration de roche dans l'extraction à ciel ouvert est effectuée par les systèmes mécaniques d'attaque[2], le reste de cette section est consacré presque entièrement au forage.

I.6.1 Composants d'opération de système

Il y a quatre principaux composants fonctionnels d'un système de forage (et de la plupart des autres systèmes de pénétration) :

1. Machine de forage (source d'énergie),
2. Tige de forage (émetteur d'énergie),
3. Outil de forage (applicateur d'énergie),
4. Fluide de circulation.

Ces composants sont liés à l'utilisation de l'énergie par le système de forage dans la roche d'attaque des manières suivantes :

1. La machine de forage, convertissant l'énergie de sa commande de grille d'origine (fluide, électrique, pneumatique),
2. La tige transmet l'énergie du moteur ou l'outil de forage. moteur à combustion) en énergie mécanique pour enclencher le système.
3. L'outil de forage (Le taillant) est l'application de l'énergie dans le système, attaquant la roche mécaniquement pour réaliser la pénétration.
4. Le fluide nettoie le trou, refroidissent le taillant, et stabilisent parfois le trou.

Dans les machines de forage commerciales, l'attention s'est concentrée dans une certaine mesure sur la réduction de déperditions d'énergie par transmission. Ceci a mené à l'introduction des exercices de fond de trou (dans le trou), de la grande variété de percussion et du type rotatif de trépan à molettes (électro et turbine), bien que ce dernier ait trouvé l'application principalement dans le sondage de puits de pétrole. Ils remplacent la transmission d'énergie mécanique par la transmission liquide ou électrique, qui a habituellement comme conséquence plus d'énergie atteignant le taillant et le forage plus rapide.

I.6.2 Mécanismes de pénétration

Il y a seulement deux manières de base d'attaquer la roche mécaniquement par la percussion et la rotation. C'est l'interaction de taillant/roche qui régit l'efficacité du transfert d'énergie et la nature du processus de rupture.

Entraînant la roche se casser pendant le forage est une question d'appliquer la suffisamment de force avec un outil pour dépasser la force de la roche. Cette résistance à la pénétration de la roche se nomme force de forage.

De plus, le champ de contrainte créé par l'outil doit être ainsi dirigé quant à la pénétration de produit sous forme de trou et de la taille désirée. Ces efforts sont quasi- statiques en nature, parce que des forces sont appliquées lentement dans le processus de forage. La force d'inertie, l'onde de contrainte induite, et le taux de charger des effets dans le forage de roche ont été démontrés pour être négligeables.

Les différentes manières dont les exercices de percussion, rotary, et de combinaison attaquent la roche sont comparées dans la (fig.I.2).

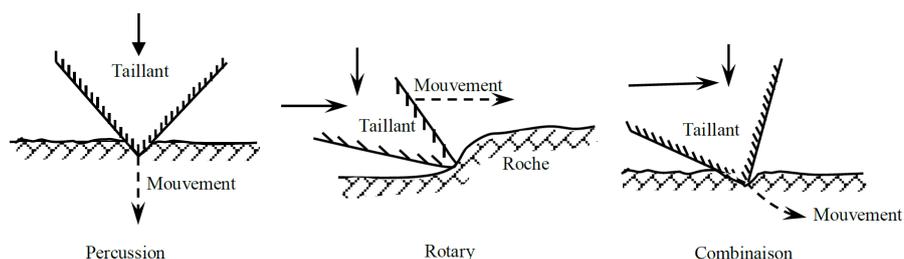


FIGURE I.2 – Différent types d'action de forage dans l'attaque mécanique des roches

I.6.3 Forage à percussion.

L'applicateur dans un forage à percussion est un outil formé par bouton clouté ou de burin qui effectue la roche avec un marteau comme le coup. L'effort efficace en cassant

les actes de roche essentiellement dans une direction axiale et d'une façon de palpitation. La rotation permet au taillant d'heurter la roche dans une tache différente sur les coups consécutifs, un mécanisme appelé l'indexation de coup, qui forme des cratères contigus et finalement un trou dirigé dans la roche.

Le couple de rotation appliqué, cependant, n'est pas habituellement responsable d'aucune pénétration de la roche, puisqu'il est petit dans la grandeur et, avec la rotation de barre de fusil, est opératif entre les coups seulement. De même, la fonction unique de la poussée appliquée est de rester le taillant en contact avec la roche.

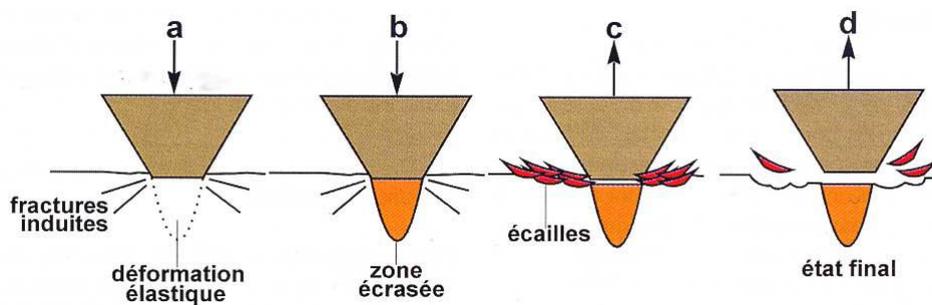


FIGURE I.3 – Mécanisme de la rupture par un outil à percussion.

Au début du choc, la roche est comprimée élastiquement sous le taillant tandis qu'à distance se forment des fractures radiales (a).

La roche comprimée sous le taillant s'écrase ensuite brusquement et se pulvérise (b). Quand le taillant commence à rebondir, les parties périphériques se détachent en grandes écailles (c et d), il reste une surface rugueuse avec des coins de roche pulvérisés.

I.6.4 Forage rotative ou rotary coupante.

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 drague 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.

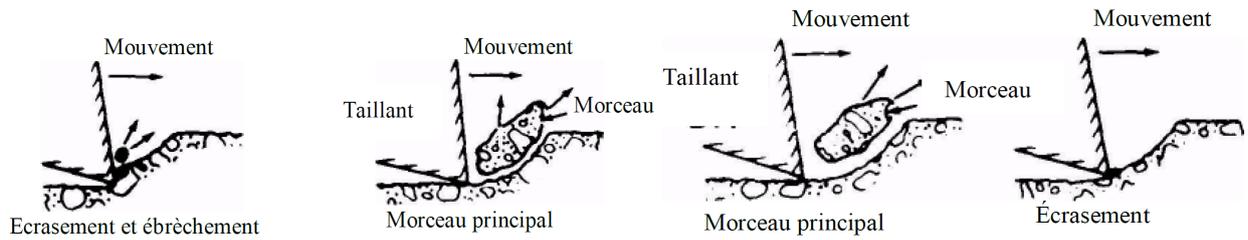


FIGURE I.4 – Mécanisme de la pénétration par un outil rotatif.

Le mécanisme de la pénétration dans le forage rotary de trépan à lames est comme suit (Fig.I.4) :

1. Que le taillant en contact avec la roche, apparaît une déformation élastique
2. La roche est écrasée dans la zone haute contrainte à coté 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.

Les paramètres principaux de la foration rotative sont les suivants (fig.I.5) :

1. Le soufflage,
2. La poussée,
3. La rotation.

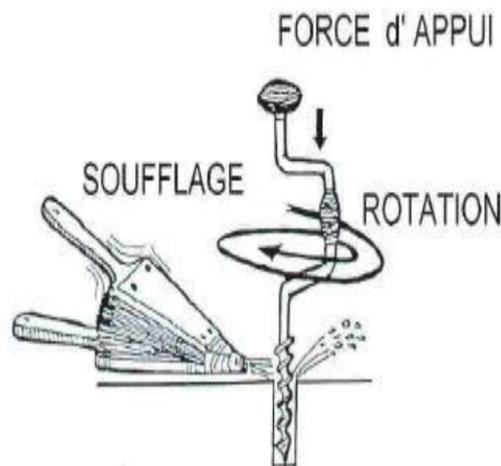


FIGURE I.5 – Paramètres principaux de la foration rotative

I.7 Paramètres d'optimisations de rendement

Bien que des critères plus sophistiquées ont été proposées, les éléments suivants sont adéquats et employé presque exclusivement dans l'évaluation de la performance d'un système de forage donnée ou à comparer différents systèmes[2] :

- Énergie et puissance,
- Taux de pénétration,
- Usage de taillant,
- Coût.

Dans des circonstances domaine particulier, l'un de ces paramètres peut gouverner. Dans l'extraction à ciel ouvert, la consommation d'énergie ou de puissance devient de plus en plus préoccupante ; mais les énergies ou les puissances, si comparées, sont généralement les plus préoccupantes en raison de leur effet sur le taux de pénétration. Le taux de pénétration et l'usage de taillant sont des critères populaires, avec le taux plus général dans l'utilisation et l'usage plus fréquentes pour le forage en profondeur où les changements de taillant doivent être réduits au minimum.

Mais prépondérant pendant qu'une mesure dans n'importe quelle situation de forage est coûteuse, parce que lui se reflète collectivement indisposent les autres facteurs et sont la mesure finale de la faisabilité.

Un forage peut avoir facilement disponible et être roman, rapide et acceptable pour l'environnement, mais si elle n'est pas rentable, alors un système alternatif devrait être cherché. (Il est bien de se rappeler, cependant, que le but dans l'exploitation est la minimisation tous les coûts de rupture de roche, et que le forage ne peut pas être analysé indépendamment du soufflage et du concassage).

Néanmoins, les trois premiers paramètres (énergie, taux, et usage) entrent dans la détermination du coût et le commandent en grande partie. Pour cette raison, il est souhaitable de connaître le quantitatif des variables convenables d'opération sur l'énergie, Taux de pénétration, et l'usage de taillant, car ils déterminent à leur tour le coût de forage.

Chapitre II

ETUDE DES DEVIATIONS DE FORATION SUR LE FOCTIONNEMENT DE TIR

II.1 Introduction

Dans les travaux de minage, les schémas de tirs sont toujours calculés sur la base de plans de foration théoriques, où les forages sont régulièrement implantés avec des inclinaisons connues. Dans la pratique, différentes erreurs viennent perturber cette géométrie théorique. Les déviations de foration ont des conséquences généralement bien visibles sur la géométrie des parois découpées(figII.1 , mais peuvent également avoir des incidences considérables sur le résultat d'un tir de masse. Il est particulièrement important de connaître les causes de ces déviations afin d'en estimer les effets sur la géométrie globale du minage.



FIGURE II.1 – Déviation naturelle des forages causée par les strates du terrain (à gauche : avec tige guide pour limiter les déviations ; à droite : sans tige guide). D'après Meyer, 2002

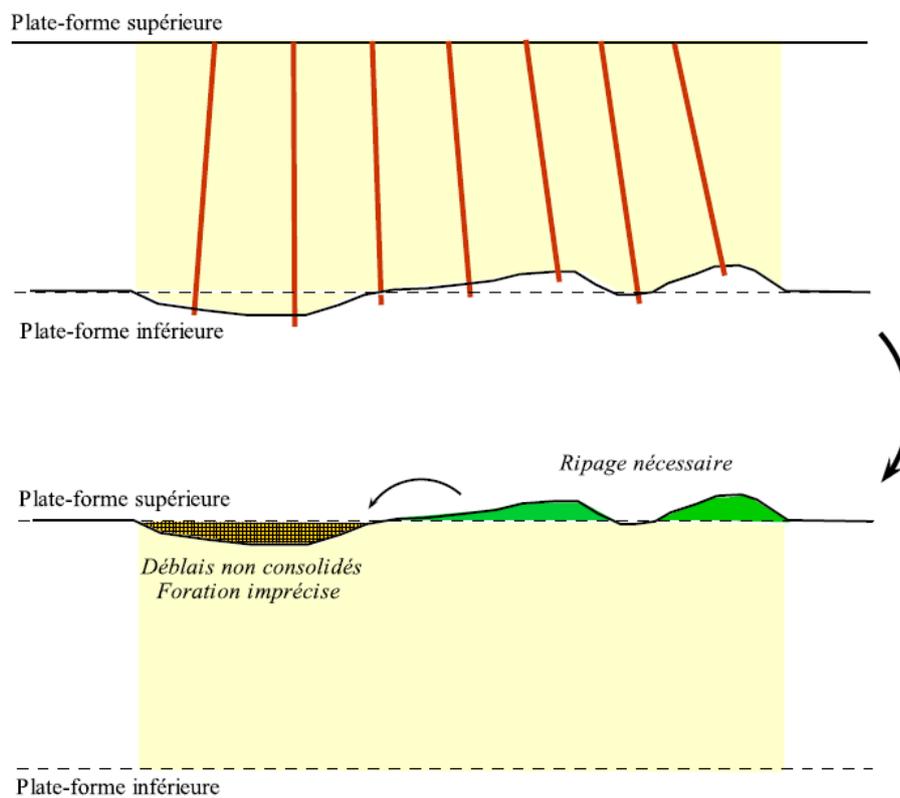


FIGURE II.2 – Influence d'une surforation irrégulière sur la qualité de la plate-forme inférieure après tir[4]

II.2 Définition

Les déviations de foration n'ont généralement pas une seule cause, mais sont le résultat de plusieurs facteurs (fig. II.3). Il peut y avoir[5] :

- erreur de positionnement d_p ,
- erreur d'alignement d_a ,
- déviation de trajectoire d_t

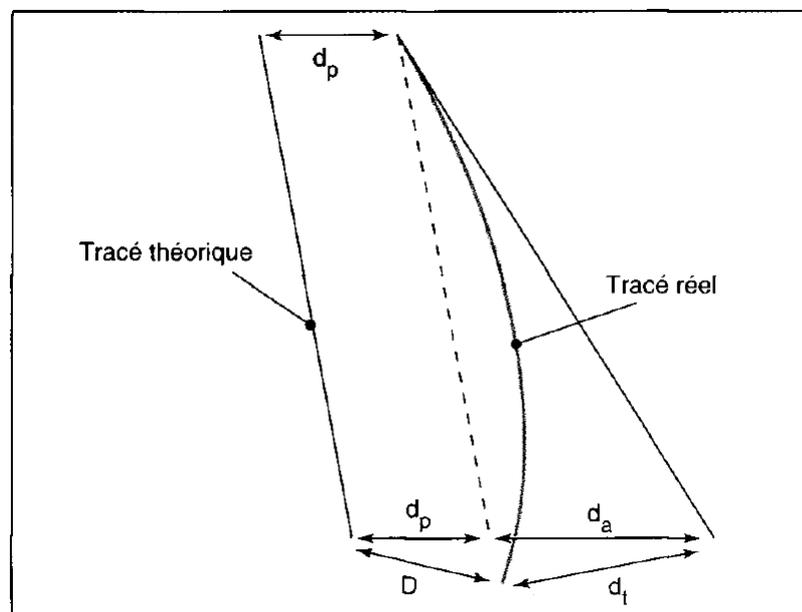


FIGURE II.3 – Les principales causes de déviation.

II.2.1 erreur de positionnement d

Sur les chantiers de terrassement, les forages sont généralement implantés par un géomètre et matérialisés sur le terrain par une marque à la peinture ou un piquet en bois. Les erreurs d'implantation ne devraient donc pas dépasser un diamètre de taillant.

Dans la pratique, par suite du mauvais réglage de la plate-forme entraînant des difficultés de mise en place de la machine, ou des déplacements des repères, les erreurs de positionnement sont beaucoup plus importantes.



FIGURE II.4 – exemple d'erreur de positionnement

les erreurs de positionnement peuvent aller de plusieurs décimètres à 2 m, dans les cas extrêmes.

La figure II.5 représente deux exemples de profils avec relevés de front de taille et de foration. On voit que, selon le cas, les forages permettront de mettre en oeuvre des énergies explosives spécifiques très variables conduisant à des résultats différents.

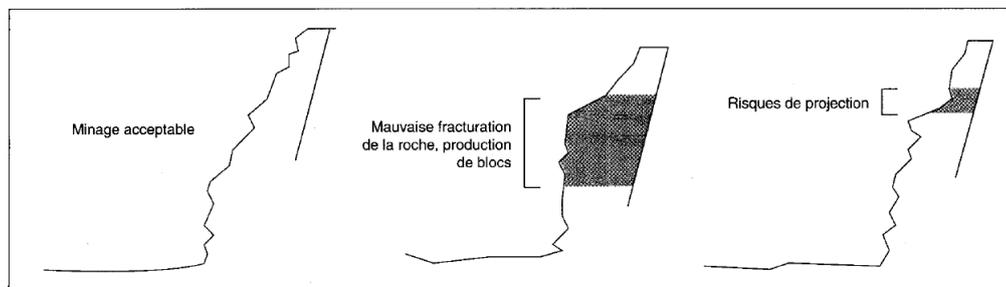


FIGURE II.5 – incidence de la position du forage sur le minage

II.2.2 erreur d'alignement d_a

les erreurs d'alignement pouvaient se faire dans toutes les directions et qu'à 9m de profondeur elles pouvaient être de l'ordre de 40 centimètres.

Pour une maille théorique de $1,7 \times 1,7 \text{ m}$ ($= 2,89 \text{ m}^2$), la maille réelle à 9 m de profondeur peut ainsi varier de $1,30$ à $5,10 \text{ m}^2$, soit dans un rapport de 1 à 4 (fig.II.6). Il s'agit évidemment d'un cas extrême, mais cet exemple met en évidence la nécessité d'une parfaite maîtrise des déviations d'alignement.

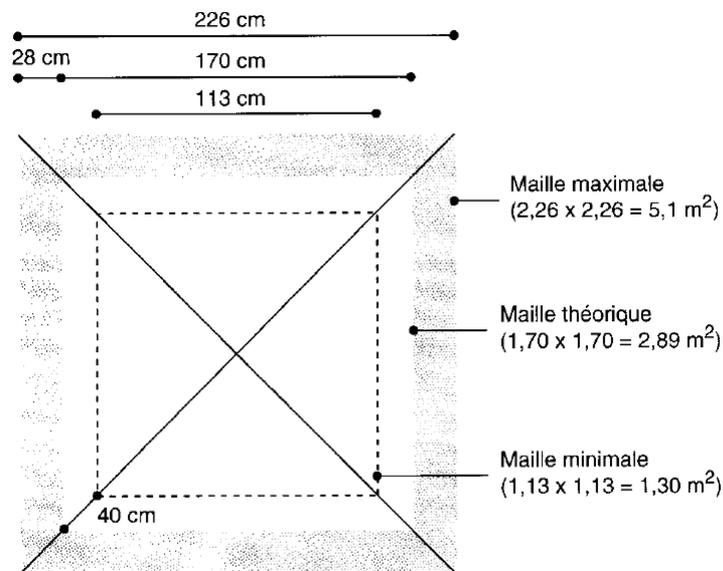


FIGURE II.6 – Pour une déviation d'alignement de 40 cm, la maille réelle à 9 m de profondeur peut varier dans un rapport de 1 à 4.

II.2.3 déviation de trajectoire dt

Les déviations de trajectoire sont parfois importantes, souvent impressionnantes, mais pour un massif donné elles sont généralement systématiques et toujours dans le même sens et n'ont donc pas d'incidence majeure sur le minage.

En résumé, les erreurs de positionnement et d'alignement sont de loin celles qui ont la plus grande incidence sur les résultats d'un minage. Elles sont maîtrisables par le biais de matériels et d'accessoires de foration appropriés, ainsi que par la formation des foreurs.

Les déviations de trajectoires, liées pour l'essentiel à la structure du massif, ne sont pas maîtrisables, mais ont généralement une incidence moindre dans la mesure où elles sont systématiquement dans le même sens.

En tout état de cause, une approche scientifique des problèmes de minage n'est possible que sous réserve d'une parfaite maîtrise de la géométrie de foration.

II.3 Méthodes de mesure

Les méthodes de mesure sont différentes selon qu'elles sont mises en oeuvre sur des talus réalisés où les cannes de foration sont visibles, ou dans des forages avant minage[5].

II.3.1 Mesure sur talus réalisés

Il s'agit de mesurer la déviation totale en notant les valeurs de déviation D_x et D_y selon le principe résumé sur la figure II.7. Les relevés peuvent être effectués au fil à plomb ou au profileur à distancemètre laser.

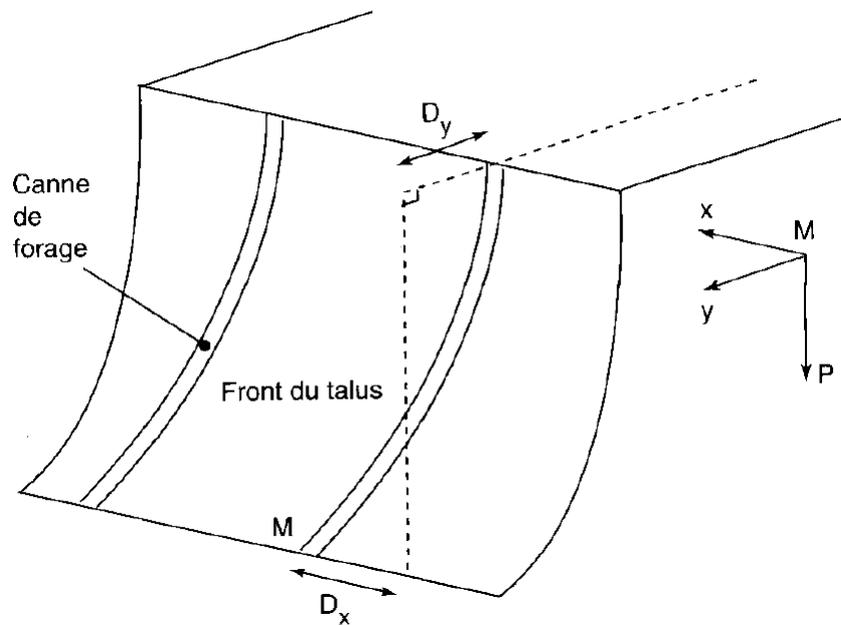


FIGURE II.7 – Principe de mesures de déviation sur talus.

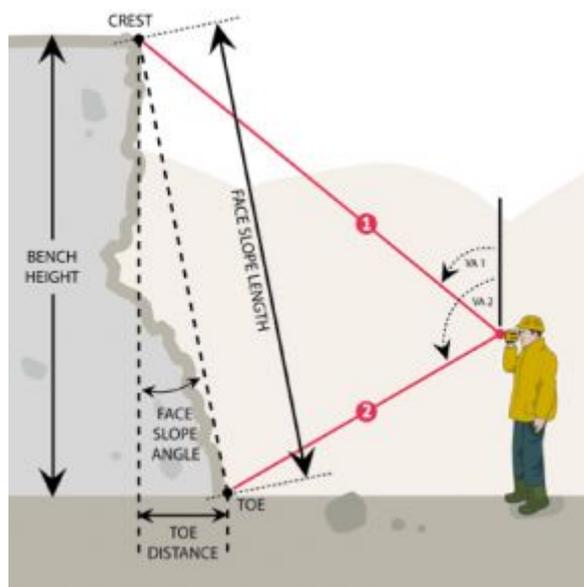


FIGURE II.8 – profilleur à distancemètre laser

II.3.2 Mesure dans les forages avant minage

Parmi les différents matériels existant actuellement sur le marché, la Sonde Pulsar (fig. II.9)[6].

II.3.3 les avantages des techniques utilisées

- Mesure des géométries réelles
- Distribution énergétique avant optimisation
- Maitrise des surforations
- Maitrise des niveaux de carreau
- Implantation des épaisseurs
- Optimisation de l'énergie de colonne et de pied
- Energie maitrisée trou par trou
- Adaptation de l'inclinaison de foration

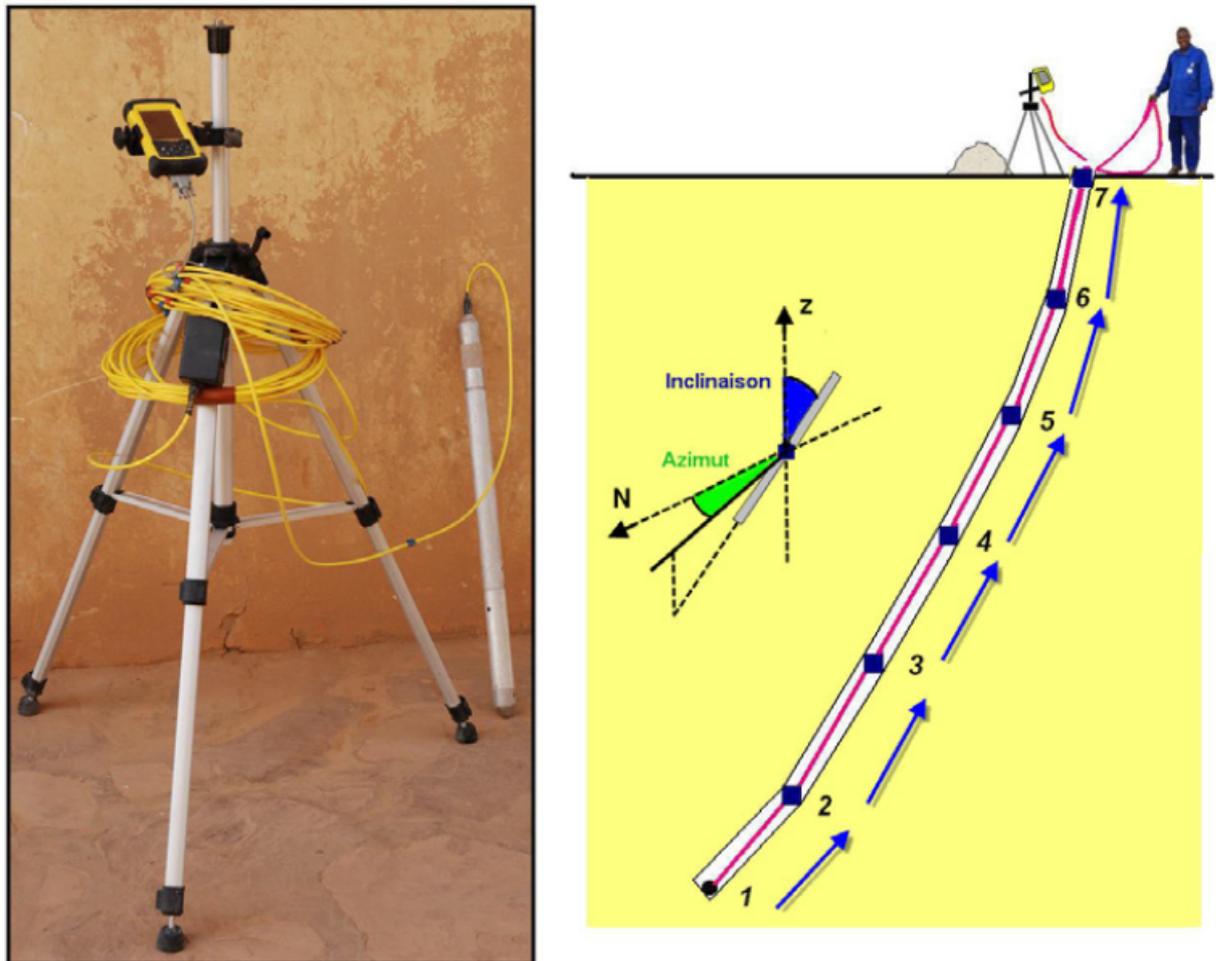


FIGURE II.9 – Sonde Pulsar et principe de la mesure de trou. Le nombre de points de mesure n'est pas fixe ; il dépend de la profondeur du trou et de l'intervalle de mesure choisi.

II.4 Cause des déviations en foration

II.4.1 Déviations dues au matériel

Le matériel de foration doit être bien adapté au massif à forer à la profondeur à atteindre et au diamètre de foration utilisé le matériel annexe (tiges, tubes, allonges, etc.) doit être lui aussi correctement dimensionné[7].

Il est par exemple illusoire de vouloir réaliser des forages de petits diamètres de plusieurs dizaines de mètres avec une machine équipée de tiges classiques et marteau hors du trou. On doit, dans ce cas, s'orienter de préférence vers une foration en gros diamètre avec marteau de fond de trou et tubes guides.

Quel que soit la méthode utilisée, on doit rechercher une stabilisation maximale de l'ensemble tiges + taillant par utilisation en tubes rigides, guide tiges, taillant retro, allonge guide, taillant guide ou par une combinaison de plusieurs de ces éléments.

II.4.2 Déviations dues au foreur

Le rôle foreur est déterminant dans le résultat de la foration .il doit être particulièrement sensibilisé aux problèmes de la qualité et savoir que c'est lui qui conditionne l'essentiel du résultat du minage. Il doit, en particulier, bien comprendre le mécanisme de la foration, notamment au niveau de l'interaction foration massif rocheux. Le véritable foreur ne peut qu'être un technicien de haut niveau formé à ce métier régulièrement recycle aux techniques et matériels nouveaux .il ne doit pas être soumis en permanence a des objectifs de rendement à tout prix ,ce qui ne peut qu'avoir des répercussions catastrophique sur les déviations en foration mais essentiellement, à des objectifs de respects de la géométrie recherchée et de qualité de la foration [7].

II.4.3 Déviations dues au massif

Les nombreuses constatations faites a posteriori sur les fronts de tailles conduisent à dire que les déviations peuvent se faire perpendiculairement ou parallèlement aux discontinuités ; dans la pratique les deux cas de figures existent bien et c'est on fait l'angle d'incidence de taillant sur les discontinuités qui déterminera le sens de déviation ; d'une manière générale on admet que la foration doivent être inférieur à 3% (30 cm pour 10 m). Il n'est cependant pas exceptionnel de voir sur chantier des déviations de 5 à 10 %. Il est en fin important de noter qu'à partir de moment ou une déviation est amorcée elle ne fait que s'accroître et ceci de plus en plus rapidement. Ceci peut amener à poser la question de l'intérêt et des risques des forages à grandes profondeur[7].

II.5 Influence de l'orientation de trou sur le volume abattu et sur la consommation spécifique

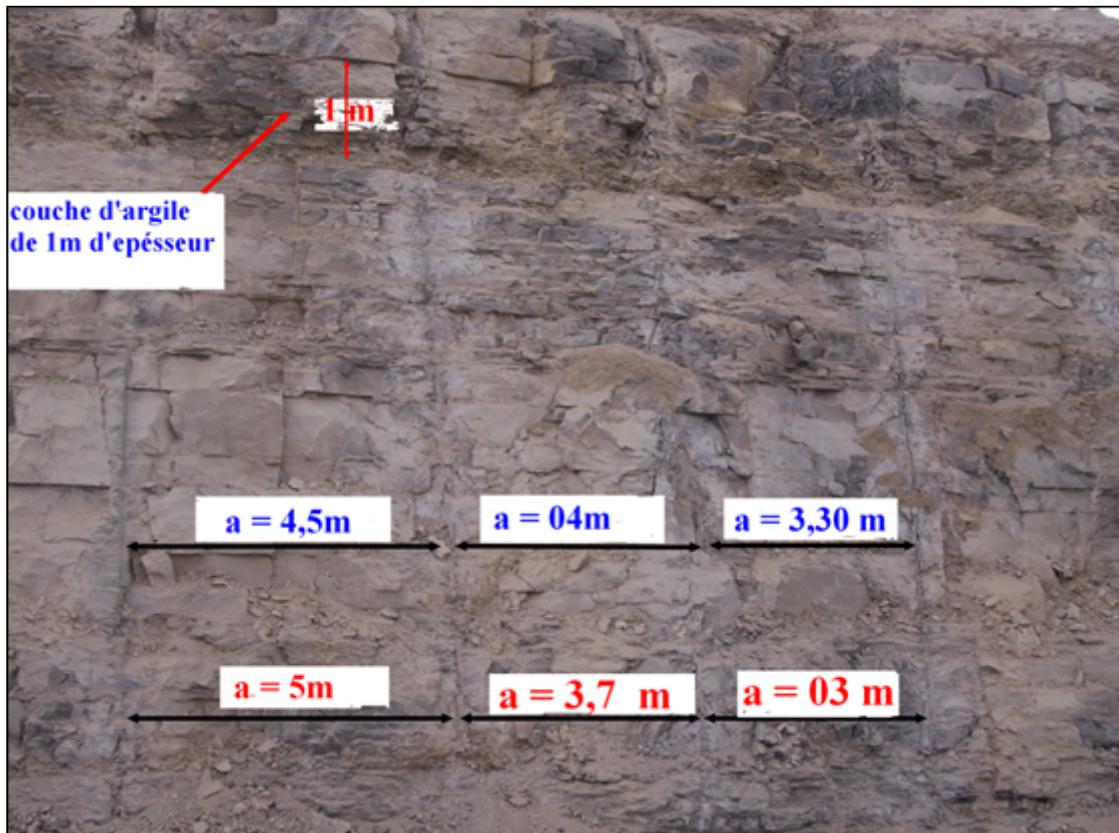


FIGURE II.10 – exemple de déviation des axes des trous au pied de gradin.

La (fig.II.10) Représente un schéma montrant l'influence de l'orientation des trous sur la qualité de l'abattage des roches. C'est une réalité au niveau de la carrière de Chouf -Amar. On peut remarquer sur le schéma que la distance entre les trous située au pied du gradin n'est pas égale à celle située au sommet du gradin. Ce qui implique qu'il y a anomalie au niveau du forage, c.a. d. le forage ne suit pas l'axe du trou. La valeur exacte de (a) est de l'ordre de 4m. A la profondeur 15m de l'arrête supérieur du gradin la valeur de (a) change ; on prend comme exemple la distance entre le trou n° 1 et le trou n°2 (a=4,5m) sur le même niveau la valeur de (a) sera changé (a=4m). Au dessous de ce niveau (-1m), la valeur de (a) entre le trou n°1 et n°2 égale (a=5m) plus de 0,5 m par rapport niveau précédent et 1m de la valeur de la distance entre deux trous appliqué dans le plans de tir. Cette anomalie peut influencer sur le volume abattu par un mètre de trou ainsi que sur la valeur de la consommation spécifique d'explosif.

II.5.1 Calcule du volume abattre par un mètre de trou entre les quatre trous

Le volume à abattre par un mètre de trou forer au niveau de la carrière de Chouf-Amar sera calculé par la formule suivante :

$$V_{tr}^{1m} = a * w * 1; m^3 \quad (II.1)$$

Où :

a : la distance entre les deux trou a=4m (existant dans la carrière)

W : Ligne de moindre résistance au pied du gradin w=3,5m (existant dans la carrière)

Donc :

$$V_{tr}^{1m} = 4 * 3.5 * 1 = 14 m^3$$

On calcule ce volume d'après deux variantes

Variante N°01 :

Au niveau de 15m de profondeur de trou : selon le schéma la valeur de (a) varie entre (4, 4,5, 3,3).

1. Pour a=4,5m $\rightarrow V_{tr1}^1 = a * w * 1 = 4.5 * 3.5 * 1 = 15.75 m^3$

2. Pour a= 4m $\rightarrow V_{tr2}^1 = a * w * 1 = 4 * 3.5 * 1 = 14 m^3$

3. Pour a=3,30 m $\rightarrow V_{tr3}^1 = a * w * 1 = 3.3 * 3.5 * 1 = 11.55 m^3$

Variante N°02 :

Au niveau de 16 m de profondeur selon le schéma la valeur de la banquette (a) est varie (3, 3,7, 5m)

1. Pour a= 5m $\rightarrow V_{tr1}^2 = a * w * 1 = 5 * 3.5 * 1 = 17.5 m^3$

2. Pour a= 3,7 m $\rightarrow V_{tr2}^2 = a * w * 1 = 3.7 * 3.5 * 1 = 12.95 m^3$

3. Pour a= 3 m $\rightarrow V_{tr3}^2 = a * w * 1 = 3 * 3.5 * 1 = 10.5 m^3$

Après le calcul des différents volumes pour chaque variante et le volume abattre par un mètre de trou dans la carrière, on conclure que chaque fois la valeur de l'espacement (a) augmente le volume à abattre par 1m de charge explosif augmente.

Selon le schéma et le calcul de volume de différentes variantes on remarque que l'orientation des trous sur les trois axes influé considérablement sur la qualité de fragmentation des roches par explosif.

II.5.2 calcul de consommation spécifique

On calcule la consommation spécifique de la charge explosive et on compare celle-ci avec la valeur appliquée dans la carrière.

Sur le plan de tir la charge métrique du trou p est de l'ordre de 9,62 kg/m

la valeur de la consommation spécifique appliquée sur le terrain est égale 0,49 kg/m³.

Variante N° : 01

1. Pour a= 5m $\rightarrow V_{tr1}^1 = 15.75 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{15.75} = 0.61 kg/m^3$, On remarque que 0,61 kg/m³ > 0,49
2. Pour a= 4m $\rightarrow V_{tr2}^1 = 14 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{14} = 0.68 kg/m^3 > 0.49$
3. Pour a=3,30 m $\rightarrow V_{tr3}^1 = 11.55 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{11.55} = 0.83 kg/m^3$

Variante N° :02

1. Pour a= 5m $\rightarrow V_{tr1}^2 = 17.5 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{17.5} = 0.54 kg/m^3$; On remarque que 0,54 kg/m³ > 0,49
2. Pour a= 3,7 m $\rightarrow V_{tr2}^2 = 12.95 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{12.95} = 0.74 kg/m^3 > 0.49$
3. Pour a= 3 m $\rightarrow V_{tr3}^2 = 10.5 m^3 \rightarrow q_{ex} = \frac{9.62}{10.5} = 0.91 kg/m^3 > 0.49$

TABLE II.1 – Tableau récapitulatif de résultats de variante N° : 01

N° de trou paramètres	Trou N° : 01	Trou N° :02	Trou N° :03
	v_{tr}^{1m}	15.75	14
q_{ex}	0.61	0.68	0.83

TABLE II.2 – Tableau récapitulatif de résultats de variante N° : 02

N° de trou paramètres	Trou N° : 01	Trou N° :02	Trou N° :03
	v_{tr}^{1m}	17.5	12.95
q_{ex}	0.54	0.74	0.91

D'après les calculs précédentes de la consommation spécifique d'explosif en fonction de la capacité métrique de la charge explosif et le volume abattu par 1mètre de trou dans chaque position, on conclure les notes suivantes :

- Le male orientation des axes des trous peut augmenter ou diminuer le volume à abattre par 1m de trou de la charge explosif.
- Si le volume augmente la consommation spécifique d'explosif diminuée qui lui produire des grandes granulométries de tas des roches abattus(roches hors gabarit ,pied de gradin).
- Si le volume diminue la consommation spécifique d'explosif augmentée qui lui produire des fines granulométries de tas des roches abattus(risque de projections) .

II.6 Influence de la variation de la dureté du terrain et du changement de diamètre de taillant sur les paramètres de forage

Si en cours de forage la dureté du terrain varie il convient d'adapter la poussée donc le couple de rotation à la nouvelle configuration (fig.II.11).

Partant d'un pré réglage de couple moyen on aura en fonction des courbes fournies par le constructeur les valeurs des poussées stables permettant d'utiliser au mieux le couple disponible[2].

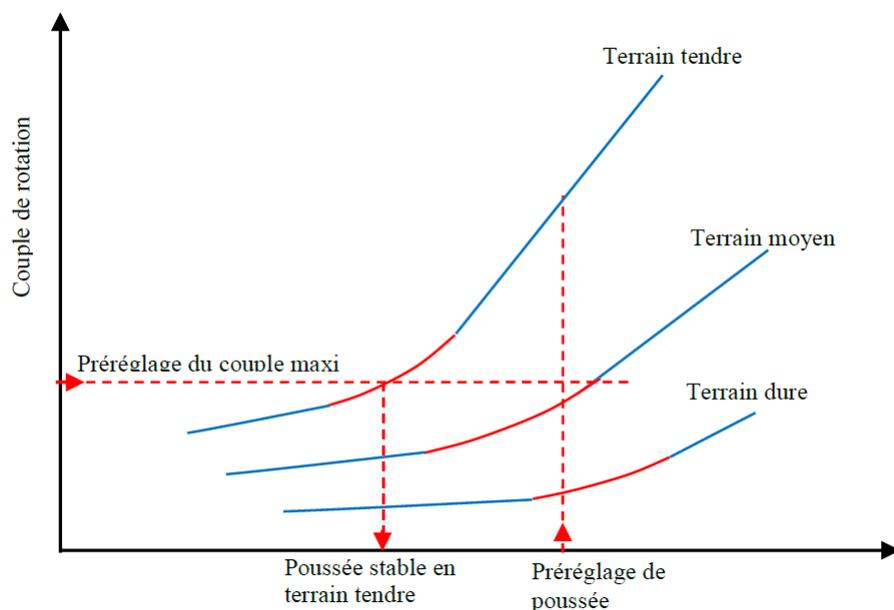


FIGURE II.11 – Adaptation de la poussée au terrain.

Ces courbes doivent correspondre à la zone d'optimisation définie précédemment en

utilisant les courbes constructrices on peut prévoir l'influence d'un changement de diamètre sur le pré réglage de couple (fig.II.12) : Ainsi, en terrain tendre on pourra utiliser avec le même pré réglage de couple (terrain dur) un taillant de diamètre immédiatement supérieur, l'inverse est également vrai en passant d'un terrain moyen à un terrain dur.

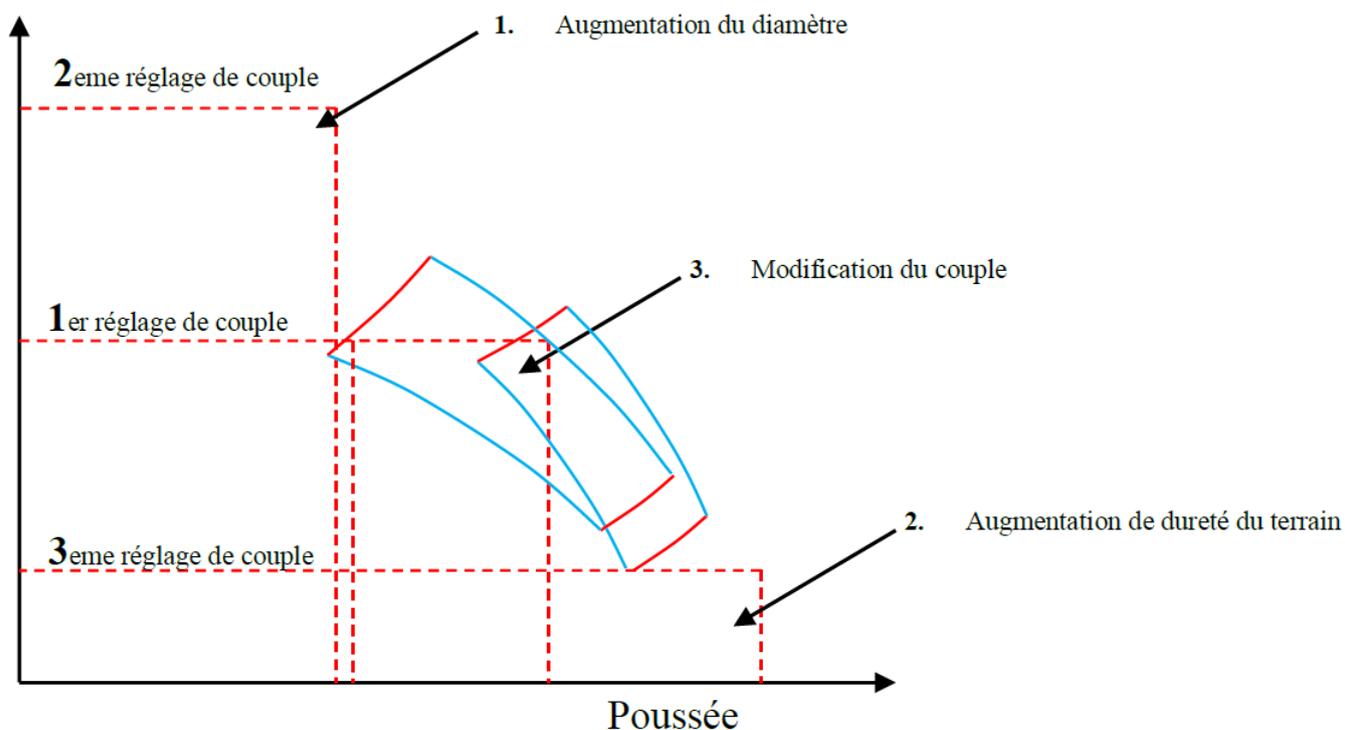


FIGURE II.12 – Poussée / changement de taillant / terrain.

Dans les systèmes de rotation à moteur séparé ce qui est le cas des machines travaillant en fond de trou et pour les marteaux perforateurs à commande hydraulique (moteur sur le côté) ce pré réglage s'opère en changeant le jeu de pignons. Le constructeur fournit en général plusieurs rapports de démultiplication qui permettent une grande souplesse d'adaptation au terrain. Par contre cette opération nécessite toujours un démontage.

II.7 Conséquences des déviations de foration

Dans le cas de parois rocheuses découpées, les déviations sont directement observables sur le talus. La géométrie des talus est mauvaise et la paroi est souvent traumatisée lorsque le parallélisme et la coplanéité des trous ne sont pas respectés.

Pour les tirs de masse, une mauvaise géométrie de la foration se traduit par une maille réelle de minage totalement différente de la maille théorique. C'est généralement en pied de

front de taille que les conséquences sont les plus prononcées :

- risque de projections en cas de banquette insuffisante ;
- production de gros blocs (banquette trop forte) ;
- présence de « pieds » (banquette en pied trop forte) ;
- raté de tir (maille trop importante) ;

C'est dans le cas de parois découpées que les conséquences sont les plus directement visibles .la géométrie du talus est mauvaise et la paroi est souvent traumatisée lorsque le parallélisme et la coplanéité des trous ne sont pas respectés.

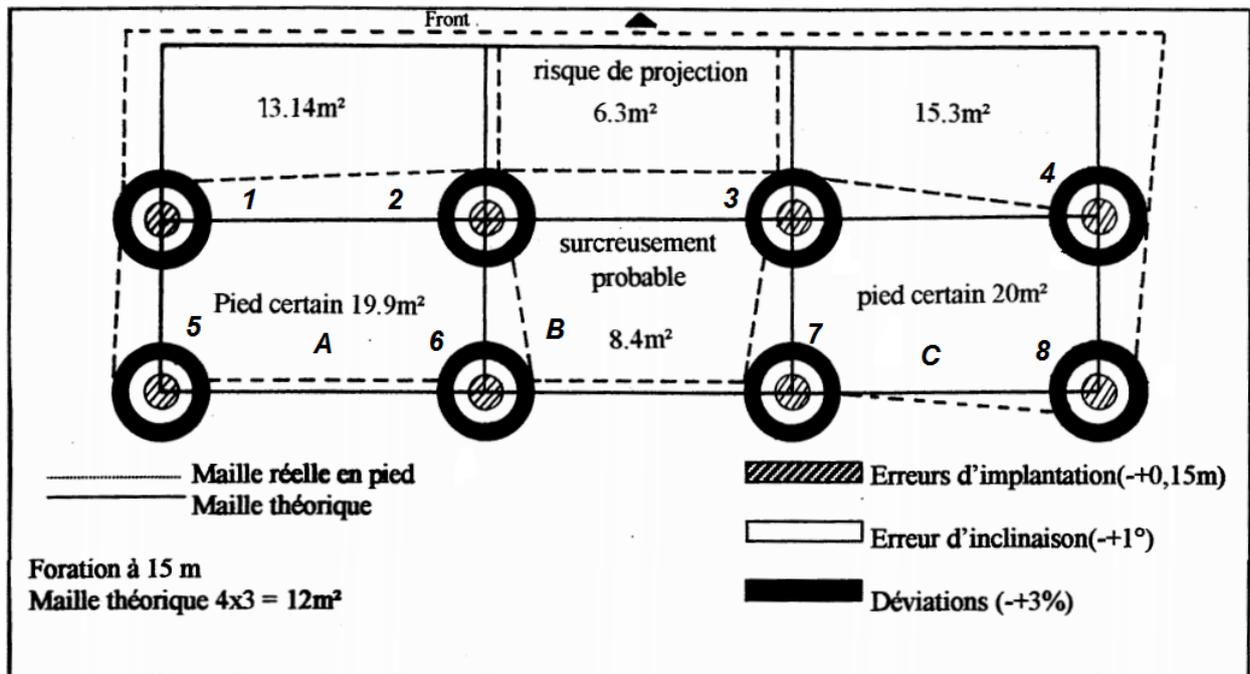


FIGURE II.13 – Erreurs d'implantation, inclinaison, incidence sur la maille de forage.

La figure II.13 ; nous laisse voir le pied de gradin après le forage. La maille (A) qui était rectangulaire et équidistante à la surface s'est élargie au niveau des trous 5 ; 6 ; et 2 ; 1 pour donner une forme trapézoïdale au niveau du pied de gradin. Dans ce cas il y aura un pied de gradin certain dû à une mauvaise répartition de la charge explosive.

Par contre, la maille (B) considérée comme l'inverse de la maille (A) avec un rétrécissement des trous 2 ; 3 ; 6 et 7. En plus un écartement des trous 2 et 3 vers le haut de la figure. Dans ce cas il y'aura un surcreusement probable au niveau des trous. La maille (C) indique le décalage entre les trous 3 et 4 ; 7 et 8 pour former un parallélogramme au niveau du pied. On a un pied de gradin certain.

Ce qu'il faut retenir de ces figures c'est que les déviations dégradent l'uniformité de la fragmentation. Ils peuvent causer des gros blocs, des fronts mal taillés, des projections, des pieds de gradin. Les conséquences des déviations du forage dépend du type de maille utilisé (carrée ou en quinconce); du diamètre du trou; de la quantité d'explosif, du degré de rapprochement des trous, de la qualification du foreur. L'expérience montre que les mailles de tir disposées en quinconces contrôlent mieux les déviations

II.8 Comment réaliser une foration de qualité

- L'engin de foration doit pouvoir évoluer sur une plateforme propre et plane.
- L'implantation de tous les trous doit être soignée, précise et effectué par un spécialiste en topographie.
- Positionner la machine au-dessus de l'emplacement du trou préalablement tracé, tout en respectant l'orientation par rapport au front de taille et l'inclinaison de la glissière (respect du vecteur pendage de forage).
- L'engin de foration doit être parfaitement stabilisé.
- Utiliser un taillant adapté en bon état et correctement affuté.
- Vérifier l'usure de taillant en utilisant un gabarit " passe-bas " au diamètre minimum tolérable, se conformer à la vitesse de rotation définies par les constructeurs.
- Vérifier la profondeur des trous sans oublier de compter le nombre d'allonge.
- Amorcer le trou correctement de manière à ce que premier mètre foré respecte l'orientation et l'inclinaison voulues.
- Afficher les réglages machines (vitesse, poussée, pression d'air ...) qui donnent les meilleurs résultats en accord avec les constructeurs (vitesse d'avancement optimisé).
- Être attentif a toutes anomalies pouvant changer l'état d'avancement du taillant ou augmenter la fatigue des équipements (cliqueté, échauffement des allonges, traversées de failles risquant de deviser le taillant, écart important de la vitesse d'avancement, couleurs de débris de foration.
- S'assurer d'un soufflage efficace tout en vérifiant la taille des débris de foration.
- Éventuellement enregistrer certains paramètres en cours de forage tels que vitesse d'avancement, pression de fluide de forage[2].

Observation :

Différentes précautions et appareils correspondant le plus souvent au simple respect des règles de l'art des mines peuvent améliorer la qualité du forage. Outre le système topographique classique, il est possible d'utiliser un théodolite électronique couplé à un télémètre à infrarouge ou à laser ; ou un GPS. Les moyens et techniques modernes permettent de réaliser un forage de qualité ou de reconnaître les causes des déviations afin d'y apporter les remèdes nécessaires.

II.9 Procédure de choix de la machine de forage

Le choix d'une machine particulière pour la production de forage dans une mine à ciel ouvert est le genre le plus critique d'évaluation de forage que l'ingénieur de mine est invité pour faire. C'est un véritable problème de conception de technologie, exigeant des jugements de valeur[1]. Généralement, le procédé suit ces étapes :

1. Déterminer et spécifier les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée, comme les facteurs du travail (travail, emplacement, temps, etc.), avec la sûreté la considération finale
2. Énoncer les objectifs pour les phases de rupture de roche du cycle de production des opérations considérant des restrictions d'excavation et de transport, de la stabilité de pente de mine, écrasant la capacité, la géométrie de mine en termes de tonnage, la fragmentation, les vibrations , etc.
3. Basé sur des conditions de soufflage, concevoir le modèle de trou de forage (taille et profondeur de trou, inclinaison, fardeau, espacement, etc.).
4. Déterminer les facteurs de forabilité, pour le genre de roche prévu, et identifier les candidats méthode de forage qui semblent faisables (les fabricants peuvent réaliser des essais de forabilité de roche et recommander les exercices et l'outil de forage).
5. Spécifier les variables d'opération pour chaque système à l'étude, y compris le forage, la tige, l'outil de forage, et les facteurs de fluide de circulation.
6. Estimer les paramètres d'optimisation du traitement, y compris la disponibilité de machine et les coûts, et comparer. Considérer la source d'énergie et choisir les caractéristiques. Les centres de coût importants sont peu, forent la dépréciation, le travail, l'entretien, la puissance, et les fluides. L'usage et les coûts de l'outil de forage sont critiques mais difficile pour projeter.
7. Choisir le système de forage qui, en satisfaisant mieux indisposent des conditions, a le plus bas coût global, proportionné à l'exploitation sûre.

8. Les points 4 et 6 sont les la plupart des étapes difficile à accomplir du procédé de conception entier, principalement en raison du manque de fiabilité actuel de la prévision d'exécution de forage et détermination de forabilité.

CONCLUSION

La démarche engagée sur la carrière est intéressante dans la mesure où elle ne porte que sur la qualité de la foration. Pour une même consommation d'explosifs, elle permet d'aboutir à un meilleur résultat de minage en faisant moins de forage et une foration de meilleure qualité.

On démontre qu'une bonne maîtrise de la foration dans l'espace est possible. Elle suppose, d'une part, une utilisation optimale des matériels de foration et de positionnement et, d'autre part, une compétence et un professionnalisme des personnels affectés à la foration.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les améliorations apportées ne vont pas dans le sens de la suppression d'emplois mais, au contraire, ont permis la création d'un poste supplémentaire au niveau du minage.

On ne peut évidemment considérer en l'état actuel que tous les problèmes sont définitivement réglés. Des évolutions restent possibles, ne serait-ce qu'en fonction des variations géologiques du front de taille, et un suivi périodique de la qualité de la foration demeure nécessaire.

References

- [1] L. KHOCHEMANE. PhD thesis, Université Badji Mokhtar Annaba, 2007.
- [2] M. FREDJ, “Etude du régime de forage dans les conditions de la carrière de calcaire (chouf-amar m’sila),” 2012.
- [3] V.Rjeveski, “Processus des travaux miniers à ciel ouvert. nedra, moscou .,” 1978.
- [4] F. Delille, “Recherche d’une prediction de fragmentation charge par charge pour les tirs a ciel ouvert,” 2013.
- [5] H. HÉRAUD, “étude des déviations de foration incidence sur le minage,” 1994.
- [6] E. t. Ricardo CHAVEZ (EPC-France, “La problematique pour le minage,”
- [7] J. Leblono, “Minage intérêts techniques et économiques d’une foration de qualité en carrière,”