

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université de 20 Août 1955 Skikda

Faculté de technologie

Département De Génie Mécanique.

N°d'ordre :D012121007D

THESE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Electromécanique

Par :

Mme : RABBOUCHE Zina

Thème

Etude de la détermination du régime de fonctionnement rationnel des machines de forage percutant

Soutenue publiquement le : 08/07/2021

Devant le jury composé de

Président : METATLA Abderrezak

Professeur

U. Skikda

Rapporteur : BOUZAOUIT Azzedine

Professeur

U. Skikda

Examineurs :

BOUSSAHA Elhadi

MCA

U. Skikda

HADJADJ AOUEL Elias

Professeur

U. Annaba

DEKHMOCHE Mohamed Tahar

Professeur

U. Annaba

KHERIEF Nacereddine Mohamed

MCA

.ENSET. Skikda

Remerciement

Un remerciement infini adressé aux GRAND DIEU miséricordieux qui m'a donnés le pouvoir et la capacité d'arriver à ce que je suis

Je tiens à remercier le Pr. BOUZAOUITE Azzedine pour l'intérêt qu'il a pris à mon travail, pour avoir accepté d'être mon rapporteur, pour tout ce qu'il m'a appris, ses conseils, sa disponibilité, et son constant soutien. Qu'il trouve ici le témoignage de toute mon admiration et de toute mon amitié.

Messieurs président du jury Pr. METATLA Abderrezak , et membres du jury Messieurs BOUSSAHA Elhadí ,Maître de conférences classe A à l'université de Skikda et Messieurs le Pr. HADJADJ AOUEL Elias aussi le Pr. DEKHMOUCHÉ Mohamed Tahar à l'université d'Annaba et le Messieurs KHERIEF Nacereddine Mohamed , Maître de conférences classe A à ENSET de Skikda, je tiens à leur exprimer ici ma très vive gratitude pour l'honneur qu'ils m'en font d'accepter d'estimer mon travail.

Je présente avec sincérité une grande reconnaissance à tout mes professeurs dès mon très jeune âge à leurs tête mes parent, pour leur confiance et leur soutien, merci pour leurs patiences infinie de m'avoir toujours épaulé, et encouragé, et pour leurs aides inestimables. Sans oublier de dédier mon travail à l'esprit pur de mon précédent superviseur Pr. KHOCHMANE Lakhdar demandant à dieu d'avoir pitié de lui et de demeurer dans ses paradis spacieux.

Je tiens à exprimer ma sympathie à tout ceux avec qui j'ai eu la bonne compagnie durant mes études, à ceux fidèle à mon amitié et pour ceux que je suis chères.

R. Zina

Dédicace

Je dédie cette thèse à :

Mes très chers parents, que dieu les protège

Mon marié et mes enfants Anes, Abdrrahmane

Mes frères et Mes sœurs et ses enfants

*Toute ma famille et tous mes amis
Sans exception*

Ainsi à toutes les personnes que j'aime.

R. Zina

Résumé

Intitulé : « Etude de la détermination du régime de fonctionnement rationnel des machines de forage percutant ».

L'industrie minière joue un rôle très important dans l'économie nationale, le développement de l'industrie lourde et légère est étroitement liée à la production du minerai ferreux, et d'autres substances utiles (hydrocarbures).

L'Algérie est l'un des pays riche en matière première.les bases minières nationale de grande envergure que constituent nos gisements de fer, cuivre, plomb, zinc, etc...Et d'autres substances sont celle à partir desquelles s'est développée notre compétence en exploitation.

La base méthodologique du travail de recherche consiste à trouver la combinaison des paramètres de réglage de la machine satisfaisant les exigences énumérées dans les conditions concrètes, et d'exploiter les machines dans le régime rationnel.

Le but de recherche présenté consiste à élaborer les méthodes de la détermination des paramètres du réglage rationnel de fonctionnement de la machine de forage percutant lors de son exploitation dans les conditions géologiques et minières définies.

Pour définir le but de recherche empirique, on se base sur la recherche bibliographique où plusieurs chercheurs ont étudié le mode de forage percutant avec différentes méthodes en se basant sur les propriétés physico-mécaniques de la roche, paramètres de réglage de la machine, paramètres géométriques de l'outil. L'analyse bibliographique nous a montré qu'il ya à présent certaines méthodes de la détermination des dépendances de la vitesse de forage, et la hauteur de pénétration est une fonction de l'énergie d'un coup du piston et la vitesse de forage est une fonction de la hauteur de pénétration dans la roche et de la vitesse de rotation.

L'analyse de ces méthodes montre qu'elles sont basées sur les connaissances des particularités de l'interaction de l'outil contre la roche. Chaque fois, on tient compte des paramètres cités ci-dessus.

Mots clés : Forces appliquées, les propriétés de la roche, la vitesse de forage, la hauteur de pénétration, compression d'air comprimé, l'énergie d'un coup, la productivité.

Entitled: "Study of the determination of the rational operating regime of percussion drilling machines".

The mining industry plays a very important role in the national economy; the development of heavy and light industry is closely related to iron ore production, and other useful substances (hydrocarbons).

Algeria is one of the countries rich in raw materials. The large-scale national mining bases constitute our iron, copper, lead, zinc, etc. deposits. And other substances are the ones from which developed our operating expertise. The methodological basis of the research is to find the combination of setting parameters of the machine that meets the requirements listed in the concrete conditions, and operate the machines in the rational system.

The aim of presented research is to develop methods of determining the parameters of rational control of machine operation of percussion drilling during its operation in geological and mining conditions defined.

To set the goal of empirical research, it is based on the literature search in which several researchers have studied the mode of percussion drilling with different methods based on the physic mechanical properties of the rock, setting parameters of the machine, geometric parameters of tool. The literature has shown us that there are now some methods of determining the dependencies of the drilling speed, and height of penetration is a function of the energy of a piston stroke and the drilling speed is a function of the height of penetration into the rock and the rotational speed, The analysis shows that these methods are based on knowledge of the peculiarities of the interaction of the tool against the rock. Each time, we take into account the parameters mentioned above.

Keywords : Forces applied, properties of the rock, progress drilling, the height of penetration, energy of a blow, the compressed air pressure, the productivity.

عنوان المذكرة : « دراسة تحديد نظام التشغيل العقلاني لآلات الحفر الإيقاعية ».

صناعة التعدين تلعب دورا هاما جدا في الاقتصاد الوطني، يرتبط ارتباطا وثيقا في تطوير الصناعة الثقيلة والخفيفة لإنتاج الحديد الخام، والمواد الأخرى المفيدة (الهيدروكربونات). و تعتبرا لجزائر بلد غني بالمواد الأولية الوطنية الكبرى التي تعتبر ودائع لدينا مثل الحديد والنحاس والزنك والرصاص... الخ وغيرها من المواد التي تم تطويرها حسب خبرتنا في العملية.

أساس المنهجية للبحث العملي تعتمد على إيجاد توافق لمعالم ضبط الآلة التي تلبي المتطلبات الواردة في شروط محددة، وتشغيل الآلات في نظام عقلائي و الهدف من البحث المعروف هو وضع أساليب لتعيين معالم الضبط ذلك لتشغيل آلة الحفر بالدق خلال عملها في الظروف الجيولوجية والتعدين المحددة.

تحديد الهدف من البحث التجريبي، والذي يقوم على بحوث الفهرسة حيث درس العديد من الباحثين طريقة الحفر بالدق بأساليب مختلفة تعتمد على الخصائص الفيزيوميكانيكية للصخرة، ووضع معايير لتعديل الألالة، والمعايير الهندسية للأداة. وأثبتت لنا تحاليل الفهرسة في الوقت الحالي أن هناك بعض الطرق لتعيين تبعيات في سرعة الحفر، وارتفاع التغلغل بدلالة طاقة الدق للمكبس وسرعة الحفر بدلالة ارتفاع التغلغل في الصخرة وسرعة الدوران.

يبين تحليل هذه الأساليب بأنها تركز على معرفة خصوصيات التفاعل لأداة ضد الصخرة. في كل مرة، ونحن نأخذ في الاعتبار المعايير المذكورة أعلاه.

الكلمات المفتاحية: القوى التطبيقية ، خصائص الصخور ، سرعة الحفر ، عمق الاختراق ، الطاقة المفاجئة ، ضغط الهواء المضغوط ، الإنتاجية.

Table des matières

	Page
Remerciement	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iii
Abstract	iv
ملخص	v
Table des matières.....	vi
Nomenclature	x
Liste des figures	xiv
Liste des tableaux.....	xvi
Introduction générale.....	1
Chapitre I : l'état de la mécanisation des travaux de forage	
I.1. Introduction.....	5
I. 2. Le forage.	5
I.3.Les études précédentes.....	6
I.4.état actuel de la détermination des travaux de forage réalise aux moyens des machines de forage percutant (marteau perforateur)	6
I.4.1.1. Classification, performance et expérience de l'utilisation des machines de forage percutant	6
I.5. Argumentation sur le choix du mode de forage	9
I.5.1. Les divers mode de forage	9
I.6.Analyse des résultats de l'étude du régime de forage des trous de mines.....	11
I.7.Facteurs influençant le forage	12
I.8.Particularités des conditions de travail des machines de forage dans les carrières algériennes	14
I.9. Les marteaux perforateurs	15
I.9.1. Classification des perforateurs pneumatiques	15
I.9.2. construction du marteau perforateur pneumatique	16
I.9.3.principe de fonctionnement	19
I.9.4. dispositifs de distribution d'air comprimé.....	20
I.9.4.1. Dispositif de distribution d'air comprimé par soupape	21

I.9.4.1.1. Dispositif de distribution par soupape annulaire.....	21
I.9.5. Mécanisme de rotation	23
I.10. Exigences d'exploitation des perforateurs	24
I.11. Conclusion	25

Chapitre II : Les propriétés physico-mécaniques de la roche (marbre)

II.1. Introduction	27
II.2. Les principales propriétés physico-mécaniques des roches.....	27
II.3. Les différents types de la roche	28
II.3.1. Les roches magmatiques	29
II.3.2. Les roches sédimentaires.....	29
II.3.3. Les roches métamorphiques.....	30
II.4. Généralité sur le marbre.....	31
II.4.1. Définition.....	31
II.4.2. Les propriétés physico-mécaniques des roches.....	31
II.4.3. Variante du marbre dans la carrière de fil-fila	32
II.4.4. Composition du marbre	32
II.4.4.1. Carrières à blocs de marbres bruts.....	33
II.4.4.2. Usines de transformation de marbre	33
II.4.4.3. Carrières de dérivés de marbre	34
II.4.5. Utilisation du marbre	34
II.5. Particularités de l'application des machines à foré dans les conditions des carrières	35
II.5.1. Propriétés physico-mécaniques des roches à abattre	35
II.5.1.1. Analyse des propriétés physico-mécaniques des roches influant sur le processus de forage	35
II.5.1.2. Propriété physico mécanique de marbre	36
II.6. Effet de l'usure par abrasion sur les outils de forage	36
II.6.1. Mécanismes d'usures	36
II.7. Procédés de détermination des propriétés mécaniques des roches	37
II.7.1. Procédés de destruction de la roche par arrachement d'un élément	37

II.7.2.Procédé de broyage	39
II.7.3.Procédé du Dor NII	40
II.7.4.Procédé du professeur Baron .L	41
II.7.4.1.Détermination de la dureté, de l'abrasivité de la solidité et de la résistance à l'empreinte.....	41
II.7.4.1.1.Indice de l'abrasivité	41
II.7.4.1.2.Indice de la résistance à l'empreinte.....	43
II.8.Conclusion	46

Chapitre III : Détermination théoriques des indices caractérisant le processus de forage percutant

III.1. Introduction	48
III. 2. Forage à l'aide de l'outil a diamant des roches dures	48
III.3. Choix de l'outil de forage	48
III. 3. 1. Outil de travail	48
III. 3. 1. 1. Les fleurets	48
III.3.1.2.Mèches et forets	50
III.3.1.3.Les différents types du taillant	50
III.4.Schéma du processus de forage	53
III.4.1. Classification des méthodes.....	53
III.4.2.Théorie de pénétration.....	54
III.4.3.Composants d'opération de système	55
III.4.4. Mécanismes de pénétration	55
III. 5. Les méthodes de calcul énuméré afin de déterminer les valeurs de la vitesse de forage.....	56
III.5.1. Les essais des perforateurs	56
III.5.2.Les paramètres de base du perforateur pneumatique	58
III.5.2.1.Détermination des forces appliquées au piston	59
III.5.2.2.Détermination des vitesses maximales du piston	60
III. 5.2.3.Détermination du nombre de coups du piston	61
III. 5.2.4. Détermination de l'énergie d'un coup du piston et de la puissance du perforateur	63
III. 5.2.5. Détermination de la consommation de l'air comprimé	64

III.6.Coût de forage	64
III.7. Détermination des régimes de fonctionnement des machines de forage percutant	65
III.7.1. Critères et modèles du choix des régimes rationnels de fonctionnement.....	65
III.7.2. Paramètres essentiels de l'organe de travail des machines de forage percutant.....	66
III.7.2. 1. Processus de la roche par les machines de forage percutant.....	66
III.8. Choix du régime de fonctionnement rationnel	66
III.9.Conclusion	67
Chapitre IV : Optimisation des paramètres de réglage du marteau perforateur	
IV.1. Introduction	69
IV. 2. Choix du régime de fonctionnement de la machine de forage percutant	69
IV.2.1. Hauteur de pénétration du trépan	69
IV.2.2. Vitesse de forage	70
IV.2.3. Productivités du perforateur	70
IV.2.4. Energie d'un coup du fleuret	72
IV.2.5.Application numérique	73
IV.3.Critères et modèle du choix des régimes de fonctionnement rationnel	77
IV.4.Conclusion	83
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques.....	87
Annexe.....	92

Nomenclature

Symboles	Signification	Unité
V_f	volume des roches foisonnées	m^3
V_m	volume des roches en massif	m^3
A_1	travail nécessaire pour la création d'un noyau bien compacté	jour
A_2	travail nécessaire pour la dispersion du matériau dans le sens du poinçon	jour
A_3	travail nécessaire pour arracher l'élément	jour
D	diamètre du poinçon	m
σ_{comp}	contraintes de destruction à la compression	Sans unité
σ_{trac}	la contrainte à la traction	Sans unité
h	épaisseur de l'échantillon	m
P	La force de pénétration	N.m
K_1, K_2	coefficients de proportionnalité	Sans unité
s	nouvelle surface formée	m^2
V	volume du matériau broyé	m^3
∂_c	la résistance à la compression	Kgf/cm ²
n	nombre de coups	Sans unité
r_{ex}	résistance à l'excavation	pascal
K_e	longueur du contour coupé	m
N	Nombre d'essai de chaque échantillon.	Sans unité
P_{1i}	Poids initial de l'échantillon	mg
P_{2i}	Poids final de l'échantillon	mg
F_i	Charge au moment de formation d'un poquet	kgf

Nomenclature

S	Aire de la section transversale de l'étampe	mm ²
V _f	vitesse de forage	m/mn
P	pression d'air comprimé	kgf/cm ²
F	l'effort axial	N.m
B	l'angle de rotation du fleuret par coup	Degré
D	diamètre du piston	m
d ₁	diamètre de la tige du piston	m
d ₂	diamètre de la tige hélicoïdale	m
Pa	pression d'air comprimé dans la chambre d'admission du cylindre	kgf/cm ²
Pe	pression d'air dans la chambre d'échappement $P_e = 1,1 \text{ à } 1,2 \text{ kgf/cm}^2$	kgf/cm ²
K1	coefficient tenant compte des pertes par frottement entre le piston et le cylindre $K_1 = 0,85 \text{ à } 0,95$.	Sans unité
K2	coefficient tenant compte des pertes par frottement et par rotation du fleuret, $K_2 = 0,5 \text{ à } 0,7$.	Sans unité
a _a	accélération du piston sur la distance, L ₁	m/S ²
a _r	accélération du piston sur la distance, L ₂	m/S ²
m	masse du piston	Kg
G	poids du piston	N
g	accélération de la pesanteur, $g = 9.61 \text{ m/S}^2$	m/S ²
t _a	durée du trajet aller	s
t _r	durée du trajet retour	s
t' _a , t' _r	durée du déplacement du piston sous l'action des force F _a et F _r respectivement sur les distances l ₁ et l ₂ .	s
t'' _a , t'' _r	durée du déplacement du piston par l'inertie respectivement sur les distances l ₃ et l ₄	s

hp	pas du filetage de la tige hélicoïdale, hp = 0.8 à 1.0	m
E_{ou}	énergie d'un coup du piston	kgf.m
d	diamètre du trépan	m
μ_1	coefficient de frottement entre le taillant et la roche, $\mu_1 = 0.3 - 0.5$	Sans unité
C_e	coefficient d'émoussement, $C_e = 1.2 - 1.3$	Sans unité
α	angle d'affûtage	degré
ξ_e	Rendement de la transmission d'énergie du fleuret à la roche on prend $\xi_e = 0.4 \text{ à } 0.7$	Sans unité
z	nombre de tranchants, $z = 1 - 3$	Sans unité
K_f	coefficient tenant compte du nombre de perforateurs en fonctionnement ; $m_p = 2$, $K_f = 0.7$	Sans unité
m_p	nombre de perforateurs en fonctionnement	mn/m
T_{pr}	le temps de préparation par poste	mn/m
$t_{dépl}$	temps de déplacement ou de manœuvre du perforateur.	mn/m
t_{in}	temps de la course inactive de la tige de forage	mn/m
t_n	temps de soufflage et de nettoyage du trou	mn/m
t_{ch}	temps nécessaire pour changer l'outil de forage	pièces/m
q	consommation spécifique de l'outil de forage	Sans unité
K_{rep}	coefficient tenant compte du repos des ouvriers ; $K_{rep} = 1.12$ pour perforateur à main $k_{rep} = 1.05$ pour perforateur à colonne.	Sans unité
K_{exp}	coefficient d'exploitation	Sans unité
T	durée d'un poste de travail du perforateur	mn
T_f	temps de forage	H
T_{aux}	temps de forage d'un mètre de trou	H
	temps d'arrêt du perforateur due à des causes techniques	mn

T_{org}	pertes de temps à cause de l'organisation des travaux	mn
L	métrage total des trous forés	m
e	base logarithmique naturelle, e=2.72	Sans unité
α_1	pertes d'énergie dans 1 mètre du fleuret $\alpha_1 = 0.003$ Pour les fleurets de forme hexagonale $\alpha_1 = 0.004$ Pour les fleurets de section ronde	Sans unité
α_2	pertes d'énergie dans une jonction entre les tiges du fleuret, $\alpha_2 = 0.025$ Pour la jonction à manche fileté	Sans unité
α_3	pertes d'énergie dans la jonction entre le fleuret et la couronne (taillant), $\alpha_3 = 0.07$ Pour la jonction conique	Sans unité
L_f	, longueur du trou de forage	m
ΔL	longueur d'une tige du fleuret, $\Delta L = 0.9 - 1.2$, m pour les duretés $f \leq 10$ $\Delta L = 0.7 - 0.9$, m pour les duretés $f > 10$.	m
L_T	longueur totale du fleuret	m
C_p	Prix d'un poste de travail de perforateur	DA/poste
Q_{exp}	Productivité par poste de perforateur lors de forage	m/poste
C_{ou}	Prix de l'outil	DA
H	métrage des trous foré se rapportant à un outil	m
C_{ou}	Prix de l'outil	DA
P_a	pression d'alimentation	Kgf/cm ²
C_p	Dépenses rapportant à l'exploitation de la machine pendant un poste	DA
C_s	Salaire de l'ouvrier par poste	DA/poste
C_e	Le coût de l'énergie par poste	DA/poste
C_a	Le coût de la machine amortie	DA/poste
$C_{rép}$	Le coût de réparation	DA/poste
C_{ma}	Le coût de la matière (graine)	DA/poste

Liste des figures	Page
Figure I.1 : Quatre actions pour un forage réussi	6
Figure I.2.a Destruction de la roche lors du forage	7
Figure I.2.b Valeurs relatives de l'effort axial-p, de la Puissance de rotation $-N_r$ et de la puissance De choc-N_{ch} lors de divers mode de forage	8
Figure. I.3 vue générale du perforateur Atlas-Copco de type (RH656-W)	17
Figure I.4 principe de fonctionnement du perforateur pneumatique	20
Figure I.5 dispositifs de distribution d'air comprimé par soupape	22
Figure I.6 Mécanisme de rotation	23
Figure I.7 schéma simplifié le principe de fonctionnement du perforateur	25
Figure II.1 : Les roches sédimentaires	30
Figure II.2 : les roches métamorphiques	30
Figure II.3 : procédé de destruction de la roche par arrachement d'un élément	37
Figure II.4.procéde de broyage	40
Figure II.5. procéde de dor NII	40
Figure II.6 : Stand de la détermination de l'abrasivité des roches.	42
Figure II. 7: Stand de la détermination des indices de solidité, de la résistance à l'empreinte et de la résistance à la compression	43
Figure III.1: fleurets du marteau perforateur	49
Figure III.2 : emmanchement de fleurets	49
Figure III.3 : emmanchement spécifique à chaque type de mandrin	50
Figure III.4: types de taillants du perforateur.	51
Figure III.5 : Les taillants du perforateur Atlas-Copco	52

Figure III.6 : Schéma du processus de destruction de la roche par les machines de forage	54
Figure III.7: Dépendances de la vitesse de forage (V_f) de la pression d'air comprimé (P), de l'effort axial (F) et de l'angle de rotation du fleuret par coup (β)	57
Figure III.8 : Schéma du stand d'essai du perforateur	58
Figure III.9 : Schéma de détermination des paramètres de base des perforateurs.	60
Figure III.10 : Schéma de la section longitudinal du piston du perforateur	62
Figure III.11: le piston du perforateur	63
Figure III.12 : Nomogramme de choix du régime de fonctionnement des perforateurs	67
Figure IV.1:l'effet de la dureté de la roche sur le diamètre du taillant	71
Figure IV.2:l'énergie d'un coup du piston (E_{ou}) en fonction de la pression d'air comprimé dans la chambre d'admission du cylindre (P_a)	74
Figure IV.3: la hauteur de pénétration (h) en fonction de l'énergie d'un coup du piston (E_{ou})	75
Figure IV.4: la vitesse de forage (V_f) en fonction de la hauteur de pénétration(h)	76
Figure IV.5 : la vitesse de forage en fonction de l'énergie d'un coup du piston	78
Figure IV.6 : le prix de revient d'un mètre de trou foré en fonction de l'énergie d'un coup du piston	79
Figure IV.7 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage	80
Figure IV.8 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage (V_{f2})	81
Figure IV.9 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage (V_{f3})	82
Figure .IV.10 : Nomogramme de détermination des valeurs optimales du régime de fonctionnement des machines de forage percutant	83

Liste des tableaux	page
Tableau I.1 types des machines de forage	9
Tableau I.2 domaine d'utilisation de divers modes de forage	10
Tableau I.3 : Etapes de recherche	12
Tableau I.4 : Variables d'exploitation du forage et de leurs effets sur les différentes méthodes	13
Tableau I.5 classification des perforateurs selon le poids	15
Tableau I.6 caractéristiques techniques des perforateurs pneumatiques	18
Tableau II.1: propriétés physico mécaniques de la roche	32
Tableau II.2 : Propriété physico mécaniques du marbre	36
Tableau II.3: Résultats des essais de la solidité	44
Tableau II.4 : Détermination de la résistance à la compression	44
Tableau II.5 : Détermination de la résistance a l'empreinte ; kgf/mm²	45
Tableau II.6 : Détermination de l'abrasivité	45
Tableau III.1: valeurs de l'angle d'affûtage α du taillant	48

Tableau III.2 : paramètres des taillants.	52
Tableau IV.1: durée des opérations auxiliaires lors du forage avec des perforateurs	70
Tableau IV.2: consommation des outils de forage en pièces à 1000 m de trous forés avec des perforateurs à main	71
Tableau IV.3 : Caractéristiques techniques du perforateur pneumatique Atlas-Copco de type (RH656-4W)	73
Tableau IV.4 : paramètres de base du perforateur pneumatique	73
Tableau IV.5 : Résultats de l'étude expérimentale réalisée dans les conditions de la carrière de file fila.	74
Tableau IV.6 : variation de la hauteur de pénétration en fonction de l'énergie d'un coup du piston.	75
Tableau IV.7 : la variation de la vitesse de forage en fonction de la hauteur de pénétration.	76
Tableau IV.8 : coûts de la machine	77
Tableau IV.9 : la vitesse de forage et le prix de revient d'un mètre de trou foré en fonction de l'énergie d'un coup du piston	78
Tableau IV.10 : Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage(V_{f1}) dans les conditions de la carrière de file fila	79

Tableau IV.11 : Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage(V_{f2}) dans les conditions de la carrière de file fila.	80
Tableau IV.12: Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage(V_{f3}) dans les conditions de la carrière de file fila	81
Tableau. IV.13 : Paramètres optimaux du marteau perforateur	82

Introduction générale

Introduction générale :

Dans le monde la consommation des matières premières ne cessa de croître. Les pays riches en minerais tels que le fer, le cuivre pour lesquelles les exploitations doivent être importantes, très mécanisées et produire en très grandes quantités pour être rentables. Ce type d'exploitation constituerait des pôles technologiques autour desquels pourrait s'ordonner un tissu industriel qui manque si cruellement en cette période.

Le choix de la mécanisation a une incidence directe sur les coûts et les rendements. L'objectif de toute entreprise est d'assurer une exploitation optimale de ses ressources en tenant compte de leurs diverses caractéristiques techniques, économiques et humaines.

Selon le caractère des travaux à effectuer, les machines minières peuvent être divisées en 7 classes à savoir :

- machines de forage qui sont destinées à la préparation des roches à l'abattage ;
- machines de préparation et d'excavation ;
- machines d'excavation et de transport ;
- machines de transport ;
- machines pour la construction des stériles ;
- machines de classification et d'enrichissement des minéraux ;
- machines pour les travaux auxiliaires.

Les machines de chaque classe sont divisées en plusieurs groupes. Dans tout groupe, on rencontre différentes constructions destinées pour le même but. Chaque type de machines comprend différents modèles qui se caractérisent par leurs productivités, les paramètres de leurs équipements de travail, leurs masses, etc

La classification des machines minières s'effectue selon l'énergie utilisée, le type de mécanisme de translation, le poids et les particularités de la construction. On rencontre une partie de cette classification dans le contenu de cet ouvrage, qui est consacré à l'étude des machines de forage. On ne peut parler de forage sans pour autant considérer les propriétés physico-mécaniques des roches à abattre et les méthodes de leur détermination. Quelques soient les conditions d'exploitation à ciel ouvert ou dans les mines souterraines, le forage peut être réalisé par différentes machines, que nous pouvons réunir en deux grands groupes :

Les marteaux perforateurs et les sondeuses.

Le forage, c'est l'action de creuser un trou de diamètre allant jusqu'à 75 mm ou un sondage dont le diamètre est supérieur à 75 mm de forme cylindrique dans le massif par la destruction de la roche.

La base méthodologique du travail de recherche consiste à trouver la combinaison des paramètres de réglage de la machine satisfaisant les exigences énumérées dans les conditions concrètes, et d'exploiter les machines dans le régime rationnel. Le but de recherche présenté consiste à élaborer les méthodes de la détermination des paramètres du réglage rationnel de fonctionnement de la machine de forage percutant lors de son exploitation dans les conditions géologiques et minières définies.

Pour définir le but de recherche empirique, on se base sur la recherche bibliographique où plusieurs chercheurs ont étudié le mode de forage percutant avec différentes méthodes en se basant sur les propriétés physico-mécaniques de la roche, paramètres de réglage de la machine, paramètres géométriques de l'outil. L'analyse bibliographique nous a montré qu'il ya à présent certaines méthodes de la détermination des dépendances de la vitesse de forage, et la hauteur de pénétration est une fonction de l'énergie d'un coup du piston et la vitesse de forage est une fonction de la hauteur de pénétration dans la roche et de la vitesse de rotation.

L'analyse de ces méthodes montre qu'elles sont basées sur les connaissances des particularités de l'interaction de l'outil contre la roche. Chaque fois, on tient compte des paramètres cités ci-dessus.

Afin d'atteindre cet objectif, notre étude s'articule autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre a été consacré à la recherche bibliographique afin de mieux s'imprégner sur le forage, et définir le mode de forage percutant qui est réalisé par les marteau perforateur ; le plus concernant dans l'étude c'est le marteau perforateur pneumatique et nous avons élaboré le choix du régime rationnel de fonctionnement de la machine de forage.

Le deuxième chapitre a été consacré à la théorie des différents méthodes de la détermination du régime de fonctionnement rationnel des machines de forage percutant en se basant sur les propriétés de la roche, les paramètres de réglage de la machine et les paramètres géométriques de l'outil de forage.

Le troisième chapitre consacré à l'étude expérimentale de la détermination du régime de fonctionnement de la machine de forage. Nous avons montés un stand des essais de forage au sein du laboratoire. L'analyse des résultats montre qu'elle est basée sur les

connaissances des particularités de l'interaction de l'outil contre la roche ; et nous avons choisi le type du perforateur pneumatique Atlas-Copco de type (RH656-4W).

Le quatrième chapitre consacré à l'analyse et la comparaison des résultats déterminés avec les méthodes théoriques et ceux déterminés expérimentalement et nous avons étudiés l'influence du métrage des trous forés sur la vitesse de forage. Sachant que les paramètres de réglage influent considérablement sur les paramètres de sortie .En résultat de recherches réalisées, nous avons conclu que dans les conditions des carrières employant les moyens de forage défini, il est préférable d'utiliser le critère de prix du revient d'un mètre de trou foré qui est l'indice technico économique qui vérifie exactement la rationalité de fonctionnement de la machine.

Chapitre I

*L'état de la mécanisation des travaux de
forage*

I.1.Introduction :

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

Le choix de la mécanisation a une incidence directe sur les coûts et les rendements. L'objectif de toute entreprise est d'assurer une exploitation optimale de ces ressources en tenant compte de leurs diverses caractéristiques techniques, économiques et humaines.

On ne peut pas parler de forage sans pour autant considérer les propriétés physico-mécanique des roches à abattre et les méthodes de leur détermination. Quelque soient les conditions d'exploitation à ciel ouvert ou dans les mines souterraines, le forage peut être réalisé par différentes machines, que nous pouvons réunir en deux grands groupes : les marteaux perforateurs et les sondeuses [1].

Les études de forage sont principalement basées sur l'approche empirique. Il existe différentes manières de définir la capacité de forage de la roche. Le concept d'énergie spécifique a été proposé par Teale [2], Miller [3] Et Pathinkar et Misra [4] comme un guide pour évaluer l'aptitude à la roche. Rabia [5] a déclaré que l'énergie spécifique en termes de volume unitaire ou de surface ne constitue pas une propriété intrinsèque de la roche.

Le forage percutant est largement utilisé dans l'industrie minière et la construction de trous dans la roche. Habituellement, le forage de la roche, contenant un marteau alternatif, est placé dans le trou, Le mode de forage percutant est très répandu lors de l'exploitation des gisements de minerai [6].

I.2. Le forage :

Est l'action de creuser un trou de diamètre allant jusqu'à 75mm ou un sondage dont le diamètre est supérieur à 75mm, de forme cylindrique dans le massif par la destruction de la roche.

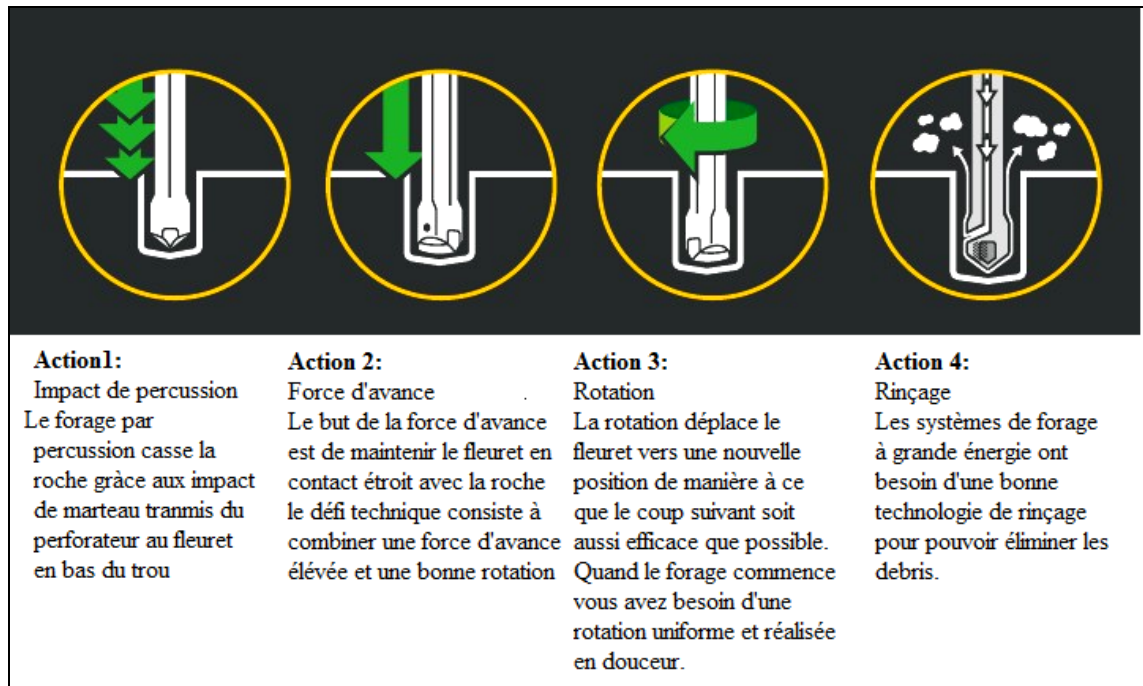


Figure I.1 : Quatre actions pour un forage réussi [7].

I.3. Les études précédentes :

De nombreux chercheurs ont étudié théoriquement ou expérimentalement le forage percutant. Plusieurs chercheurs ont réalisé des essais d'exploitation et des essais de laboratoire pour le but de déterminer les indices d'exploitation et les caractéristiques techniques. Parmi les chercheurs **A.SEMENTCHENKO**, **A.KARBACHEV**, **M.OUADI** ont étudiés le régime de fonctionnement des machines minières, **R.PODERNI**, **I.RAKOV**; **J.RADKEVITCHE** calcul et choix des machines minières, **G.NANAIEVA**, **I.BEGAGOENE** [8],[9],[10],[11], [12].

La base méthodologique du travail de recherche consiste à trouver la combinaison des paramètres de réglage de la machine satisfaisant les exigences énumérées dans les conditions concrètes, et d'exploiter les machines dans le régime rationnel.

I.4. Etat actuel de la détermination des travaux de forage réalisés aux moyens des machines de forage percutant (marteau perforateur):

I.4.1.1. Classification, performance et expérience de l'utilisation des machines de forage percutant :

Les machines de forage utilisées pour le creusement des trous dans les carrières sont divisées en général en deux (2) groupes :

- Avec la destruction mécanique de la roche par l'outil spécial ;
- Avec la destruction physique de la roche.

Les machines du premier groupe qui sont à leur tour les plus répandues, peuvent être divisées d'après le caractère du travail de l'outil et l'application des charges. Ce sont les machines de forage rotatif, percutant et roto-percutant.

Le schéma de la destruction de la roche au fond du trou au cours de divers mode de forage est présenté sur la (Figure I.2.a).

La (Figure I.2.b) reflète la distribution des valeurs relatives de l'effort axial F_{ax} , de la puissance du choc N_{ch} et la puissance de rotation N_r .

La pratique du forage témoigne que l'efficacité de l'application des machines de forage est déterminée par l'ensemble des facteurs parmi lesquels on distingue :

- Les conditions minières et géologiques, ainsi que les schémas technologiques de la réalisation des travaux miniers ;

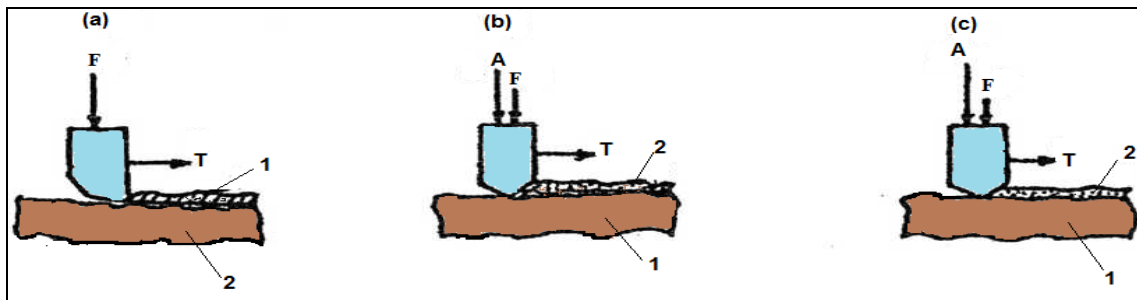


Figure I.2.a : Destruction de la roche lors de divers modes de forage [16].

(a)-rotatif, (b)-roto-percutant, (c)-percutant.

(A-impulsion d'une force de choc, F-effort Axial, T-effort tangentiel, 1-destruction de la roche, coupe, 2-destruction de la roche par choc).

-Les facteurs du premier groupe (propriétés physico mécaniques des roches, composition structurale du talus, viscosité des roches etc.) influent sur les indices technico-économiques et déterminent le type de l'outil à appliquer et le moyen de nettoyage de trous ;

-Les facteurs du deuxième groupe (type des machines à charger ; éléments des méthodes d'exploitation) forment les exigences à la profondeur et au diamètre du trou.

Une généralisation des recherches effectuées dans ce domaine [13, 14,15] a permis d'établir le caractère et le degré d'influence de divers facteurs sur les indices technico-économiques du processus de forage des trous.

L'application des machines à forer dans les conditions des carrières se caractérise en particulier par leur productivité postière en fonction du coefficient de dureté.

Dans ce cas la tendance générale consiste à la diminution de la productivité des machines de divers types avec l'accroissement de la dureté des roches. Il est à noter que la diminution rapide de la productivité des machines de forage rotatif munies d'outil à taillant coupant. Le phénomène peut être expliqué par la considération des relations des dépenses d'énergie spécifique et de la durée de vie de l'outil en fonction de la dureté des roches.

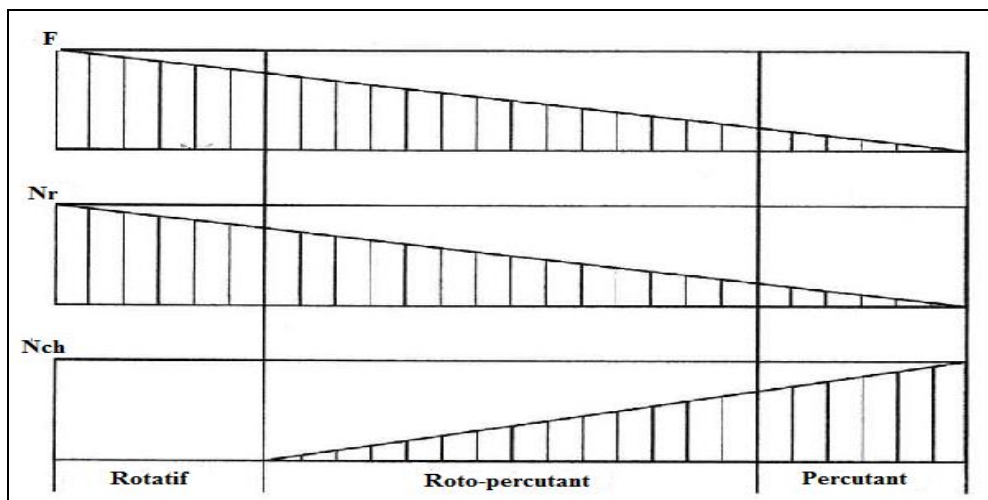


Figure I.2.b : Valeurs relatives de l'effort axial-F, de la Puissance de rotation $-N_r$ et de la puissance De choc- N_{ch} lors de divers mode de forage [16].

La destruction des roches par l'outil à molettes se déroule dans le régime de frottement et de glissement ce qui détermine la durée basse de l'outil ou dans le cas où la dureté des roches s'accroissent.

L'épaisseur du copeau diminue et par conséquent le volume des déblais augmente ; Tout cela provoque comme on sait d'après les hypothèses de RABENDER et KIRPITCHEV-KIK l'accroissement des dépenses d'énergie.

La productivité relativement haute des machines de forage percutant ne peut être expliquée que dans ce cas, on ne considère que les sondeuses permettant à forer des trous de diamètres inférieurs aux autres modes de forage.

Les indices économiques caractérisant le travail des machines de forage est le prix de revient d'un mètre de trou foré, les valeurs relativement hautes de cet indice pour les machines à molettes sont liées à leur haut prix.

Il est à signaler que le diamètre des trous égal à 50 mm pour les perforateurs, 100mm pour les machines à outil coupant, 150 mm pour les machines Roto percutante et 200mm pour les sondeuses à molettes détermine le rendement de la masse rocheuse d'un mètre du trou. C'est pourquoi l'application des machines de forage possédant de grand diamètre de l'outil s'accompagne comme règle générale par la diminution des dépenses spécifiques d'une unité de volume du massif abattu, cependant le degré rationnel de broyage du massif de la roche doit être pris en considération [16].

I.5. Argumentation sur le choix du mode de forage :

D'après le mode de forage, il existe quatre modes de forage (tableau I.1)

Tableau I.1 : Types des machines de forage [17].

Mode de forage	Dureté (Kgf/cm)	Profondeur de forage (m)	Diamètre de sondage (mm)
Rotatif	6÷20	à 50	33÷78
Roto percutant	8÷20	à 50	85÷160
Percutant	6÷20	40	150÷300
Thermique	14÷20	18	160÷300

I.5.1. Les divers mode de forage :

a. Mode de forage rotatif :

Il est réalisé par les machines à forer suivantes : tarières électriques (pneumatiques et hydrauliques) à main ; tarières électriques à colonnes ; sondeuses à vis sans fin ; sondeuses à molettes ; sondeuses à grenaille et sondeuses à couronnes à diamant.

b. Mode de forage roto-percutant :

Le forage roto- percutant des roches s'effectue à l'aide d'un marteau perceur plongé dans le trou qui est fixé à l'extrémité inférieure de la colonne de forage. L'avancement du perceur contre la taille se fait par le mécanisme d'avancement à chaîne, par les vérins hydrauliques. Le couple de rotation est transmis à la colonne de forage de l'entraînement électrique, hydraulique ou pneumatique.

Ainsi la progression du trépan est provoquée par l'action simultanée d'un effort axiale et d'une percussion. La percussion et le couple de rotation agissant simultanément ont, pour effet, le découpage de la roche sur toute la section du trou de mine.

c. Mode de forage percutant :

Le mode de forage percutante est très répandu lors de l'exploitation du gisement de minerais. La foration des trous de mine est réalisée par les marteaux perforateurs manuels avec les supports pneumatiques par les perforateurs télescopiques et par les perforateurs à colonnes. Lors du creusement des ouvrages souterrains les perforateurs lourds et les perforateurs à colonnes peuvent être installés sur les supports mobiles de la plate-forme automoteur (du chariot).

Tableau I.2 : domaine d'utilisation de divers modes de forage [16].

Percutant	Roto-percutant	Rotatif		Mode de forage	
		A couronne	A molettes	Coupant	
				1 – 6	Coefficient de dureté, f
				6 – 8	
				8 – 10	
				10 – 12	
				12 – 14	
				14 – 16	
				16 – 20	Indices d'abrasivité, a, mg
				0 – 5	
				5 – 10	
				10 – 18	
				18 – 30	
				30 – 45	
				45 – 65	Diamètre du trou, d, mm
				65 – 90	
				> 90	
				0 – 50	
				50 – 100	
				100 – 150	
				150 – 200	Profondeur de forage, H, m
				200 – 250	
				250 – 300	
				300 – 350	
				350 – 400	
				0 – 5	
				5 – 10	
				10 – 15	
				15 – 20	
				20 – 25	
				25 – 30	
				30 – 35	
				35 – 40	

Dans plusieurs cas l'application du grand diamètre peut provoquer la nécessité d'une large utilisation des débitages secondaires ou bien d'augmenter la puissance des

machines de chargement et de transport. Les conditions les plus favorables pour l'utilisation de grands diamètres sont les massifs ayant la grande dureté et en même temps les caissons de la roche.

Une telle combinaison des conditions minières et géologiques conditionne l'utilité de l'application des trous de diamètre 50 à 100mm pour recevoir une bonne fragmentation de la roche. C'est pourquoi les indices économiques caractérisant l'utilisation des marteaux perforateurs dans de nombreux cas sont préférables à celles des perforateurs pneumatiques.

L'analyse des caractéristiques techniques des machines à forer existantes nous a permis de déterminer le domaine d'utilisation de divers modes de forage réalisé par ces machines (voir **tableau I.2**), d'après ce tableau, il convient de dire que le domaine d'utilisation des modes de forage en question se détermine par les indices technico-économiques cités ci-dessus et par les particularités de construction des sondeuses et des perforateurs.

Par exemple la limite inférieure du diamètre du trou foré à l'aide du trépan à taillant coupant est restreinte par les facteurs constructifs. La profondeur du forage pour les autres modes se limite par l'efficacité des moyens de nettoyage, ainsi le tableau cité permet, en sachant les propriétés physico mécaniques des roches, et les paramètres de tir déterminés de nommer le mode de forage préalable ; bien qu'il faut avoir en vue d'autres facteurs qui influent sur le choix des machines à forer (niveau de formation des cadres, existence des bases de réparation etc.....).

Toute augmentation de la poussée entraîne ou provoque en principe un accroissement de la vitesse de pénétration. Des essais permettent de déterminer la poussée assurant un optimum entre la vitesse de pénétration et l'usure de l'équipement [18].

I.6. Analyse des résultats de l'étude du régime de forage des trous de mines :

L'aperçu des recherches connues dans le domaine nous a permis d'établir :

- 1- Jusqu'à présent seulement en U.R.S.S ont fait plus de 100 recherches;
- 2- L'étude volumineuse de ce matériel permet de distinguer quelques étapes de recherches.

Dans le tableau (I.3) ; on présente les caractéristiques de ces étapes brièvement, et on indique les chercheurs qui ont effectué telle ou telle étape [19 ; 20; 21 ; 22 ; 23 ; 24].

Tableau I.3 : Etapes de recherche

Etape	Année	Caractéristique de recherche	chercheurs
1	1935-1939	Approbation de tarière dans les conditions de mines, l'établissement des paramètres essentiels caractérisant le processus de forage.	RADIONOV
2	1940-1949	Analyse du régime de travail des tarières dans les conditions de laboratoire.	EPCHTEIN
3	1950-1951	Argumentation de base physique du processus de destruction de la roche au forage.	CHRAINER
4	1950-1962	Tentative d'établissement des corrélations ou de proportion rationnel entre les paramètres de forage.	IMSSE
5	1963-1966	Tentatives de généralisation des résultats de l'étude des paramètres de forage en fonction des propriétés physico mécaniques des roches.	ALIMOV
6	1967-nos jours	Recherche des dépendances décrivant le processus de forage	KRAPIVINE

I.7.Facteurs influençant le forage :

Un certain nombre de facteurs affectent la pénétration de roche ou le déplacement de découpages dans le processus de forage [25].

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.4.

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.

Tableau I.4 : Variables d'exploitation du forage et de leurs effets sur les différentes méthodes [25].

	Percussion	Rotative	Roto-percutante
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 [25] :

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 (pédrologiques et lithologie 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.8. Particularités des conditions de travail des machines de forage dans les carrières Algériennes :

En analysant la géologie des gisements (roches) de faible, moyenne, et de grande dureté dans les carrières d'Algérie, on peut déduire que ces dernières sont de types montagneux.

L'inclinaison de pendage varie dans les limites de 35° à 80°.

Les travaux d'extraction se font après avoir réalisé le forage et le tir.

La longueur du front des travaux miniers est en général, dans les limites de 200 à 700m avec les banquettes ayant la largeur qui varie de 8 à 15m.

La réalisation des travaux de forage se fait à l'aide des machines de forage (sondeuses, les marteaux perforateurs), ils sont connus que l'utilisation efficace des machines de forage en question est liée au milieu ambiant.

L'utilisation efficace des machines de forage dans les carrières Algériennes dépend des conditions des travaux de recherche : nous avons essayé de trouver les paramètres statistiques caractérisant celle-ci en traitant les données se rapportant à chaque carrière.

Une telle méthode permet de remplacer toutes les carrières existantes par un seul, mais

ayant les mêmes caractéristiques généralisées et les pronostics correspondants à des propriétés physico- mécaniques de la roche.

Tous ces paramètres portent un caractère aléatoire, c'est pourquoi pour les évaluer, nous avons utilisé les méthodes de la théorie des statistiques [26].

I.9. Les marteaux perforateurs :

I.9.1. Classification des perforateurs pneumatiques :

Les marteaux perforateurs ou perforateurs sont destinés au forage des trous de mines dans les formations très dures, dures et moyennes. On les utilise souvent dans les mines souterraines, dans les exploitations à ciel ouvert et dans le domaine de la construction.

Le classement des perforateurs, s'effectue selon certains indices :

- L'énergie utilisée – électrique, pneumatique ou hydraulique ;
- La destination – perforateur à main, à colonne et télescopique ;
- Le poids :

Tableau I.5: Classification des perforateurs selon le poids, kg [27].

perforateurs	à main	à colonne	télescopique
léger	< 15	< 40	< 35
moyen	15_25	40_50	35_40
lourd	> 25	> 50	> 40

- La construction des mécanismes d'avancement- mécanique, pneumatique et hydraulique ;
- La construction des mécanismes de rotation – dépendante et indépendante ;
- La construction des mécanismes de distribution de l'air comprimé- à soupape, sans soupape et à tiroir.

L'utilisation des perforateurs pneumatiques est très répandue dans les travaux miniers, vu les avantages qu'ils présentent, tels que : la simplicité de la construction en

comparaison aux autres types, un rendement assez élevé et une sûreté pendant le fonctionnement.

Les perforateurs pneumatique présentent aussi certains inconvénients, tels que ; les grandes vibrations reçues par le corps de l'opérateur ; le bruit assez important, provoqué lors du fonctionnement et l'utilisation de l'énergie pneumatique qui revient assez cher.

a. Perforateur pneumatique à main :

Ce type de marteau est utilisé lors du forage des trous horizontaux et inclinés. Le diamètre des trous varie de 30 à 55 mm et la profondeur de forage de 3 à 4m.

b. Perforateur pneumatique à colonne :

On les trouve aussi, lors du forage des trous horizontaux et inclinés, pour des diamètres qui varient de 40 à 85mm et des profondeurs plus importantes jusqu'à 40m.

c. Perforateur pneumatique télescopique :

On les utilise, lors du forage des trous verticaux et inclinés dont le diamètre varie de 40 à 85mm et la profondeur jusqu'à 15m.

I.9.2. Construction du marteau perforateur pneumatique :

Les mécanismes et dispositifs composant le perforateur pneumatique (figure II.3) sont les suivants :

- Mécanisme de frappe ;
- Mécanisme de rotation ;
- Dispositif de distribution de l'air comprimé ;
- Dispositif de graissage ;
- Dispositif de lavage du trou ;
- Dispositif de soufflage du trou ;

Le perforateur pneumatique est une machine à percussions composée d'un cylindre, d'une roue à rochet, d'un dispositif de distribution d'air comprimé, d'un piston, d'une douille, d'une tige hélicoïdale et d'un mandrin.

L'admission de l'air comprimé s'effectue à travers la roue à rochet et le distributeur d'air comprimé. Le déplacement du piston de gauche à droite constitue la course de travail et se réalise à l'aide de la pression d'air comprimé. Le cylindre étant séparé par le piston en deux chambres, l'une sous pression (chambre gauche), l'autre en dépression (chambre droite) cela pendant le forage ; lors de la course à vide, le rôle des deux chambres est inversé.

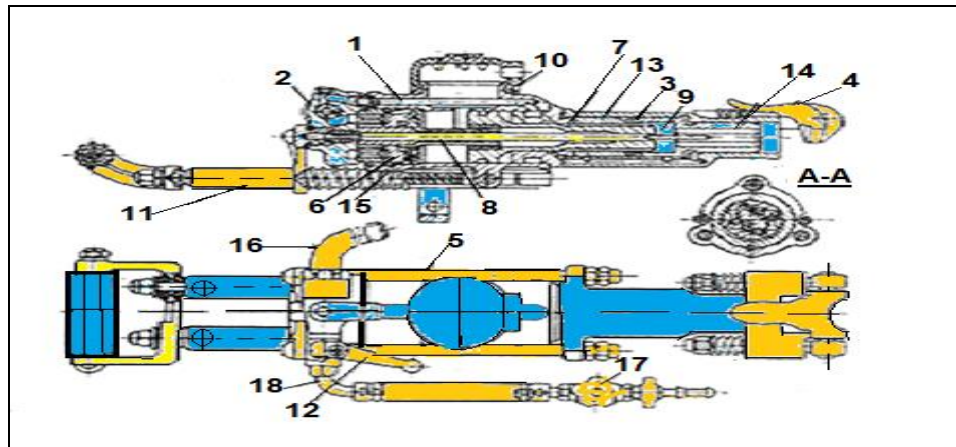


Figure. I.3: vue générale du perforateur Atlas-Copco de type (PH656-4W) [28].

1. cylindre ; 2.corps du robinet d'air ; 3.mandrin ; 4.porte-fleuret ; 5.boulon ; 6.dispositif de distribution d'air ;
- 7.piston ; 8.tige hélicoïdale ; 9.tube ; 10.silencieux ; 11.chariot antivibratoire ; 12. Manette de commande ;
- 13.douille à rainures ; 14. Douille tournante ; 15. Tiroir ; 16. Coude du robinet à air ; 17.robinet à eau ;
- 18.coude du robinet à eau.

L'air comprimé qui pénètre dans la chambre droite est réparti à l'aide du mécanisme de distribution. Le piston commence à se déplacer, à la fin de sa course, il frappe sur l'emmanchement du fleuret sans aucune rotation car la tête de la tige hélicoïdale tourne librement dans la roue à rochet. Pendant la course à vide du piston, la tête de la tige hélicoïdale est fixée dans la roue à rochet par les cliquets ; le piston tourne d'un certain angle en se vissant à la tige hélicoïdale, cette rotation du piston est transmise au fleuret à travers la douille à cannelures et la douille tournante.

La commande du perforateur pneumatique est assurée par une manette à quatre positions :

- Soufflage du trou ;
- Arrêt ;
- Fonctionnement en moyenne puissance ;
- Fonctionnement en pleine puissance ;

Le graissage est assuré par un graisseur automatique monté sur le corps du marteau.

Les caractéristiques techniques des perforateurs pneumatiques de plusieurs firmes étrangères sont présentées dans le **tableau I.6 [29]**.

Tableau I.6: Caractéristiques techniques des perforateurs pneumatiques[29].

firme	modèle	masse kg	Consom- mation d'air	Nombre de coups par mn	Diamètre du piston, mm	Course du piston, mm	Profondeur du trou m	Diamètre du trou mm	Energie d'un coup J*	
1	11	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFORATEUR A MAIN										
URSS	PR-20V	26.5	47	2300		43	2	32-46	35	
URSS	PR-24LU	23		2000	85	40	4	46		
	PR-27V	32.0	50	2300			3	36-56	55	
	PR-27VB	33.0	50	2300			3	36-56	55	
	PR-30V	34.0	58	1800		65	5	36-56	65	
	PR-30VB	35.0	58	1800		65	5	36-56	65	
	PR-30VC	33.5	58	1800		65	5	36-56	65	
ATLAS	PH656-4W	22.2	48	2040	65	60		27-40		
COPCO	PH571-5W	18.0	31	2220	55	60		27-40		
SUEDE	BBD12TH	11.2	20	2580	45	40		27-40		
	BBC 16W	26.4	60	2280	70	55		35-45		
	BBC17W	26.6	57	2220	70	55		35-45		
	BBC24W	29.5	75	1980	70	70		35-45		
	BBC34W	31.5	95	2280	80	70		35-45		
	BBC35W	32.2	90	2280	80	70		35-45		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ATLAS	BBC35WTH	32.7	90	2280	80	70		35-45		
COPCO	BBD44WK	23.0	73	3060	75	45		35-45		
SUEDE	BBD44WKS	25.2	73	3060	75	45		35-45		
	BBD44WNS	26.5	75	3060	75	45		35-45		
	BBD90W	27.3	97	3240	90	45		35-45		
	BBD91W	27.3	95	3420	90	45		35-45		
INGER -SOLL RAND EU	JH40	26.3	42		64	67	5.5	à 51		
PERFORATEUR A COLONNE										
URSS	PK50	50.0	84	2800	90	75	12	40-60	90	
	PK60	60.00	150	2800	110	45	25	40-60	90	
	PK75	75.0	184	2200	180	40	50	65-85	150	

I.9.3.Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement du perforateur est assuré à l'aide du dispositif de distribution de l'air comprimé qui alimente successivement les chambres gauche et droite du cylindre. Cela permet au piston s'effectuer son mouvement alternatif (va et vient) et un mouvement de rotation au fleuret. Le diagramme de fonctionnement du mécanisme de frappe montre la dépendance entre la position du piston dans le cylindre pendant les courses aller et retour, la pression d'air dans les chambres et la vitesse de mouvement du piston.

La course retour du piston **A** (**figure I.4a**) débute sous l'action de la pression d'air comprimé **P** passant par le dispositif de distribution **B**, le canal **C**, pour pénétrer dans la chambre droite. Dans le diagramme de la **figure (I.4.b)**, sont présentées les variations de la pression d'air comprimé et des vitesses d'avancement du piston **V** en fonction des courses du piston **L**. l'air comprimé pénètre à travers le dispositif de distribution **B**, le canal **C** dans la chambre droite du cylindre. La pression reste constante selon la droite **1-2**.

Le piston en se déplaçant ouvre l'orifice d'échappement **D** et le relie avec l'atmosphère. La pression de l'air comprimé dans cette chambre baisse brusquement selon la course **2-3**. en même temps, le piston se déplace avec une vitesse croissante **V** jusqu'à la grandeur **V_{rmax}**. à la fin du trajet retour, le piston se déplace par inertie avec une vitesse décroissante. La pression d'air diminue jusqu'à celle de l'atmosphère **P_a** selon la droite **3-4**.

Au début de la course retour, la chambre gauche du cylindre étant liée par l'orifice d'échappement **E** avec l'atmosphère, la pression d'air varie selon le droite **5-6-7**.

Quand le piston ferme l'orifice **E**, l'air se trouvant dans la chambre gauche commence à se comprimer, la pression augmente selon la courbe **7-8-10**. vers la fin du trajet retour, une forte pression agit sur la bille **B** à travers le canal **F**. la chambre droite étant en liaison avec l'atmosphère après l'ouverture de l'orifice **D**, ainsi la pression dans la chambre chute brusquement et la bille se déplace vers le droite. La bille en se déplaçant à droite, ferme le canal **F**. le piston continue instantanément son trajet retour par inertie en comprimant l'air jusqu'au point **9**. Le coussin d'air formé repousse le piston afin de faciliter le début de son trajet aller.

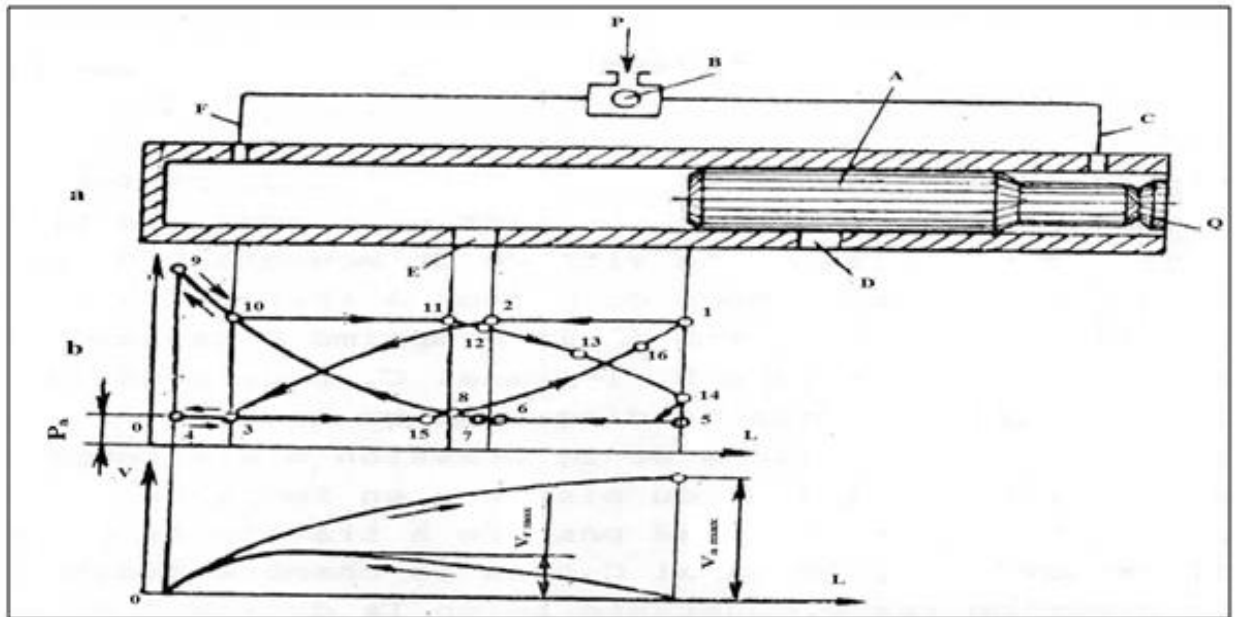


Figure I.4: Principe de fonctionnement du perforateur pneumatique [28].

a) Schéma principal.

b) Diagrammes de travail.

Au début de cette course, le piston augmente sa vitesse sous l'action de l'air comprimé selon la courbe **10-11-12**. Avant la fin de son trajet aller, le piston ouvre l'orifice d'échappement **E** et ferme l'orifice **D**. La vitesse du piston continue à augmenter jusqu'à la valeur maximale **V_{amax}**, pendant que la pression dans chambre gauche diminue selon la courbe **12-13-14**, en l'évaluant à celle de l'atmosphère. la pression d'air dans la chambre droite reliée avec l'atmosphère reste constante comme l'indique la droite **4-3-15**.

Vers la fin du trajet aller commence de nouveau la compression selon la courbe **15-8-16-1**. sous l'action de la différence des pressions dans les chambres, la bille se déplace de nouveau à sa position gauche et ouvre le canal **C**.

Au même instant, le piston donne un coup sur l'emmanchement **Q** de l'outil de forage et le cycle recommence.

I.9.4. dispositifs de distribution d'air comprimé :

Les dispositifs de distribution d'air comprimé des perforateurs sont destinés à la répartition automatique successive de l'air dans les chambres du cylindre. Cette distribution permet d'assurer le déplacement du piston dans les deux sens à savoir, le trajet aller (course de travail) et le trajet retour (Course à vide). La structure et la qualité

de la construction du dispositif de distribution influent sur les paramètres de fonctionnement du perforateur, tels que : la consommation de l'air comprimé, la productivité, la puissance, l'énergie d'un coup, etc.

Cela prouve l'intérêt porté à la construction des dispositifs de distribution d'air comprimé des perforateurs contemporains.

Actuellement, on rencontre généralement deux types de constructions des dispositifs :

- dispositif de distribution par soupape
- dispositif de distribution par tiroir

I.9.4.1. Dispositif de distribution d'air comprimé par soupape :

Les dispositifs de distribution par soupapes sont très répandus dans la construction des perforateurs contemporains à cause de la simplicité de leur fabrication, du poids assez réduit de la masse à déplacer, des petites surfaces frictionnelles et de la faible sensibilité aux impuretés causées par l'air, ce qui assurent une grande fiabilité dans leurs fonctionnement. L'inconvénient de ce type de dispositif c'est la grande consommation d'air comprimé.

La particularité de cette distribution, c'est que le fonctionnement et le déplacement de la soupape s'effectuent sous l'action de la différence de pression entre les deux chambres (gauche et droite) du cylindre.

Selon, la structure de la soupape, on distingue deux types de dispositifs de distribution :

- Avec soupape annulaire
- Avec soupape à bille

I.9.4.1.1. Dispositif de distribution par soupape annulaire :

Il est composé de la soupape annulaire **1**, du corps de la boîte à soupape **9**, du couvercle antérieur **10** avec son orifice **3** et du couvercle **4** avec la douille de guidage.

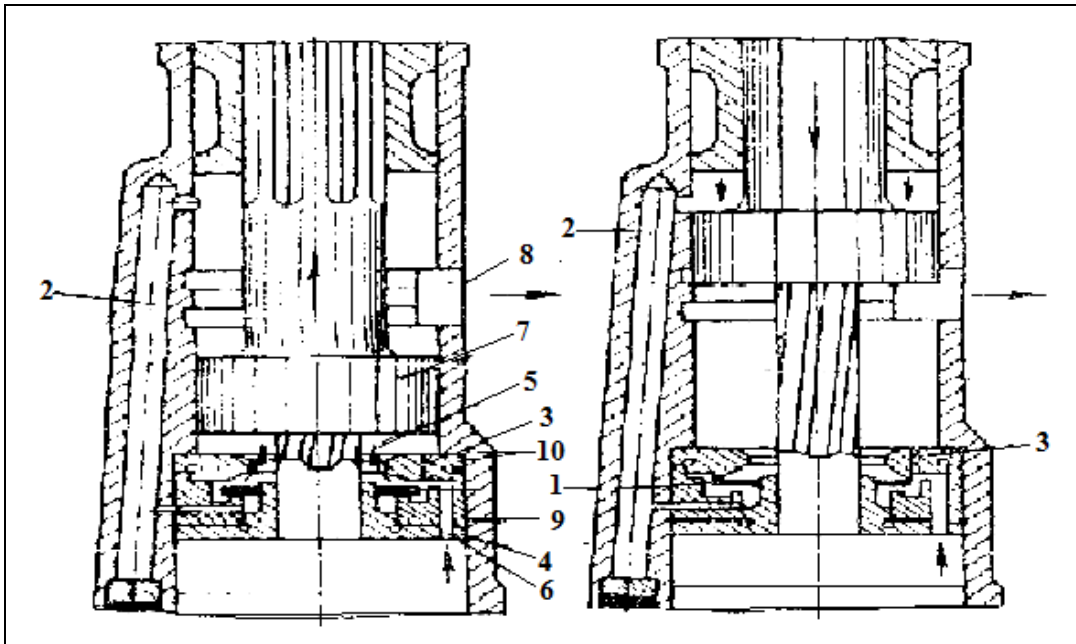


Figure I.5:dispositifs de distribution d'air comprimé par soupape [27].

L'air comprimé traverse la soupape d'admission et le canal **6** ensuite le jeu annulaire de la boîte à soupape **9** et enfin le jeu annulaire situé entre la soupape et le couvercle **10** pour aboutir à la chambre gauche **5** du cylindre. Sous l'action de la pression d'air comprimé, le piston **7** se déplace en avant et effectue sa course de travail. Pendant le même instant l'air dans la chambre droite s'échappe dans l'atmosphère par l'orifice **8**. Le piston en se déplaçant ferme l'orifice d'échappement du cylindre, ainsi l'air dans la chambre droite commence à se comprimer et passe par le canal **2** pour pénétrer par l'arrière de la boîte à soupape ou la pression augmente. Une fois le piston traverse l'orifice d'échappement pour l'ouvrir du côté de la chambre gauche, où la pression est réduite brusquement. Sous l'action de la différence de pressions, la soupape se déplace vers l'avant tandis que le piston continue son mouvement en donnant un coup sur la queue du fleuret.

La soupape se trouvant dans sa position antérieure permet à l'air comprimé de pénétrer à travers l'arrière de la boîte à soupape et le canal **2**, dans la chambre droite du cylindre. L'air en passant par le jeu annulaire agit sur la soupape. Une fois l'orifice d'échappement ouvert par le piston du côté de la chambre droite, la pression diminue brusquement. C'est ainsi que sous la différence de pression, la soupape reprend de nouveau sa position initiale, et le cycle recommence.

Dans le cas, où le perforateur est mis en marche au moment où le piston se trouve dans la position avancée, l'air passe dans la chambre gauche du cylindre à travers, l'orifice **3**

et déplace la soupape dans la position arrière. Ainsi le piston commence à effectuer sa course de travail.

La gauche surface et la petite course de la soupape (0.4 à 1mm) assure au dispositif une grande fiabilité.

I.9.5. Mécanisme de rotation :

Le mécanisme de rotation a pour but de faire tourner l'outil de forage d'un certain angle (6-15°) pour la destruction successive de la taille du trou de mine sur toute sa surface. Selon la course du piston, il y a le mécanisme de rotation dépendant.

Le mécanisme de rotation dépendant effectue la rotation de l'outil pendant le trajet retour du piston. Il est représenté soit par une tige hélicoïdale ou un piston avec une queue munie d'un filetage hélicoïdale.

Dans le premier cas (figure I.6), la bague à rochets **1** est fixée au cylindre **2**, elle est munie de plusieurs orifices pour permettre la pénétration de l'air comprimé dans la boîte de distribution **10**.

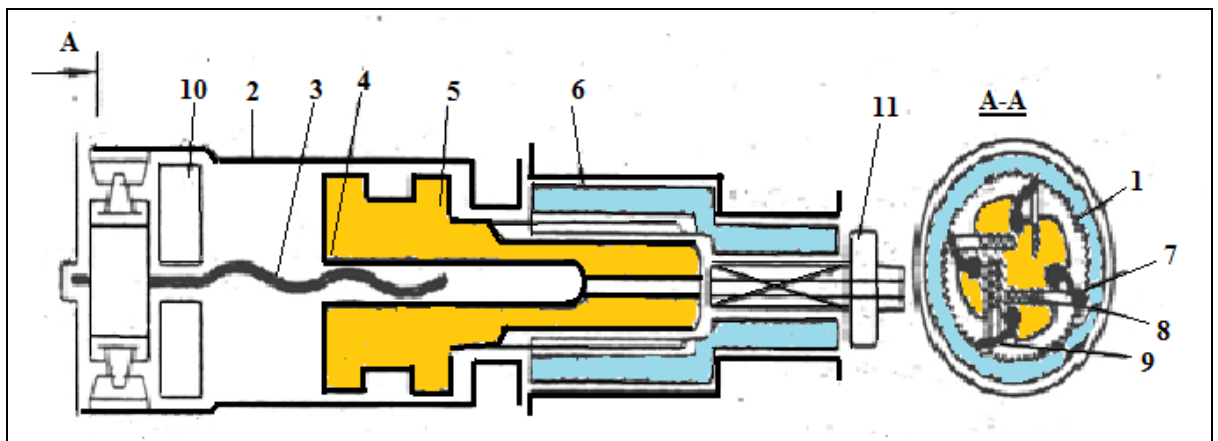


Figure I.6: Mécanisme de rotation [28].

A l'intérieur de la bague à rochet, s'installe la tête de la tige hélicoïdale **3** avec les cliquets **9**. Les cliquets sont pressés par des ressorts **8** introduits dans les aubes **7** et se trouvent en contacts permanents avec les dents de la bague **1**.

La rotation de la tige hélicoïdale dont le filtrage à un grand pas, n'est possible que dans un seul sens ; c'est à dire lors de la course de travail.

La tige à travers l'écrou **4** pénètre dans le piston **5** relie à la douille tournante **6** par des rainures. Lors de la course de travail, les cliquets n'empêchent pas la tige de tourner, c'est pourquoi le piston se déplace sans rotation et rainures longitudinales du piston s'associent à la douille. Lors de la course à vide la tige hélicoïdale est bloquée par les cliquets, ce qui le piston à glisser dans les rainures de la tige hélicoïdale et de tourner d'un certain angle. La rotation du piston entraîne obligatoirement la rotation de la douille ainsi que celle du fleuret **11**.

I.10.Exigences d'exploitation des perforateurs :

La grande productivité des perforateurs est assurée uniquement lors d'une exploitation rationnelle et un entretien planifié. Les règles fondamentales d'exploitation sont les suivantes :

- Le perforateur doit travailler au régime optimal
- L'air comprimé ne doit pas contenir des particules mécaniques et de l'eau. C'est la raison pour laquelle avant le raccordement du perforateur avec les flexibles il est nécessaire de souffler ce dernier
- L'emmanchement du fleuret doit être bien fabriqué et ses dimensions doivent correspondre aux dimensions de la douille tournante du perforateur.son traitement thermique doit être effectué selon les exigences prévues
- Assurer un fonctionnement progressif au perforateur et éviter le démarrage à vide
- Le taillant (couronne) doit correspondre en forme et en dimensions au caractère de la roche
- Les perforateurs doivent être complétés de béquilles ; de graisseurs automatiques et de chariots antivibratoire (pour les perforateurs à main)
- L'eau doit être propre et à quantité suffisante
- Les boulons doivent être serrés avec le même effort
- Les perforateurs en réserve doivent être bien conservés. Avant leur mise en fonctionnement, ils doivent être nettoyés au gas-oil et contrôler [30].

Par contre la technique d'utiliser les marteau font du trou permet de traverser des terrains durs comme le rocher (granites) ou sédimentaires consolidées (grès,

calcaires). Un taillant à boutons en carbure de tungstène fixé directement sur un marteau pneumatique, est mis en rotation et percussion pour casser et broyer la roche du terrain foré. Le marteau fonctionne comme un marteau piqueur, à l'air comprimé qui est délivré par un compresseur en plus de la machine de forage. Le flux d'air permet de remonter les cutting du terrain. On distingue 2 phases, la percussion et le soufflage.

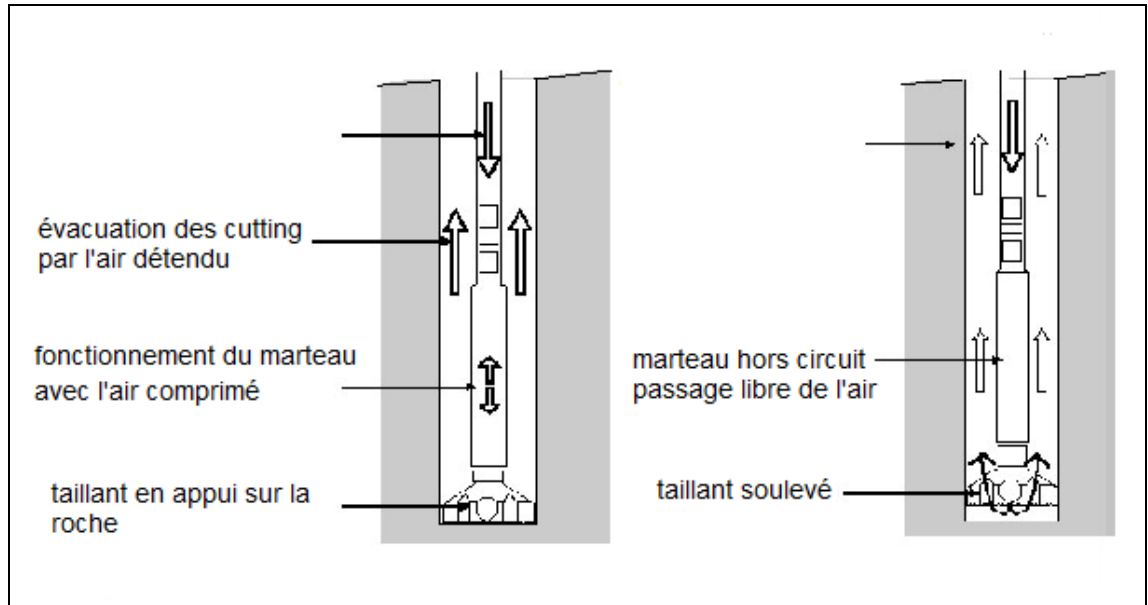


Figure I.7: Schéma simplifié le principe de fonctionnement du Marteau perforateur [31].

Forage en percussion :

L'air comprimé sert au fonctionnement du piston du marteau qui frappe sur le taillant en appui sur la roche, l'air s'échappe ensuite dans l'espace annulaire entraînant les cutting, l'air comprimé passant dans les tiges.

Soufflage évacuation des cutting

Le taillant n'étant plus en appui, la totalité du flux d'air s'écoule au travers du marteau sans le faire fonctionner et s'échappe dans l'espace annulaire soufflant les cutting par l'espace annulaire.

I.11. Conclusion :

Il existe trois modes de forage : rotatif, roto-percutant et percutant, ce dernier est important dans notre travail.

Le forage percutant est très répandu lors de l'exploitation du gisement de minerais, et le forage est réalisé par les marteaux perforateurs.

Les marteaux perforateurs sont destinés au forage des trous de mines dans les formations très dures, dures et moyennes. On les utilise souvent dans les mines souterraines, dans les exploitations à ciel ouvert et dans le domaine de la construction. Et on peut classer les perforateurs selon les indices suivants : le poids, l'énergie utilisée et la destination.

Chapitre II

*Les propriétés physico-mécaniques de la
roche (marbre)*

II.1. Introduction :

La partie extérieure de l'écorce terrestre renferme des roches qui se composent des minéraux utiles et de stériles.

On appelle minéral, un corps pur naturel de composition chimique définie pouvant comporter un ou plusieurs éléments utiles. Les roches qui sont une association naturelle de plusieurs minéraux jugés non valorisables constituent les stériles.

Un minerai est une roche présentant une concentration élevée en minéraux utiles, il peut contenir également des minéraux sans valeur qui constituent gangue.

La gangue est un minéral ou une roche sans valeur associée aux minerais.

II.2. Les principales propriétés physico-mécaniques des roches

Sont les suivantes

- **Densité :** c'est la masse de l'unité de volume de la roche en phase solide, elle s'exprime en g/cm^3 ou en t/m^3 dépend de la composition chimique ainsi que de la structure ;
- **Stabilité :** c'est la capacité des roches de rester en place durant longtemps lorsque la surface est dégagée suivant le degré de stabilité les minerais et les roches encaissantes se répartissent en groupes suivants :
 - Roche instables (sable friable) ;
 - Stabilité moyenne (argile sableuse, argile) ;
 - Roches stables (calcaire, grés fissurés) ;
 - Roches très stables (granite, basalte et d'autres roches dures) ;

La stabilité des bords des carrières et des talus des gradins est une des conditions principales de la sécurité des travaux miniers à ciel ouvert la stabilité est exprimée par l'angle de talus naturel qui varie de 45° - 70° selon la nature de la roche ;

- **Coefficient de foisonnement :**

Il caractérise l'indice de l'augmentation du volume après l'abattage du massif, il est exprimé par la formule :

$$K_f = \frac{V_f}{V_m} > 1 \quad (\text{II.1})$$

Les grandes valeurs du coefficient de foisonnement influent négativement sur le degré de remplissage des godets des excavateurs et des chargeuses, l'utilisation de la capacité

des bennes des moyens de transport et augmentent la surface nécessaire des terrils et des stocks.

- **Composition granulométrique** : elle caractérise la masse rocheuse foisonnée suivant le pourcentage des morceaux de différentes dimensions.
- **Adhésion (collage)** : c'est la capacité des roches de se coller à la surface des outils. Elle se manifeste lors d'une certaine teneur en eau dans les roches. Elle diminue le rendement des engins d'extraction et de chargement.
- **Solidité des roches ou dureté** : elle représente, l'une des propriétés essentielles. C'est la capacité de la roche de résister à la pénétration d'un autre corps.

Nous pouvons la déterminer selon le professeur Protodiakonov par la formule :

$$f = \frac{\sigma_c}{100} \quad (\text{II.2})$$

Toutefois, il faut remarquer que le coefficient de dureté, découlant des formules suscitées n'est pas toujours valable, vu la complexité des processus modernes de l'industrie minière.

Cet indice élaboré en 1926 ne tient compte que de la résistance à la compression σ_c des roches en MPa, conditions suffisantes, vu la technologie de l'époque.

Actuellement, avec la modernisation des processus technologiques, il est nécessaire de tenir compte de beaucoup d'autres facteurs intervenant dans les différents processus tels que, les efforts à la traction, au déplacement ou au cisaillement qui apparaissent lors de la destruction des roches.

- **Abrasivité (mg)** : c'est la propriété d'user les organes de travail des machines minières en contact avec la roche. L'abrasivité de la roche dépend en général de son état et de sa composition minéralogique. L'indice d'abrasivité, c'est la perte du poids de l'outil en milligramme en contact avec la roche pendant le travail. Selon l'indice d'abrasivité, les roches sont divisées en 8 catégories.

II.3. Les différents types des roches :

Les roches sont en général dures et cohérentes (exemples : pierre, caillou), parfois plastiques

(Exemple : argile) ou meubles (exemple : sable), à la limite liquides (exemple : huile) ou gazeuses. Sphéroïde gazeux à l'origine, liquide ensuite, la terre, en se refroidissant, a vu sa surface se scorifier et donner naissance aux roches ignées Par la condensation des

eaux, ces roches ont été soumises à des actions chimiques et mécaniques, qui les ont détruites, et ont formé les éléments des premières roches sédimentaires [32].

On distingue classiquement trois types de roche en fonction de leur processus d'élaboration :

- Les roches éruptives : volcaniques (basalte), plutonique (granite).
- Les roches sédimentaires.
- Les roches métamorphiques.

II.3.1. Les roches magmatiques :

Résultent de la solidification de magmas. Ceux qui parviennent directement à la surface forment les roches volcaniques ou effusives, les laves, dans lesquelles on n'observe à l'œil nu que très peu de cristaux (en raison d'un refroidissement rapide). Au contraire la solidification en profondeur donne les roches plutoniques dont la lenteur du refroidissement permet la croissance des cristaux, bien visibles donc à l'œil nu. Les minéraux sont essentiellement des silicates : quartz, feldspaths alcalins et plagioclases, amphiboles, micas etc.

II.3.2. Les roches sédimentaires :

Sont formées à la surface de la terre sur le sol ou au fond de l'eau. Elles résultent de la désagrégation des roches préexistantes. Leur dépôt en couches initialement proches de l'horizontale résulte :

- De l'action des agents d'érosion et de transport (eaux, crues, glaciers, vent) qui déposent finalement des roches détritiques ;
- De l'activité des êtres vivants (roches organogènes) ;
- De phénomènes physico-chimiques (roches hydro chimiques et salines formées essentiellement par précipitation) [33].

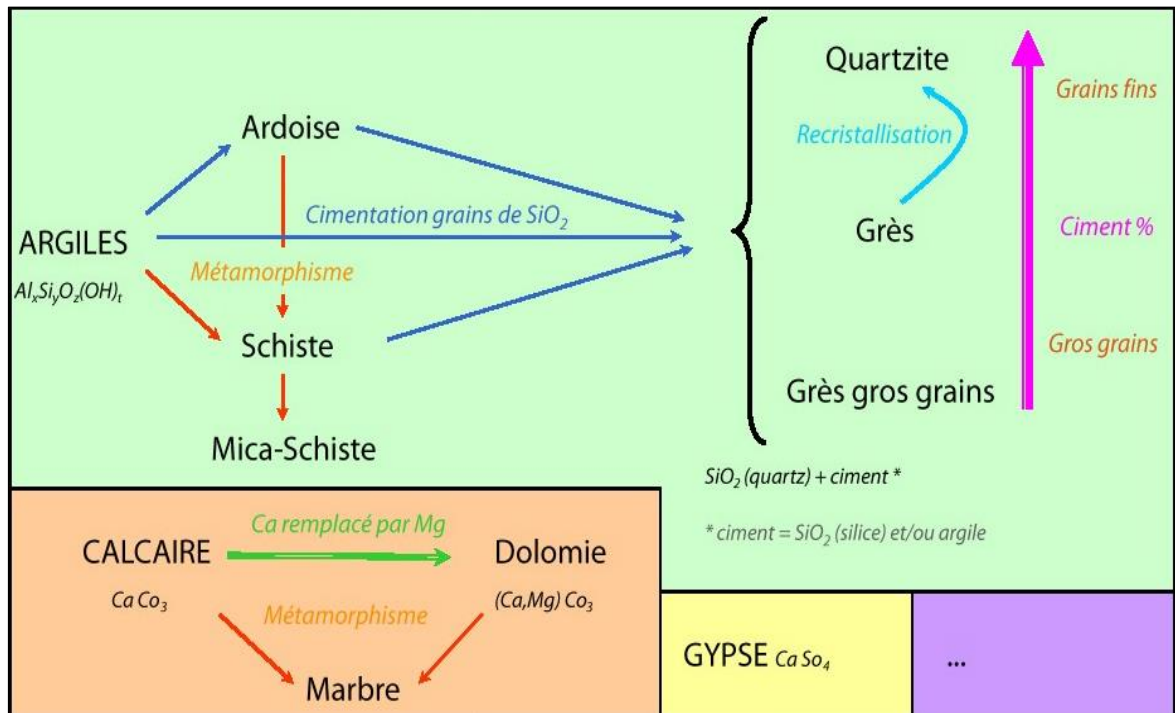


Figure II.1 : Les roches sédimentaires[34].

II.3.3. Les roches métamorphiques :

elles résultent des changements de texture et de composition de toute roche de surface ayant été enfouie à grande profondeur par le mouvement tectoniques. les plus connues sont le gneiss (dérivé du granite) ou encore le marbre (dérivé du calcaire).

Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes :

- * Origine métamorphique, il s'agit de marbres
- * Origine sédimentaire

Le carbonate de calcium existe sous plusieurs formes polymorphiques calcite, aragonite, vaterite [35].



Figure II.2 : les roches métamorphiques[34].

II.4. Généralité sur le marbre :

II.4.1. Définition :

Le mot « marbre » vient du latin « marmor ». Le marbre est une roche métamorphique « résultent de la transformation profonde à l'état solide de roche sédimentaires ou magmatiques préexistantes sous l'effet d'une augmentation de la température de la primitives », dérivé du calcaire. Existait une grande diversité de coloris, peuvent présenter des veines ou marbres (les veines et les coloris sont à des intercalations d'oxyde métallique, le plus souvent).

Aussi le marbre est un calcaire de haute densité, bien cristallisé, « le calcaire est constitué essentiellement de carbonates de calcium et de carbonate de magnésium (dolomie) leur origine est organique. Par accumulation de débris d'organismes marins (craies), ou de précipitation chimique. Ses couleurs proviennent souvent de la présence d'oxyde métallique, leurs couleurs et leurs duretés sont diverses mais ils se prêtent parfaitement au polissage grâce à leur teneur en calcite et dolomie[36]

Le marbre est une roche métamorphique qui a subi une augmentation de la pression et de la température par rapport à d'autres roches sédimentaires, notamment les calcaires et les dolomies. Si les sédiments originels sont formés de carbonates pratiquement purs, les produits du métamorphisme donnent un marbre blanc qui est utilisé pour la décoration. Le marbre cipolin est un marbre au sens strict, c'est à dire un calcaire ayant acquis un grain régulier et homogène par suite d'une recristallisation. Ce sont des roches métamorphiques faiblement recristallisées, qui n'ont pas développé d'autres minéraux que de la calcite et qui se singularisent en général par l'absence de feuilletage (ce qui indique un échauffement sans action de fortes pressions) [37].

II.4.2. Les propriétés physico-mécaniques des roches:

Les propriétés physico-mécaniques des roches sont les suivantes : densité, masse volumique, porosité, humidité, absorption, résistance à la compression, à la traction et au cisaillement, élasticité, degré de saturation etc. Le tableau II.1. Représente les différents propriétés physico-mécaniques de marbre de fil fila.

Tableau II.1: propriétés physico mécaniques de la roche [28].

Propriété physico mécaniques	Blanc	Gris	Réséda marron	Réséda vert
Charge de rupture à la compression à sec kg/cm ²	961	1378	949	949
Charge de rupture à la compression après gélivité kg/cm ²	966	1026	1047	1047
Coefficient de saturation %	0.87	0.50	0.77	0.77
Essai de résistance au choc (kg/cm)	40	56	83.50	83.50
Essai de résistance à l'usure G/m ²	1.82	0.719	0.996	0.996
Densité apparente kg/m ³	2684	1738	2717	2717
Compacité %	98.03	88.7	98.7	98.7
Porosité %	1.96	0.3	1.3	1.3

II.4.3. Variante du marbre dans la carrière de fil-fila :

Le marbre de fil-fila est constitué par les variétés suivantes : blanc, blanc veine de gris, gris clair, gris foncé, rubane verte (réséda vert), rubane a nuance marron (réséda marron).le marbre blanc représentant 44% de l'ensemble des réserves estimées par l'étude romaine en entend par blanc tout le marbre de tendance blanc gris.

II.4.4. Composition du marbre :

Il y a 98 – 99% calcite, il renferme de la pyrite, hématite, actinolite, galène et micas.

- **Calcite** : structure cristalline bien définie à grain moyen, couleur blanche, souvent incolore, parfois teintée de bleu. On trouve de la calcite sous forme de Druse (1-2cm), formée dans les fissures et la calcite bleue compose des nids de diamètre 2-3cm.
- **Pyrite** : deux types correspondants à deux générations :
 - Pyrite de la première génération ; transformé en pseudo morphes d'hématite.
 - Pyrite de la deuxième génération ; sous forme de cristaux, dans les agrégats de pseudo morphe d'hématite où on observe des cristaux bien taillés.

- **Actinote** : développé comme une assise continue parsemée de cristaux radiés, couleur vert-clair à vert salé, se trouve dans la zone de contact de marbre avec les Skarns ; ce qui donne l'aspect schisteux de cette zone.
- **Quartz** : sous formes de cristaux, nids radiés, druses. Se développe avec la calcite dans les fissures à fort pendage, l'épaisseur du quartz varie entre 3 – 7cm avec une longueur de 5 à 200m.
- **Galène** : se trouve dans les fissures et dans le marbre gris-claire, formant des cristaux et des agrégats avec un diamètre de 1-2cm. Une ocre jaunâtre est fixée autour des cristaux de galène dans la surface.
- **Micas** : associé avec la pyrite et l'actinolite, sous forme de petits cristaux difficiles à distinguer de la calcite à cause de leur transparence.
- **Dolomies** : rarement pure, le plus souvent ce sont des marbres affectés d'un stade primaire de dolomitisation, relativement massives, à cristaux fins, couleur jaune claire, rosâtre à brun foncé en fonction du degré de dolomitisation et d'oxydation de Fer.

La dolomitisation du marbre est suivant les fissures horizontales orientées vers le Nord-Est.

L'association des processus de dolomitisation à la zone de contact et des marbres indique leur origine métamorphique plus ancienne.

II.4.4.1. Carrières à blocs de marbres bruts :

- Carrière à blocs de marbre de FIL-FILA (Skikda)
- Carrière à blocs de marbre de MAHOUNA
- Carrière d'onyx d'Ain-Smara
- Carrière de Travertin TAKBALET (cédée à l'E.N.G. en 2007).
- Carrière d'Onyx de BOU-HANIFIA
- Carrière d'Onyx de SIDI SLIMANE – TAKBALET (Tlemcen).
- Carrière de marbre de Krystel (Oran).

II.4.4.2. Usines de transformation de marbre :

- Usine de transformation de marbre de Skikda (activité très réduite suite à la destruction des ateliers de production par l'explosion du GL1K de Skikda en 2004).
- Usine de transformation de marbre de Boumahra - Guelma.
- Usine de transformation de Zaccar/Miliana

- Usine transformation de marbre de SIG – Mascara.
- Usine de transformation de marbre de Senia/Oran

II.4.4.3.Carrières de dérivés de marbre :

- Carrière de dérivés de marbre de CHATT (Fil-Fila - Skikda).
- Carrière de dérivés de marbre d'Agoulmine-MEKLA (Tizi ousou).
- Carrière de dérivés de marbre de Krystel (Oran).
- Carrière de dérivés de marbre de Honaine (Tlemcen).
- Carrière d'agrégats de Karimia /Chlef [28].

II.4.5.Utilisation du marbre :

Il se prêt bien à la taille et très utilisé en construction. On en sculpture. On peut servir comme dessus de comptoirs pour la salle de bains n'est pas recommandé comme surface de comptoirs pour la cuisine.

Le marbre est très poreux, ce qui en contact avec certaine substance alimentaire provoquant sa détérioration. L'utilisation du marbre comme matériel décoratif a été vue pour les premières fois dans la construction intérieur des égalises.

Le marbre est aussi massivement utilisé pour fabrication du produit médicale (dentifrice), et les produits cosmétiques, certaines variétés des marbres sont utilisées dans la construction, la décoration intérieure et la création d'ornement, tel que les pieds de la lampe, les plateaux de table ou les parures de bureau. Finalement en peut dire que le marbre est l'un des substances utiles les plus courantes et les plus utilisable dans plusieurs domaines (architecture, sculpture, etc.)[38].

II.5. Particularités de l'application des machines à foré dans les conditions des carrières :

II.5.1. Propriétés physico-mécaniques des roches à abattre :

II.5.1.1. Analyse des propriétés physico-mécaniques des roches influant sur le processus de forage :

Il est difficile d'énumérer les diverses propriétés des roches qu'il est nécessaire de connaître lors de la résolution de divers problèmes pratiques, géologiques, minéralogique etc.

Le processus de forage dépend de plusieurs propriétés mais en premier lieu des propriétés mécaniques. On sait que la roche est caractérisée par plus de vingt constantes élastiques. Il est évident qu'au cours de l'exploitation des minéraux utiles il est impossible de tenir compte de toutes les propriétés des roches pour leur utilisation pendant la correction des régimes de destruction. C'est pourquoi il est nécessaire de trouver un indice qui permettrait de planifier les travaux miniers d'extraction et de déterminer les régimes rationnels de fonctionnement des machines minières, parmi ces propriétés l'indice du coefficient de dureté proposé par le professeur Protodiagonov [39] .M est le plus simple et le plus largement utilisé.

Lors de la détermination du coefficient de dureté, le coefficient de sa variation dans le massif dépasse 30 %.

CHRAINERT [40] a argumenté l'application d'une nouvelle caractéristique de la résistance de la roche qu'on appelle solidité (p_{ch}), elle est déterminée comme pression de contact moyenne lors de l'enfoncement de l'étampe dans l'échantillon de la roche. Bien que cette caractéristique donne le coefficient de variation égal à (10÷20) % elle n'a pas reçue une large application à cause des difficultés lors du traitement des échantillons ; étant donné que cette caractéristique permet de tenir compte des tensions paraissant sur la couche superficielle de la roche ce qui caractérise le processus de forage.

Les résultats des recherches effectuées montrent que la combinaison des indices de la solidité et de l'abrasivité permet d'obtenir les paramètres de forage avec le coefficient de variation ne dépassant pas les 10%. Sur cette base nous pouvons déduire les conclusions suivantes :

- Pour l'obtention des données justes, il est nécessaire d'apprécier les roches d'après la résistance à l'empreinte- P_k et l'abrasivité $-a$,

- Il faut obligatoirement tenir compte de l'abrasivité si sa valeur dépasse 10mg,
- S'il est nécessaire d'obtenir une information rapide sur les propriétés mécaniques des roches, nous pouvons employer le coefficient de dureté. (f)

II.5.1.2. Propriété physico mécaniques du marbre :

Tableau II.2 : Propriété physico mécaniques du marbre

Poids spécifique	2,78
Poids volumique	2,763t/m ³ ;
Porosité	2,13%
Absorptions a l'eau	0,19%
Résistance a la compression A l'état sec L'état humide	704 Kg/cm ² ; 676 Kg/cm ² ;

II.6.Effet de l'usure par abrasion sur les outils de forage :

II.6.1.Mécanismes d'usures :

Il y a plusieurs types de mécanismes d'usure et plus d'un mécanisme peut être présent ayant pour résultat des effets synergiques. Bien que la corrosion ne soit pas strictement un mécanisme d'usure, c'est un contribuant important au processus d'usure, Usure abrasif.

Les trois modes généralement admis de l'usure abrasive sont :

1. Deux corps, faiblement abrasif, provoque par l'action de forage ou de cisaillement des particules abrasifs glissant au-dessus des surfaces et enlevant des débris d'usure, sans réduire la taille du matériau rodant.
2. Deux corps, hautement abrasif, avec l'effet de l'impact causant perte de forage, de déformation et de matériel.
3. Trois corps, hautement abrasif, provoque par un solide abrasif entre deux surfaces dans le mouvement relatif qui porte les surfaces par une action de meulage, par le forage, la déformation et la rupture.

II.7.Procédés de détermination des propriétés mécaniques des roches :

Pour la détermination des indices mécaniques des roches on utilise généralement les méthodes de destruction. Pour cela, il est nécessaire de déterminer les dimensions et la forme des échantillons à examiner, la vitesse et le procédé de chargement.

Parmi les méthodes de détermination des propriétés mécaniques des roches, existent les méthodes basées sur la fragmentation et la pénétration d'un corps solide dans le massif. Ces deux méthodes ont trouvé une grande application dans la pratique.

II.7.1.Procédés de destruction de la roche par arrachement d'un élément :

Ce procédé utilise un poinçon avec un grand diamètre (jusqu'à 100 mm) qui pénètre dans l'échantillon à examiner (fig. II.3).

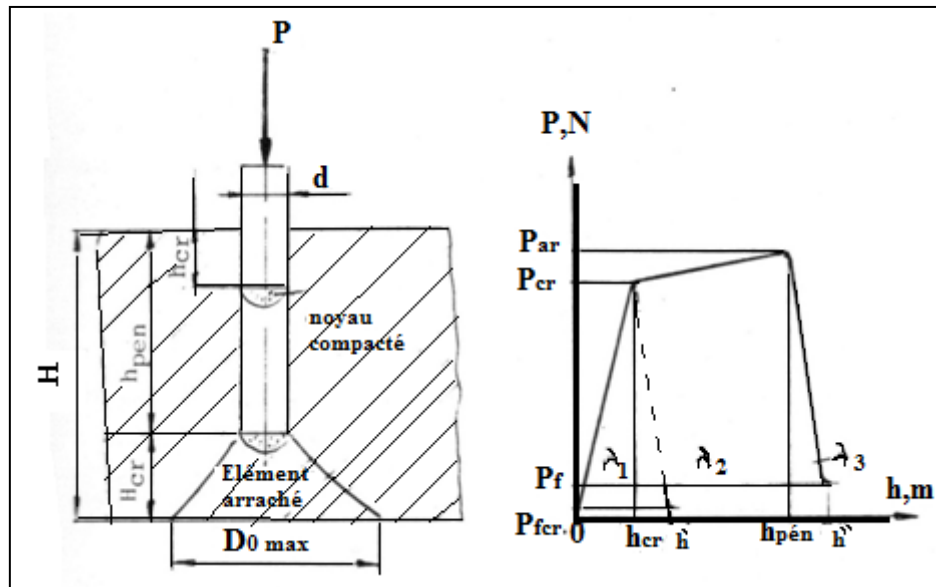


Figure II.3 : procédé de destruction de la roche par arrachement d'un élément[29].

Lors de la pénétration à une profondeur h_{cr} , on aboutit à la formation d'un noyau de matériau bien compacté. La force de pénétration atteint sa valeur critique P_{cr} , suffisante pour arracher un élément de diamètre D_{0max} et de hauteur H_{cr} .

Le poinçon doit traverser la distance $h_{pén} - h_{cr}$, tout en s'approchant de la surface libre à la distance H_{cr} . cette distance est constante pour des conditions d'essais bien définies dans une roche ayant les propriétés physico mécaniques données.

Dans la zone $h_{pén} - h_{Cr}$, la résistance augmente uniquement lors de l'accroissement des forces de frottements entre le poinçon et la roche jusqu'à la valeur P_f .

Par conséquent, le travail A d'un cycle d'arrachement du matériau se présente comme suit :

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad (II.3)$$

la contrainte spécifique est égale à celle de destruction :

$$A = \int_0^{h_{cr}} P.dh \quad (II.4)$$

A_2 - travail nécessaire pour la dispersion du matériau dans le sens du poinçon et son déplacement dans l'échantillon :

$$A_2 = \int_{h_{cr}}^{h_{pén}} P.dh \quad (II.5)$$

Le travail A_2 n'est pas effectif, mais il est nécessaire afin que les facteurs extérieurs (d et H) aboutissent à leurs valeurs critiques dans les conditions données (propriétés physico- mécaniques de la roche) ;

travail nécessaire pour arracher l'élément ;

$$A_3 = \int_{h_{cr}}^{h'} P.dh = \int_{h_{pén}}^{h''} P.dh \quad (II.6)$$

Connaissant les grandeurs A_1, A_2 et A_3 , on peut apprécier l'efficacité de la destruction par l'expression :

$$\eta_o = \frac{A_1 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (II.7)$$

Ces essais permettent d'établir le rapport entre les travaux à différentes étapes du processus d'arrachement égal au rapport des contraintes de destruction à la compression σ_{comp} et à la traction σ_{trac} qui est constant pour un matériau :

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{\sigma_{comp}}{\sigma_{trac}} = cte \quad (II.8)$$

Le processus de destruction par arrachement des divers matériaux caractérisent essentiellement par trois grandeurs constantes, qui sont des indices associés aux propriétés physico-mécaniques des roches, notamment :

C – se détermine à partir du rapport de la contrainte à la compression σ_{comp} et celle à la traction σ_{trac} :

$$C = \frac{\sigma_{comp}}{\sigma_{trac}} = \frac{D_{0max} - d}{d} \quad (II.9)$$

C_1 - se détermine à partir du rapport de la contrainte à la compression σ_{comp} et celle de déplacement $\tau_{dépl}$

$$C_1 = \frac{\sigma_{comp}}{\tau_{dépl}} = \frac{H_{cr}}{d} \quad (II.10)$$

C_2 - se détermine à partir du rapport de la contrainte de déplacement $\tau_{dépl}$ et celle de traction σ_{trac} :

$$C_2 = \frac{\tau_{dépl}}{\sigma_{trac}} = \frac{D_{0max} - d}{H_{Cr}} \quad (II.11)$$

La dépendance entre les trois grandeurs s'exprime par la relation :

$$C = C_1 + C_2 \quad (II.12)$$

II.7.2.Procédé de broyage :

Ce procédé se base sur l'hypothèse de Rittinguer et la loi de Kirpitchov- Kik.

Selon l'hypothèse de Rittinguer, l'énergie dépensée pour le broyage de la roche est proportionnelle à la nouvelle surface formée. Selon la loi de Kirpitchev-Kik, les dépenses d'énergie por le broyage des échantillons de formes géométriques identiques et de composition homogène est proportionnel aux volumes broyés.

Dans le cas général, le travail du broyage sera :

$$A = k_1 \cdot s + k_2 \cdot V \quad (II.13)$$

L'appareil de mesure (figure II.4) se présente sous forme d'un tube dans lequel sont introduites cinq portions du matériau dont la masse totale est de 50 à 80 grammes avec une masse de chaque morceau supérieur à 10 grammes chaque portion se trouvant dans le tube est broyée par la chute d'une masse de 2.4 kg de 600 mm de hauteur. Le déblais formé se mélange et se trie à travers un crible d'orifice carré de 0.5 mm de coté. Ainsi, on mesure la hauteur L des déblais. D'après les dimensions données de l'appareil, le coefficient de dureté d'après l'échelle du professeur protodiakonov est :

$$f = \frac{\partial_c}{100} \quad (II.14)$$

Ce procédé est recommandé lors de l'utilisation des roches tendres.

II.7.3.Procédé du Dor NII:

ce procédé s'utilise pour l'établissement des propriétés mécaniques des roches sur une surface horizontale du massif ; c'est pourquoi son utilisation est surtout meilleure en carrière.

L'essai consiste à la chute d'une masse 1 de 2.5 kg d'une hauteur de 400 mm sur la collerette 2 de la tige 3 (figure II.5) ce qui permet la pénétration de la queue 4 dans la roche. Les propriétés mécaniques de la roche sont déterminées à partir du nombre de coups nécessaires pour la pénétration de la queue de la tige jusqu'à la collerette.

Il a été établi, qu'il existe une dépendance directement proportionnelle entre le nombre de coups n et la résistance à l'excavation r_{ex} rapportée à une unité de la section du copeau ou à une unité de la longueur du contour coupé K_e . dans ces cas les chercheurs Kovriguin et Tchoudnovski proposent l'utilisation des expressions suivantes :

$$r_{ex} = (1.6 + 0.08 n)10^5 \quad (\text{II.15})$$

$$K_e = (28 + 1.37 n)10^3 \quad (\text{II.16})$$

Pour aboutir à des résultats exacts, il est nécessaire à ce que la tige soit perpendiculaire à l'horizontale.

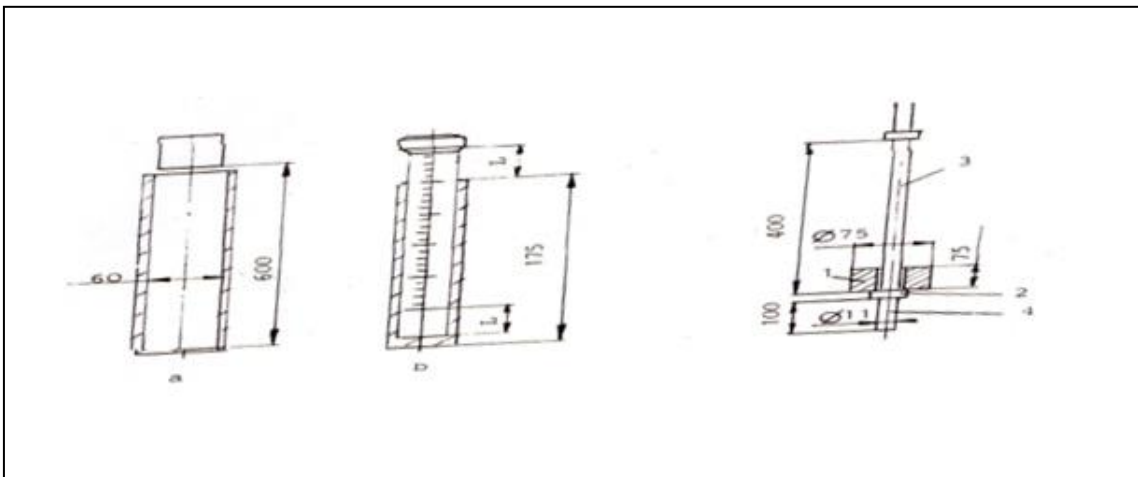


Figure II.4.procédé de broyage

Figure II.5. procédé de dor NII

- a) Tube pour broyage
- b) Mesure du volume

- 1. masse ; 2.collerette ;
- 3.tige ; 4. Queue.

Ce procédé est répandu, pour l'appréciation de la compacité du revêtement des routes et des résistances spécifiques à l'excavation dans les carrières [29].

II.7.4.Procédé du professeur Baron .L :

Ce procédé permet de déterminer l'abrasivité des roches. Il se base sur l'usure de la face inférieure du front d'une tige en acier qui tourne autour de son axe sur une surface non usinée de l'échantillon de roche.

II.7.4.1.Détermination de la dureté, de l'abrasivité de la solidité et de la résistance à l'empreinte :

II.7.4.1.1. Indice de l'abrasivité :

BARON et GLATMAN L. ont proposé la méthode de la détermination de la résistance à l'empreinte P_k , cette méthode consiste en enfoncement de l'étampe sous la forme d'un tronc de cône sur la surface de la roche brute (non traitée) ; l'utilisation de cet indice comme critère de l'efficacité du processus de forage a permis de recevoir les valeurs des coefficients de variation qui ne dépassent pas zéro, cet indice est plus préférable par rapport au coefficient de dureté, mais ils existent les cas où le coefficient de variation reste considérable, une des causes consiste à ce que cet indice ne tient pas compte des capacités de la roche d'user l'outil de travail ; pour corriger cet inconvénient, BARON et KOUZNOTSOV ; ont proposé la méthode de l'application de cette capacité qu'on appelle abrasivité.

Les résultats des recherches effectuées montrent que le compte commun des indices solidité et abrasivité permet de recevoir les paramètres de forage avec le coefficient de variation ne dépassant pas 10%, donc on recommande pour recevoir les données les plus certaines d'apprécier les roches d'après deux caractéristiques résistance à l'empreinte et abrasivité ; il faut obligatoirement tenir compte de l'abrasivité si sa valeur dépasse 10mg, s'il est nécessaire d'obtenir l'information rapide sur les propriétés mécaniques des roches, on peut tenir compte ou employer le coefficient de dureté.

Les essais des roches sur l'abrasivité ont été réalisés d'après la méthodologie proposée par BARON L. et KOZNOTSOV. A [41]. L'essence de celle-ci consiste à frotter une tige d'acier sur la surface de l'échantillon de la roche, et à déterminer la perte de poids lors de l'expérience, donc le critère d'abrasivité est une perte sommaire du poids de la tige (en mg) durant 10 minutes de frottement entre la tige et la roche avec cela le frottement de la tige se fait avec la force de 15kgf et la vitesse de rotation 400 tr/min.

On fait des essais a l'aide d'un stand (figure II.6) l'éprouvette de la roche (1) serrée la garniture (3) d'un dispositif (2) a la facette supérieure horizontale.

Lors de l'essai une tige de mesure (4) fixée dans un mandrin (5) d'une machine à percer et descendre sur l'échantillon et on met en marche le moteur (7) de la machine outil. La force axiale demandée est assurée par la charge (6).

La tige de mesure est fabriquée d'acier non trempée. Avant l'essai la tige est pesée à l'aide de la balance analytique avec la précision de 0,1mg.

Après avoir fait des essais durant 10mn, on déplace la tige de manière qu'elle soit tournée de l'autre bout sur la roche ; puis on connecte la machine pendant 10min.

L'indice d'abrasivité est calculé par la formule suivante :

$$a = \sum(p_{1i} - p_{2i}) / 2 \cdot N \quad (\text{II.17})$$

Après les essais réalisés on a obtenus les résultats suivants :

- Echantillon du minéral $a_m = 4\text{mg}$.
- Echantillon du stérile $a_s = 5\text{mg}$.

On comparant les résultats obtenus avec les recommandations de la classification proposée par BARON.

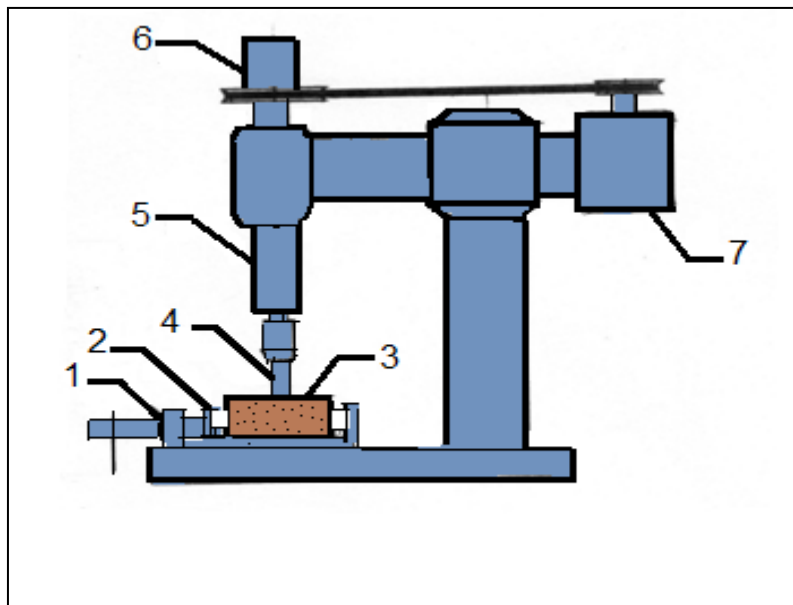


Figure II.6 : Stand de la détermination de l'abrasivité des roches [42].

En comparant les résultats avec les recommandations de la classification proposée par Baron. L [42]. Nous pouvons dire que les calcaires de la carrière de fil fila se rapportent à la première classe c'est-à-dire d'une très faible abrasivité.

II.7.4.1.2. Indice de la résistance à l’empreinte :

La détermination de l’indice de résistance à l’empreinte a été effectuée au moyen d’une presse mécanique la presse en question se compose d’une base ou on installe tout l’équipement nécessaire de deux glissière le long des quelles se déplace un plongeur (3) sur la table supérieure (9) de celui-ci on met un échantillon (4) qui est chargé par un étampe (5) fixe dans un dispositif de serrage (6) l’étampe (figure II.7) est fabriquée en acier trempé ; lors des essais on augmente la charge sur l’étampe jusqu’au moment de formation d’un poquet dans l’échantillon.

L’indice de la résistance à l’empreinte est calculé par la formule suivante :

$$P_k = \sum F_i / N \cdot S \quad (\text{II.18})$$

Les roches étudiées ont une résistance à l’empreinte moyenne de 105 Kgf/mm², d’après la classification de Baron.L et Glatman.L [43]. ces roches se rapportent à la classe appelée «dureté moyenne».

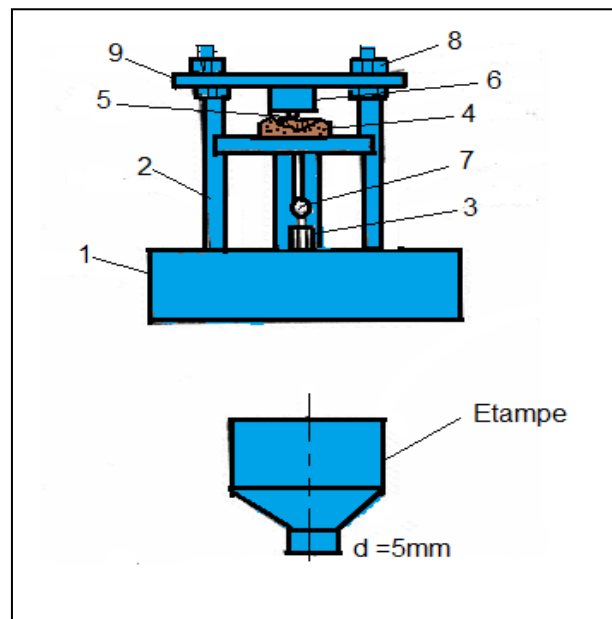


Figure II. 7 : Stand de la détermination des indices de solidité, de la résistance à l’empreinte et de la résistance à la compression [16].

Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux : (II.2), (II.3), (II.4) et (II.5).

Section de l'échantillon = 48cm²

Tableau II.3 : Détermination de la résistance à la compression

Variété du marbre	Essais	Force appliquées ; kgf	Résistance à la compression ; kgf/cm ²	Valeur moyen
Minerai	01	33000	690	808,66
	02	37200	775	
	03	46128	961	
Stérile	01	25000	520,83	536,22
	02	10200	212,58	
	03	40760	49,16	
	04	35100	731,25	
	05	31500	656,25	
	06	35750	744,79	
	07	12600	626,50	
	08	15000	312,50	

Tableau II.4 : Détermination de la solidité.

Variété du marbre	Essais	Force appliquées ; kgf	La solidité	Valeur moyen
Minerai	01	33000	6,90	8,08
	02	37200	7,75	
	03	46128	9,61	
Stérile	01	25000	5.20, 83	5,36
	02	10200	2.12, 58	
	03	40760	0,4916	
	04	35100	7,3125	
	05	31500	6,5625	
	06	35750	7,4479	
	07	12600	6,2650	
	08	15000	3,1250	

Section de l'échantillon = 28,26mm²

Tableau II.5 : Détermination de la résistance a l'empreinte ; kgf/mm²

Valeur du marbre	Essais	Force appliquées ; kgf	Résistance à l'empreinte ; kgf/mm ²	Valeur moyenne
Minerai	01	1520	53,79	53,68
	02	1510	53,43	
	03	1515	53,61	
	04	1525	53,96	
	05	1520	53,79	
	06	1515	53,61	
	07	1510	53,43	
	08	1525	53,96	
Stérile	01	1040	36,80	36,23
	02	1010	35,74	
	03	990	35,03	
	04	1020	36,09	
	05	1050	37,15	
	06	1040	36,80	
	07	1020	36,09	
	08	1040	36,80	

Tableau II.6 : Détermination de l'abrasivité [16].

Valeur du marbre	N ^{br} d'essais	Poids initial	Poids final	Abrasivité (mg)	Abrasivité moyenne (mg)
Minerai	01	11,024	11,020	0.004	0.0043
	02	11,020	11,015	0.005	
	03	11,015	11,011	0.004	
Stérile	01	11,011	11,006	0.005	0.005
	02	11,006	11,001	0.005	
	03	11,001	10,996	0.005	

II.8. Conclusion :

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

Le marbre comme nous avons cité dans cette partie est une roche décorative ; qui exige une diversité des méthodes d'extraction, résulte de la propriété physico mécanique de la roche et la configuration du gisement.

L'expérience a prouvé que la dureté peut de manière significative affecter des taux d'usure, en plus de son effet sur les forces exigées pour causer la fragmentation de certains matériaux de roche.

Chapitre III

*Détermination théoriques des indices
caractérisant le processus de forage
percutant*

III.1. Introduction :

Plusieurs chercheurs ont réalisé des essais d'exploitation et des essais de laboratoire pour le but de déterminer les indices d'exploitation et les caractéristiques techniques.

La base méthodologique du travail de recherche consiste à trouver la combinaison des paramètres de réglage de la machine satisfaisant les exigences énumérées dans les conditions concrètes, et d'exploiter les machines dans le régime rationnel.

III.2. Forage à l'aide de l'outil a diamant des roches dures :

Un projet pour déterminer les forces de découpage et les taux prévus d'usure sur l'outil a diamant pour 8 types différents de roche de granit a été récemment mis exécution et l'analyse statistique de toutes les données a indiqué que la prévision de ces paramètres était possible [45].

III.3.Choix de l'outil de forage :

Le choix s'effectue selon les propriétés physico-mécaniques et l'état de la roche, ainsi que les paramètres des trous forés. Comme il peut être réalisé d'après les recommandations présentées dans le tableau **III.1**

Tableau III.1: Valeurs de l'angle d'affûtage α du taillant [29].

Dureté de la roche		
$f < 6$	$6 < f < 12$	$f > 12$
80 -90°	90 -100°	100 -110°

III.3.1.Outil de travail :

Comme outil de travail des perforateurs, on utilise le fleuret (figure III.1) composé d'une tige² ; un emmanchement³, séparé de la tige par une collerette 4, et un taillant¹.

III.3.1.1.Les fleurets :

Les fleurets doivent posséder une charge de rupture assez élevée et une bonne résistance à la flexion. A cet effet, ils sont en acier spécial traité, présenté sous forme de barres

plates, rondes ou hexagonales.ils peuvent être monoblocs (figure.III.1.a) ou à taillant amovibles (figure.III.1.c), assemblés par filetage ou cône.

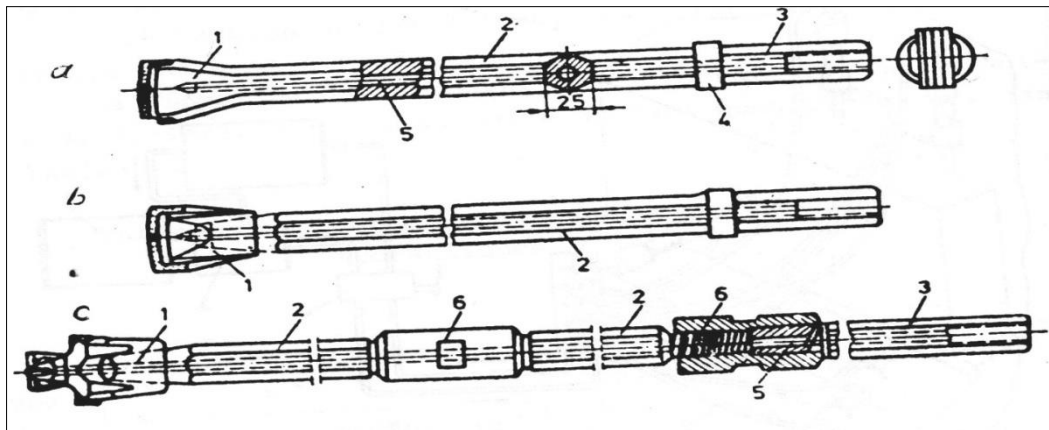


Figure III.1:fleurets du marteau perforateur [29].

- a) Fleuret monobloc ; b) fleuret à taillant amovible ; c) fleuret-allongé.
1. Taillant ; 2. Tige ; 3. Emmanchement ; 4. Collerette ; 5.canal ; 6. Manchons.

Les fleurets sont généralement percés (canal 5) suivant leur axe longitudinal pour le passage de l'air comprimé ou de l'eau d'évacuation des déblais de forage.

L'emmanchement du fleuret de liaison au marteau à un triple :

- Recevoir et transmettre l'énergie de coup du piston ;
- Recevoir et transmettre le mouvement de rotation ;
- Fixer la position du fleuret par rapport au piston.

Les emmanchements les plus répandus (figure .III.2) sont :

- L'emmanchement à collerette transmet la rotation par une partie à section hexagonale ;
- L'emmanchement cylindrique leyner transmet la rotation par deux oreilles.

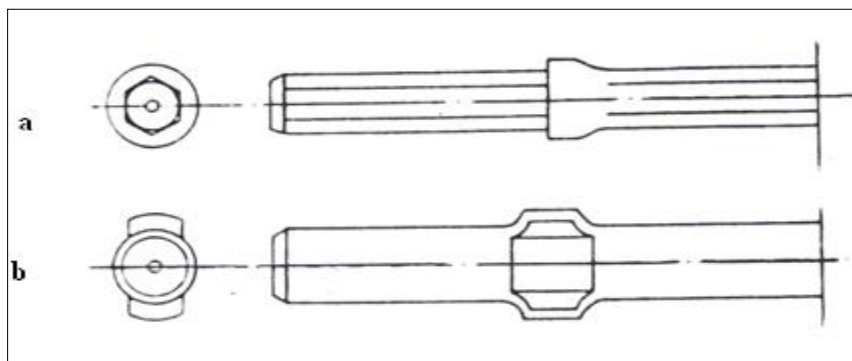


Figure III.2 : emmanchement de fleurets [29].

- a) Emmanchement à collerette ; b) emmanchement cylindrique leyner.

Les tiges allongées (figure. III.1.c) pour le forage profond comportent un taillant amovible 1, vissé à l'extrémité d'une tige 2. Ce filetage est en général la même que celui des manchons 6, servant à l'assemblage des diverses allonges, dont l'ensemble constitue le train de tige permettant d'atteindre la profondeur désirée. Les tiges allonges sont percées (canal 5) pour le passage de l'air comprimé ou de l'eau servant à l'évacuation des déblais de forage.

III.3.1.2.Mèches et forets :

Les mèches et forets existent en différents diamètres et longueurs (en millimètres). Leurs dimensions se choisissent en fonction de la grosseur des trous à réaliser et de l'épaisseur des matériaux à percer. Bon à savoir : plus le foret est long, moins il est stable et le perçage précis.

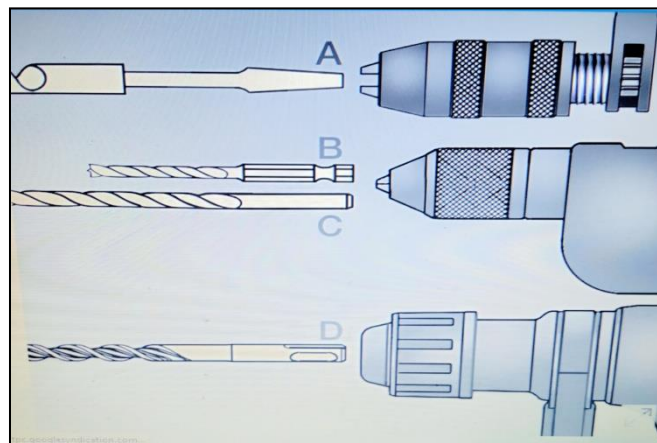


Figure III.3 : emmanchement spécifique à chaque type de mandrin [46].
A. Queue pyramidale - B. Queue hexagonale - C. Queue cylindrique - D. Queue SDS

III.3.1.3.Les différents types du taillant :

Lors du forage des roches ayant un coefficient de la dureté $f < 8$, on utilise des taillants amovibles, renforcés par des alliages durs de WK-6, W-8, W-11 et W-15 comportant du carbure de tungstène et de cobalt.

Habituellement, on recommande l'alliage WK-15 pour des roches ayant $f > 12$, WK-8 pour des roches de dureté $f = 10$ à 12 et WK-6 et WK-8 pour des duretés $f < 10$.

Quelques types de taillants sont montrés sur la figure **III.4**

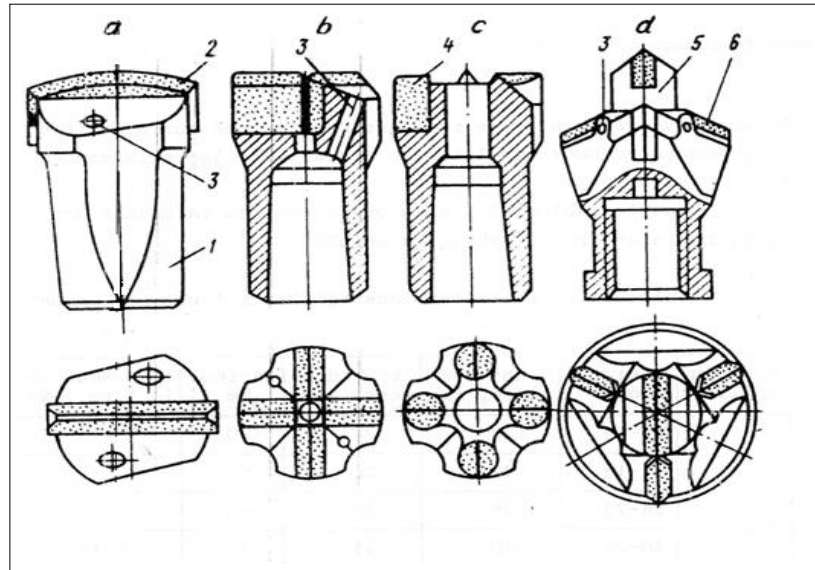


Figure III.4: types de taillants du perforateur [29].

- a) Burin ; b) croix à lames ; c) croix à boutons ; d) taillants bi étages.
 1. Corps ; 2. Lame ; 3. Orifice ; 4. Boutons ; 5. Lame avancée ; 6. Lames latérales.

Le renforcement du corps 1 (figure. III.4.a) du taillant par lame 2 d'alliage dur ou bouton 4 (figure. III.4.c) augmente sa durée de vie à l'usure de 15 à 20 fois. On affûte la lame sous un angle de 90° à 120° en fonction de la dureté de la roche et très souvent elle est arrondie. Le taillant peut -être affûté à 15 fois et chaque fois son diamètre diminue de 1,2 à 1,5 mm.

Les taillants ont des formes diverses : burin (figure III.4.a), croix (figure III.4.c), rosace à six ailes, en X, en Z, etc. les plus répandus sont des types burin et croix destinés aux roches monolithes et fissurées.

Les taillants bis étagés (figure. III.4.d) sont destinés aux perforateurs lourds à colonne et aux marteaux plongés. la lame avancée centre le taillant et crée une surface libre supplémentaire pour faciliter le travail des lames latérales⁶.

Dans le **tableau III.2** sont présentés les taillants des types burin et croix,

Tableau III.2 : paramètres des taillants.[11]

Type du taillant	désignation	Grand diamètre, mm	Petit diamètre, mm	Hauteur, mm	Epaisseur de la lame, mm
Burin	28-19	28	24	60	8
	32-19	32	26	60	8
	36-22	36	30	60	8
	40-22	40	33	70	8-10
	43-25	43	35	70	10
	46-25	46	35	70	10
	52-28	52	40	75	10
Croix	32-19	32	26	60	8
	36-22	36	30	60	8
	40-25	40	33	70	8-10
	43-25	43	35	70	10
	46-25	46	35	70	10
	52-28	52	40	75	10



Figure III.5 : Les taillants du perforateur Atlas-Copco [47].

III.4. 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 (figure III.6) qu'on doit exécuter pour forer un trou, tel que : vitesse d'avancement, la hauteur de pénétration et soufflage donnée à l'outil de forage [48].

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 d'avancement de l'outil et l'énergie d'un coup du piston du perforateur), 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).

III.4.1. Classification des méthodes de forage:

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 [49].

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.

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.

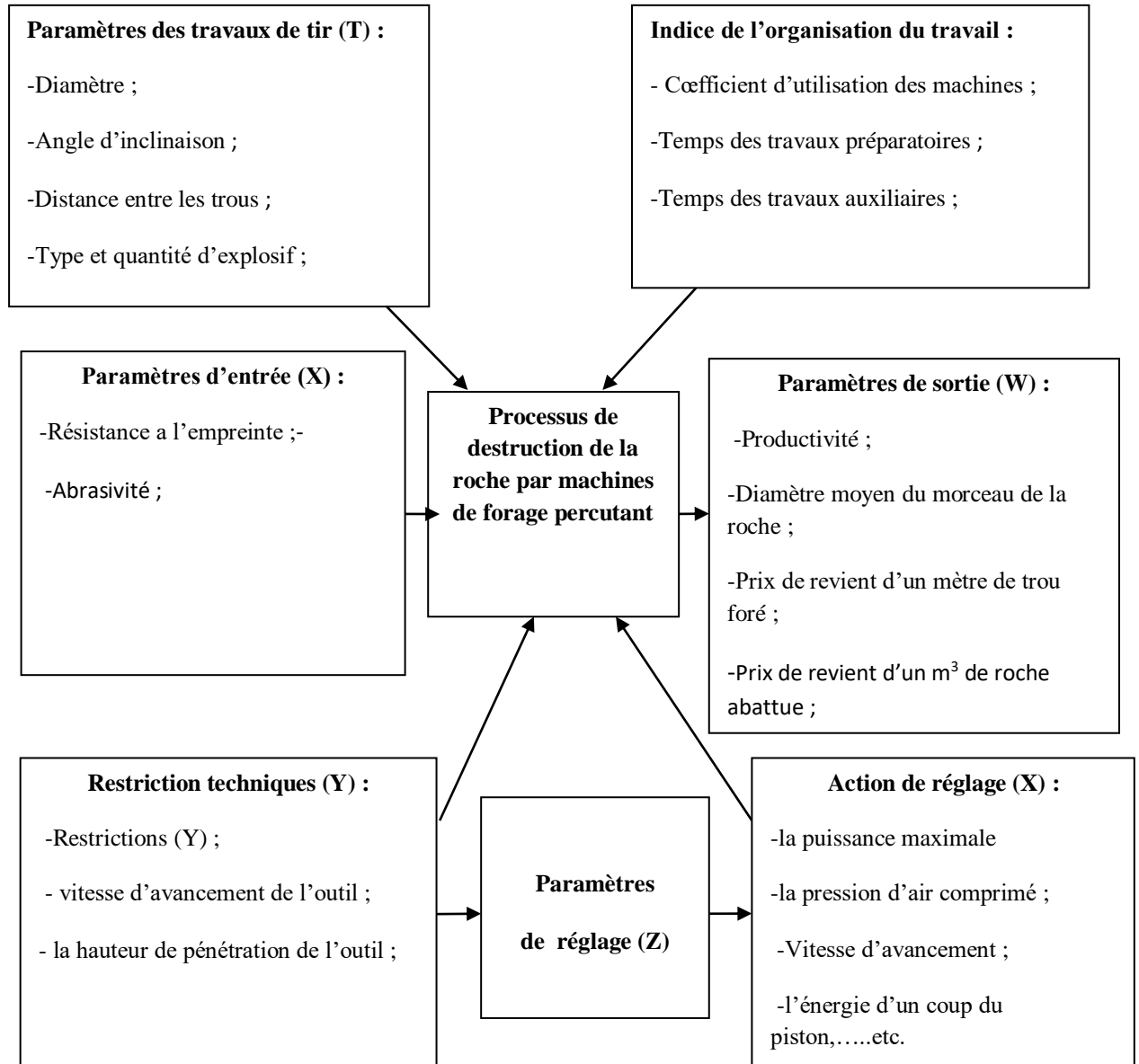


Figure III.6 : Schéma du processus de destruction de la roche par les machines de forage [48].

III.4.2. 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, le reste de cette section est consacré presque entièrement au forage [50].

III.4.3. Composants des opérations du système de forage :

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.

III.4.4. 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 [51].

III.5. Les méthodes de calcul énuméré afin de déterminer les valeurs de la vitesse de forage :

III.5.1. Les essais des perforateurs :

Pour déterminer les indices d'exploitation et les caractéristiques techniques ou la création des nouveaux modèles de perforateurs et leur perfectionnement, on réalise des essais d'exploitation et des essais de laboratoire. Les succès réalisés dans le développement de la technique de forage pendant les dernières années sont le résultat du perfectionnement des méthodes d'essais.

La méthodologie des essais des machines pneumatiques demande beaucoup d'exigences, parmi les plus importantes, on peut citer : lors des processus d'examinations, il faut assurer un régime de travail le plus proche du réel, les appareils de mesure utilisés ne doivent pas influencer sur le travail de la machine examinée, l'appareillage doit être universel, simple, sûr, et insensible aux charges dynamiques et aux variations de la température.

Lors des essais d'exploitation réalisés sur le site, on détermine le régime de fonctionnement, la consommation d'air comprimé, le niveau de bruit et de vibrations, la vitesse de forage en fonction de la pression d'air comprimé, de la vitesse de rotation et de l'effort axial. Lors de la détermination du régime de fonctionnement, on effectue les dépendances suivantes Fig(III.7) :

$$V_f = f(P) \quad \text{(III.1)}$$

$$V_f = f(F) \quad \text{(III.2)}$$

$$V_f = f(\beta) \quad \text{(III.3)}$$

$$V_f = f(C_{air}) \quad \text{(III.4)}$$

On apprécie aussi lors du travail de la machine la durée de vie du perforateur et de l'outil de forage, l'usure et la consommation des pièces de rechange et d'autres facteurs liés à l'exploitation.

Lors des essais en laboratoire, on détermine le régime de fonctionnement, les caractéristiques techniques et on enregistre le processus de fonctionnement. On détermine l'énergie d'un coup, le nombre de coups par minutes (cadence), la vitesse et

le couple de rotation, la consommation d'air comprimé et l'effet de recul. Les essais seront effectués sur un stand d'essai spécial.

Tous les stands d'essais peuvent varier le régime de fonctionnement du perforateur. Il est nécessaire de réaliser les essais sur des blocs de roches afin d'obtenir des résultats réels, car les dispositifs utilisés auparavant (à ressorts, pneumatiques et hydrauliques) n'assurent pas de résultats exacts. Par exemple : lors de l'utilisation de l'appareil pneumatique la cadence des coups mesurée est d'environ 7 à 10% plus grande que celle lors du forage dans une roche. Lors des essais d'une même machine dans différents stands permettent d'obtenir des résultats différents. Il est préférable de vérifier les données par un essai comparatif dans un même laboratoire d'après une même méthodologie, car une comparaison à partir des caractéristiques techniques uniquement n'est pas suffisante.

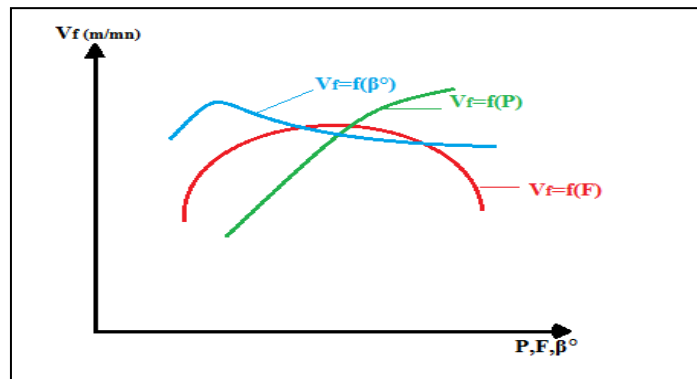


Figure III.7: Dépendances de la vitesse de forage (V_f) de la pression d'air comprimé (P), de l'effort axial (F) et de l'angle de rotation du fleuret par coup (β).

Les essais en laboratoire pour la détermination du régime de fonctionnement sont réalisés à partir des mêmes paramètres du perforateur que lors de l'exploitation en chantier avec la seule différence qu'on travaille sur un bloc de roche avec les dimensions limitées. Comme les essais se font dans les conditions de laboratoire, ils peuvent être mieux préparés, utiliser des appareils plus précis et enregistrer plus de paramètres. Le forage sur le bloc n'influe pas pratiquement sur le régime de fonctionnement. Les essais de laboratoire donnent beaucoup plus de possibilités pour l'étude et l'analyse du fonctionnement.

Sur la figure III.8 est montré le schéma principal du stand de l'institut supérieur des mines et de géologie appliquée (Bulgarie) pour la détermination du régime de

fonctionnement dans les conditions de laboratoire. Le perforateur 1 est fixé sur le chariot mobile 2, mouvant sur le châssis 3.

Sur ce châssis est lié un vérin pneumatique 4 pour la création de l'effort axial. L'air comprimé arrive au vérin 4 et au perforateur à examiner par les robinets 5, le pot de condensat 6, les régulateurs de pression 7 les stabilisateurs de pression 8 et le graisseur automatique 10. La consommation d'air comprimé est mesurée par le débitmètre 9 et la pression par les manomètres 11. Le forage s'effectue dans le bloc de roche 12.

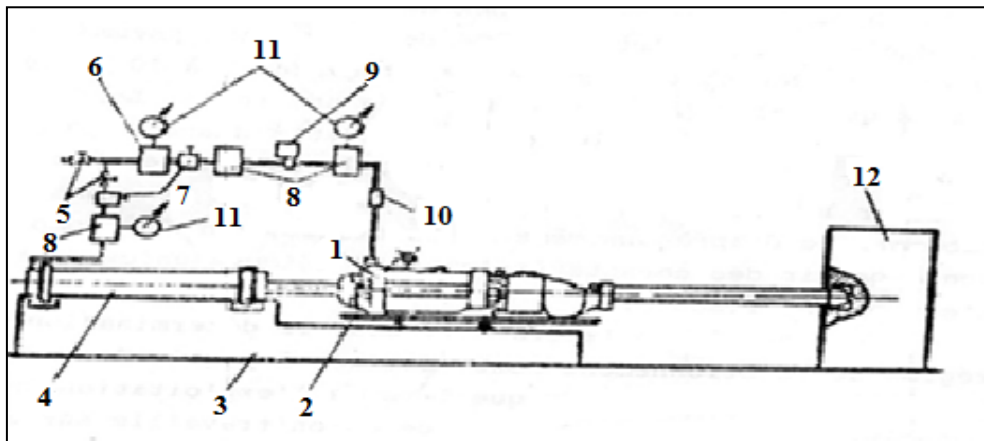


Figure III.8 : Schéma du stand d'essai du perforateur [11].

1. perforateur ; 2. chariot ; 3. châssis ; 4. vérin pneumatique ; 5. Robinet ; 6. Pot de condensat ; 7. régulateur de pression ; 8. Stabilisateurs de pression ; 9. débitmètre ; 10. graisseur ; 11. manomètres ; 12. bloc de roche.

Les essais de laboratoire pour l'enregistrement des processus de fonctionnement du perforateur se compose de la détermination : du déplacement, de la vitesse et de l'accélération du piston ; le déplacement du corps de la machine et de la soupape de distribution ; le mouvement alternatif et le mouvement de rotation de l'outil de forage ; la variation de la pression et de la température de l'air comprimé dans les deux chambres du cylindre et avant la pénétration de l'air dans le dispositif de distribution. Il est nécessaire d'enregistrer un grand nombre de processus rapides dont les paramètres sont liés mutuellement. Ces processus se déroulent pendant les coups forts et les vibrations. Cela perturbe l'exécution des essais.

III.5.2. Les paramètres de base du perforateur pneumatique :

Il est supposé que la pression d'air comprimé dans les chambres du cylindre à l'entrée et pendant son échappement est constante.

Les paramètres de base du perforateur sont les suivants :

- Nombre de coups du piston par minute, n_c (coups/mn).
- Nombre de tours du fleuret par minute, n_t (tr/mn).
- Couple de rotation du fleuret, c_r (N.m).
- Energie d'un coup du piston, E_c (J).
- Puissance du perforateur, P , KW ou ch. ;
- Consommation spécifique de l'air comprimé, C_{air} m^3 /mn.

III.5.2.1. Détermination des forces appliquées au piston :

Les paramètres géométriques du perforateur sont indiqués sur la figure III.9

La surface utile du piston pour réaliser le trajet aller en (m^2) est :

$$S_a = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_2^2) \quad (III.6)$$

Et pour le trajet retour en (m^2) :

$$S_r = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_1^2) \quad (III.7)$$

La force appliquée au piston pendant le trajet aller en (N) est égale à :

$$F_a = (S_a \cdot p_a - S_r \cdot p_e) \cdot k_1 \quad (III.8)$$

Et pendant le trajet retour en (N) :

$$F_r = (S_r \cdot p_a - S_a \cdot p_e) \cdot k_2 \quad (III.9)$$

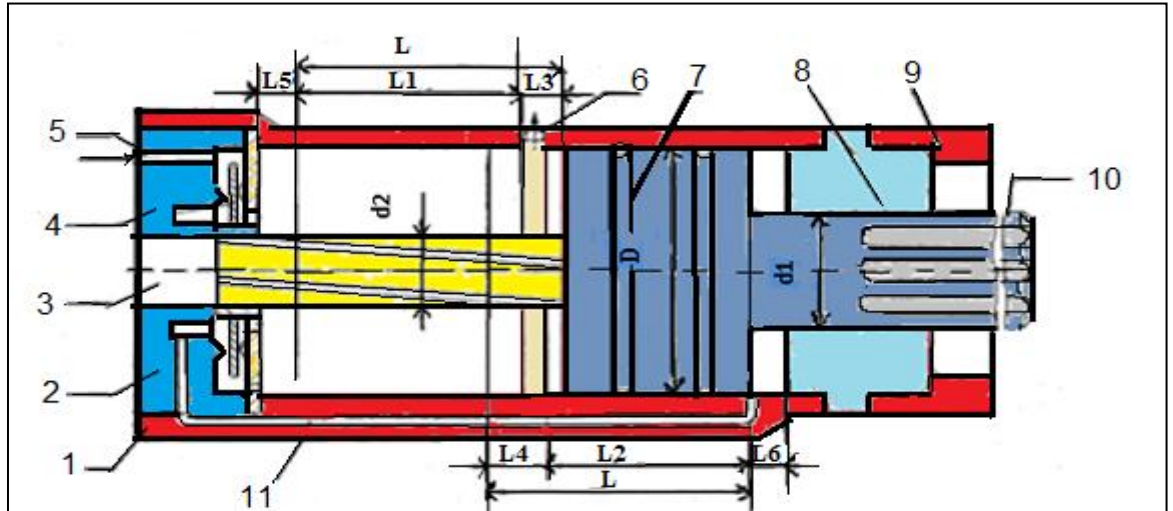


Figure III.9: Schéma de détermination des paramètres de base du perforateur [11].

1. cylindre ; 2.boîte à soupape ; 3. Tige hélicoïdale ; 4.soupape ; 5. Orifice d'admission ; 6. Orifice d'échappement ; 7. Piston ; 8. Corps intermédiaire ; 9. Mandrin ; 10.tige du piston ; 11. Canal d'admission de la chambre droite.

III.5.2.2.Détermination des vitesses maximales du piston :

Pour simplifier la détermination des vitesses nous admettons que le mouvement du piston jusqu'à l'ouverture de l'orifice d'échappement (sous l'action de la force F_a) est uniformément accéléré. C'est pourquoi la vitesse maximale du piston sur la distance L_1 est déterminée en

(m/s)

$$V_a = \sqrt{2a_a \cdot l_1} \tag{III.10}$$

Et celle, sur la distance L_2 pendant le trajet retour :

$$V_r = \sqrt{2a_r \cdot l_2} \tag{III.11}$$

Comme d'après la deuxième loi de la mécanique, on sait que :

$$a_a = \frac{F_a}{m} \text{ et } m = \frac{G}{g} \tag{III.12}$$

Selon les formules (III.10) et (III.12), la vitesse du piston pendant le trajet aller sera égale à :(m/s)

$$V_a = \sqrt{\frac{2F_a \cdot l_1 \cdot g}{G}} \quad (\text{III.13})$$

Et pour le trajet retour :(m/s)

$$V_r = \sqrt{\frac{2F_r \cdot l_2 \cdot g}{G}} \quad (\text{III.14})$$

III. 5.2.3.Détermination du nombre de coups du piston :

- La durée du cycle en (s) :

$$T_c = t_a + t_r \quad (\text{III.15})$$

Mais :

$$t_a = t'_a + t''_a \quad (\text{III.16})$$

$$t_r = t'_r + t''_r \quad (\text{III.17})$$

Pour déterminer les composantes t'_a et t'_r on utilise la loi d'impulsion de la force et de la quantité de mouvement de la masse :

$$F_a \cdot t'_a = m \cdot V_a \quad (\text{III.18})$$

Alors, selon les formules (III.18) et (III.12) nous pouvons avoir :

$$t'_a = \frac{G \cdot V_a}{g \cdot F_a} \quad (\text{III.19})$$

Sur la distance l_3 le piston se déplace par inertie, c'est pourquoi :

$$t''_a = \frac{l_3}{V_a} \quad (\text{III.20})$$

Selon le schéma (figure III.9) :

$$l_3 = L - l_1 \quad (\text{III.21})$$

$$l_4 = L - l_2 \quad (\text{III.22})$$

D'après les formules (III.16), (III.19), (III.20) et (III.21) la durée du trajet aller sera :

$$t_a = \frac{G \cdot V_a}{g \cdot F_a} + \frac{L - l_1}{V_a} \quad (\text{III.23})$$

Et celle du trajet retour :

$$t_r = \frac{G \cdot V_r}{g \cdot F_r} + \frac{L - l_2}{V_r} \quad (\text{III.24})$$

• **Le nombre de coups du piston par minute (coups/mn)**

$$n_c = \frac{60}{T_c} \quad (\text{III.25})$$

Le nombre de tours du fleuret par minute (tr/mn) :

$$n_t = \frac{L}{h} \cdot n_c \quad (\text{III.26})$$

Le nombre de coups du piston par un tour par un fleuret (coups/tr)

$$n_c = \frac{n_c}{n_t} \quad (\text{III.27})$$

On peut déterminer l'angle de rotation du fleuret par un coup selon l'expression en degré

$$\varphi = \frac{360^\circ}{n_c} \quad (\text{III.28})$$

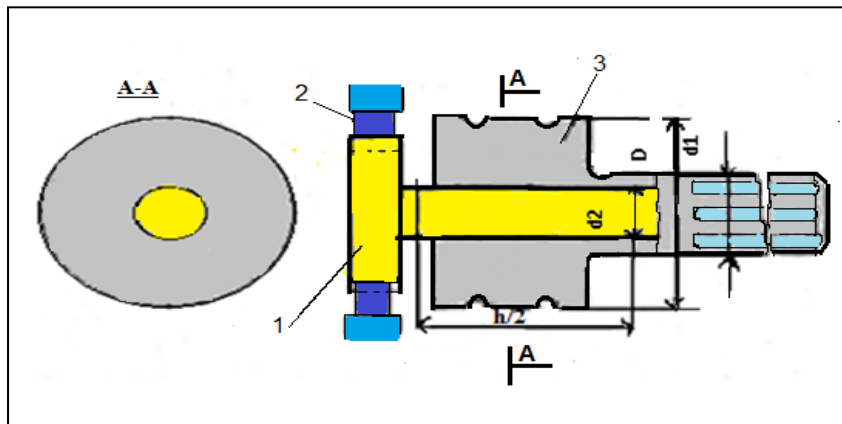


Figure III.10: Schéma de la section longitudinale du piston du perforateur

1. tige hélicoïdale ; 2. cliquets ; 3. piston.

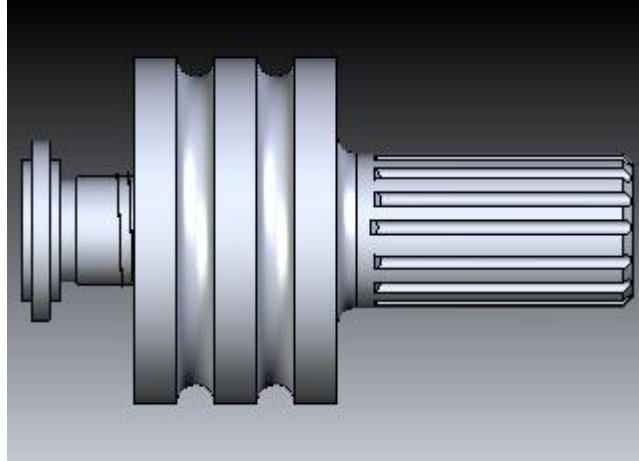


Figure III.11 : le piston du perforateur

III.5.2.4. Détermination de l'énergie d'un coup du piston et de la puissance du perforateur :

L'énergie d'un coup du piston est égale à son énergie cinétique :

$$E_c = \frac{m \cdot v_a^2}{2} = \frac{G \cdot v_a^2}{2g} \quad (\text{III.29})$$

L'énergie du piston est créée par la force F_a , sur la distance l_1 , d'où :

$$E_c = F_a \cdot l_1 \quad (\text{III.30})$$

Les formules (III.29) et (III.30) sont équivalentes.

La puissance du perforateur est déterminée selon la formule :

en KW

$$P_c = \frac{E_c \cdot n_c}{60 \cdot 102} \quad (\text{III.31})$$

Où en chv

$$P_c = \frac{E_c \cdot n_c}{60 \cdot 75} \quad (\text{III.32})$$

Où 102 et 75 sont les coefficients de transformation de l'unité de travail (J ou N.m) en KW ou Ch.

III. 5.2.5. Détermination de la consommation de l'air comprimé :

La consommation de l'air comprimé par minute est :

$$C_{air} = (S_a + S_r) \cdot L \cdot n_c \cdot \frac{P_a}{P_c} \cdot 10^{-6} \quad (III.33)$$

III.6. Coût de forage :

Comme toutes les méthodes de reconnaissance mettant en œuvre des matériels perfectionnés, les forages sont coûteux. Ils sont toutefois, dans la quasi-totalité des cas, indispensables pour mener à bien l'étude de sols en vue de la construction d'un ouvrage, et l'on peut dire qu'ils coûtent cher, même et surtout si on ne les fait pas.

Le matériel de forage est lui-même très coûteux, et la constitution d'un atelier de carottage (machine, outillage, porteur) représente un investissement de l'ordre d'un million de francs (en 1984). L'amortissement du matériel est long, les frais de fonctionnement élevés ainsi que les frais de personnel. Concernant celui-ci, un atelier est normalement servi par deux à trois personnes dont un chef sondeur qui doit être très qualifié.

La recherche de coûts types (par exemple prix du mètre linéaire de forage selon la méthode) conduit à des fourchettes de valeurs étendues tant sont variables les conditions rencontrées [50].

Néanmoins, nous pouvons faire ressortir les paramètres suivants qui conditionnent ces coûts.

- Concentration des points de reconnaissance (maillage) : celle-ci sera différente selon que l'ouvrage étudié est linéaire (autoroute, collecteur) ou étendu (gisement alluvionnaire), selon aussi le degré de précision recherché, dans le cas d'une reconnaissance phases, par exemple.
- Accès au site de forage : la mise en station est évidemment plus aisée en bordure d'une route en rase campagne qu'en montagne hors de toute voie praticable, une situation extrême étant représentée par l'amenée de la machine par hélicoptère, ou le sondage offshore sur plate-forme.
- Méthode de forage, type de matériel : en attribuant un coefficient au coût par mètre linéaire de forage selon les méthodes.
- Nature des terrains traversés : Des terrains présentant des caractéristiques extrêmes, notamment quant à la dureté ou la stabilité, requièrent l'utilisation de procédés,

d'appareillages ou de produits complémentaires (couronne à diamants, tubages, boues élaborées, etc.).

L'importance du circuit de boue de forage pour les systèmes de forage nous a amenés à soutenir ce domaine en utilisant Simhydraulics Toolbox pour augmenter la précision des caractéristiques. En appliquant le contrôle du circuit de boue, la vitesse et la précision ont été augmentées. L'opération de simulation est un processus interactif, cela signifie qu'il est possible de faire des ajustements aux variables et de voir les résultats immédiatement [52].

III.7. Détermination des régimes de fonctionnement des machines de forage percutant :

III.7.1. Critères et modèles du choix des régimes rationnels de fonctionnement :

Il existe un point de vue commun sur la question du choix du type d'outils rationnels et les régimes de leur travail. Il consiste en la présence, pour chaque variété de la roche, d'un par type d'outil qui est capable de la détruire d'une manière efficace par le régime rationnel.

La diversité des roches, leur composition pétrographique différente, les propriétés mécaniques et d'autres nécessaires la résolution de ce problème pour les groupes des roches des propriétés variant dans les limites assez étroites.

En ce qui concerne l'appréciation de l'efficacité du choix du type de l'outil et des régimes de fonctionnement, certains chercheurs prennent en considération la vitesse mécanique du forage et le métrage planifié pour l'outil.

Lors de la réalisation des travaux miniers , compte tenu du critère généralisé de l'efficacité de n'importe quelle méthode de forage , nous pouvons prendre le prix de revient d'un mètre cube de la masse rocheuse , qui dépend du prix de revient d'un mètre du trou foré et du rendement d'un mètre du trou ($m^3/1mtr$) .Dans ce cas nous tenons compte de l'organisation des travaux , du tir , du diamètre de forage , des mailles de disposition des trous de mine et de la qualité de fragmentation de la roche abattue . Cela permet de recommander ce critère lors de la projection des travaux de tir et au cours du choix des machines à forer.

S'il s'agit de l'exploitation des machines de forage choisies permettant de forer des trous de diamètre déterminé, le critère le plus juste de la détermination des paramètres du régime rationnel de forage sera le prix de revient d'un mètre du trou foré.

Lorsqu'il s'agit de la détermination des régimes rationnels de fonctionnement des machines de forage percutant (marteau perforateur), nous limitons à l'établissement des valeurs moyennes de certains paramètres comme l'énergie d'un choc et le nombre de percussions par unité de temps [39].

III.7.2. Paramètres essentiels de l'organe de travail des machines de forage percutant:

III.7.2. 1. Processus de la roche par les machines de forage percutant :

Le fonctionnement des machines de forage et particulièrement percutant se réalise sous l'influence des conditions extérieures qui varient d'une façon aléatoire. Le réglage de la machine de forage est effectué par la variation des paramètres du régime de travail. C'est pourquoi il est nécessaire de connaître les dépendances entre ces paramètres et les facteurs extérieurs. En outre les paramètres des régimes de travail de la machine de forage doivent être coordonnés avec les facteurs caractérisant les travaux de tir.

III.7.2.2. Choix du régime de fonctionnement rationnel :

Certains chercheurs ont étudié l'importance des paramètres de fonctionnement des machines de forage et le choix de leur qualité. Le meilleur choix des perforateurs dépend principalement des conditions d'exploitation, mais il dépend aussi des propriétés de la roche et de la qualité des outils et des performances de la machine [53].

Pendant le choix des perforateurs, la question principale qui nous préoccupe a toujours été la productivité que peut assurer le perforateur dans les conditions bien définies, mais ce facteur reste lié au régime de fonctionnement de la machine, qui à son tour dépend des propriétés de la roche, du type de l'outil et des paramètres du perforateur sans pour autant négliger les facteurs qui peuvent avoir une influence sur le choix du régime de fonctionnement, tels que : la puissance maximale, la vitesse d'avancement maximale que peut assurer le perforateur, la hauteur de pénétration de l'outil lors de la destruction de la roche selon les paramètres de l'outil et le couple de rotation.

Tenant compte de la théorie présentée dans les paragraphes précédents, on propose d'effectuer les régimes de fonctionnement rationnel d'après le nomogramme figure III.12

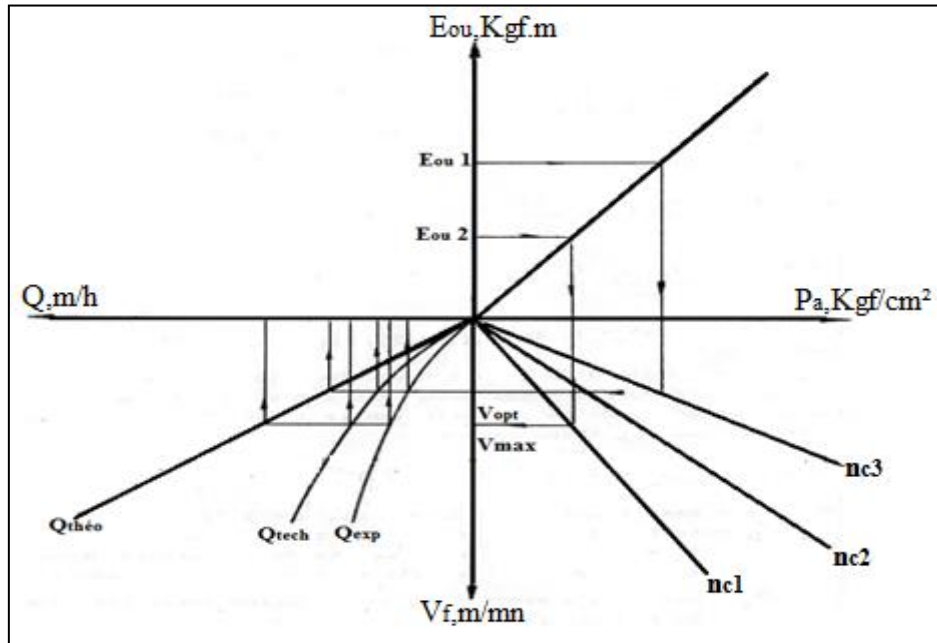


Figure III.12 : Nomogramme de choix du régime de fonctionnement des perforateurs [17].

III.8.Conclusion :

Dans ce chapitre ont conclu que le choix de l'outil de forage percutant s'effectue selon les propriétés physico-mécaniques et l'état de la roche ainsi que les paramètres des trous foré.

D'après les essais de laboratoire et les essais d'exploitation précédant ont peut déterminer les indices d'exploitation et les caractéristiques techniques.

Selon la théorie de destruction de la roches au fond du trou ont peut déduire que la diminution de l'angle d'affûtage du taillant augmente la vitesse de forages, et aussi dans les conditions où la roche est homogène et taillant travail en forme de coin la théorie est valable.

Chapitre IV

Optimisation des paramètres de réglage du marteau perforateur

IV.1. Introduction :

La technologie de forage et de perçage joue un rôle majeur dans l'industrie minière algérienne. En fait, il serait juste de dire que l'optimisation des paramètres de forage est une partie intégrante de la réussite économique ou l'échec de toute exploitation minière [54]. Les opérateurs et les fabricants ne cessent d'explorer les moyens de réduire les coûts et accroître la productivité en améliorant les taux de pénétration de forage et de diminuer l'usure de l'outil perforation. La plus grande partie de ces coûts proportionnels au temps est liée aux travaux d'avancement ou en un mot aux différents facteurs qui conditionnent la vitesse de pénétration du forage. Ces facteurs sont appelés « paramètres de forage » dont la nomination est présentée [55]. Ci-dessous :

- La nature de la formation, sa tendance à dévier et son abrasivité ;
- Le type et paramètres de l'outil utilisé pour détériorer ces roches et les paramètres des trous forés ;
- Le mode de soufflage des trous.

Certains chercheurs ont étudié l'optimisation des paramètres opérationnels des machines de forage en utilisant diverses méthodes, parmi lesquelles la méthode de taguchi [56].

Dans ce chapitre nous avons fait des recherches expérimentales dans le but de vérifier les méthodes de calcul, les résultats expérimentaux sont donnés sous forme de tableaux. Puis, on applique une programmation sur le logiciel Matlab pour, d'obtenir les graphes, ainsi que le monogramme décrivant les résultats expérimentaux dans un premier temps, et afin de les comparer avec le monogramme donné selon des calculs théoriques et analytiques, pour en déduire les résultats obtenus.

IV.2. Choix du régime de fonctionnement de la machine de forage percutant :

IV.2.1. Hauteur de pénétration du trépan :

La hauteur de pénétration est une fonction de l'énergie d'un coup du piston

$$h = \frac{4 \cdot n_c' \cdot E_{ou}}{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma_{comp} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) \cdot c_e \cdot z} \quad (\text{IV.1})$$

IV.2.2. Vitesse de forage :

La vitesse de forage est une fonction de la hauteur de pénétration dans la roche et de la vitesse de rotation, exprimée par le rapport :

$$V_f = \frac{1.3 E_{ou} \cdot n_c}{d_f^2 \cdot \sigma_d} \cdot \zeta_e \tag{IV.2}$$

IV.2.3. Productivités du perforateur :

La productivité théorique, c’est le nombre de mètre de trou foré pendant l’unité de temps:

$$Q_{theo} = 60 \cdot V_f \tag{IV.3}$$

La productivité technique, c’est le nombre de mètre de trou foré pendant l’unité de temps en

tenant compte des arrêts programmés du perforateur

$$Q_{tech} = \frac{T - T_{pr}}{\left(K_f \cdot m_p \cdot V_f\right)^{-1} + \left(t_{depl} + t_{in} + t_n + q \cdot t_{ch}\right) \cdot K_{rep}} \tag{IV.4}$$

La productivité d’exploitation, c’est le nombre de mètre de trou foré pendant l’unité de temps, en tenant compte de l’utilisation réelle du perforateur :

$$Q_{exp} = Q_{theo} \cdot K_{exp} \cdot T_p \tag{IV.5}$$

Tableau IV.1: durée des opérations auxiliaires lors du forage avec des perforateurs [28].

Dénomination	Désignation	Unité de mesure	Type du perforateur
			à main
Temps préparatoire	T_{pr}	mn	15
Temps de déplacement du perforateur jusqu’à nouveau trou	t_{depl}	mn/m	0.8
Temps de soufflage et de nettoyage du trou	t_n	mn/m	1.0
Temps nécessaire pour changer l’outil de forage	t_{ch}	mn/m	0.7

Tableau IV.2: consommation des outils de forage en pièces à 1000 m de trous forés avec des perforateurs à main [28].

Diamètre du taillant mm	Dureté de la roche						
	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
36	16	19	19	24	30	41	101
40	17	21	26	33	45	66	111
43	19	24	30	38	52	76	130
46	22	27	34	43	49	86	144

Selon les résultats, nous obtenons les courbes suivantes :

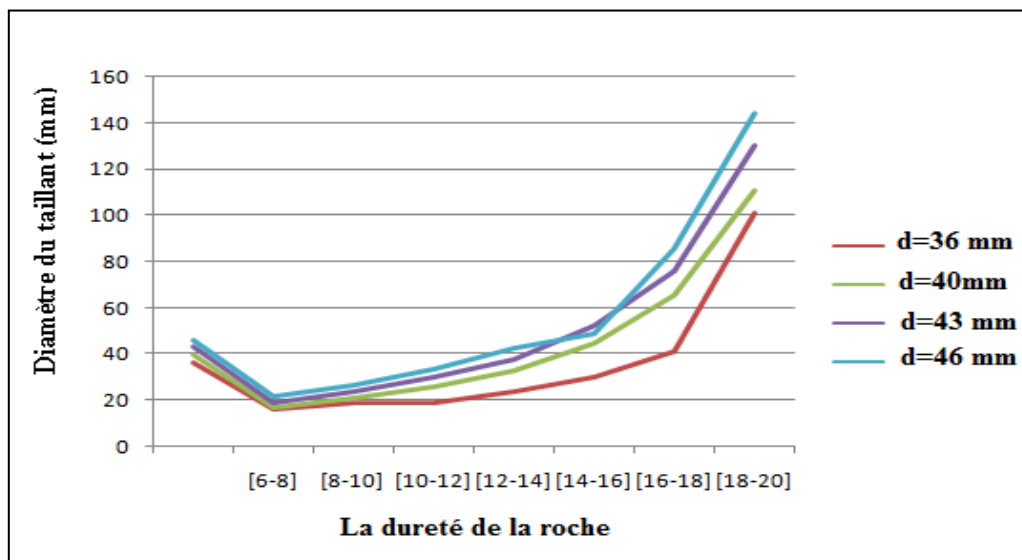


Figure IV.1: l'effet de la dureté de la roche sur le diamètre du taillant

Selon les courbes, nous remarquons que le diamètre du taillant augmente tant que la dureté de la roche augmente.

Où K_{exp} est le coefficient d'exploitation, déterminé par la formule suivante :

$$K_{exp} = \frac{T_f}{T_f + T_{org} + T_{aux}} \quad (IV.6)$$

Simplifions par T_f nous obtenons

$$K_{\text{exp}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{T_{\text{org}} + T_{\text{aux}}}{T_f} \right)}$$

Sachant que : $T_f = \frac{L}{V_f}$

Donc :

$$K_{\text{exp}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{T_{\text{org}} + T_{\text{aux}}}{L} \right) \cdot V_f}$$

On prend :

$$\frac{T_{\text{aux}}}{L} = 3 \text{ à } 5 \quad (\text{IV.7})$$

$$\frac{T_{\text{aux}} + T_{\text{org}}}{L} = 6 \text{ à } 8 \quad (\text{IV.8})$$

IV.2.4. Energie d'un coup du fleuret :

L'énergie d'un coup est une fonction de l'énergie de percussion du perforateur selon ses caractéristiques techniques et du rendement de la transmission de l'énergie jusqu'au taillant exprimé par l'expression :

$$\tau = e^{-2 \cdot (a_1 \cdot L + a_2 \cdot n + a_3)} \quad (\text{IV.9})$$

Nombre de jonction du fleuret :

$$n = \frac{L_F + 0.5}{\Delta L} \quad (\text{IV.10})$$

Langueur totale du fleuret :

$$L = l_f + 0.5 \quad (\text{IV.11})$$

Les pertes d'énergie d'un coup du marteau perforateur ont peut calculer selon le théorème Gauss-Markov pour le but d'assurer une bonne exploitation avec un calcul énergétique optimal [57].

IV.2.5. Application numérique :

D’après le tableau IV.3 on peut calculer les paramètres de base du perforateur pneumatique suivant :

Tableau IV.3 : Caractéristiques techniques du perforateur pneumatique de type (RH656-4W) [28].

paramètres	désignations	valeurs
D, mm	Diamètres du piston	65
d_2 , mm	Diamètre de la tige du piston	40
d_1 , mm	Diamètre de la tige hélicoïdale	27
G, kgf	Poids du piston	2.4
L, mm	Courses du piston	60
M ,kg	Masse du perforateur	22.2
n_c , coup/min	Nombre de coup du piston	2040
P_a ; Kgf /cm ²	Pression de l’air comprimé	4

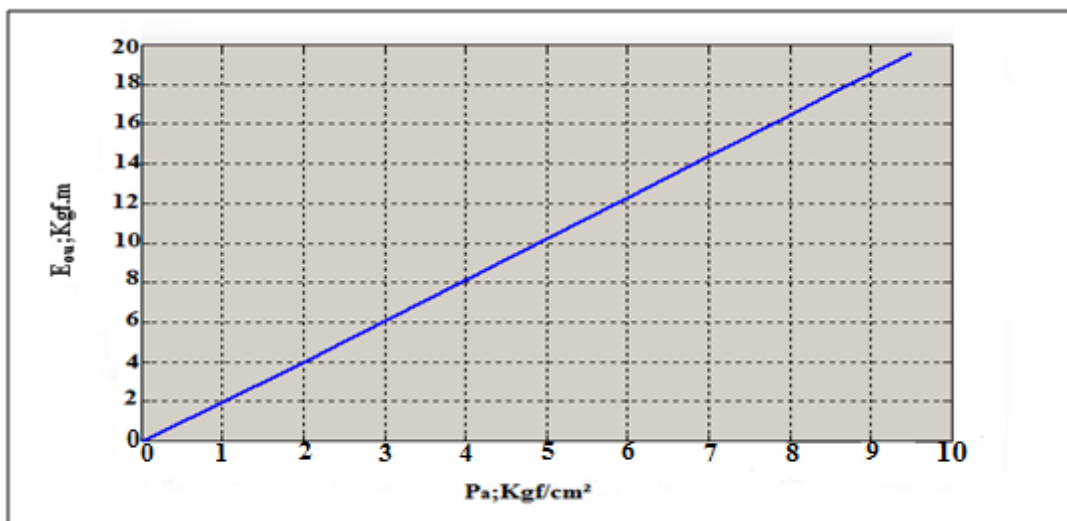
Tableau IV.4 : paramètres de base du perforateur pneumatique

Paramètres	Désignations	Valeurs
S_a	La surface utile du piston pour réaliser le trajet aller	$53.25 \times 10^{-4} \text{m}^2$
S_r	La surface utile du piston pour réaliser le trajet retour	$46.54 \times 10^{-4} \text{m}^2$
F_a	La force appliquée au piston pendant le trajet aller	178.84 N
F_r	La force appliquée au piston pendant le trajet retour	118.16 N
V_a	la vitesse maximale du piston sur la distance L_1	6.62 m/s
V_r	la vitesse maximale du piston sur la distance L_2 pendant le trajet retour	5.20 m/s
T_c	La durée du cycle	0.03 s
n_c	Le nombre de coups du piston par minute	2040 coups/min
n_t	Le nombre de tours du fleuret par minute	80 tr/min
n_c	Le nombre de coups du piston par un tour par un fleuret	25 coups/tr
Φ	l’angle de rotation du fleuret par un coup	14.4°

Tableau IV.5 : Résultats de l'étude expérimentale réalisée dans les conditions de la carrière de file fila.

N ^{bre} d'essai	P _a ;Kgf/cm ²	E _{ou} ; Kgf.m
00	00	00
1	1.5	1.20
2	2	3.96
3	2.5	5
4	3	6.04
5	3.5	7.08
6	4	8.12
7	4.5	9.16
8	5	10.20
9	5.5	11.24
10	6	12.28
11	6.5	13.32
12	7	14.36
13	7.5	15.40
14	8	16.44
15	8.5	17.48
16	9	18.52
17	9.5	19.56

Les résultats de l'étude expérimentale réalisée dans les conditions de la carrière de file-fila, pour la caractérisation de l'influence de la pression de l'air comprimé sur l'énergie d'un coup du piston sont représentés par la figure ci-dessous :

Figure IV.2: l'énergie d'un coup du piston (E_{ou}) en fonction de la pression d'air comprimé dans la chambre d'admission du cylindre (P_a).

On remarque que l'énergie d'un coup du piston augmente tant que la pression d'air comprimé dans la chambre d'admission du cylindre augmente.

Tableau IV.6 : variation de l'énergie d'un coup du piston. en fonction de la hauteur de pénétration

E_{ou} ; Kgf.m	h ; mm/tr
00	00
1.20	0.2000
3.96	0.2503
5	0.3160
6.04	0.3816
7.08	0.4472
8.12	0.5128
9.16	0.5785
10.20	0.6441
11.24	0.7097
12.28	0.7753
13.32	0.8409
14.36	0.9066
15.40	0.9722
16.44	1.0378
17.48	1.1034
18.52	1.1691
19.56	1.2347

En utilisant le logiciel Matlab sur les résultats de l'étude expérimentale, on obtient :

La droite :

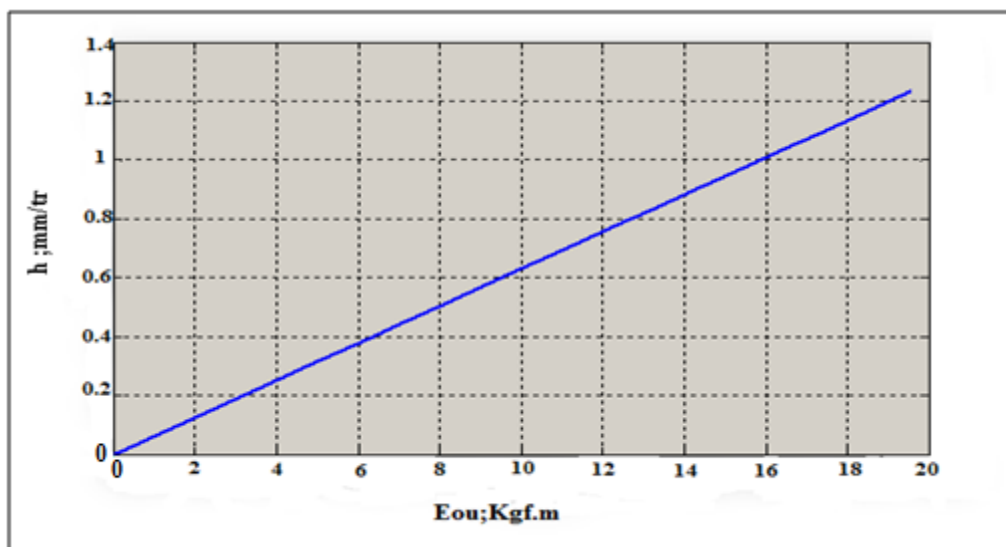


Figure IV.3: l'énergie d'un coup du piston (E_{ou}) en fonction hauteur de pénétration (h)

Selon la droite, nous remarquons que la hauteur de pénétration augmente tant que l'énergie d'un coup du piston augmente.

Tableau IV.7 : la variation de la vitesse de forage en fonction de la hauteur de pénétration

h ; mm/tr	n_c (coups/min)					
	2040		2100		2200	
	Vf1 ; m/min	H ; m	Vf2 ; m/min	H ; m	Vf3 ; m/min	H ; m
00	00	00	00	00	00	00
0.2000	0.0199	190	0.0200	200	0.0210	125
0.2503	0,0200	191	0,0210	220	0,0220	124
0.3160	0,0252	187	0,0265	216	0,0278	123
0.3816	0,0304	185	0,0320	204	0,0335	113
0.4472	0,0357	183	0,0375	202	0,0393	110
0.5128	0,0410	155	0,0430	174	0,0451	107
0.5785	0,0462	153	0,0485	172	0,0509	101
0.6441	0,0515	148	0,0541	167	0,0566	99
0.7097	0,0567	143	0,0596	162	0,0624	87
0.7753	0,0620	141	0,0651	160	0,0682	84
0.8409	0,0672	118	0,0706	137	0,0739	62
0.9066	0,0725	101	0,0761	120	0,0797	52
0.9722	0,0777	81	0,0816	100	0,0855	50
1.0378	0,0830	58	0,0871	77	0,0913	42
1.1034	0,0882	51	0,0926	70	0,0970	32
1.1691	0,0935	38	0,0982	57	0,1028	30
1.2347	0,0987	27	0,1037	46	0,1086	25

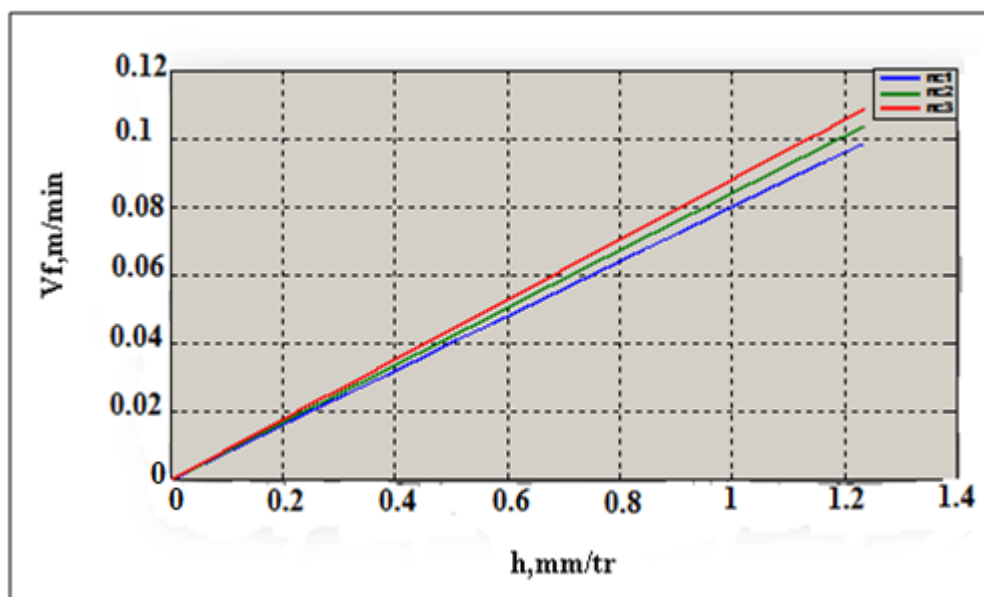


Figure IV.4: la vitesse de forage (V_f) en fonction de la hauteur de pénétration(h).

On remarque que la variation de la vitesse de forage augmente tant que la hauteur de pénétration augmente.

IV.3.Critères et modèle du choix des régimes de fonctionnement rationnel :

La structure du prix de revient d'un mètre du trou foré se compose de deux parties : Dépenses dépendant du temps liées à la productivité des travaux de forage ainsi qu'au métrage pour un outil.il convient de dire que le prix de revient d'un mètre du trou foré est le critère qui tient compte du niveau technique des machines employées et de l'organisation du travail.

S'il s'agit de l'exploitation des machines des forages choisies permettant de forer des trous de diamètre déterminé. Le critère le plus juste de la détermination des paramètres du régime rationnel de forage sera le prix de revient d'un mètre de trou foré. Ce dernier est peut être déterminé d'après la formule suivante :

$$C = \left(\frac{C_p}{Q_{exp}} \right) + \left(\frac{C_{ou}}{H} \right) \tag{IV.12}$$

Ici découle que dans la formule, Q_{exp} est fonction de la vitesse de forage mécanique V_f et par conséquence la pression d'air comprimé P_a et l'énergie d'un coup E_{ou} le problème posé consiste à déterminer les valeurs des paramètres de réglage ou le prix de revient minimal d'un mètre du trou foré.

$$C_p = C_s + C_{eng} + C_a + C_{rép} + C_{ma} \tag{IV.13}$$

$$C_a = \left(\frac{C_{mach}}{N_j \cdot N_p \cdot N_a} \right) \tag{IV.14}$$

Tableau IV.8 : coûts de la machine

Paramètres	Désignations	Valeurs
C_{ou}	Prix de l'outil	28000 DA
C_{mach}	coût de la machine	785000 00 DA
C_a	coût de la machine amortie	309000.00 DA/poste
C_p	Dépenses rapportant à l'exploitation de la machine pendant un poste	81600,00 DA

Tableau IV.9 : la vitesse de forage et le prix de revient d'un mètre de trou foré en fonction de l'énergie d'un coup du piston

Eou (kgf.m)	Vf (m/min)	Pa (Kgf/cm ²)	C(DA/m)
1.20	0.02	1.5	75090.05
3.96	0.03	2	6160.07
5.00	0.04	2.5	5420.43
6.04	0.06	3	5300.99
7.08	0.07	3.5	4700.67
8.12	0.08	4	4800.79
9.16	0.09	4.5	5000.48
10.20	0.10	5	58200.45
11.24	0.11	5.5	5962.03
12.28	0.12	6	6000.14

Les résultats précédents, nous montrent les courbes suivantes :

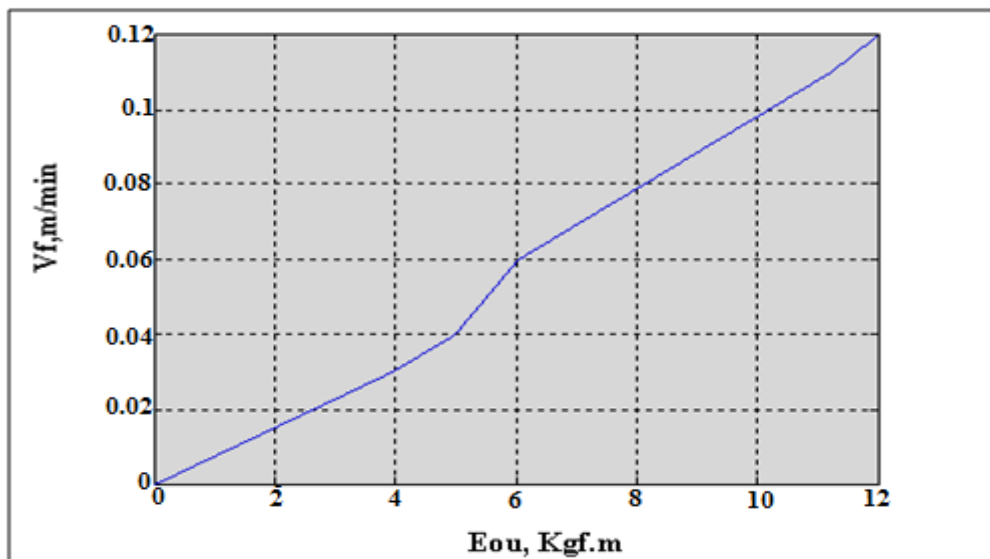


Figure IV.5: la vitesse de forage en fonction de l'énergie d'un coup du piston

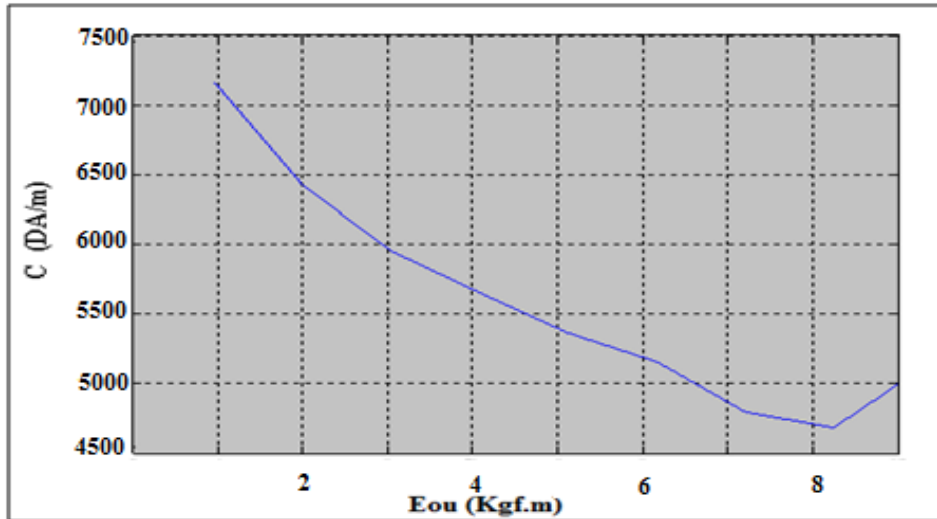


Figure IV.6 : le prix de revient d'un mètre de trou foré en fonction de l'énergie d'un coup du piston.

Selon les courbes précédentes, on notera que la vitesse de forage augmente lorsque l'énergie d'un coup du piston augmente donc la relation est proportionnelle et le prix de revient d'un mètre de trou foré diminue tant que l'énergie d'un coup de piston augmente. Donc une relation inverse.

Tableau IV.10 : Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage (V_{fl}) dans les conditions de la carrière de file fila.

E	Vf1 ; m/mn	H ; m	Q _{thé}	Q _{tech}	K _{exp}	Q _{exp}	C ; DA/m
00	0	0	0	0	0	0	0
01	0.0200	196	1.200	1.137	0.787	0.894	9190.12
02	0.0252	192	1.512	1.430	0.762	1.089	7550.65
03	0.0304	190	1.824	1.721	0.739	1.271	6480.32
04	0.0357	188	2.142	2.017	0.716	1.444	5710.41
05	0.0410	160	2.460	2.274	0.695	1.580	5230.75
06	0.0462	158	2.772	2.562	0.676	1.731	4780.75
07	0.0515	152	3.090	2.836	0.657	1.863	4450.59
08	0.0567	148	3.402	3.034	0.639	1.938	4280.83
09	0.0620	146	3.720	3.242	0.622	2.016	4120.62
10	0.0672	123	4.032	3.366	0.607	2.043	4080.68
11	0.0725	106	4.350	3.473	0.591	2.052	4080.36
12	0.0777	86	4.662	3.456	0.577	1.994	4000.35
13	0.0830	63	4.980	3.397	0.563	1.912	4440.59
14	0.0882	56	5.292	3.257	0.550	1.791	4750.63
15	0.0935	43	5.610	3.165	0.538	1.702	5050.41
16	0.0987	31	5.922	3.096	0.526	1.628	5370.12

En utilisant le logiciel Matlab, on obtient les courbes :

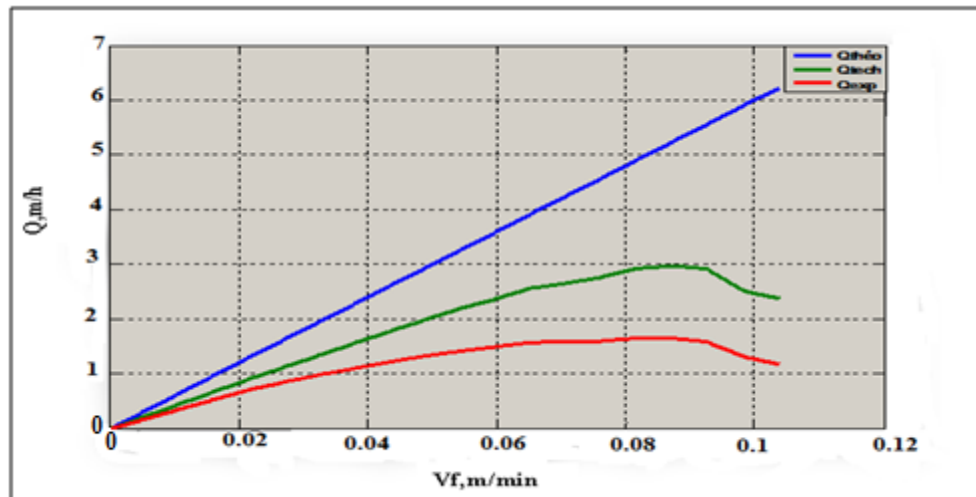


Figure IV.7 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage (V_f).

Tableau IV.11: Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage

(V_{f2}) dans les conditions de la carrière de file fila.

E	Vf2 , m/mn	H , m	Qthé m/h	Qtech m/h	Kexp	Qexp m/h	C ; DA/m
00	00	00	00	00	00	00	00
01	0.0210	173	1.260	0.875	0.782	0.684	12000.32
02	0.0265	179	1.590	1.102	0.756	0.833	9860.54
03	0.0320	193	1.920	1.319	0.732	0.965	8510.99
04	0.0375	187	2.250	1.540	0.709	1.091	7540.44
05	0.0430	166	2.580	1.755	0.687	1.205	6840.36
06	0.0485	160	2.910	1.966	0.667	1.311	6290.81
07	0.0541	155	3.246	2.181	0.648	1.413	5850.06
08	0.0596	150	3.576	2.363	0.630	1.488	5560.17
09	0.0651	147	3.906	2.562	0.613	1.570	5270.65
10	0.0706	124	4.236	2.647	0.597	1.580	5250.75
11	0.0761	107	4.566	2.752	0.582	1.601	5200.38
12	0.0816	84	4.896	2.916	0.567	1.653	5270.95
13	0.0871	60	5.226	2.978	0.553	1.646	5300.49
14	0.0926	53	5.556	2.925	0.540	1.579	5350.96
15	0.0982	39	5.892	2.522	0.527	1.318	6470.83
16	0.1037	28	6.222	2.377	0,515	1.169	7370.89

Selon les résultats expérimentaux, on obtient les courbes :

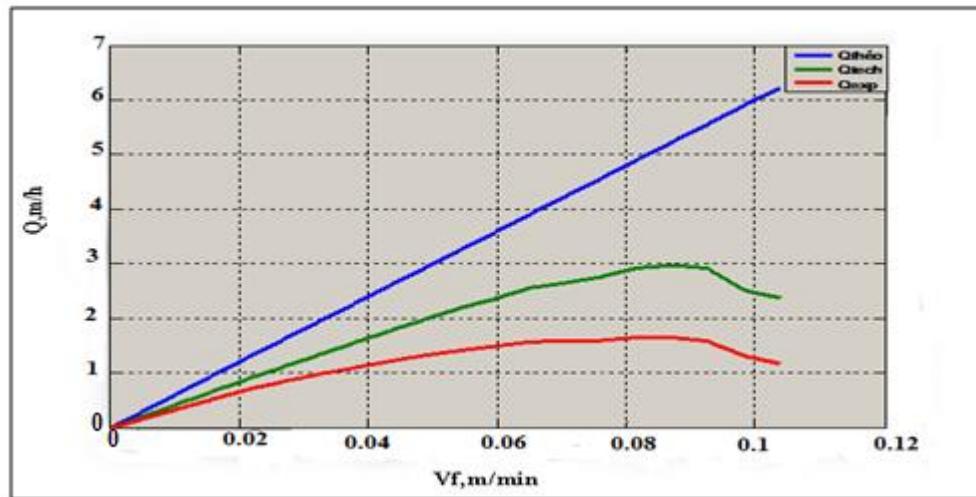


Figure IV.8 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage (V_{f2}).

Tableau IV.12: Résultats obtenus de la productivité du perforateur en fonction de la vitesse de forage

(V_{f3}) dans les conditions de la carrière de file fila

E	Vf 3 , m/mn	H , m	Qthé	Qtech	Kexp	Qexp	C ; DA/m
00	0	0	0	0	0	0	0
01	0.0220	197	1.320	1.228	0.777	0.954	8610.63
02	0.0278	196	1.668	1.547	0.750	1.160	7090.64
03	0.0335	187	2.010	1.856	0.725	1.345	6130.07
04	0.0393	188	2.358	2.169	0.702	1.522	5420.43
05	0.0451	162	2.706	2.755	0.680	1.666	4960.99
06	0.0509	160	3.054	3.046	0.659	1.780	4650.67
07	0.0566	158	3.396	3.339	0.640	1.900	4360.79
08	0.0624	154	3.744	3.633	0.621	2.000	4150.48
09	0.0682	153	4.092	3.852	0.604	2.194	3790.31
10	0.0739	134	4.434	3.870	0.587	2.271	3670.61
11	0.0797	118	4.782	3.816	0.572	2.182	3530.60
12	0.0855	99	5.130	3.657	0.557	2.036	4120.22
13	0.0913	75	5.478	3.490	0.543	1.895	4450.62
14	0.0970	69	5.820	3.262	0.530	1.728	4808.55
15	0.1028	56	6.168	2.955	0.517	1.527	5540.46
16	0.1086	46	6.516	2.765	0.505	1.396	6080.92

Les résultats précédents, nous montrent les courbes suivantes :

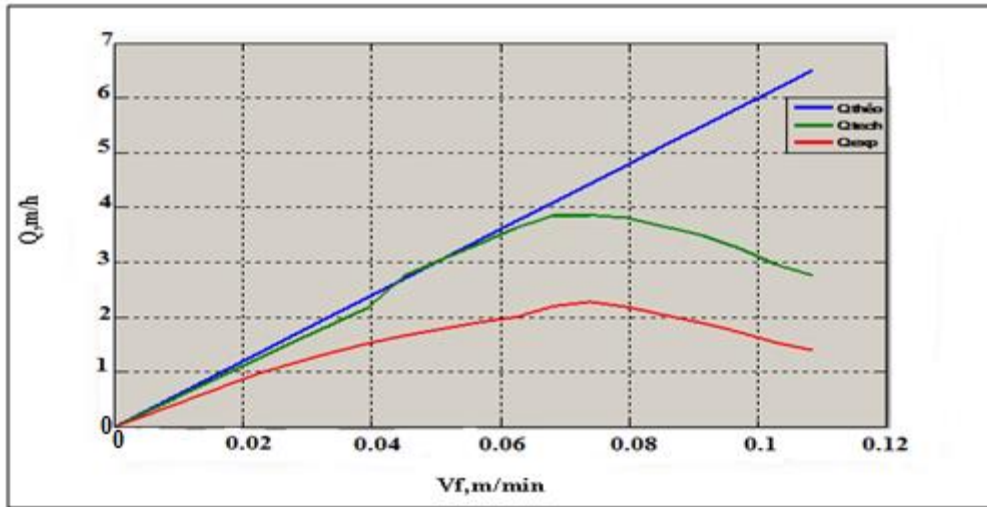


Figure IV.9 : la variation de la productivité(Q) en fonction des vitesses de forage (V_{f3}).

On remarque que la productivité du perforateur pneumatique augmente tant que la vitesse de forage augmente pour améliorer l'organisation de travail.

La productivité du perforateur pneumatique dépend en premier lieu des paramètres du régime de forage parce que ces derniers déterminent la valeur de la vitesse de forage.

L'étude des courbes présentées aboutit à une recommandation sur l'amélioration de l'organisation de travail, ce qui nous donne la possibilité d'augmenter la productivité d'exploitation du perforateur pneumatique.

Les paramètres rationnels du régime de fonctionnement des machines de forage percuteur dans les conditions de la carrière de Fil-Fla sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau. IV.13 : Paramètres optimaux du marteau perforateur

Pa	E _{ou}	Vf	Productivité			C
			Q _{thé}	Q _{tech}	Q _{exp}	
Kgf/cm ²	kgf.m	m/mn	m/h	m/h	m/h	DA/m
4	8.12	V _{f1} = 0.0830	4.980	3.397	1.912	4440.59
		V _{f2} = 0.0816	4.896	2.916	1.653	5270.95
		V _{f3} = 0.0855	5.130	3.657	2.036	4120.22

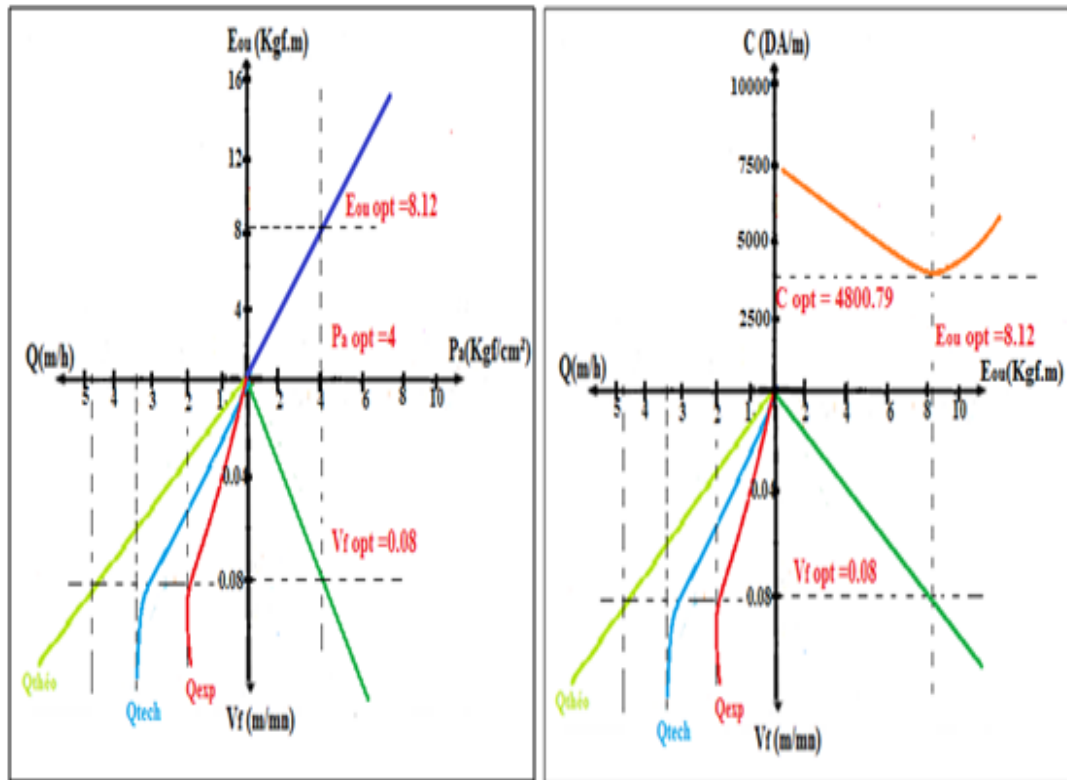


Figure .IV.10 : Nomogramme de détermination des valeurs optimales du régime de fonctionnement des machines de forage percutant.

IV.4.Conclusion :

Dans la partie expérimentale nous avons étudiés l'influence du métrage des trous forés sur la vitesse de forage. Sachant que les paramètres de réglage influent considérablement sur les paramètres de sortie ; les facteurs étudiés représentent les valeurs des variables dans le domaine auquel commence l'étude du processus de forage pour le but d'obtenir les valeurs optimales de ces facteurs.les facteurs étudiés (la pression d'air comprimé P_a ,l'énergie d'un coup de piston E_{ou}) représentent des variables, c'est-à-dire lors du forage expérimental, nous pouvons leur donner des valeurs déterminées.

La productivité du perforateur dépend des paramètres du régime de forage.

La comparaison graphique des résultats de calcul obtenus théoriquement avec ceux obtenue expérimentalement a fait ressortir que la méthode la plus proche des résultats réels est celle la théorie de destruction de la roche.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans notre travail nous avons étudiés le mode de forage percutant avec différent méthodes en se basant sur les propriétés physico-mécanique de la roche, paramètres de réglage de la machine, paramètres géométrique de l'outil.

Dans le premier chapitre nous avons étudiés l'état actuel de la mécanisation des travaux de forage, et définir le mode de forage percutant qui est réalisé par les marteau perforateur ; le plus concernant dans l'étude c'est le marteau perforateur pneumatique et nous avons élaboré le choix du régime rationnel de fonctionnement de la machine de forage.

Dans le deuxième chapitre nous avons traités les propriétés physico-mécanique de la roche, et nous avons réalisés des essais de ces procédés sur la roche (le marbre) qui exige une diversité des méthodes d'extraction, résulte de la propriété physico-mécanique de la roche et la configuration du gisement. Le choix de l'outil de forage s'effectue selon la nature de la roche ainsi que les paramètres des trous forés.

Dans le troisième chapitre nous avons montés un stand des essais de forage au sein du laboratoire. L'analyse des résultats montre qu'elle est basée sur les connaissances des particularités de l'interaction de l'outil contre la roche ; et nous avons choisi le type du perforateur pneumatique Atlas-Copco de type (RH656-4W).

Dans le quatrième chapitre nous avons élaborés et comparés les résultats de calcul obtenus théoriquement avec ceux obtenus expérimentalement et nous avons étudiés l'influence du métrage des trous forés sur la vitesse de forage. Sachant que les paramètres de réglage influent considérablement sur les paramètres de sortie.

En résultat de recherches réalisées, nous avons conclus que dans les conditions des carrières employant les moyens de forage défini, il est préférable d'utiliser le critère de prix du revient d'un mètre de trou foré qui est l'indice technico économique qui vérifie exactement la rationalité de fonctionnement de la machine.

L'étude a traité un problème posé dans le but d'augmenté la productivité de la machine en optimisant les paramètres de réglage du marteau perforateur en utilisant le critère de vérification de la rationalité de fonctionnement de la machine qui est l'indice technico-économique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **SERDANI A., MEDROUA A.** Etude de la mécanisation de transport avec fixation de l'organisation des camions. Mémoire d'ingénieria. Université de Badji Mokhtar. Annaba. **1992**
- [2] **R. TEALE.** Le concept d'énergie spécifique dans le forage de roche. Int J Rock Mech Min Sci; 2: 57-73. **1965.**
- [3] **M. MILLER.** Normalisation de l'énergie spécifique. Int J Rock Mech Min Sci; 9: 661-3 [Note technique]. **1972**
- [4] **AG. PATHINKAR, GB. MISRA.** Une évaluation critique de l'indice Protodyakonov. Int J Rock Mech Min Sci;13:249-51. **1976**
- [5] **H. RAIBA** L'énergie spécifique comme critère pour la prédiction de la performance des forets. Int J Rock MechMinSci et Geomech Abstr; 19: 39-42. **1982**
- [6] **B.LUNDBERG, P.COLLET** Onde optimale en ce qui concerne l'efficacité du forage percussif avec l'acier de forage intégré.Int J Impact Eng 37 ; 901-906. **2010**
- .
- [7] **www.atlascopco.com marteaux perforateurs pneumatiques 9800 0654 03 –** Copyright Construction Tools GmbH, Essen, Allemagne. 09.**2015.**
- [8] **A.SEMENTCHENKO, A.KARBACHEV, and M.OUADI:** choix des machines minières et leurs régimes de fonctionnement, livre .annaba, **1983**
- [9] **R.PODERNI:**Machines minières et complexes pour les travaux à ciel ouvert.moscou, livre,NEDRA, (En russe). **1971**
- [10] **I.RAKOV, J.RADKEVITCHE :** calcul et choix des machines minières. Partie1. Travaux de forage et de chargement au fond et à ciel ouvert, livre. Annaba, **1981.**
- [11] **G.NANAIEVA :** machines minières et complexes pour l'extraction des minéraux.livre, Moscou, NEDRA, (En russe). **1982.**
- [12] **I.BEGAGOENE:** Machine de forage.livre, Moscou, NEDRA, (En russe). **1972.**
- [13] **VINOGRADO V.VC.** Equipement sur la mécanisation de production dans les carrières sous la rédaction générale de VINOGRADOV Moscou édition Nedra **1974.**
- [14] **ALIMOV G.DVORNIKOV L. T.** Machine de forage ,livre, Moscou édition Machinostoene année **1976.**
- [15] **CIMKINE B. A.** Aide mémoire de forage dans les carrières sous la rédaction de CIMKINE B. A. moscou nedra **1981.**

[16] **KHOCHEMANE L.** Optimisation des paramètres de forage à molette. Thèse de doctorat. Edition université Badji Mokhtar. Annaba. **2006**

[17] **KOVALENKO V., ANBRATSOUNIAN N., LAHMAR K.** Exploitation des carrières. Editions place centrale de Ben Aknoun. **1981.**

[18] **Revue Séminaire sur l'étude des propriétés physico mécaniques des roches Meliana N°1 année 1987.**

[19] **RADIONOV F. A** Etablissement des paramètres essentiels caractérisant le processus de forage **1935-1936.**

[20] **EPCHTEIN** Analyse du régime de travail des tarières dans les conditions du laboratoire année **1940 et 1949.**

[21] **CHRAINER A.PETROV O.P.YAKOCHEV V.P.** Augmentation des bases physique du processus de destruction de la roche au forage **1969.**

[22] **IMASS O. D.** Tentative de généralisations des résultats de l'étude des paramètres de forage en fonction des propriétés physico mécaniques des roches année **1912.**

[23] **ALIMOV O. D.** Tentatives d'établissement du cor relations ou de proportion rationnel entres les paramètres de forage **1976.**

[24] **KRAPIVINE N. G.** Recherche des dépendances décrivant le processus de forage année **1967.**

[25] **TANDANAND, S,** —principles of Drilling,|| Sec. 11.3, SME Mining Engineering Handbook, AIME, New York, Vol. 1, pp. 11-5 to 11-24. **1973**

[26] **MURRAY R. SPIEGEL** Probabilité et statistique Paris année **1985.**

[27] **KABOUCHE Abdallah ,** étude et élaboration du régime de forage à molette. **1992**

[28] **Document autorisé par l'entreprise ENAMARBRE.** Plan d'exploitation de la carrière de fil fila. **2000**

[29] **M.OUADI ; I. ASSENOV ;** Machine Minière (Machine de forage) office d'application universitaire mars **1993.**

[30] **R. LAZAYRES ;** les outils de forage revue art de mine N°4 **1975.**

[31] **RAYMOND R.** a drilling for water, a pratical Manuel; Edition Avebury/Cranfield University Ray. **1998.**

[32] **ARTHUR Vandekerckhove, ALBERT Renier.** L'Union belge de a pierre blanche naturelle. Le CSTC Editeur responsable : Carlo De Pauw CSTC, rue de la Violette 21-23 1000 BRUXEL

- [33] **PIERRE BÉREST** ; Manuel de Mécanique des Roches Tome 1 : Fondements, Les Presses de l'École des Mines Paris, **2000**.
- [34] **GHISLAIN Chaour**, Etude et optimisation des paramètres de fonctionnement de la machine Metso Algérie-février **2011**.
- [35] **SOPHIE Husson** ; Etude physico-chimique et mécanique des interactions ciment-fillers. Application aux mortiers. Thèse de doctorat. Ecole nationale Supérieure des mines de saint Etienne ; 25.03.**1991**.
- [36] **AZEZ ZINA**. Etude de l'efficacité technique d'utilisation des machines de forage roto-percutant dans les conditions de marbre de Fil-Fila (SKIKDA).mémoire de fin d'étude de l'ingéniorat, **2009**.
- [37] **DRIS EL Abassi** . Caractérisation non destructive par ultrasons des roches ornementales ; Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc , Rabat – Maroc / 23-25 Novembre **2011**.
- [38] **BELABED F**. Etude géologique, pétrographique et géochimique du marbre de fil fila Skikda.**2000**
- [39] **PROTODYAKONOV MM**. Mechanical properties and drill ability of rock. In: Proceedings of the Fifth Symposium on Rock Mechanics. Minneapolis, MN: University of Minnesota.p. 103–18. **1962**
- [40] **CHRAINERT**. Propriétés mécaniques et abrasives des roches, livre, Moscou édition GOSRTEKHIZDAT année **1958**.
- [41] **BARON L. I.KOUZNOTSOV A. V**. Abrasivité des roches lors de l'abattage, livre, Moscou édition des sciences URSS année **1961**
- [42] **BARON .L**. Etat contemporain des études sur les propriétés physico-mécaniques des roches et des découpages; livre; Moscou édition SKOTCHINKI A. A. année **1967**.
- [43] **BARON.L ET GLATMAN.L**. Usure de l'outil lors du découpage des roches, livre, Moscou édition nedra **1969**.
- [44] **AMZALLAG E. PICCIOLI N**. Introduction a la statistique France Dunod **1969**.
- [45] **DALIA A**.**Optimisation** de réglage des régimes de fonctionnement des sondeuses roto-percutantes. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba. **2008**
- [46] [https ://www.futura-sciences.com/choisir-meches-forets13037](https://www.futura-sciences.com/choisir-meches-forets13037)
- [47]<https://www.atlascopco.com/fr-dz construction-Equipment/Product>
- [48] **PETROUCHKINE et DALIA**, Revue scientifique n°3 INSTITUT Mines et Métallurgie.**1986**

[49] **HARTMAN H. L.**, "The Effectiveness of Indexing in Percussion and Rotary Drilling," International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 3, pp. 265-278.1966

[50] **HERAUD H., LEBLOND J-J., SOUCHEt C., VERONNEAU J-Y., BELLEREPAYRE J-M.**, Minage. Intérêts technique et économique d'une foration de qualité en carrière. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées n°215, pp 33-39. 1994

[51] **MAURER, W.C.**, —The 'Perfect-Cleaning' Theory of Rotary Drilling,|| Journal of Petroleum Technology, Vol. 14, No. 11, Nov., pp. 1270-1274.1962.

[52] **MEHENNAOUI, S. KHOCHEMANE, L** Optimization of setting parameters of a rotary drilling rig using sim hydraulics toolbox,JContemporary Engineering Science Vol 8, N°3 ,pp115-120,2015.

[53] **NEMOUCHI,S.HADJADJ AOUL, E**, Improvement of the hammer drill performance (Algerian quarries condition), Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering eISSN :2066-8910,Vol 12,N°1, pp77-85,2020.

[54] **ONEDERRA, I**, Développement d'un modèle empirique pour la fragmentation anneau souterrain dynamitage applications confidentielles AMIRA / JKMRC P447 rapport de projet BART, août. 2001.

[55] **MARTA, F. RIIHIOJA, K et CHITOMBO, G**, Forage des matériaux composites de carbone en utilisant un coup de foret. Partie I: en cinq étapes la représentation de forage et les facteurs affectant la force maximale et le couple. pp.70 – 75. 2005.

[56] **DERDOUR, F. Z., KEZZAR, M, BENNIS, O**, The optimization of the operational parameters of a rotary percussive drilling machine using the Taguchi method, World Journal of Engineering ISSN: 1708-5284, Vol.15, N°1, pp.62-69, 2018.

[57] **SOUILAH, N. ZAHZOUH,Z** ,Optimum energy calculation for a drill hammer-blow RH571-4W,Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867,vol 13,N°1,pp.151-171,2021.

Annexes

1. Calcul des réserves de la carrière d'Echatt Fil-Fila :

Tableau 1 : Calcul des réserves de la carrière d'Echatt Fil-Fila.

Année	Réserves Totales Initiales (T)	Production Brute Annuelle (T)	Production Nette (T)	Taux Récupéré %	Réserves Totales Restantes (T)
1979-82	6480000	200000	160000	80%	
1983-90		604800	483840	80%	
1991-96		443460	354768	80%	
1997-99		84101	67280,8	80%	
2000		37300	29840	80%	
2001		54976	43980,8	80%	
2002		53081	42464,8	80%	
2003		56937	45549,6	80%	
2004		62125	49700	80%	
2005		65800	52640	80%	
2006		60500	48400	80%	
2007		76000	60800	80%	
2008		66000	1492000	80%	
Total		1865000	1439264	80%	2816000

La durée de vie selon les réserves restantes est :

$$R_{Tr} \div P_{Ap} = 2816000 \div 75000 = 38 \text{ ANS.}$$

Où :

R_{Tr} : Réserves totales restantes ;

P_{Ap} : Production annuelle prévue ;

2. Calcul des réserves au niveau 341m :

Pour calculer la réserve à ce niveau on procède à la méthode dite de section.

Tableau.2 : Calcul des Réserves au niveau 341m.

N° / Profil	$S_1+S_2/2$ en (m ²)	E qui (m)	Volume (m ³)
0	201,50	10	2015,0
1	496,50	10	4965,0
2	645,50	10	6455,0
3	785,00	10	7850,0
4	862,00	10	8620,0
5	882,50	10	8825,0
6	765,00	10	7650,0
7	575,00	10	5750,0
8	503,00	10	5030,0
9	378,00	10	3780,0
10	187,50	10	1875,0
11	47,50	3	142,50

Volume total : 62957,0m³.

3. Les études expérimentales sur la roche :

3.1. Résistance à la compression:

Des essais de compression ont été effectués sur carottes taillés, qui avait un diamètre de 33 mm et un longueur de rapport de diamètre de 2. Le taux de stress a été appliqués dans les limites de 0,5-1,0 MPa / s.

3.2. Essai de traction :

Essais de traction ont été réalisées sur le noyau échantillons ayant un diamètre de 33 mm et une hauteur de rapport de diamètre de 1. L'effort de traction sur le spécimen a été appliqué en continu à un taux constant de stress tels que l'échec se produit dans les 5 min de chargement.

3.3. Module élastique

le tangent de module Young a été mesurée à un stress niveau égal à 50% de la résistance à compression.

3.4. Point de test de charge

Le test de point de charge diamétrale a été réalisé sur le noyau ayant un diamètre de 33 mm et une longueur de 66 mm. Les résultats ont été corrigés pour un spécimen diamètre de 50 mm.

Tableau 3 : Le formulaire de performance pour le numéro de l'observation 8a

Le numéro de trou	le numéro de la tige	le taux de pénétration net (m / min)	moyen de taux de la pénétration net (m / min)
1	1	1,50	1,58
	2	1,80	
	3	1,44	
2	1	1,55	1,55
	2	1,70	
	3	1,40	
3	1	1,25	1,18
	2	1,30	
	3	1,00	
4	1	1,35	1,28
	2	1,30	
	3	1,20	
5	1	1,50	Moyenne: 1.4270.18
	2	1,75	
	3	1,35	

Tableau 4 : Les taux de pénétration de toute l'observation 8a

Observation le numéro	Type de roche	le taux de pénétration net (m / min)
1	Calcaires	0,77
2	Altered	1,64
3	Grès	0.4
4	Grès	1,15
5	Dolomie	1,16
6	Calcaires	0,85
7	Diabase	1,27
8	Marne	1,42
	MetaSandstone	5.5. Marteau Schmidt test:

N essais de type marteau perforateur ont été menés sur le terrain. Le marteau perforateur a été tenue la basse position et 10 impacts ont été réalisées à chaque point, et la valeur de rebondissement pic a été enregistré. Le test a été répété au moins trois

fois sur n'importe quel type de roche et la valeur moyenne a été enregistrée comme le nombre de rebond.

3.5. Test de résistance aux chocs:

Le dispositif conçu par Evans et Pomeroy a été utilisé dans l'essai de résistance d'impact. Un échantillon de 100 g de roche dans la gamme de taille de 3.175 à 9.525 mm est placé dans un cylindre de 42,86 mm de diamètre et un poids 1,8 kg chuté de 20 fois d'une hauteur de 30,48 cm sur l'échantillon de roche. Le montant de roche restant dans la première gamme de taille après le test se nomme comme indice de résistance aux chocs.

3.6. Densité:

Des échantillons de carottes ont été taillés et utilisés dans la détermination de la densité naturelle. Le volume d'échantillon a été calculé d'une moyenne de lectures de plusieurs étrières. Le poids de l'échantillon a été déterminé par un équilibre, capable de peser avec une précision de 0,01 du poids de l'échantillon.

Les valeurs de densité naturelle ont été obtenues à partir du rapport du poids spécimen au volume d'échantillon.

Tableau 5 : Résultats de l'essai de la compression

Type de roche	Résistance à la compression (MPa)	Standard Écart	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	123,8	3,81	3,10
Grès altéré	20,1	0,92	4,62
Grès	149,2	1,52	1,02
Dolomie	68,0	6,01	8,91
Calcaires	51,3	3,03	5,90
Diabase	110,9	6,04	5,41
Marne	39,5	0,75	1,73
Metasandstone	25,7	0,90	3,41
			Moyenne: 4,26

Tableau 6 : Résultats de l'essai de traction

Type de roche	Résistance à la traction (MPa)	L'écart-type	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	6.6	1,21	18,33
Grès altéré	1.2	0,46	38,33
Grès	16,1	0,84	5,23
Dolomie	6,0	1,23	20,50
Calcaires	7,0	1,36	19,43
Diabase	10,1	0,91	9,01
Marne	5.2	0,25	4,81
Metasandston	5.8	0,92	15,86
e			Moyenne: 16,44

Tableau 7 : Valeurs du module élastique pour les roches testées

Type de roche	Module d'élasticité (MPa)	L'écart-type	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	10682	1190	11,14
Grès altéré	1566	210	13,41
Grès	8746	1060	12,12
Dolomie	6830	1360	19,90
Calcaires	7193	1110	15,43
Diabase	10901	1100	10,09
Marne	4060	680	16,75
Metasandstone	10562	830	7,86
			Moyenne: 13,34

Tableau 8 : Résultats du test de charge ponctuelle

Type de roche	Résistance à la charge Point (MPa)	L'écart-type	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	5.3	1,02	19,24
Grès altéré	1.1	0,31	28,18
Grès	11,2	0,73	6,52
Dolomie	3.5	0,68	19,42
Calcaires	4.6	0,59	12,83
Diabase	10,3	0,85	8,25
Marne	2.7	0,45	16,67
Metasandstone	4.2	0,54	12,86
			Moyenne: 15,50

Tableau 9 : Résultats du test de résistance aux chocs

Type de roche	Résistance aux chocs	L'écart-type	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	82,9		
Grès altéré			
Grès	70,4	0,17	0,21
Dolomie	87,8	0,72	1,03
Calcaires	83,4	0,32	0,37
Diabase	82,2	0,66	0,79
Marne	89,5	0,11	0,14
Metasandstone	76,1	0,60	0,67
	85,0	0,79	1,04
		0,43	0,51
			Moyenne: 0,60

Tableau 10 : Valeurs de la densité naturelle de la roche testée

Type de roche	Densité (g/cm ³)	L'écart-type	Le coefficient de variation (%)
Calcaires	2,73	0,07	2,56
Grès altéré	2,55	0,10	3,92
Grès	3,00	0,16	5,33
Dolomie	2,92	0,11	3,77
Calcaires	2,74	0,06	2,19
Diabase	2,96	0,16	5,41
Marne	2,20	0,12	5,45
Metasandstone	2,73	0,09	3,30
			Moyenne: 3,99

Tableau 11 : Le coefficient de variation moyenne des valeurs pour chaque méthode d'essai

Méthode d'essai	Coefficient de Variation moyen (%)
Résistance à la compression	4,26
Résistance à la traction	16,44
Module élastique	13,34
Point de test de charge	15,50
Test de résistance aux chocs	0,60
Densité naturelle	3,99