

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Skikda



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Mécanique

Thèse de magister
En Electromécanique

Option : Electromécanique Industrielle

Thème

**Optimisation des paramètres techniques des machines de forage rotatif à taillant coupant
– Dans les conditions de la carrière d'Ouenza –**

Présenté par :

M^{dm}. AZEZ ZINA

Jury de soutenance :

Président : Dr. KHONFAIS Kamel	MCA	U. Skikda
Rapporteur : Dr. KHOCHEMANE Lakhdar	MCA	U. Skikda
Examineurs :- Pr. BAHY Tahar	Prof	U. Annaba
- Dr. SARI M^{ed} Rafik	MCA	U. Skikda

Année universitaire

2011-2012

Remerciements

Nous tenons à remercier et exprimer notre gratitude et reconnaissance tout d'abord à ALLAH, le tout puissant, qui nous a aidé

à réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons nos remerciements à

Dr. KHOCHEMANE Lakhdar

pour son assistance, son orientation durant la réalisation de la thèse.

Nous remercions également le président Dr. KHONFAIS

Kamel et les membres de jury: Pr. BAHI Tahar

et Dr. SARI Med Rafik pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de présider et juger notre travail.

Je remercie également à tous ceux qui nous ont encouragés et à tous ceux qui se sont impliqués, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.



Dedicace

Je dédie cette thèse à :

Mes très chers parents Rachid, Ahmed, Ardjouna et Baya

que dieu les protège

Mon marie Fateh

Mes frères : Salah, Riad, Toufik, Rachid et Khaled

Mes sœurs : Saliha et ses enfants, Fairouz, Mina, Ikram,

Wafa, Soraya avec la petite Maya, Yasmina, Luiza,

Nawel et sa marie Mohamed

Toute ma famille sans exception

Tous mes amis sans exception

Ainsi à toutes les personnes que j'aime.

Lina

ملخص:

استغرق تطوير صناعة التعدين حد كبير في السنوات الأخيرة. ويستند وتيرة التنمية من هذا الفرع منازياداتفي الصناعة من سنة إلى أخرى، وزيادة على هذا التطوير التدريجي المقابلة لتقنية التعدين، ومكنة عملياتالإنتاج المعقدة واستخدام على نطاق أوسع الطاقة الكهربائية كمصدر للطاقة أكثر كفاءة

العمل المقدم إلى تطوير أساليب لتحديد معالم عملية الرشيد لآلة حفر وتقطيع القطع خلال ممارسة نشاطها وفقالشروط المحددة الجيولوجي والتعدين (مهنة الحديد).

لتحقيق هذا الهدف، أجرينا تحليل الأساليب القائمة لحساب المعلمات من نظام الحفر الدوارة؛ تحديد القيم العدديةمن الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للصخور للقيام بهذه العملية الحسابية المقابلة، ووضع المعايير الهندسيةلجهاز العمل المستخدم في آلات الحفر الدوارة، وتطبيق طرق الحساب المذكورة لتحديد القيم من سرعة الحفر على البحوث التجريبية وذلك للتحقق من طرق الحساب لمقارنتها وتحليلها؛ نهاية اقترحنا طريقة لتحديد المعايير العقلانية لقطع الحفر قطع الدوارة مع الأخذ في الاعتبار المؤشرات الاقتصادية، ومشكلة تحديد إعدادات المعلماتالتي تعطينا أفضل النتائج الفنية والاقتصادية.

لضمان تكلفة متر واحد من الحد الأدنى بئر حاولنا العمل مع القوة المحورية المطبقة ويقتصر سرعة دورانالأمثل من قبل ظهور آلة الاهتزاز والتشويش للأداة.

في الزيادة القوة والسرعة المحورية إلى قيمها المثلى بسبب زيادة في معدل عمليات الحفر. وراء هذه الحدود لإنتاج الجهاز يقلل مما يعكس تدهور حفر الاهتزازات قليلا بسبب خلل في الجهاز.

الطريقة المقترحة في الفصل لتحسين عملية الحفر على أساس نموذج اقتصادي رياضي من التحسين. المعيارالذي يتيح للعلاقة بين العوامل الكمية بناء النظام الاقتصادي والتكنولوجي (المادية الميكانيكية وخصائصالصخور؛ المعلمات الهندسية للأداة والمعايير الفنية للآلة.

Résumé

Abstract:

The development of the mining industry took a huge extent in recent years. The pace of development of this branch of industry increases from one year to another and this increase is based on progressive development corresponding to the mining technique, the complex mechanization of production processes and the use of the wider electrical energy as the energy source more efficiently.

The work presented is to develop methods of determining the parameters of the rational operation of the drilling machine was cutting during its operation under the conditions defined geological and mining (iron Ouenza career).

To achieve this goal, we conducted the analysis of existing methods of calculation of parameters of the rotary drilling system; determination of numerical values of the mechanical and physical properties of rocks to do the corresponding calculation; establishment of the geometric parameters of the organ work used in rotary drilling machines; application of calculation methods listed to determine the values of the speed of drilling to experimental research in order to verify the calculation methods to compare and analyze; end we proposed a method of determining the rational parameters of a rotary drill cutter cutting taking into account the economic indices and the problem of determining the parameters settings that gives us the best technical and economic results.

To ensure the cost of one meter of the borehole minimum we tried to work with the axial force applied and the optimum rotation speed is limited by the appearance of machine vibration and jamming of the tool.

The increase in axial force and speed to their optimum values cause an increase in drilling rate. Beyond these limits the production of the machine decreases reflecting the deterioration of drill bit vibrations due to imbalance of the machine.

The method proposed in Chapter penny to optimize the drilling process based on the economic-mathematical model of optimization. Criterion which gives the connection between quantitative parameters constructive economic and technological system (physical-mechanical properties of the rock; geometric parameters of the tool and technical parameters of the machine.

Résumé

Résumé :

Le développement de l'industrie minière a pris une immense ampleur pendant les dernières années. Le rythme de développement de cette branche industrielle augmente d'une année à l'autre et cette augmentation progressive se base sur le développement correspondant à la technique minière, sur la mécanisation complexe des processus de production et sur l'utilisation de plus élargie de l'énergie électrique comme source énergétique la plus en plus efficace.

Ce travail présenté consiste à élaborer les méthodes de la détermination des paramètres du régime rationnel de fonctionnement de la machine de forage à taillant coupant lors de son exploitation dans les conditions géologiques et minières définies (carrière de fer de Ouenza).

Pour atteindre ce but, on a procédé aux analyses des méthodes existantes des calculs des paramètres de fonctionnement du régime de forage rotatif ; détermination des valeurs numériques des propriétés physico mécaniques des roches nécessaires pour faire le calcul correspondant ; établissement des paramètres géométriques de l'organe de travail employé dans les machines de forage rotatif ; application des méthodes de calcul énumérées afin de déterminer les valeurs de la vitesse de forage ; faire les recherches expérimentales dans le but de vérifier les méthodes de calcul afin de les comparer et les analyser ; en fin on a proposé une méthode de la détermination des paramètres rationnels du forage rotatif à taillant coupant en tenant compte les indices économiques ainsi le problème de la détermination des paramètres des réglages qui nous donne les meilleurs résultats technico-économiques.

Afin d'assurer le prix de revient d'un mètre du trou foré minimal nous avons cherché à travailler avec la force axiale appliquée et la vitesse de rotation optimales en se limitant par l'apparition des vibrations de la machine et le coincement de l'outil.

L'augmentation de la force axiale et la vitesse de rotation jusqu'à leurs valeurs optimales provoquent l'accroissement de la vitesse de forage. Au-delà de ces limites la production de la machine diminue ce qui s'explique par la détérioration de l'outil de forage les vibrations dues au déséquilibre de la machine.

La méthode proposée dans le dernier chapitre d'optimiser le processus de forage en se basant sur le modèle économique- mathématique d'optimisation. Critère qui donne la

Résumé

liaison quantitative entre les paramètres économiques constructifs et technologiques du système (propriétés physico- mécaniques de la roche ; paramètres géométriques de l'outil et paramètres techniques de la machine.

LISTES DES FIGURES

	Page
FigI.1- Destruction de la roche lors du forage.....	08
Fig I .2 – valeurs relatives à l’effort axial, à la puissance de rotation, et à la puissance de choc lors de divers forages.....	08
Fig.I.3 Schéma des positions de l’outil lors du forage à taillant coupant.....	18
Fig .I.4 Dépendance de la vitesse de forage et du travail de destruction en fonction de la force axiale P_{ax}	20
Fig .I. 5a dépendance de la vitesse de forage en fonction de la force axiale.....	21
Fig. I.5b -Dépendance de vitesse de forage et l’avancement de l’outil en fonction de vitesse rotation.....	22
Fig I-6 Schéma principal du processus de destruction de la roche par les machines de forage.....	24
Fig.I-7 schéma principal du processus de forage rotatif.....	25
Fig. I .8 Influence de la force axiale (poids) sur la vitesse de pénétration.....	27
Fig.I.9 influence de la dureté des roches sur la pression axiale.....	28
Fig.I.10 influence de la vitesse de rotation sur la vitesse de pénétration.....	29
Fig II-1 Dépendance de $h = f(P_{ax} ; n)$ d’après RAKOV ; avec le diamètre d’outil $d = 100\text{mm}$...	33
Fig II.2 Dépendance de $V_f = f(P_{ax} ; n)$ d’après RAKOV avec l’outil de diamètre $d = 100\text{mm}$	34
Fig II-3 Interaction de l'outil contre la roche d’après PERETOLTCHINE.....	35
Fig II-4 Interaction de l'outil contre la roche coupe B-B.....	37
Fig II-5 Paramètres géométriques de l’outil.....	37
Fig II.6 Dépendance de $h = f(P_{ax} ; n)$ d’après PERELTOLTCHINE avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$	40
Fig II.7 Dépendance de $V_f = f(P_{ax} ; n)$ d’après PERELTOLTCHINE avec l'outil de diamètre $d= 100\text{mm}$	41
Fig II-8 Dépendance $h=f(p ,n)$ d’après PERETOLTCHINE	42
Fig.II.9 Section d’émoussage.....	43
Fig II.10: Dépendance de $h = f(P_{ax} ; n)$ d’après Ali Mov Avec l’outil de diamètre 100 mm	44
Fig II.11 : Dépendance de $V_f = f(P_{ax} ; n)$ d’après Ali Mov Avec l’outil de diamètre 100 mm	45
Fig. III.1. Stand de la détermination de l'abrasivité.....	50

Fig.III.2. Stand de la détermination des indices de solidité de la résistance à l'empreinte et de la résistance à la compression.....	51
FigIII.3. Schéma simplifié de la sondeuse à taillant coupant lors de l'étude expérimentale.....	60
Fig. III. 4. Mesure de la vitesse de rotation de l'outil à l'aide duTachymètre magnétique.....	62
Fig III.5. la variation de la vitesse de forage (V_{f1}) en fonction de l'effort axial.....	70
Fig III.6. la variation de la vitesse de forage (V_{f2}) en fonction de l'effort axial	70
Fig III.7. la variation de la vitesse de forage (V_{f3}) en fonction de l'effort axial	71
Fig III.8. la variation des vitesses de forage (V_{f1}), (V_{f2}), (V_{f3}) en fonction de l'effort axial (P_{ax})	71
FigIII.9. la variationla productivité théorique($Q_{théo}$) en fonction de la vitesse de forage(V_{f1})	87
FigIII.10. La variationde la productivité technique(Q_{tech})en fonction de la vitesse de forage(V_{f1})	87
Fig.III.11 La variation productivité d'exploitation(Q_{exp}) en fonction de la vitesse de forage(V_{f1})	88
FigIII.12. La variation des productivités (Q) en fonction de la vitesse de forage(V_{f1})...	88
Fig.III.13. nomogramme des résultats expérimentaux avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $n_1 = 60 \text{ tr/mn}$	89
FigIII.14 La variation de la productivité théorique(Q_{theo})en fonction de la vitesse de forage(V_{f2})	91
FigIII.15. La variation de la productivité technique(Q_{tech})en fonction de la vitesse de forage(V_{f2})	91
Fig III .16. La variation de la productivité d'exploitation(Q_{exp}) en fonction de la vitesse de forage(V_{f2})	92
Fig III.17. La variation des productivités (Q)en fonction de la vitesse de forage(V_{f2})..	92
Fig.III.18. nomogramme des résultats expérimentaux avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $n_2 = 80 \text{ tr/mn}$	93
Fig III.19. La variation de la productivité théorique($Q_{théo}$) en fonction de la vitesse de forage(V_{f3})	95
Fig III.20. La variation de la productivité technique(Q_{tech})en fonction de la vitesse de forage(V_{f3})	95
FigIII.21. La variation de la productivité exploitation(Q_{exp}) en fonction de la vitesse de forage(V_{f3})	96
Fig III.22. La variation des productivités (Q) en fonction de la vitesse de forage(V_{f3})	96
Fig.III.23– nomogramme des résultats expérimentaux avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $n_3 = 100 \text{ tr/mn}$	97
FigIV.1. Détermination des valeurs optimales du régime de fonctionnement des machines de	102

forage rotatif.....

Liste des tableaux

	page
Tab.I.1 Domaine d'utilisation des divers modes de forage.....	09
Tab.I.2 Etapes de recherche.....	14
Tab I. 3 Interaction de l'outil dans la roche.....	15
Tab II. 1 Paramètres de l'outil.....	32
Tab II.2 Résultats de l'épaisseur du copeau.....	32
Tab II-3 Résultats de la vitesse de forage.....	33
Tab II.4 Résultats de l'épaisseur du coupant.....	39
Tab II .5 Résultats de la vitesse de forage.....	40
Tab II.6 Résultats de l'épaisseur du coupant.....	43
Tab II -7 Résultats de la vitesse de forage.....	44
Tab.III.1 Résultats de l'indice d'abrasivité a , mg.....	52
TabIII.2 Résultats de l'indice de la résistance à l'empreinte P_k ;kgf/mm.....	53
Tab III.3 Résultats de l'indice de la résistance à la compression bc ;kgf/cm ²	54
TabIII.4 Résultats de l'indice de solidité; kgf/cm ²	55
Tab III. 5 Exemple d'une carte de chronométrage.....	64
Tab III. 6 Exemple d'une carte de chronométrage.....	66
Tab III.7 Généralisation des résultats de chronométrage.....	67
Tab III. 8. Résultats de l'étude expérimentale.....	69
Tab III. 9 Détermination du coefficient de corrélation.....	77
Tab III 10 Détermination Du Coefficient De Corrélation.....	78
Tab III. 11 Détermination Du Coefficient De Corrélation.....	79
Tab III. 12 Résultats expérimentaux réalisés dans les conditions de la carrière de Oueza.	86
Tab III .13 Résultats obtenus dans les conditions de la carrière de Ouenza.....	90
Tab III .14 Résultats obtenus dans les conditions de la carrière de Ouenza.....	94
Tab IV.1 Paramètres optimaux de la sondeuse a taillant coupant.....	103

Table des matières

	Page
Résumé en Arabe	01
Résumé en Anglais	02
Résumé en Français	03
Introduction générale	05
<u>Chapitre I : Notions sur les travaux de forage</u>	
Introduction	06
I- Etat actuel de la détermination des travaux de forage réalisé aux moyens des sondeuses a taillant coupant.....	06
I-1 Etat actuel de la construction et l'utilisation des sondeuses a taillant coupant.....	06
I-1-1 Classification, performance et expérience de l'utilisation des machines de forage à taillant coupant.....	06
I-2 Particularités des conditions de travail des machines de forage dans les carrières algériennes.....	11
I-3-Régularités du processus de forage à taillant coupant	12
I-3-1- Bases méthodologiques de l'étude des régularités du processus de forage.....	12
I-3-2- Analyse des résultats de l'étude du régime de forage des trous de mines.....	13
I-3-3- L'Etude de la détermination des paramètres du régime de forage rotatif.....	15
I-3-4- Processus de la destruction de la roche avec l'outil coupant.....	18
I-3-5- L'Indice important de l'efficacité du forage rotatif	20
I - 3- 6- Résultats des recherches expérimentales	21
I- 3- 7- Paramètres de réglage de la machine	22
I - 3- 8- Voies de la détermination de la vitesse de forage rotatif	22
I-4-schéma du processus de forage.....	23
I.5.Principe du choix des outils	26
I.6. Domaine d'application de la force axiale	26
I.6.1 Domaine d'application de la vitesse de rotation	28
I - 7- Problèmes et lignes de recherche	29
I-7 -1 -But de recherche	29
<u>Chapitre II : Méthodes théoriques de la détermination des indices de forage</u>	
Introduction	30
II- Détermination théorique des indices caractérisant le processus de forage à taillant coupant.....	30
II-1 Le but de la recherche théorique	30

II- 2- Méthodes de calcul des indices caractérisant le processus de forage à outil coupant	30
II-2-1-Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule de RAKOV pour les machines de forage à taillant coupant	31
a-le rapport entre la force axiale et l'épaisseur du copeau	31
b-Rapport entre la vitesse de forage et la vitesse de rotation du taillant	31
II-2-2-Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule de PERETOLTCHINE Pour les machines rotatives à outil coupant.....	33
II-2-3- Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule d'ALI MOV pour les machines de forage à taillant coupant	39
II.3- Vérification des méthodes utilisées	42
Conclusion.....	43

Chapitre III : L'étude expérimentale du régime de fonctionnement des machines de forage a taillant coupant

Introduction.....	43
III. Particularités de l'application des machines à forer dans les conditions des carrières de minerai de fer algérienne	43
III.1. Propriétés physico mécaniques des roches à abattre	43
III.1.1 Analyse des propriétés physico mécaniques des roches influant sur le processus de forage.....	43
III- 2 - Détermination de l'écart type de la résistance la compression à l'empreinte et d'abrasivité et solidité.....	52
III-3 Etude expérimentale du régime de fonctionnement des machines de forage à Taillant coupant	53
III – 3.1 planification et but des recherches expérimentales.....	53
III- 3- 2 - Méthodologie des recherches expérimentales.....	55
III.3.3 La réalisation des expériences	55
III – 3.3.1 – Contrôle de la vitesse de rotation	58
III-3-3.2. Etude des facteurs influant sur la productivité des sondeuses à taillant coupant.....	60
III.4. Résultats de l'étude expérimentale de forage à taillant coupant et leur Analyse	65
III.4.1. Analyse des résultats	69
III.5. Détermination de la productivité des machines de forage rotatif	78

III-5.1. Choix du régime de fonctionnement de la sondeuse	78
III 5.2. . Calcul de la Productivité des sondeuses rotatives à molettes dans les carrières du minerai de fer Algériennes	79
Conclusion.....	98

**Chapitre IV :Détermination des valeurs optimales du régime de fonctionnement
des machines de forage rotatif**

IV- Détermination des régimes rationnels de fonctionnement des machines de forage rotatif	99
VI-1-Critères et modes du choix des régimes de fonctionnement rationnels des machines de forage	99
IV-2-Proposition des méthodes de la détermination du régime rationnel de fonctionnement des machines de forage a taillant coupant.....	103
Conclusion.....	104
Conclusion générale.....	105

Références bibliographiques

Annexe

Introduction générale :

Après la nationalisation des mines le 6 Mai 1966, une étape importante du développement de l'industrie minière a commencé en créant les conditions favorables pour une mécanisation moderne des processus technologiques car le développement de l'exploitation minière est directement lié au développement technologies d'extraction qui ont parmi la mécanisation et dès l'automatisation du processus de production.

L'industrie minière est l'une des plus grandes branches de l'industrie, elle comprend les industries d'exploitant le pétrole, le gaz, le charbon, les substances minérales, métalliques et non métalliques.

L'extension des carrières Algériennes ont permet l'augmentation de la productivité destinée à l'exportation de 100 millions de dinars en 1966 à 900 millions en 1986 transformée en Algérie pour l'industrie nationale a 90%.

La complexité présentée, par le secteur minier, au niveau du choix d'une méthode d'exploitation rationnelle adaptée aux objectifs programmés et inspirées aux paramètres d'exploitation et de rentabilité.

Le choix de la mécanisation a une incidence directe sur la production, les prix et ce d'autant plus que les investissements sont élevés. En ce qui concerne la production nationale, l'objectif que doivent se fixer nos mines et carrières sont celui d'une exploitation optimal des ressources Algériennes, en tenant compte de leurs diverses caractéristiques techniques, économiques, et humaines. Ceci, donne à réfléchir sur les travaux à effectuer et parmi eux le processus de forage qui est le facteur prédominant dans le développement d'une exploitation.

Après l'analyse des caractéristiques des carrières algérienne, nous avons constaté que l'emploi des machines de forage rotatif était prédominant. L'utilisation de ces machines exige d'une part grande productivité et de l'autre part une longue durée de vie.

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.

Introduction :

Le forage à taillant coupant est une technique qui consiste à forer les trous de mine à l'aide des outils coupants.

Dans ce chapitre on a vu des notions sur les travaux de forage de manière générale.

I-Etat actuel de la détermination des travaux de forage réalisés aux moyens des sondeuses à taillant coupant

I-1 Etat actuel de la construction et l'utilisation des sondeuses à taillant coupant

I-1-1 Classification, performance et expérience de l'utilisation des machines de forage à taillant coupant

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 modes de forage est présenté sur la (fig.I.1).

La (fig.I.2) reflète la distribution des valeurs relatives de l'effort axial P_{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 ;
- Les facteurs du premier groupe (propriétés physico mécaniques des roches, composition structurelle 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 / 1,2,3/ 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.

La destruction des roches par l'outil à taillant coupant 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.

Un des 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 signalé 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.

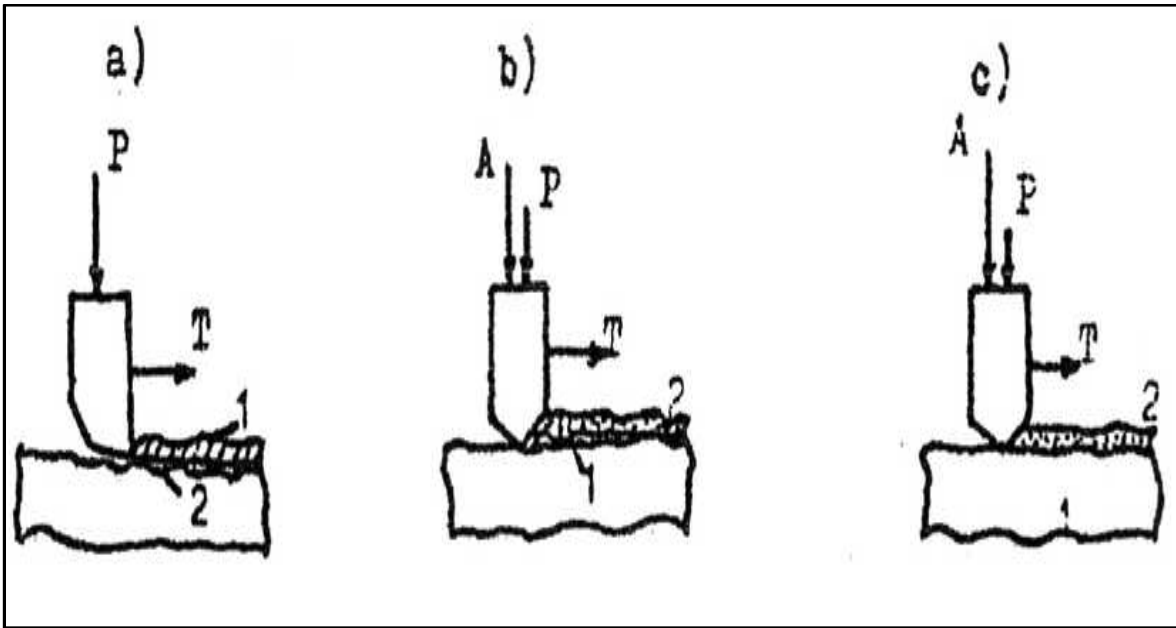


Fig1.1- Destruction de la roche lors du forage.

a → Rotatif b → Roto percutant. c → Percutant

A → Impulsion d'une force de choc.

P → Effort axiale.

T → Effort tangentiel.

1 → Destruction de la roche par coupe.

2 → Destruction de la roche par choc.

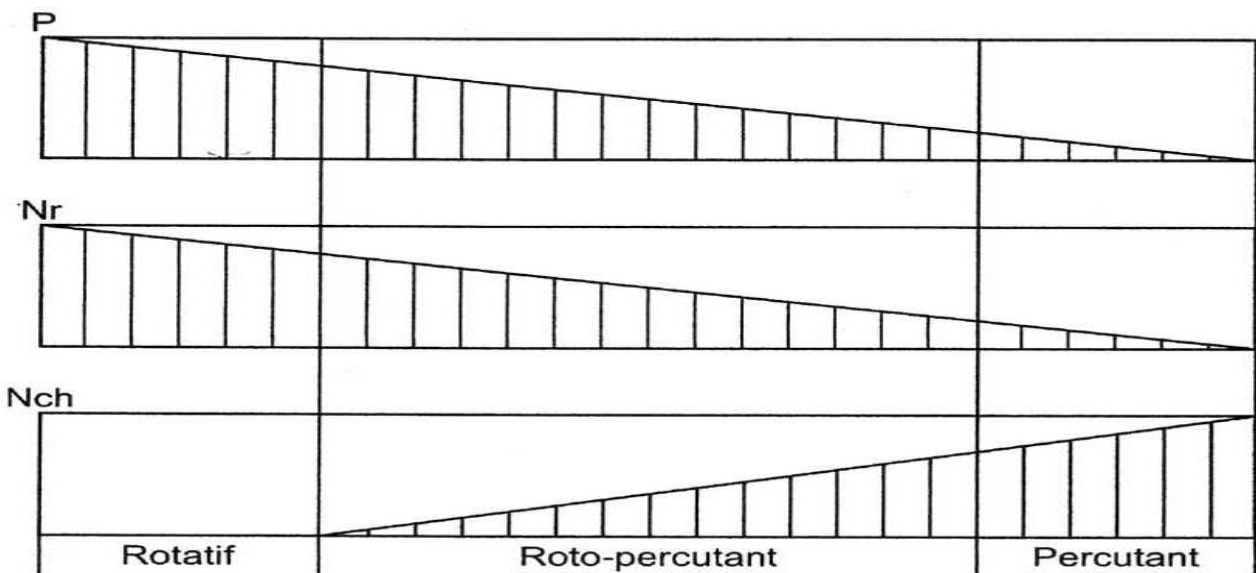


Fig I .2 – valeurs relatives à l'effort axial, à la puissance de rotation, et à la puissance de choc lors de divers forages.

Tab.I.1 Domaine d'utilisation des divers modes de forage

Percutant	Roto-percutant	Rotatif		Mode de forage	
A couronne	A couronne	A molettes	Coupant	Outils de forage	
				1 - 6	Coefficient de dureté, f
				6 - 8	
				8 - 10	
				10 - 12	
				12 - 14	
				14 - 16	
				16 - 20	
				0 - 5	Indices d'abrasivité, a, mg
				5 - 10	
				10 - 18	
				18 - 30	
				30 - 45	
				45 - 65	
				65 - 90	
> 90					
				0 - 50	Diamètre du trou, d, mm
				50 - 100	
				100 - 150	
				150 - 200	
				200 - 250	
				250 - 300	
				300 - 350	
350 - 400					
				0 - 5	Profondeur de forage, H, m
				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 120 à 150mm pour recevoir une bonne fragmentation de la roche. C'est pourquoi les indices économiques caractérisant l'utilisation des sondeuses roto percutantes dans de nombreux cas sont préférables à celles des sondeuses à taillant coupant.

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 tabl.I.1), 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.

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.....).

Le forage rotatif à taillant coupant a été réalisé jusqu'ici principalement pour la perforation des trous dans les roches de n'importe quelle dureté ayant des forces de compression jusqu'à 1500bars.

Dans cette méthode l'énergie est transmise au tricône par l'intermédiaire d'un tube qui tourne et qui appuie les cônes contre la roche, le taillant coupant créait alors la pression sur la roche et la font éclater.

Lorsque cette méthode est appliquée, la poussée est destinée à maintenir le tricône en contact avec le fond du trou pour permettre à l'outil d'atteindre la roche de façon continue.

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 /4/.

La poussée ne doit pas non plus être excessive car l'engin risquerait de se trouver déstabilisé.

La poussée est transmise au train de tige par une glissière à chaîne. Quand le forage est effectué selon la méthode à taillant coupant, l'arrachage de la roche se fait sous l'action des deux mouvements qui sont accomplis en même temps.

Le tranchant découpe des morceaux de roche. Le mécanisme de rotation qui est le plus souvent hydraulique est monté sur une glissière ou un autre mécanisme de translation. La vitesse de rotation et en général 80tr/mn, mais varie sur une grande échelle selon la nature de la roche.

I-2 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 sondeuses à taillant coupant, il est connu 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 /5/.

I-3- Régularités du processus de forage a taillant coupant :

I-3-1- Bases méthodologiques de l'étude des régularités du processus de forage :

Le problème essentiel de l'étude des régularités du processus de forage consiste à trouver les liaisons entre les buts pratiques.

Or nous savons pertinemment que l'efficacité de l'énergie au niveau de l'outil de forage est déterminée par la résistance de la roche à la destruction.

Les paramètres géométriques de l'outil, ainsi que les paramètres de réglage (vitesse de rotation, force axiale appliquée) déterminent la productivité dans le cas général /6/.

La vitesse de forage est l'un des facteurs déterminant la productivité, c'est une fonction complexe de quelques variables indépendantes /7/.

$$V_f = f(T_1, T_2 \dots T_n ; P_1, P_2 \dots P_n ; S_1, S_2 \dots S_k ; Q_1, Q_2 \dots Q_q) \quad , (I. 1).$$

Où : $(T_1, T_2 \dots T_n)$: Constantes physico-chimiques des roches ;

$(P_1, P_2 \dots P_m)$: Paramètres géométriques de l'outil ;

$(S_1; S_2; \dots S_k)$: Dépenses se rapportant à l'exploitation de la machine

$(Q_1, Q_2 \dots Q_q)$: Facteurs supplémentaires déterminant le processus de forage.

La composition de l'équation (I.1), et sa résolution est liée aux difficultés énormes consistant avant tout dans la nécessité de la détermination du nombre des constantes physico- mécanique etc.

C'est pourquoi les valeurs des constantes physico - mécaniques des roches sont instables, donc on peut estimer que l'utilisation des méthodes analytiques de la détermination des régimes rationnels de forage est très complexe, c'est pour cette raison que nous avons dû utiliser les méthodes expérimentales en se basant sur les lois statistiques.

Cependant l'établissement de ces derniers exige la réalisation d'un grand volume de recherche expérimentale qui implique alors des difficultés sérieuses à surmonter.

L'aperçu de la recherche bibliographique que nous avons réalisé témoigne que le volume considérable de recherche des régularités du processus de forage rotatif manque jusqu'à maintenant de larges généralisations permettant d'obtenir théoriquement ou expérimentalement

L'équation (I.1) pour tous les cas particuliers. En même temps, on peut estimer que le matériel entassé est suffisant pour commencer les tentatives de telle génération /8/.

Avec cela, l'obtention du but est préférable par la composition des équations empiriques entre ces paramètres faisant partie de l'équation (I.1).

I-3-2- 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 /9 ; 10/ . /11 ; 12 ; 13 ; 14 /.

Tab.I.2 Etapes de recherche

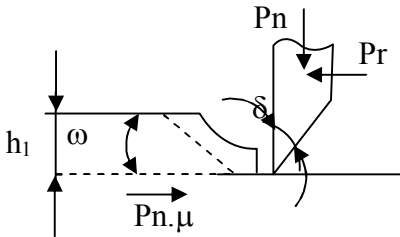
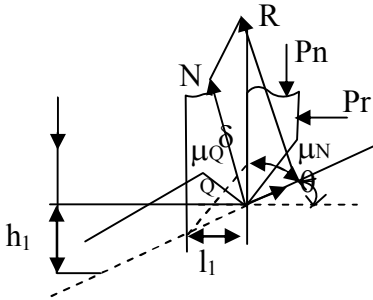
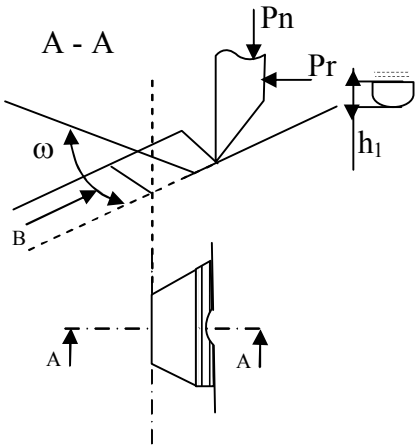
Etape	Année	Caractéristique de recherche	chercheurs
I	1935-1939	Approbation de tarière dans les conditions de mines, l'établissement des paramètres essentiels caractérisant le processus de forage.	RADIONOV
II	1940-1949	Analyse du régime de travail des tarières dans les conditions de laboratoire.	EPCHTEIN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

I-3-3- L'Etude de la détermination des paramètres du régime de forage rotatif :

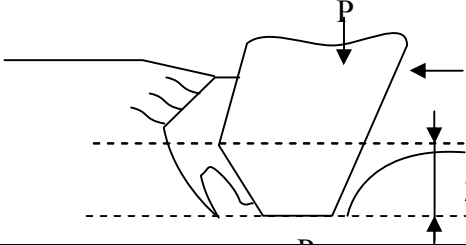
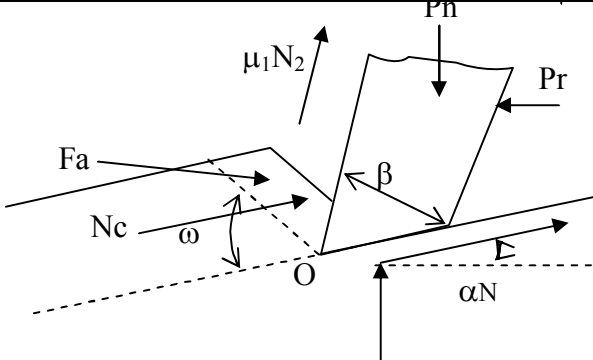
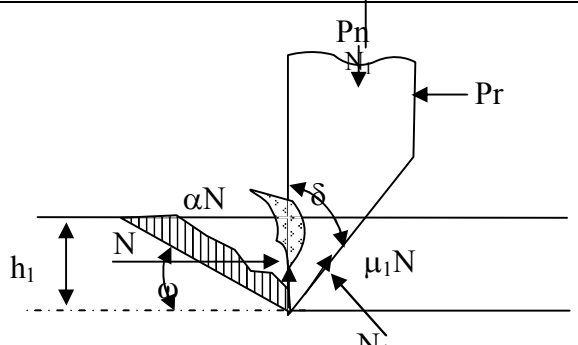
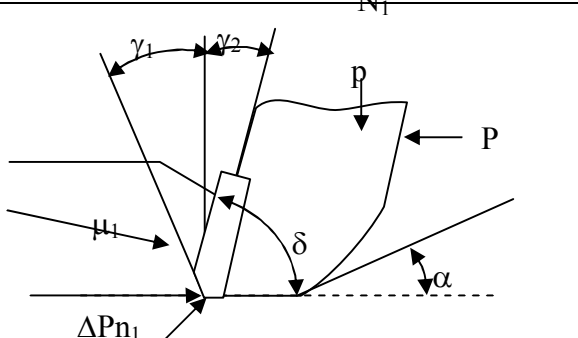
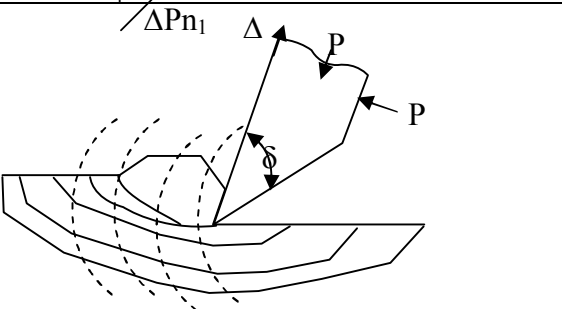
L'étude de la détermination des paramètres du régime de forage doit se faire en utilisant les particularités du processus de l'interaction de l'outil avec la roche.

Voir l'importance de ce moment, on a placé dans le tableau (I.4) les résultats de l'aperçu de recherche consacrée à cette question /15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 24/25, 26/.

Tab I. 3 Interaction de l'outil dans la roche

Auteur Année	Schéma de l'interaction de l'outil dans la roche	Dépendances essentielles
<p>EPCHTEIN 1939</p>		$P_n = h_1 \cdot \text{tg } \delta (R - r) \cdot P_r$ $P_r = 2,75 (R - r) h_1 K_s + P_n \cdot \mu$
<p>CHRAINER 1950</p>		$P_n = h_1 \cdot \text{tg } (R - r) \cdot P_{ch} + \mu m$ $h_1 (R - r) K_s$ $P_n = m (R - r) \cdot h_1 (1 -) K_s + \mu P_1 \cos \theta$
<p>POROVSKI 1954</p>		$P_n = B h_1^\lambda$ $P_r = 2A h_1^\lambda / R + r$

Suite tableau I .3

Auteur Année	Schéma de l'interaction de l'outil contre la roche	Dépendances essentielles
KOUTCHEROV 1965		$\frac{\delta \max}{\zeta \max} = \frac{2(1 - \sin(a + \alpha))}{1 + \cos(a + \alpha + \alpha_1)} \cdot \cos \alpha$
SOUKHANOY 1967		$\frac{P_n}{Pr} = \frac{(R - r)h_1 \cdot \sin(\delta + 2\alpha)}{\cos \delta \cdot \cos^2 \alpha_1}$
KRAPVINE 1969		$P_n = \frac{Ksh_1 \cdot (R - r) (\cos \beta - \mu \sin \beta)}{2 \sin(\omega + B) \cdot (\sin \omega)} + R_d f_t$ $P_n = \frac{Ksh_1 \cdot (R - r) (\sin \beta - \mu \cos \beta)}{2 \sin(\omega + B) \cdot (\sin \omega)} + \alpha$
ORIOV 1969		$P_n = Nn(\sin \gamma + \mu_1 \cos \gamma) + \Delta Pr$ $Pr = Nn(\cos \gamma + \mu_1 \sin \gamma) + \alpha P_n$ $P_n = K \cdot R_K \cdot f_p$
MESMOTRIADEV 1969		$\Delta P_n = Pr \cdot \sin \beta$ $\beta = 63^\circ$

Suite tableau I.3

Auteur Année	Schéma de l'interaction de l'outil contre la roche	Dépendances essentielles
MIKHAILOV 1959		$P_n = \frac{2h_1 \cdot R \sin \gamma \cdot K_s}{\cos \omega \cdot \sin(\omega + \gamma)} + a_1 R R_z$ $P_r = \frac{h_1 \cdot R \cos \gamma \cdot K_s}{\sin \omega \cdot \cos(\omega + \gamma)} + a_1 a_2 R$
ALIMOV 1962		$P_n = B \cdot h_1$ $P_r = \frac{2R}{R + r} \cdot h_1$
GUETOPANOV		$P_n = f(h_1, t)$ $P_r = K \cdot P_n$ $K = \text{constante}$
BERON 1963		$P_n = R_z \cdot f_t$ $P_r = N c (\cos \gamma + \mu \sin \gamma) + \mu \cdot P_n$

I-3-4- Processus de la destruction de la roche avec l'outil coupant :

Les machines considérées permettent de présenter le processus de la destruction de la roche par outil coupant lors du forage rotatif de la manière suivante (Fig.I.3) d'après /16/.

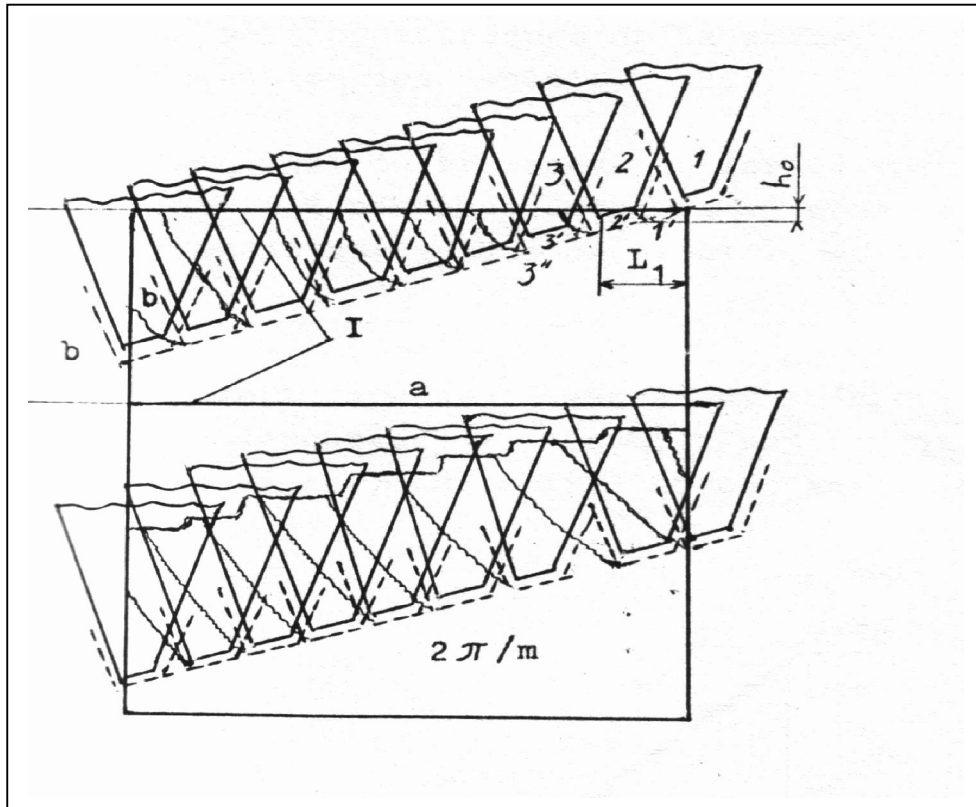


Fig.I.3 Schéma des positions de l'outil lors du forage à taillant coupant

a- Début du forage.

b- Processus stable.

Lors du premier moment l'outil sous l'action de la force axiale créée par le mécanisme d'avancement s'enfonce dans la roche à la profondeur h_0 .

Lors de la rotation et l'avancement de l'outil, la résistance de la roche devant le pan avant augmente, la détérioration de la tige et de l'outil commence, le mouvement se ralentit grâce aux forces potentielles et ayant dans le système élastique et couple de rotation de la commande qui produit la désagrégation des particules solides de la roche le long de toute la longueur du taillant /28/.

Après la désagrégation, l'outil se déplace de la position (1,1') à la position (2).

Les forces de résistance augmentent et le mouvement de l'outil se ralentit ; donc on peut suggérer qu'en résultats des petites rigidités de la tige, la pénétration suivante de l'outil se produit lors du temps supérieur à celui du premier cas et se déplace de la position (2 à 2').

La valeur h_0 est conditionnée par les paramètres géométriques de l'outil, la résistance de la roche, et la force axiale.

Durant la pénétration suivante, la force de coupage commence à augmenter jusqu'à une nouvelle désagrégation le long de la ligne (2")

L'outil occupe la position (3) après avoir détruit les bavures de la taille. Après l'augmentation de la force axiale, l'outil occupera la position (3"), ensuite la désagrégation se fait à la ligne (3") ainsi changeons les mouvements, l'outil occupera la position (b) en rotation d'un angle de $2 \pi/m$.

On aura les copeaux avec l'épaisseur ($h_1 = h_0 * b = h/m$) qui est détruite par l'outil, ensuite la pénétration totale (h_1) qui est l'avancement lors d'un tour sera conditionnée par la somme des pénétrations, une telle présentation du processus de la destruction permet d'expliquer beaucoup de phénomènes ayant lieu durant la fonction /16/.

I- Zone de destruction de la roche par frottement ;

II- Zone transitoire ;

III- Zone de destruction en volume ;

IV- Zone où la vitesse de forage $V_f n$ n'augmente point avec l'accroissement de

la force axiale P_{ax} .

La plus grande efficacité du forage est obtenue dans la zone (3), où la vitesse de forage dépend linéairement de la force axiale.

Dans ce cas la destruction de la roche se produit sous la forme de grandes particules ce qui est confirmée par le minimum du travail volumique

I-3-5- L'Indice important de l'efficacité du forage rotatif :

L'indice important de l'efficacité de forage est la vitesse de pénétration lors du forage à molettes, la vitesse dépend des facteurs tel que :

- Force axiale, vitesse de rotation.
- Paramètres géométriques de l'outil.
- Propriétés physico mécaniques de la roche.
- Mode d'évacuation des déblais, etc....

Le sens principal du processus de forage rotatif peut être expliqué par la dépendance entre la vitesse de forage ou bien par l'avancement spécifique de l'outil, et la force axiale /27/.

La vitesse de forage et l'avancement spécifique de l'outil sont liés par la dépendance

($V_f = n.h$) c'est pourquoi si $n = \text{constante}$, les dépendances $V_f(h) = f(P)$ seront analogues (fig.I.3).

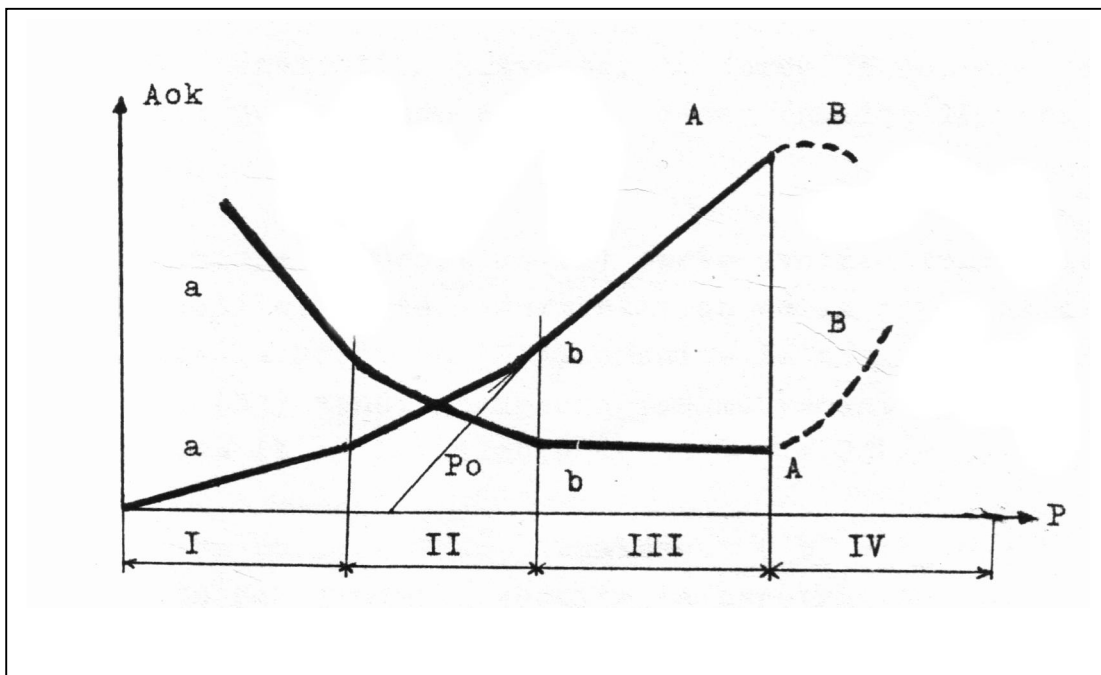


Fig .I.4 Dépendance de la vitesse de forage et du travail de destruction en fonction de la force axiale P_{ax} .

Dans ce cas la destruction de la roche se produit sous la forme de grandes particules ce qui est confirmée par le minimum du travail volumique.

I - 3- 6- Résultats des recherches expérimentales :

Les résultats des recherches expérimentales montrent que la vitesse de forage s'accroît avec l'augmentation de la force axiale et la vitesse de rotation. A titre d'exemple on a présenté sur les fig.1.5a et 1.5b les données expérimentales en cas de la destruction du fer /29/.

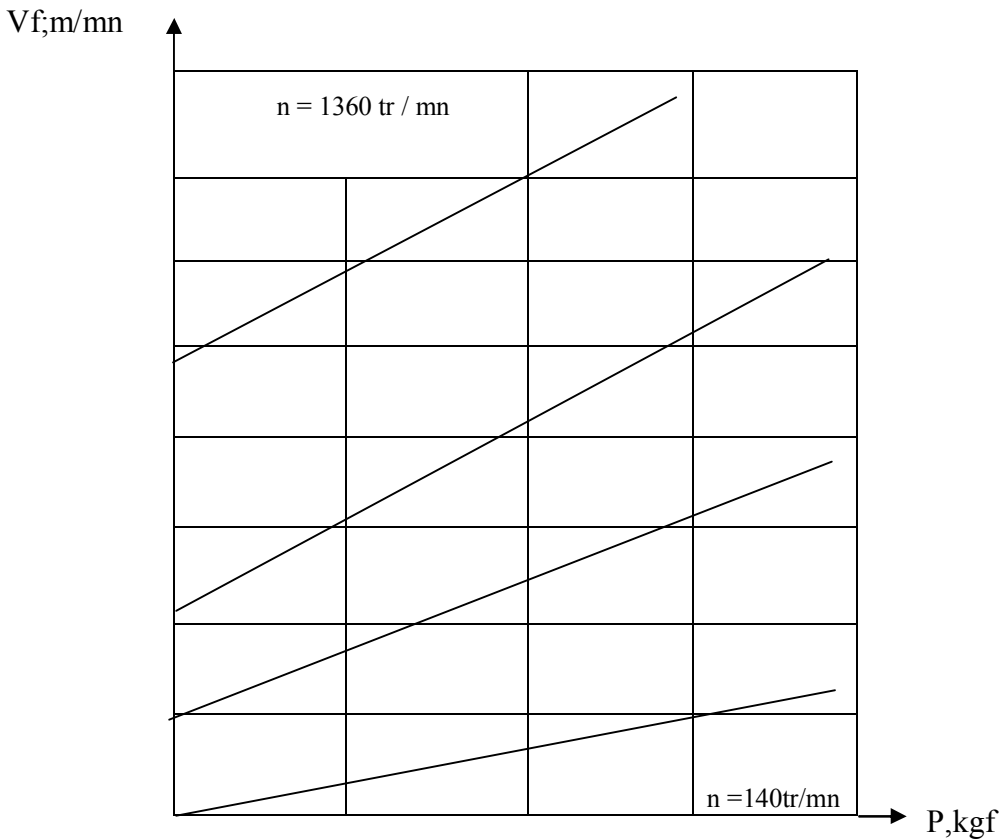


Fig.I. 5a dépendance de la vitesse de forage en fonction de la force axiale
 $h=1,1 \times 400 \text{ m/mn}$; $cf= 6 \text{ à } 8$: $a = 2 \text{ mg}$

$V_f; \text{m/mn}$



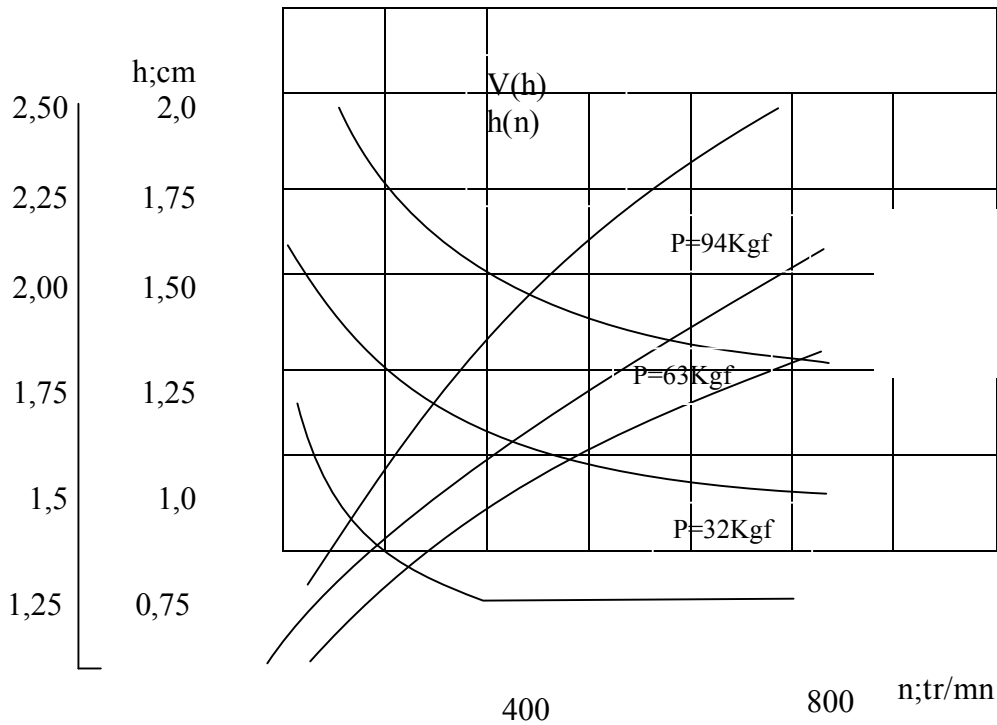


Fig. I.5b-Dépendance de vitesse de forage et l'avancement de l'outil en fonction de vitesse rotation. fer avec $f = 6$ à 8 ; $a = 3 \text{ m g}$

I - 3- 7- Paramètres de réglage de la machine :

L'augmentation de la force axiale et de la vitesse de rotation se limite par les caractéristiques techniques de la machine de forage, les indices économiques etc. ainsi le problème de la détermination des paramètres de réglage qui donnent les meilleurs résultats technico-économiques se pose /9/.

I - 3- 8- Voies de la détermination de la vitesse de forage rotatif :

A présent, il est connu deux voies suivantes de la détermination de la vitesse de forage rationnelle assurée par une machine de forage dans les conditions d'exploitation définies.

En utilisant les dépendances $V_f = f(P, n)$ ou bien $h = f(P, n)$ obtenues expérimentalement ou à l'aide des calculs avec l'application des formules permettant de décrire les données expérimentales, et tenant compte des caractéristiques techniques de la machine de forage on détermine la vitesse maximale possible de forage, sa valeur rationnelle est déterminée par l'utilisation des

formules obtenues théoriquement /13,30/; ensuite on tient compte des recommandations des paramètres rationnels de réglage , ainsi que des limites du côté de la construction de la machine.

Comme dans le cas précédent, la valeur rationnelle de la vitesse de forage est déterminée avec l'utilisation de divers critères /14, 31/. Chacune de ces méthodes a quelques avantages et inconvénients, c'est pourquoi il faut les comparer et trouver la meilleure de ces méthodes permettant de recevoir les résultats les plus proches des résultats réels.

I.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 qu'on doit exécuter pour forer un trou, tel que : vitesse de rotation, poids et soufflage donnés à l'outil de forage. La pénétration de l'outil dans la roche est soumise à certains paramètres tels que:

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

A partir du schéma principal du processus de destruction des roches par la machines de forage présenté par la figure I.6. On peut tirer le même schéma pour le cas du forage à taillant coupant (fig.I.7)

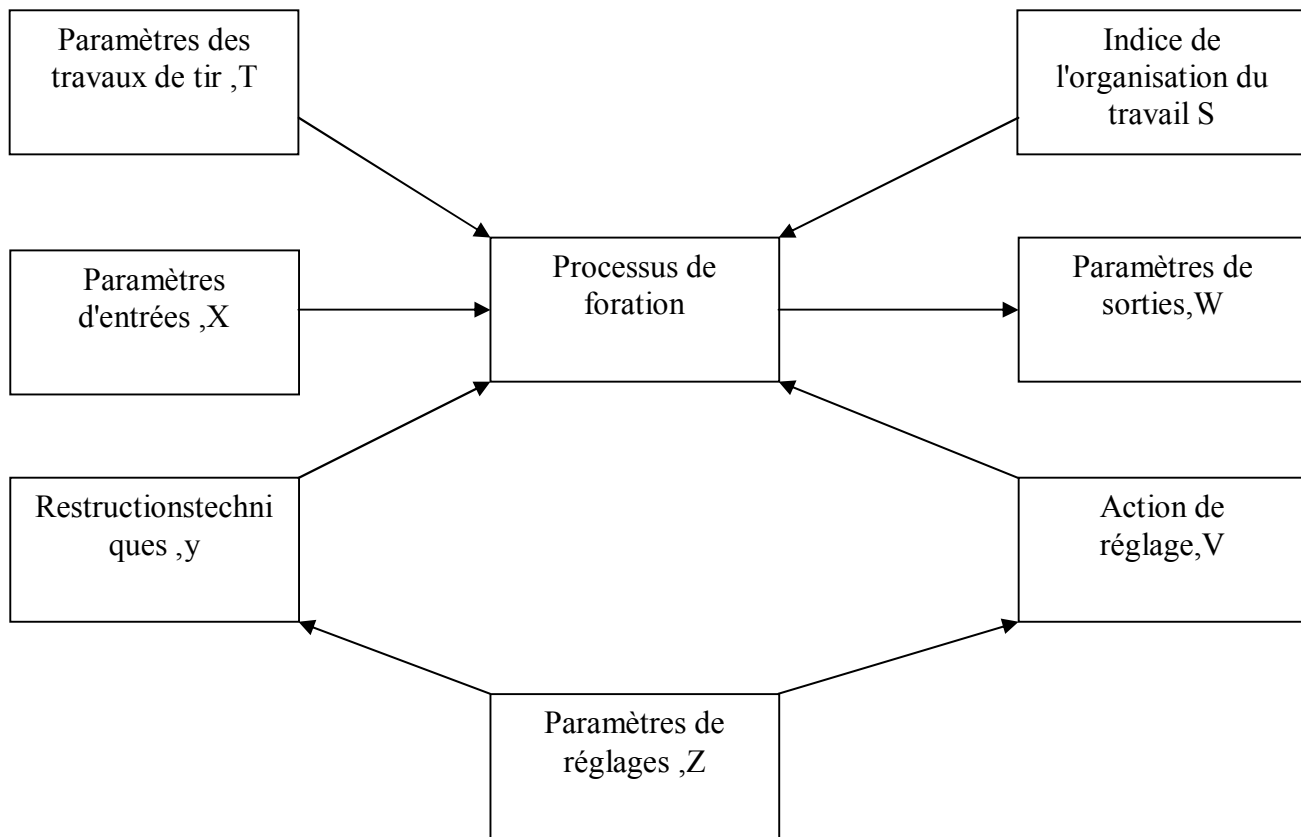


Fig I-6 Schéma principal du processus de destruction de la roche par les machines de forage.

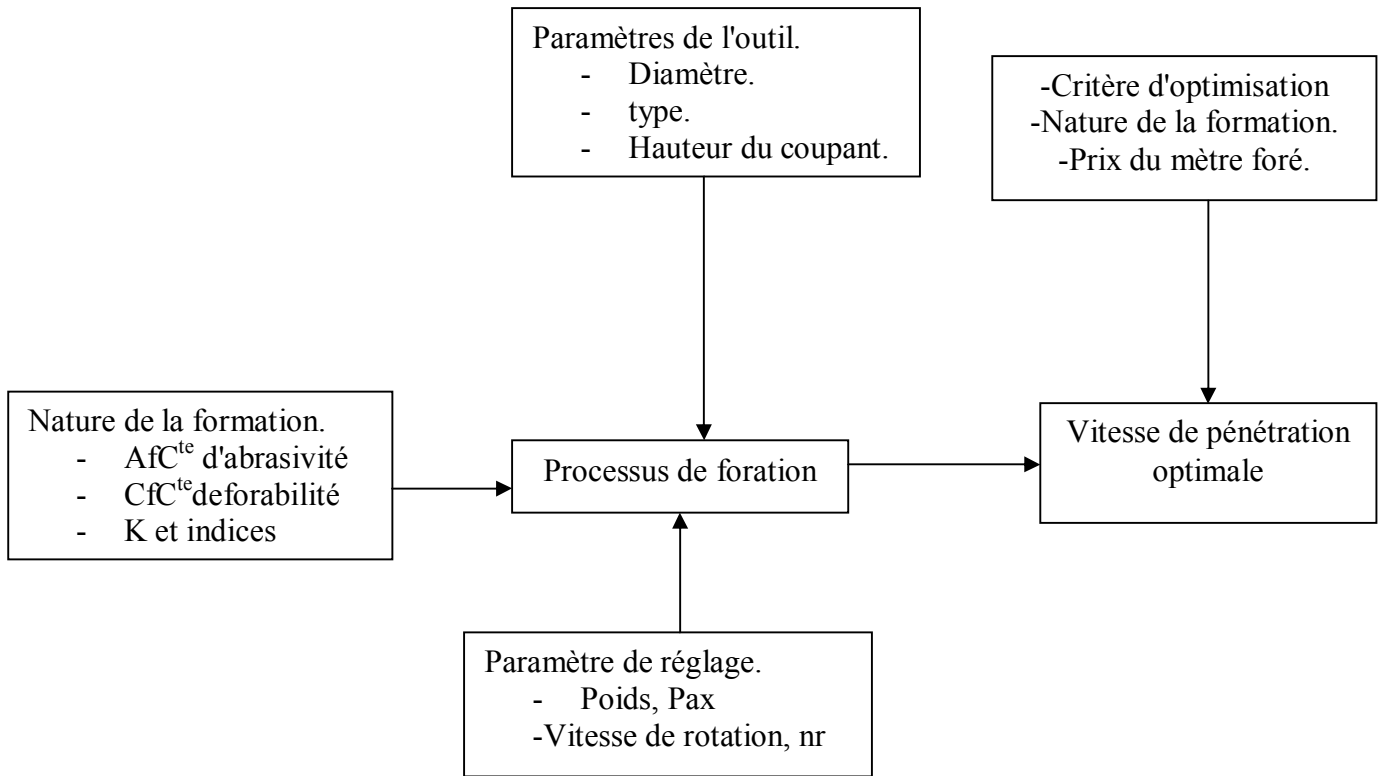


Fig.I-7 schéma principal du processus de forage rotatif

I.5.Principe du choix des outils:

Les terrains traversés par le forage présentent une grande variété de dureté ou plutôt de forabilité. Pour détruire des roches ayant de telles différences de forabilité. Les outils utilisés procéderont suivant des principes différents.

Les outils pour terrains tendres doivent avoir des dents effilées pour pénétrer profondément dans la roche et un mouvement de "ripage" important pour enlever le maximum de terrain.

Les outils pour terrains durs doivent avoir des dents courtes et robustes, que l'on pourra charger avec des poids importants pour éclater la roche.

Pour ces outils, le ripage est inutile et même invisible car il ne pourrait que provoquer une usure prématurée de la tranchante du taillant par frottement sec des roches forées.

Pour les terrains tendres, mi tendres et mi-durs, les outils les plus utilisés sont les taillants coupants. Ces outils ont des branches ayant une géométrie variable suivant la fonction destinée.

I.6. Domaine d'application de la force axiale :

D'après l'analyse théorique, on a établi la relation entre la vitesse de forage et les paramètres qui l'affectent.

Pour forer un trou de mine, la force de poussée axiale est limitée par la surface de contact et la résistance de la roche

$$P_{ax} = F_{max} \cdot \sigma \quad (I.2)$$

Où P_{ax} - la force axiale ;

F_{max} - la surface maximale de contact de l'outil avec la roche ;

σ - la résistance limitée de la roche.

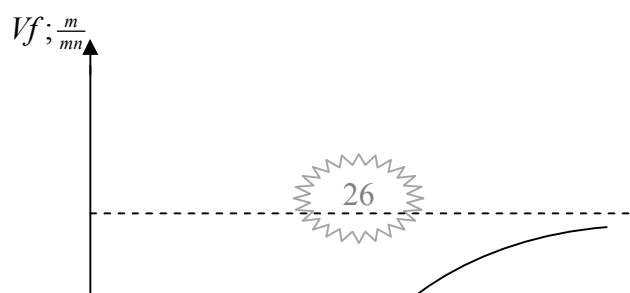


Fig. I .8Influence de la force axiale (poids) sur la vitesse de pénétration

Il est à citer que l’augmentation de la force axiale W mène à l’accroissement de la vitesse de pénétration (Fig.I.8), qui atteint une certaine valeur appelée vitesse maximale qui ne peut être dépassée même si on augmente encore la pression axiale.

Cette situation correspond aux conditions lorsque les dents sont complètement pénétrées dans la roche où on aura la fragmentation de la roche sous forme de petits grains qui nous empêchent d’augmenter P_0 plus de la limite.

La Fig. (I .9) montre le champ d’application de la force axiale P_0 en fonction du type des roches et des outils. Cette force varie entre 200 et 1400 kgf/cm.

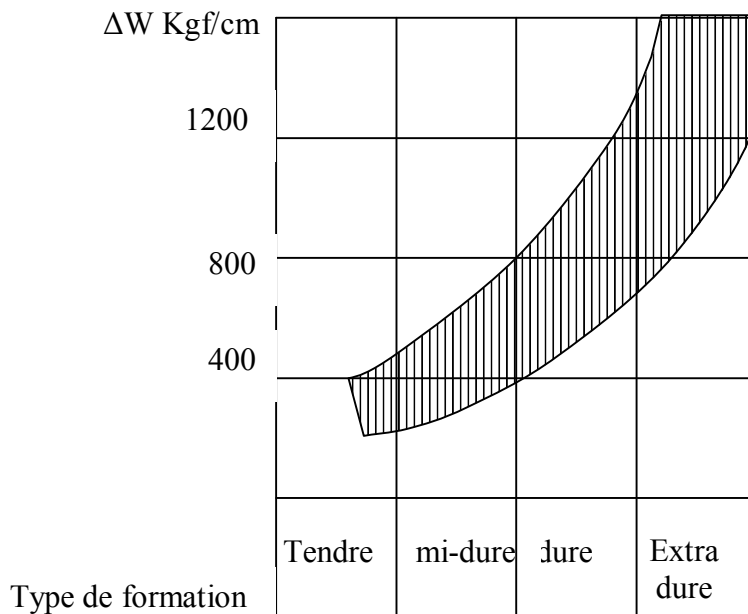


Fig.I.9influence de la dureté des roches sur la pression axiale.

I.6.1 Domaine d'application de la vitesse de rotation :

L'expérience /40/ montre qu'une augmentation de la vitesse de rotation des outils provoque l'accroissement de la vitesse de pénétration (Fig. I.10). Mais l'intensité de destruction des roches sur le front diminue. Ce phénomène s'explique par la diminution du temps de ce contact entre taillant coupant et la roche.

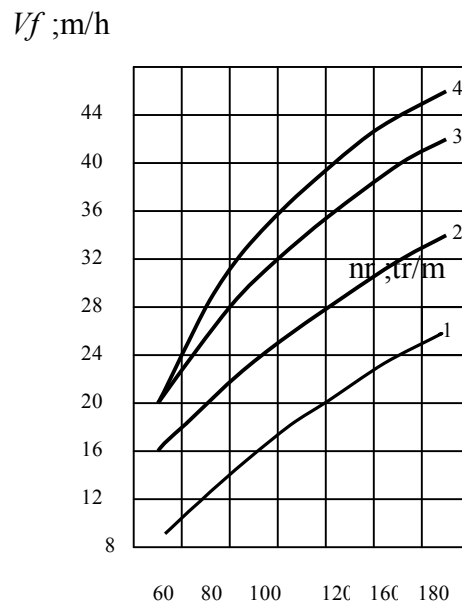


Fig.I.10 influence de la vitesse de rotation sur la vitesse de pénétration.

I -7- Problèmes et lignes de recherche :

I-7 -1 -But de recherche :

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

Pour atteindre le but de recherche, il est nécessaire:

1-D'analyser les méthodes existantes des calculs des paramètres de fonctionnement du régime de forage à taillant coupant.

2-Déterminer les valeurs numériques des propriétés physico mécaniques des roches nécessaires pour faire le calcul correspondant.

3-D'établir les paramètres géométriques de l'organe de travail employé dans les machines de forage à taillant coupant.

4-D'appliquer les méthodes de calcul énumérées afin de déterminer les valeurs de la vitesse de forage.

5-Faire les recherches expérimentales dans le but de vérifier les méthodes de calcul afin de les comparer et les analyser.

6-Proposer une méthode de la détermination des paramètres rationnels du forage à taillant coupant.

Introduction :

Dans ce chapitre on montre les méthodes théoriques des déterminations des paramètres optimaux de forage (force axiale, la vitesse de rotation et la vitesse de forage) avec ces calculs.

II- Détermination théorique des indices caractérisant le processus de forage à taillant coupant :**II-1 Le but de la recherche théorique :**

Pour définir le but de la recherche empirique, on se base sur la recherche bibliographique où plusieurs chercheurs ont étudié le mode de forage rotatif à taillant coupant 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 y a à présent certaines méthodes de la détermination des dépendances de la vitesse de forage, et l'épaisseur du copeau en fonction de la pression axiale et la vitesse de rotation $V_f = f(P, n)$; $h = f(P, n)$.

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.

II- 2- Méthodes de calcul des indices caractérisant le processus de forage à outil coupant:

Pendant le choix des machines de forage, la question principale qui nous préoccupe a été toujours la productivité que peut assurer la machine dans les conditions bien définies, mais le 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 de la machine.

Plusieurs chercheurs ont considéré cette question comme il a d'ailleurs été dans le chapitre précédent sans pour autant négliger les facteurs qui pouvant avoir une influence sur le choix du régime de fonctionnement des machines de forage et leur productivité telle que la vitesse d'avancement maximale, que peut assurer la machine, la hauteur de pénétration de l'outil de forage lors de la destruction de la roche selon les paramètres de l'outil, la force axiale avec laquelle peut travailler l'outil.

Le choix de l'outil se fait selon les propriétés physico mécaniques de la roche, ainsi que des paramètres des trous forés.

Pour les sondeuses rotatives avec l'outil coupant, les facteurs qui limitent la productivité de la machine sont l'effort axial, la hauteur de pénétration de l'outil, la vitesse d'avancement du train de tige.

II-2-1-Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule de RAKOV pour les machines de forage à taillant coupant :

a- le rapport entre la force axiale et l'épaisseur du copeau :

$P = f(n)$: d'après la formule suivante.

$$h = \frac{2.4 . P . C_{ft}}{\sigma_d . d (1 - \Delta) . m} ; cm , \quad (II,1)$$

Où h : épaisseur du copeau, cm ;

p : force axiale, kgf;

Δ : coefficient relatif de l'intermittence de la tranchante du taillant;

m : nombre de pair débranche;

σ_d : Résistance spécifique de la roche.

$$\sigma_d = 300(5 + f - \sqrt{25 + 10 \cdot f}) ; kgf/cm^2 \quad (II, 2)$$

C_{ft} = coefficient de la forme géométrique de la tranchante du taillant qui est déterminé par la formule suivante :

$$C_{ft} = \frac{\cos \alpha / 2 . (\cos \beta^2 + \cos \beta \sin(\beta - \alpha / 2))}{\tan \alpha / 2 + C_f} \quad (II, 3)$$

Où α : angle d'affûtage de la tranchante du taillant;

β : angle de disposition de la tranchante du taillant;

C_f : coefficient de frottement;

b- Rapport entre la vitesse de forage et la vitesse de rotation du taillant :

$V_f = f(h)$

$$V_f = 0,01 . h . n \quad ; \quad (II . 4)$$

Où :

V_f : vitesse de forage, m/mn ;

n : vitesse de rotation, tr/mn.

Tab II. 1 Paramètres de l'outil

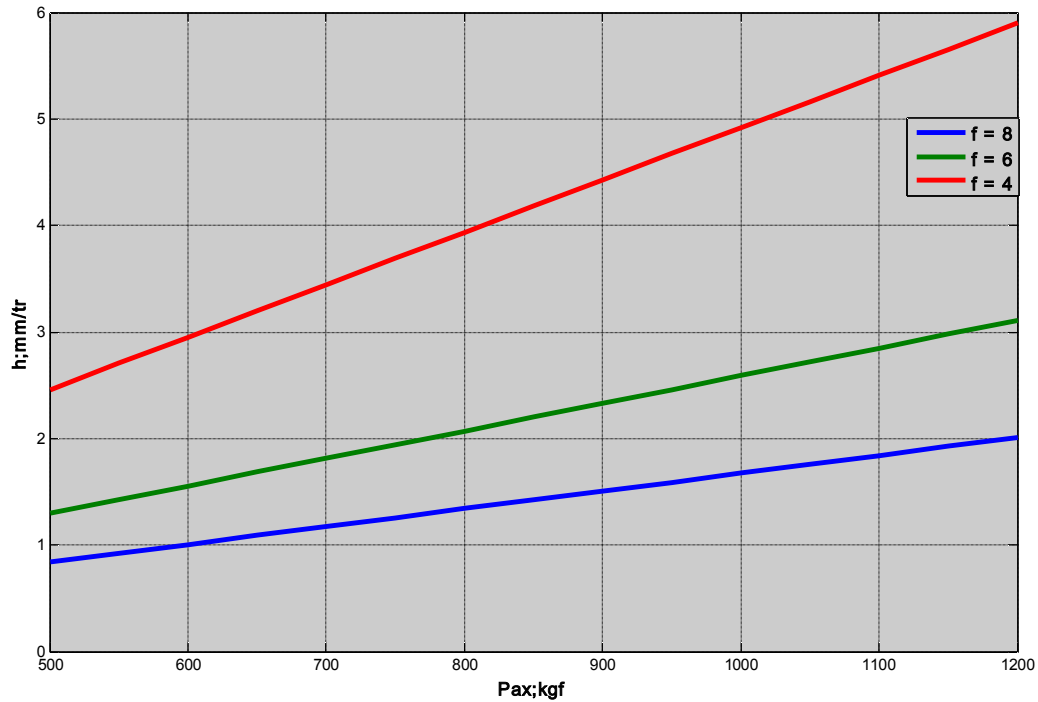
Cft	D,cm	Cf	B,degré	α ,degré	Δ
0,49	10	0,4	30	70	0,15

Résultats de l'épaisseur du copeau, et de la vitesse de forage D'après la méthode de RAKOV avec l'outil de diamètre d= 100mm

Tab II.2 Résultats de l'épaisseur du copeau

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h, mm ; lors de l'effort axial Pax, kgf								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	0,8375	0,9213	1,0050	1,0888	1,1726	1,2563	1,3401	1,4238	1,5076
6	1,2951	1,4246	1,5541	1,6836	1,8131	1,9426	2,0721	2,2017	2,3312
4	2,4589	2,7048	2,9507	3,1966	3,4425	3,6884	3,9343	4,1802	4,4261

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h, mm ; lors de l'effort axial Pax, kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	1,5913	1,6751	1,7589	1,8426	1,9264	2,0101
6	2,4607	2,5902	2,7197	2,8492	2,9787	3,1082
4	4,6720	4,9179	5,1638	5,4097	5,6556	5,9015



FigII.1 : Dépendance de $h = f(P_{ax}, n)$ d'après RAKOV ; avec le diamètre d'outil $d = 100\text{mm}$.

Tab II-3 Résultats de la vitesse de forage

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage v_f , (m/min) ; lors de l'effort axial P_{ax}								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	0,064	0,070	0,077	0,083	0,090	0,096	0,103	0,109	0,115
6	0,099	0,109	0,119	0,129	0,139	0,149	0,159	0,169	0,179
4	0,189	0,207	0,226	0,245	0,264	0,283	0,302	0,321	0,340

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage v_f , (m/min) ; lors de l'effort axial P_{ax} , kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	0,122	0,128	0,135	0,141	0,148	0,154
6	0,189	0,199	0,209	0,219	0,229	0,239
4	0,359	0,378	0,397	0,415	0,434	0,453

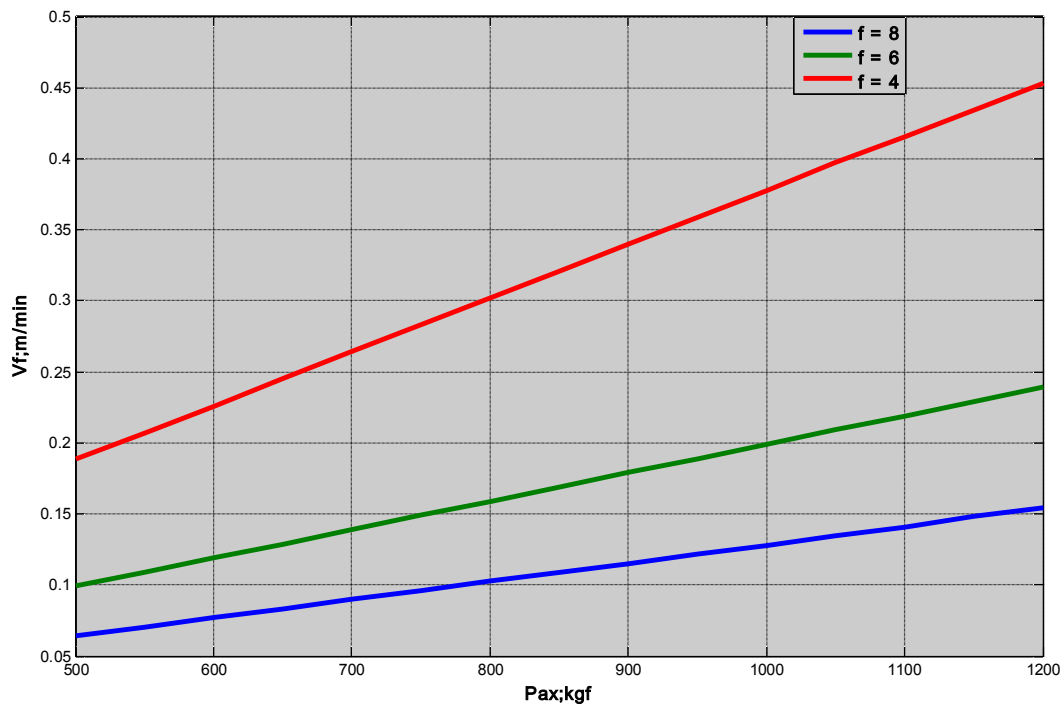


Fig II.2 :Dépendance de $Vf = f(Pax ; n)$ d'après RAKOV avec l'outil de diamètre $d = 100\text{mm}$.

II-2-2-Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule de PERETOLTCHINE Pour les machines rotatives à outil coupant.

Sur le pan avant de l'outil, agissent les forces suivantes :

N_1 - Force conditionnée à la désagrégation de la roche.

F_1 - Force conditionnée au frottement du pan avant contre la roche.

Ou C_f - coefficient de frottement qui est égal : ($C_f = 0,3$ à $0,7$) toujours.

Respectivement du côté de l'outil agissent sur la roche désagrégée les forces N_1' et F_1' .

$$F = /F_1' / \quad ; \quad N_1 = /N_1 /$$

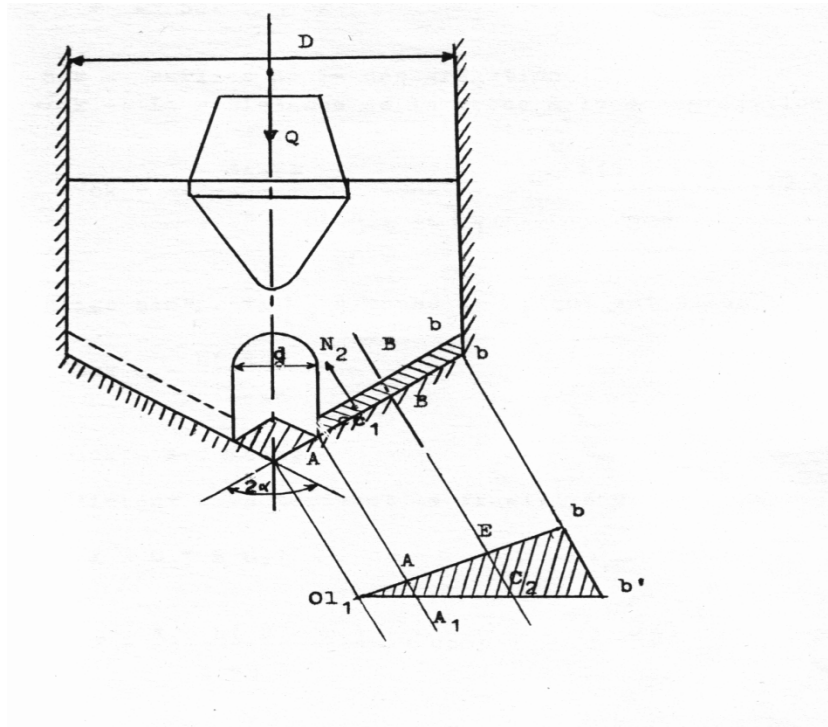
$$F_1 = P_2 + N_4 \quad ; \quad N_1' = P_1 + N_3$$

N_3 et N_4 - provoquent la compression de la roche.

P_1 et P_2 - forment la force de désagrégation.

$$R_{ck} = P_1 - P_2 = N_1' \cdot (\sin \beta \cdot C_f \cdot \cos \beta), \quad (\text{II.5})$$

β - Angle de désagrégation déterminant la position de la surface de la roche désagrégée.



FigII-3 Interaction de l'outil contre la roche d'après PERETOLTCHINE

La résistance de la roche à la désagrégation est égale

$$F = S_{ck} \cdot \delta_{ck}$$

Où : S_{ck} - surface de la désagrégation.

δ_{ck} - La résistance de la roche à la désagrégation

$$S_{ck} \frac{SAabs}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \text{tg } \gamma_1} = \frac{h(R - r)}{\cos \beta}; \quad (\text{II.6})$$

On néglige $\sin \beta \cdot \text{tg } \gamma_1$ à cause de γ_1 qui est très petit.

Donc :

$$S_{ck} = \frac{h(R - r)}{\cos \beta}$$

$$\delta_{ck} = K \cdot \delta_{comp}$$

K- coefficient caractérisant la fragilité de la roche.

$$K = 0.3 \text{ à } 07$$

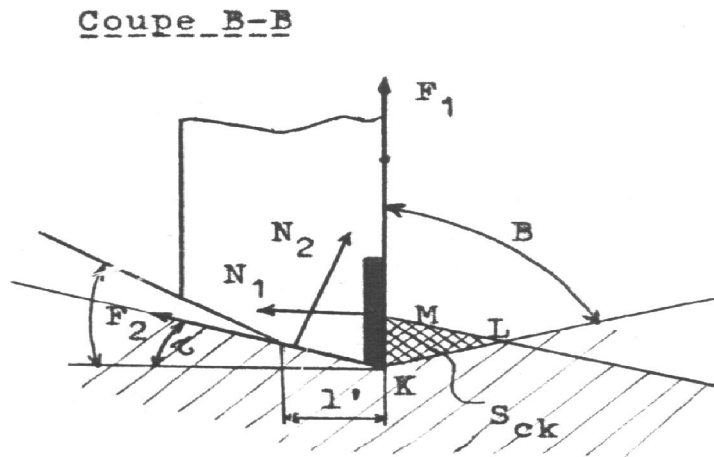
Donc :

$$F = \frac{K \cdot h (R - r)}{\cos B} \cdot \delta \text{ comp} \quad ; \quad (\text{II.7})$$

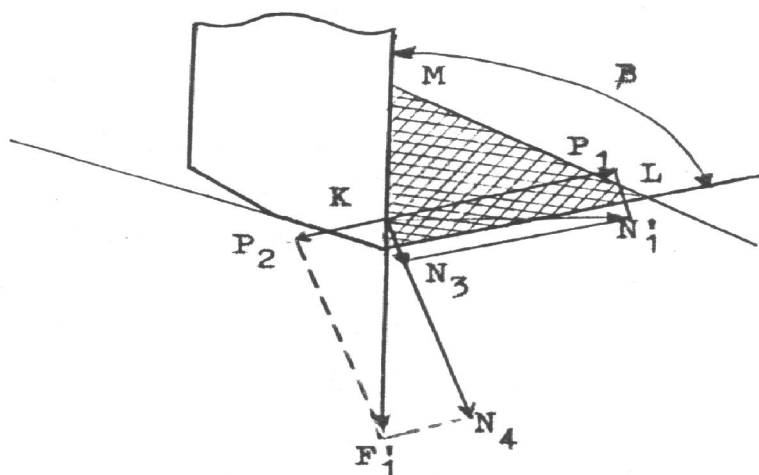
La désagrégation de la roche se déroule si $R_{ck} \geq F$

D'ici :

$$N_1 = \frac{K \cdot h (R - r)}{\cos \beta (\sin \beta - C_f \cdot \cos)} \cdot \delta \text{ comp} \quad ; \quad (\text{II.8})$$



FigII-4 Interaction de l'outil contre la roche coupe B-B



FigII-5 Paramètres géométriques de l'outil

$$\text{La force: } N_2 = S_{ABB_1A_1} \cdot \delta_{comp} = \frac{L_1 + 1}{2} \cdot AB \cdot \delta_{comp}$$

$$\text{Où : } L_1 = \frac{r}{R} \cdot 1$$

$$\text{Donc : } N_2 = \frac{R^2 - r^2}{2 \cdot R \cdot \sin \alpha} \cdot L \cdot \delta_{comp} \quad (\text{II.9})$$

Où : τ = l'angle d'inclinaison de la lame tranchante
L = l'usure maximale de la lame (L=5mm).

$$F_2 = Cf \cdot N_2 = \frac{R^2 - r^2}{2 R \sin \alpha} \cdot Cf \cdot L \cdot \delta_{comp} \quad ; \quad (\text{II.10})$$

D'ici on reçoit la formule de l'épaisseur du copeau.

$$h = \left(\frac{P_{ax}}{m \cdot \delta_{comp}} - \frac{R - r}{2R} \cdot L \right) \frac{\cos B (\sin \beta - cf \cdot \cos \beta)}{Cf \cdot K (R - r)} \cdot \text{mm/tr} ; \quad (\text{II.11})$$

$$\beta = (45 \text{ à } 60^\circ)$$

β - qui dépend des propriétés physico mécaniques des roches qui détermine la position de la surface de la roche désagrégée.

L=4mm : Usure maximale de la dent

r = 7,5mm : Ecartement de l'outil.

R = rayon de l'outil.

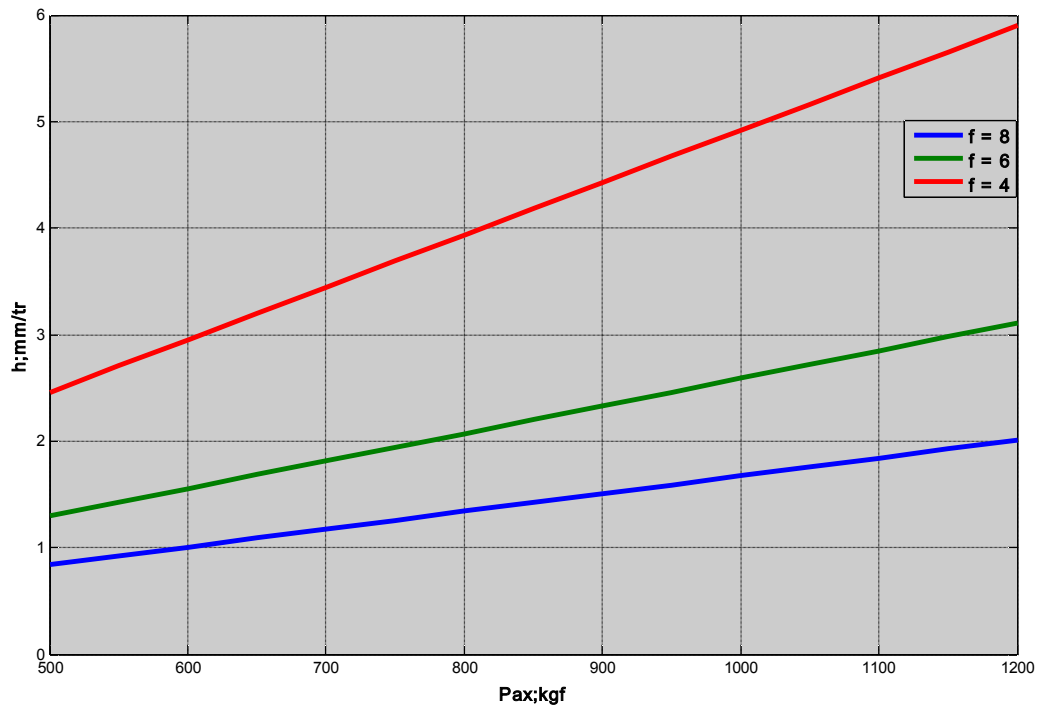
P_{ax} , kgf ; Force axiale.

Résultats de l'épaisseur du copeau et de la vitesse de forage d'après la méthode de PERELTOLTCHINE avec l'outil de diamètre 100mm

Tab II.4 Résultats de l'épaisseur du copeau

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h (mm) lors de l'effort axial P, kgf								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,18
6	-	-	-	-	-	-	0,14	0,29	0,44
4	-	-	-	-	-	0,24	0,39	0,54	0,69

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h, mm ; lors de l'effort axial Pax, kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	0,33	0,48	0,63	0,78	0,93	1,08
6	0,59	0,74	0,89	1,04	1,19	1,34
4	0,84	0,99	1,14	1,29	1,44	1,59



FigII.6 : Dépendance de $h = f(P_{ax} ; n)$ d'après PERELTOLTCHINE avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$.

Tab II .5 Résultats de la vitesse de forage

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage, (m/mn) ; lors de l'effort axial P, kgf								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	-	-	-	-	-	-	-	0,0018	0,032
6	-	-	-	-	-	-	0,010	0,023	0,036
4	-	-	-	-	-	0,018	0,022	0,026	0,030

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage v_f , (m/min) ; lors de l'effort axial P_{ax} , kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	0,046	0,060	0,074	0,088	0,102	0,103
6	0,035	0,039	0,052	0,065	0,078	0,091
4	0,034	0,038	0,042	0,046	0,05	0,054

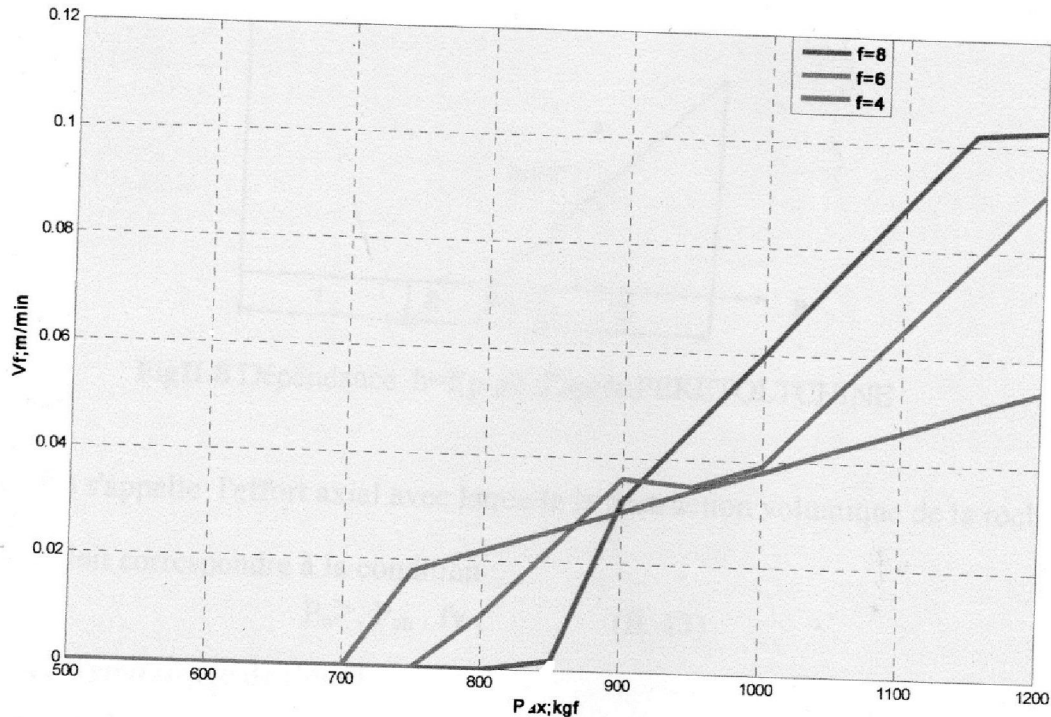


Fig II.7 : Dépendance de $V_f = f(P_{ax}; n)$ d'après PERELTOLTCHINE avec l'outil de diamètre $d = 100\text{mm}$.

II-2-3- Détermination de l'épaisseur du copeau d'après la formule d'ALI MOV pour les machines de forage à taillant coupant

La dépendance $h = f(P)$ est déterminée par les propriétés physico mécaniques des roches, et les paramètres géométriques de l'outil de forage.

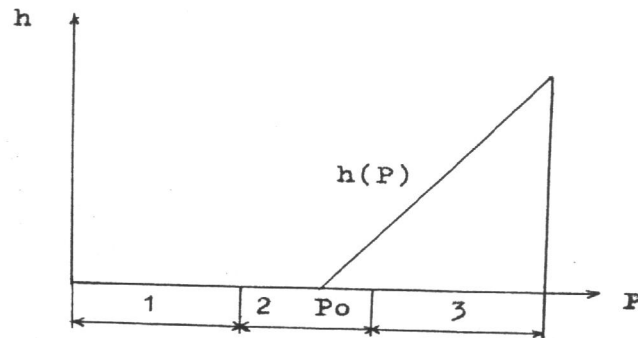
L'influence de ces facteurs, nous l'évaluons par un indice appelé coefficient d'efficacité k'' du forage rotatif [18].

La dépendance entre la force axiale, le coefficient d'efficacité, et l'avancement spécifique de l'outil peut être représentée comme :

$$h = k'' \cdot (P - P_0) \quad (\text{II. 12})$$

Où P = la force axiale correspond au point de croissance de la droite.

$h = f(P)$ à partir de la zone (3) avec l'axe des abscisses



FigII-8 Dépendance $h=f(p, n)$ d'après PERETOLTCHINE

La valeur (P_0) s'appelle l'effort axial avec laquelle la destruction volumique de la roche commence.

Cette valeur doit correspondre à la condition :

$$P_0 > P_{ch} \cdot f_y ; \quad (\text{II. 13})$$

f_y : la surface d'émoissage de l'outil.

P_{ch} : solidité de la roche d'après /11/.

Selon PROKOVSKI /22/, même les outils neufs ont la surface d'émoissage égale (5mm^2 et plus pour l'outil avec le diamètre 40mm).

Si pour quoi, il est possible d'écrire :

$$P_0 \geq 5 \cdot P_{ch}$$

Car, on sait que :

$$\frac{P_{ch}}{\sigma_{comp}} = 7$$

La dureté de la roche : $f = \sigma_{comp}/100$

$P_0 > 7 \cdot f \cdot f_y \cdot d$

$$(f_y = 1,2 \text{ mm}^2 / \text{cm})$$

L'influence des propriétés des roches abattus, paramètres géométrique de l'outil, degré de son usure, ainsi les paramètres de réglage de la machine et en tient compte de la manière suivante :

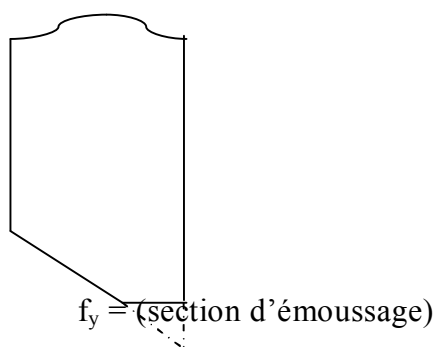


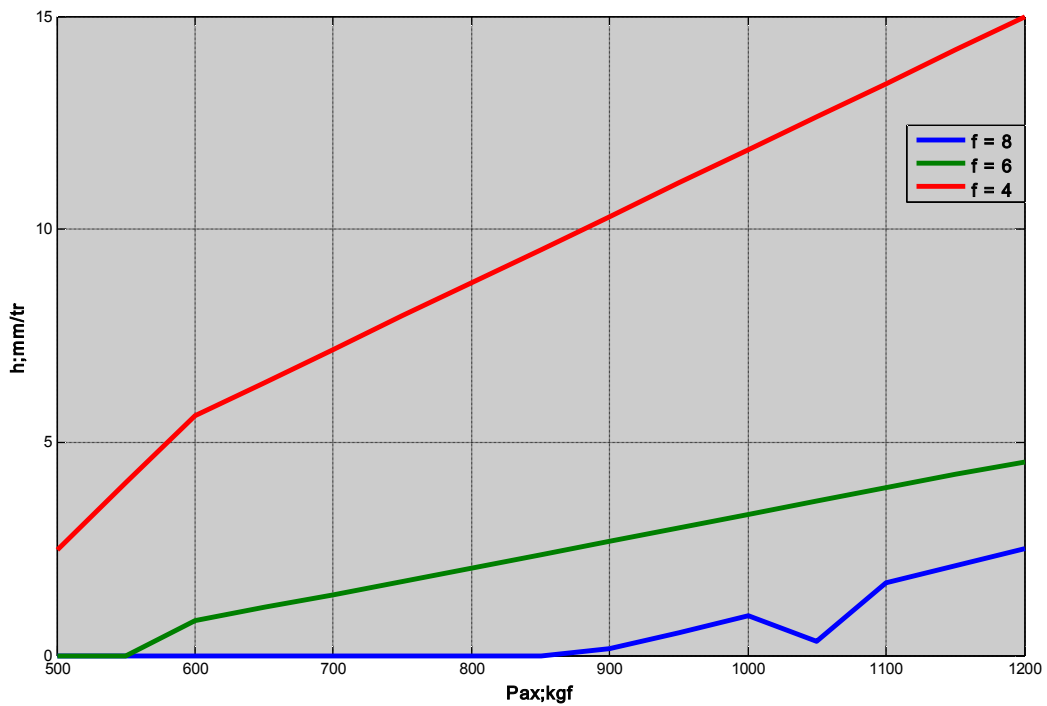
Fig.II.9 Section d'émoussage

Résultats de l'épaisseur du copeau et de la vitesse de forage d'après la méthode d'ALIMOV Avec l'outil de diamètre 100 mm

Tab II.6Résultats de l'épaisseur du copeau

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h (mm) lors de l'effort axial Pax, kgf								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,147
6	-	-	0,805	1,117	1,429	1,741	2,053	2,365	2,677
4	2,475	4,061	5,621	6,401	7,181	7,961	8,741	9,521	10,301

Dureté de la roche, f	Epaisseur du copeau h, mm ; lors de l'effort axial Pax, kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	0,539	0,930	1,521	1,712	2,103	2,494
6	2,989	3,301	3,613	3,925	4,237	4,549
4	11,081	11,861	12,641	13,421	14,201	14,981



FigII.10: Dépendance de $h = f(P_{ax} ; n)$ d'après Ali Mov Avec l'outil de diamètre 100 mm

Tab II -7 Résultats de la vitesse de forage

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage, (m/mn) ; lors de l'effort axial P_{ax} , kgf								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0100
6	-	-	0,0100	0,089	0,168	0,247	0,326	0,405	0,422
4	0,290	0,351	0,412	0,473	0,534	0,595	0,656	0,717	0,778

Dureté de la roche, f	Vitesse de forage v_f , (m/min) ; lors de l'effort axial P_{ax} , kgf					
	950	1000	1050	1100	1150	1200
8	0,0704	0,130	0,191	0,251	0,312	0,372
6	0,439	0,456	0,473	0,49	0,507	0,524
4	0,839	0,900	0,961	1,022	1,083	1,144

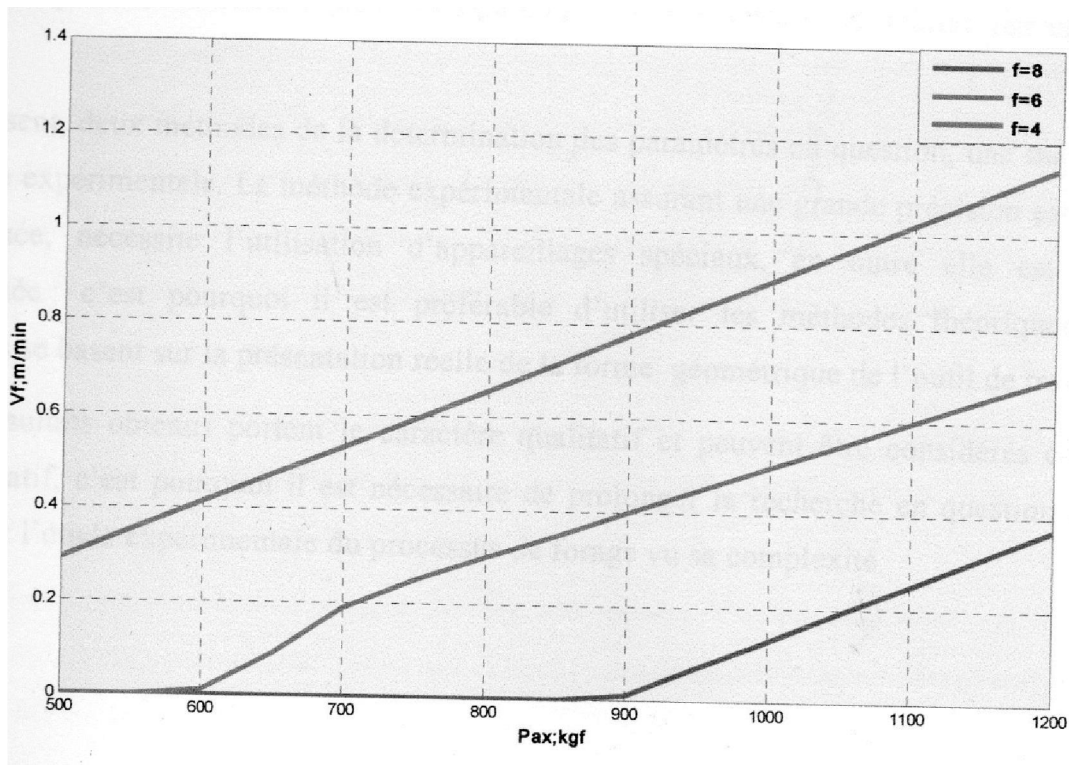


Fig II.11 :Dépendance de $V_f = f(P_{ax} ; n)$ d'après Ali Mov Avec l'outil de diamètre 100 mm

II.3- Vérification des méthodes utilisées :

Les formules (II.1 ; II.11 ; II.12) d'après lesquelles nous déterminons l'enfoncement de l'outil dans la roche pendant un tour peuvent être utilisées pour déterminer la productivité de la machine de forage et leurs régimes rationnels de fonctionnement.

La relation de la vitesse de forage en fonction de la pression axiale a un caractère linéaire, tout cela a été confirmé par les chercheurs de la firme française/32/. D'ici il convient de souligner que le maintien de la haute pression dans le réseau d'alimentation est condition indispensable pour une grande productivité des sondeuses rotatives d'une part, de l'autre part l'augmentation provoque l'apparition des surcharges dynamiques agissant négativement dans les organes de la machine en question. En outre la création de la grande pression exige l'application d'un équipement spécial auxiliaire, le choix de la pression joue un rôle important.

Dans notre cas, lorsqu'il s'agit de la détermination des régimes rationnels de fonctionnement des sondeuses, nous nous limitons à l'établissement des valeurs moyennes de certains paramètres comme pression axiale appliquée et vitesse de rotation par unité de temps.

A présent, deux méthodes de la détermination des paramètres en question, une théorique et l'autre expérimentale. La méthode expérimentale assurant une grande précision est assez compliquée, nécessite l'utilisation d'appareillages spéciaux, en outre elle est assez compliquée : c'est pourquoi il est préférable d'utiliser les méthodes théoriques, ces méthodes se basent sur la présentation réelle de la forme géométrique de l'outil de travail.

Les résultats obtenus portent le caractère qualitatif et peuvent être considérés comme approximatif, c'est pourquoi il est nécessaire de prolonger la recherche en question en se basant sur l'étude expérimentale du processus de forage vu sa complexité.

Conclusion :

1-L'étude théorique de l'interaction de l'outil contre la roche a permis d'analyser et d'étudier les paramètres de certaines méthodes théoriques qui nous permettront de déterminer la hauteur d'enfoncement de l'outil en se basant sur les propriétés physico mécaniques de la roche, paramètres géométriques de l'outil, et paramètres de réglage de la machine.

2-L'étude théorique de la détermination de la vitesse de forage, montre qu'il est préférable d'utiliser les méthodes de calcul qui se basent sur la présentation de la pression axiale et la vitesse de rotation sous la forme réelle.

3-Les résultats obtenus portent le caractère qualitatif et peuvent être approximatif c'est pourquoi, il est nécessaire de prolonger la recherche en question en se basant sur l'étude expérimentale du processus de forage.

Introduction :

L'analyse des formules empirique de la détermination des régimes de forages à taillant coupant recommandés par divers chercheurs nous montre qu'elles ne sont pas toute minutieusement valables pour notre recherche.

Voilà pourquoi il est nécessaire de faire une recherche expérimentale sur les régimes de forage a taillant coupant ayant pour but de préciser les résultats théoriques obtenus préalablement par l'établissement des résultats expérimentaux et la détermination des régimes de forage les plus favorables pour les conditions concrètes des carrières algériennes.

III. Particularités de l'application des machines à forer dans les conditions des carrières de minerai de fer algériennes :

III.1. Propriétés physico mécaniques des roches à abattre :

III.1.1 .Analyse des propriétés physico mécaniques des roches influant sur le processus de forage :

Il est difficile d'énumérer toute la diversité des propriétés des roches qui est nécessaire de savoir lors de la résolution de divers problèmes pratiques, géologiques, minéralogiques etc. ...

Le processus de destruction de la roche dépend de beaucoup des propriétés, mais en premier lieu des propriétés mécaniques. On sait que la roche est caractérisée par plus de 20 constants élastiques, il est évident qu'au cours de l'exploitation des minéraux utiles, il n'y a pas de possibilité de tenir compte de toutes les propriétés des roches pour leur utilisation pendant la correction des régimes de construction. C'est pourquoi il est naturel de trouver un indice qui permettrait de planifier tout les travaux miniers d'extraction et déterminer les régimes rationnels de fonctionnement des machines minières.

L'indice appelé coefficient de dureté propose par le professeur PROTODIAKONOV est le plus simple parmi eux, et on l'utilise très largement: cependant cet indice a un inconvénient essentiel qui Consiste en dispersion considérable des donnés. Lors de la détermination du coefficient de dureté, le coefficient de variation dépasse 30% ce qui signifie que si on a la vitesse de forage moyenne égale a 1000mm/min, son écart moyen de cette valeur peut être ± 300 mm/min.

CHRAINER a argumenter l'application d'une nouvelle caractéristique de la résistance de la roche qu'on l'appelait solidité de la roche (P_{ch}); elle est déterminée comme pression de contact moyenne lors de l'enfoncement de l'étampe dans les échantillons des roches, la surface de la roche doit être rectifiée soigneusement, bien que cette caractéristique donne le coefficient de variation égal à 10 à 20%, elle n'a

pas reçue une large utilisation à cause des difficultés ayant lieu lors de 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.

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 dépasse pas 0(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 d'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 a été réalisé d'après la méthodologie proposée par BARON L. et KOUZNOTSOV. A / 34/ l'essence de celle-ci consiste à frotter une tige d'acier sur la superficie de l'échantillon de la roche, et à déterminer la perte du 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 400tr/min.

On a fait des essais à l'aide d'un stand (Fig.3.1) l'éprouvette de la roche (1) serrée entre la garniture (3) d'un dispositif (2) à 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 10 min.

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

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{1i} - P_{2i})}{2 \cdot N} ; mg . ; \quad (III.1)$$

Où; N: Nombre d'essai de chaque échantillon.

P_{1i} : Poids initial de l'échantillon.

P_{2i} : Poids final de l'échantillon.

Après avoir réalisé les essais, on a obtenus les résultats suivants :

- Echantillon du minerai $a_m = 4mg$
- Echantillon du stérile $a_s = 5mg$

En comparant les résultats obtenus avec les recommandations de la classification proposée par Baron I. on peut faire la conclusion suivante :

- * Le fer de l'Ouenza se rapporte à la première classe

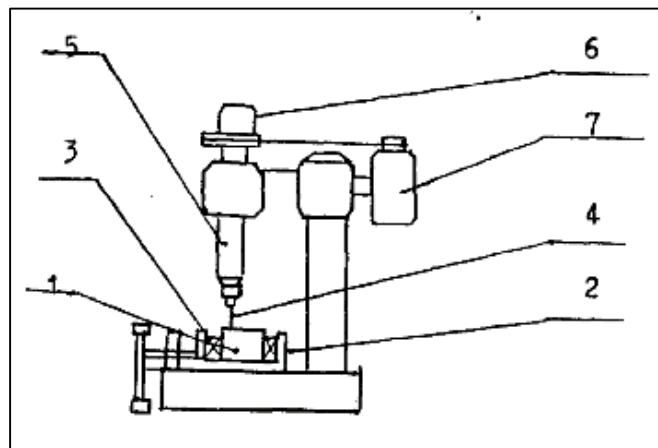


Fig. III-1 Stand de la détermination de l'abrasivité

- * La détermination de l'indice de résistance à l'empreinte a été effectuée au moyen d'une presse mécanique figure (3.2) la presse en question se compose d'une base (1) où on installe tout l'équipement nécessaire de deux glissières le long desquelles se déplace un plongeur (3) sur la table supérieure de celui-ci on met un échantillon (4) qui est chargé par un étampe (5) fixe dans un dispositif de serrage (6) l'étampe est fabriqué en acier trempé ; lors des essais on augmente la

charge sur l'étau 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 :

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^N F_i}{N.S} ; \text{kgf} / \text{mm}^2. \quad ; \quad (\text{III.2})$$

Ou:

F_i : Charge au moment de formation d'un poquet.

S : Aire de la section transversale de l'étau.

N = nombre d'essais de chaque échantillon.

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau (3 .2)

Les roches étudiées se rapportent à la classe appelée "dureté moyenne " d'après la classification de BARON I. et GLATMAN L./35/

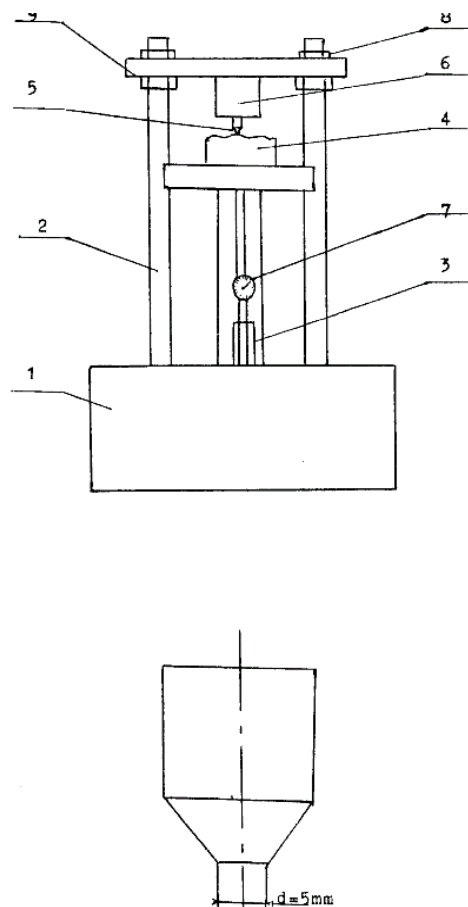


Fig.III2 Stand de la détermination des indices de solidité de la résistance à l'empreinte et de la résistance à la compression

Tab.III.1 Résultats de l'indice d'abrasivité a, mg

Variété de fer	Nbre d'essais	Poids initial	Poids final	Abrasivité	Abrasivité moyenne	Ecart type
Minerai	01	11,024	11,020	04	4,3	0,57
	02	11,020	11,015	05		
	03	11,015	11,011	04		
Stérile	01	11,06	11,01	05	05	00
	02	11,006	11,001	05		
	03	11,001	10,996	05		

Tab III.2 Résultats de l'indice de la résistance à l'empreinte P_k ; kgf/mm

Variété du fer	Essais	Force appliquée; Kgf	Section mm^2	Résistance à l'empreinte; kgf/mm^2	Valeur moyenne	Ecart type
Minerai	01	1520	28,26	53,79	53,68	0,18
	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		
	09	1520		53,79		
	10	1515		53,61		
	11	1520		53,79		
	12	1510		53,43		
Stérile	01	1040	28,26	36,80	36,23	0,65
	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		
	09	1010		35,73		
	10	995		35,21		
	11	1040		36,80		
	12	1030		36,45		

Tab III.3 Résultats de l'indice de la résistance à la compression bc;kgf/cm²

Variété du fer	Essais	Force appliquée; Kgf	Section de l'échantillon Cm ²	Résistance à la compression ; kgf/cm ²	Valeur moyenne	Ecart type
mineraï	01	33000	48	690	808,66	0,18
	02	37200		775		
	03	46128		961		
stérile	01	25000	48	520,93	536,22	0,65
	02	10200		212,5		
	03	40760		849,16		
	04	35100		731,25		
	05	31500		656,25		
	06	35750		744,79		
	07	12600		262,50		
	08	1500		312,50		

Tab III.4 Résultats de l'indice de solidité; kgf/cm²

Variété du fer	Essais	Forces appliquées ; Kgf	Moyenne
Minerai	01	850	612,5
	02	400	
	03	550	
	04	650	
Stérile	01	1200	725
	02	850	
	03	1100	
	04	700	
	05	1450	
	06	900	
	07	500	
	08	100	
	09	450	
	10	350	
	11	200	
	12	300	

III- 2 - Détermination de l'écart type de la résistance la compression à l'empreinte et d'abrasivité et solidité:

a / - calculons d'abord l'espérance mathématique qui est déterminée d'après la formule suivante :

$$m = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xi - m') \quad ; \quad (III.3)$$

Où;

X_i - Valeur des paramètres étudiés.

Afin de caractériser la dispersion de la variable aléatoire et montrer le groupement autour de l'espérance mathématique.

On utilise la dispersion et l'écart type /36/.

b/- la dispersion :

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xi - m')^2 \quad ; \quad (III.4)$$

c/ - l'écart type:

$$\delta = \sqrt{D} \quad ; \quad (III.5)$$

* Résistance à la compression :

a - pour le minerais

$$m = 800,66 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = 19210,32 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\delta = 138,60 \text{ kgf/cm}^2$$

b- pour le stérile.

$$m = 536,22 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = 79168 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\delta_{PK} = 281,36 \text{ kgf/cm}^2$$

* Résistance à l'empreinte

a - pour le minerais.

$$m = 53,68 \text{ kgf/mm}^2$$

$$D = 0,034 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\delta_{pk} = 0,18 \text{ kgf/mm}^2$$

b - pour le stérile

$$m = 36,23 \text{ kgf/mm}^2$$

$$D = 0,43 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\delta_{pk} = 0,65 \text{ kgf/mm}^2$$

*** l'abrasivité**

a - pour le minéral

$$m = 4,3 \text{ mg}$$

$$D = 0,33 \text{ mg}$$

$$\delta b = 0,57 \text{ mg}$$

b - pour le stérile

$$D = 0 \text{ mg} \quad \delta = 0 \text{ m}$$

III-3 Etude expérimentale du régime de fonctionnement des machines de forage à Taillant coupant :

III – 3.1 planification et but des recherches expérimentales :

Comme nous l'avons cité au premier chapitre, il existe à présent un nombre de recherches consacrées à l'étude du processus de forage à taillant coupant.

Les résultats de ces recherches ont permis de créer pour les conditions à ciel ouvert les constructions originales des sondeuses. Il existe des questions qui n'ont pas été suffisamment développées; par exemple il n'y a pas un avis commun sur le caractère de l'influence des paramètres de réglage sur l'outil à taillant coupant et la vitesse de forage, cela provoque la mauvaise exploitation des sondeuses.

A cet effet le but de l'étude expérimentale s'insère dans la détermination de l'influence de certains facteurs sur l'efficacité du processus de forage des machines de forage rotatif munies d'un outil à taillant coupant.

L'analyse du processus de destruction de la roche au moyen des sondeuses permet de conclure que les paramètres de réglage des machines, les limites techniques, et l'état de l'outil influent considérablement sur la vitesse de forage.

Cette dernière prédétermine à son tour les indices technico-économiques d'exploitation des sondeuses, la méthodologie de recherche prévoit :

La détermination de certains paramètres caractérisant la construction des sondeuses rotatives (limites techniques).

- L'étude de l'influence du métrage des trous forés sur la vitesse de forage.
- La réalisation d'une expérience préalable permettant de limiter le domaine de l'étude de la dépendance de la vitesse de forage en fonction des paramètres de réglage (force axiale, et vitesse de rotation).

Dans la plus part des cas l'étude sur les limites des possibilités techniques des sondeuses s'effectue à partir des caractéristiques techniques de ces dernières indiqués sur la plaque signalétique. Ce qui fait défaut pour des sondeuses qui font l'objet de notre étude.

Il est indispensable d'établir expérimentalement les limites des vitesses de rotation, des forces axiales appliquées, et la vitesse d'avancement de l'outil.

L'étude du métrage des trous forés permet d'établir le degré d'usure de l'outil et de déterminer son influence 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 avec le but d'obtenir les valeurs optimales de ces facteurs; comme niveau de base nous avons pris la force axiale appliquée et la vitesse de rotation respectivement égales à 9060kgf et 80tr/mn, leurs intervalles de variation respectivement sont supérieur ou égal à 100kgf et 50tr/mn.

La recherche du modèle de l'objet étudié se compose des étapes suivantes:

- Planification de l'expérience;
- Réalisation de l'expérience;
- Vérification de la productivité expérimentale;
- Obtention du modèle du processus avec la vérification des coefficients de l'équation de la méthode des moindres carrés.

Du point de vue résultat final des travaux accomplis en qualité du paramètre d'optimisation, nous avons choisis la vitesse de forage.

Les facteurs étudiés (vitesse de rotation du train de tige (n_r), force axiale (P_{ax}) représentent des variables, c'est à dire lors du forage expérimental, nous pouvons leur donner des valeurs déterminées.

III- 3- 2 - Méthodologie des recherches expérimentales :

L'analyse des formules empiriques de la détermination des régimes de forage rotatif à taillant coupant recommandées par un nombre de recherches consacrées à l'étude du processus de forage rotatif. Les résultats de ces recherches ont permis de créer pour les conditions des carrières les constructions des sondeuses.

Parmi toutes ces méthodes, ils existent d'autres qui sont abandonnées à cause de la négligence de certains paramètres malgré leur importance et leur nécessité; seulement certaines méthodes nous permettent de faire une étude plus simple avec des résultats plus proches, mais tous les paramètres de forage ne sont pas forcément connus, voilà pourquoi il est nécessaire de faire une recherche expérimentale sur le régime de forage rotatif à molettes ayant pour but de préciser les résultats théoriques obtenus préalablement par l'établissement des résultats expérimentaux et la détermination des régimes de forage les plus favorables pour les conditions concrètes des carrières algériennes; il convient que dans les mêmes conditions de travail ce sont les paramètres de réglage, les limites techniques et l'état de l'outil qui influent sur la vitesse de forage.

L'étude de l'influence du métrage des trous forés a été programmée dans le but de déterminer le degré d'usure de l'outil et d'établir son influence sur la vitesse de forage.

Vu que les paramètres de réglage de la machine (vitesse de rotation, force axiale appliquée) influent considérablement sur les paramètres de sorties, donc on a pris la décision d'effectuer deux étapes d'expérience en appliquant les méthodes théoriques et de la planification expérimentale.

III.3.3 La réalisation des expériences :

La réalisation du forage expérimental a été programmée dans les conditions de la carrière de fer de l'Ouenza à l'aide de deux sondeuses INGERSOLL RAND et ATLAS COPCO équipées d'une centrale hydraulique chacune, en qualité d'outil de forage, on a utilisé l'outil coupant.

Durant la réalisation des expériences on a utilisé comme moyen de mesure l'appareillage suivant :

-Un dynamomètre à la compression du type HRC.

-Un tachymètre magnétique.

-Un chronomètre.

Afin de déterminer les limites techniques des paramètres de réglage de la machine, on a procédé de la manière suivante:

On a installé la sondeuse sur le terrain à forer, puis on a actionné le bouton de la mise en marche de la machine, un tachymètre magnétique maintenu sur la circonférence du train de tige, on a mesuré la vitesse de rotation.

Vu la complexité de la détermination de la force axiale, on a placé un dynamomètre à la compression entre le sol et l'outil, et à l'aide de la manette, on a fait descendre l'ensemble rotateur, moteur, tige, plus l'outil de 100mm de diamètre, ensuite on a évacué le dynamomètre, et on a fixé une pression sur le manomètre de la centrale hydraulique, on a effectué le forage. Au fur et à mesure que l'avancement s'effectue. On a procédé au prélèvement de la vitesse de rotation de la tige tout en gardant le tachymètre sur sa circonférence.

Pour déterminer la vitesse d'avancement de l'outil:

On a chronométré le temps de son déplacement suivant toute la longueur des vérins hydrauliques (voir Fig. III.3).

1-machine de forage ; 2-rotateur ; 3-dynamomètre à la compression ; 4 -tachymètre

5- Tige de guidage.

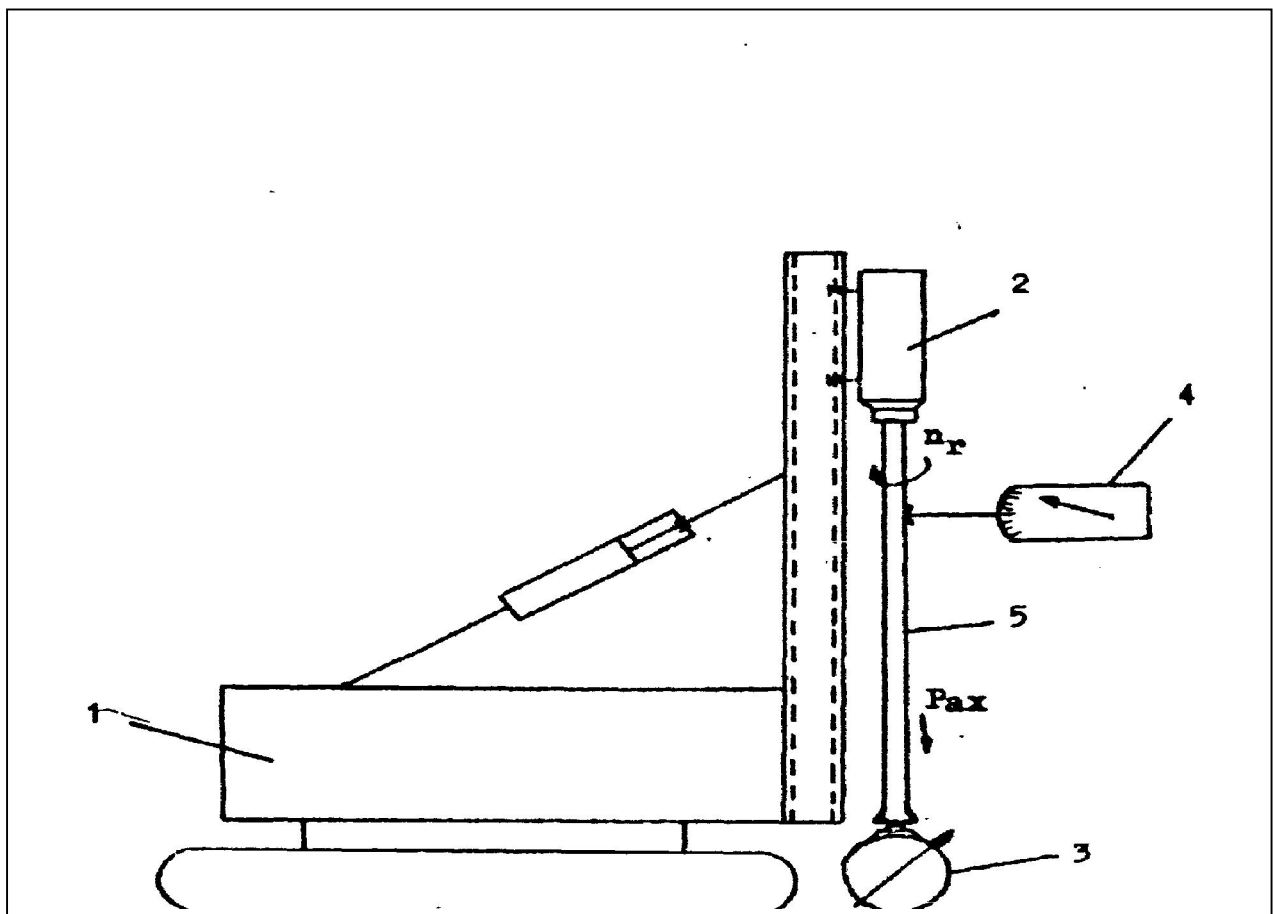


Fig III.3. Schéma simplifié de la sondeuse à taillant coupant lors de l'étude expérimentale/41/

III – 3.3.1 – Contrôle de la vitesse :

A l'aide du tachymètre magnétique à main, on mesure la vitesse de rotation de 30 à 30000 tr/min de la tige en rotation et possède trois gammes de mesure.

- 30 à 300 tr/min;
- 300 à 3000 tr/min;
- 3000 à 30000 tr/min.

Le principe de fonctionnement de l'appareil sur les mesures des forces qui prennent naissance en définitive de l'action réciproque du champ magnétique en rotation d'un aimant permanent sur qui est imprimée la rotation du groupe, avec les courants induits par ce champ dans le rotor métallique en masse unie/33/.

Le tachymètre magnétique est muni d'une roue avec un diamètre de 32mm utilisé pour mesurer la vitesse de rotation d'un arbre tournant, dont le centre est fermé. Le nombre de tour est dans ce cas mesuré à l'aide de cette roue qui s'applique par son diamètre sur l'arbre tournant.

- Le nombre de tour étalon détermine par la formule suivante:

$$n = n_t \cdot \frac{d_r}{d_a} ; \quad (\text{III.6})$$

Où:

n_t : L'indication du tachymètre;

d_r : Diamètre de la roue;

d_a : Diamètre de l'arbre.

Pour éviter son endommagement pendant le travail le tachymètre doit -être ajuster sur la gamme de mesure de 3000 tr/mn si la vitesse angulaire n'est pas donnée et relie l'arbre de sortie du tachymètre a la tige de rotation, si cela fait l'aiguille du tachymètre ne devient pas, commuter l'appareil sur la gamme de mesure suivante (300+ 3000 tr/mn) ayant tourné la tête T de l'arbre de sortie du tachymètre magnétique (figure 3.4) et répéta la mesure. Si dans ce cas-là l'aiguille ne dévie pas -muter le tachymètre de la dite façon sur les gammes de meure de 30 à 300 tr/min et mesura la vitesse angulaire délation de la tige.

L'erreur de la lecture aux températures ambiantes de: 0°C à 50°C, ne dépasse pas 1 à 2% de la valeur maximale l'échelle pour chaque gamme de mesure.

Tout en suivant l'opération, on mesure le temps à l'aide du chronomètre, après cela on détermine la vitesse de forage.

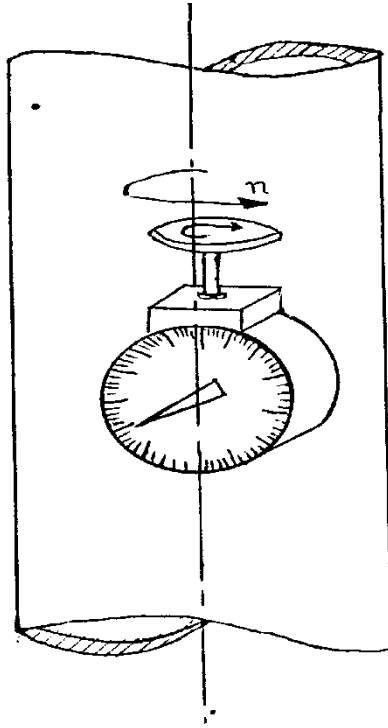


Fig. III. 4. Mesure de la vitesse de rotation de l'outil à l'aide du Tachymètre magnétique/42/

III-3-3.2. Etude des facteurs influant sur la productivité des sondeuses à taillant coupant.

En principe les valeurs de la productivité théorique, technique et d'exploitation peuvent être déterminées à l'aide des calculs correspondants. Par exemple on détermine la vitesse de forage au moyen de formule connue. Mais cette méthode ne nous permet pas d'avoir des résultats reflétant réellement les capacités des sondeuses, vu sa dépendance de certains facteurs qui ne peuvent être précisée que sur le terrain car leur variation est assez grande.

Parmi ces facteurs nous pouvons citer les variations des propriétés physico- mécaniques des roches forées, la qualification du personnel desservant la sondeuse ainsi que l'état de l'outil de forage à cause de l'usure. C'est la raison pour laquelle nous sommes proposés de réaliser des expériences visant la détermination des valeurs statistiques des variables.

Une des méthodes permettant de le faire est celle du chronométrage qui suppose la fixation des données caractérisant l'utilisation de telle ou telle sondeuse, à savoir l'heure du commencement et de la fin de chaque opération, nomination de cette dernière, profondeur et métrage de forage. L'exemple d'une carte de chronométrage est présenté dans les tab.III .5 et III.6

L'ordre de la réalisation du chronométrage doit reprendre aux exigences suivantes : véracité, continuité et volume nécessaire des observations. Selon les recommandations /26/ ce dernier est de deux postes de travail de la sondeuse examinée.

A présent on utilise dans les carrières de calcaire Algériennes quelques sondeuses travaillant en même temps. Par exemple dans la carrière d'Ouenza ce sont les sondeuses Ingersoll-Rand et Atlas-Copco employées pour le forage de la roche. Pour comparer leur rendement nous avons fait le chronométrage de fonctionnement de chacune d'elles et les résultats obtenus sont représentés dans les tab.III.5 et III.6 l'analyse de ces résultats montre qu'il y a de grandes pertes de temps causées par une mauvaise organisation de travail (environ 60% de la durée du poste) ; que pendant le fonctionnement des sondeuses nous n'avons pas enregistré les pertes de temps dues au remplacement de l'outil de forage. il existe une variation des valeurs des vitesses de forage. C'est pourquoi ces dernières sont déterminées par les paramètres des régimes de forage (Force axiale appliquée, vitesse de rotation). Ceux-ci dépendent en premier lieu des performances des sondeuses, de la qualification du personnel et d'autres.

Tab III. 5 Exemple d'une carte de chronométrage

N°	Temps	Chrono métrage	Longueur du trou, m	Sondeuse « INGERSOLL-RAND »
1	6h00'-7h01'	61'	-	Temps perdu
2	7h01'-7h31'	30'	-	Mise en service (examen, graissage)
3	7h31'-7h41'	10'	-	Manipulation préliminaire
4	7h41'-8h04'	23'	3m	Forage
5	8h04'-8h04'30''	30''	-	Allongement du train de tige
6	8h04'30''-8h07'30''	3'	-	Arrêt de la sondeuse
6	8h07'30''-8h30'30''	23'	-3m	Forage
7	8h30'30''-8h11'30"	30'	-	Allongement du train de tige
8	8h11'30"-8h11'41"	11''	1.3m-	Forage
9	8h11'41"-8h41'30''	30'	-	Allongement du train de tige
10	8h41'30''-9h02'	21'30''	-3m	Forage
11	9h02'-9h02'30''	30''	-	Allongement du train de tige
12	9h02'30''-9h 25'30''	23'	-3m	Forage
14	-9h 25'30''-9h 28'	2'30''	-	récupération du train de tige
15	9h 29'-30''-9h 31'	1'30''	-	Déplacement de la sondeuse
16	9h 31'-9h33'30"	2'30''	-	Manipulation préliminaire
17	9h33'30"-9h57'	23'30''	3m	Forage
18	9h57'-9h57' 30"	30''	-	Allongement du train de tige
19	9h8'-9h19'30''	21'30''	-3m	Forage
20	9h19'30''-9h20'	30''	-	Allongement du train de tige
21	9h20'-9h41'30''	21'30''	3m	Forage
22	9h41'30''-9h42'	30''	-	Allongement du train de tige
23	9h42'-10h03'30''	21'30''	3m	Forage
24	10h03'30''-10h04'	30''	-	Allongement du train de tige
25	10h04'-10h25'30''	21'30''	-3m	Forage
26	10h25'30''-10h28'30''	3'	-	récupération du train de tige
27	10h28'30''-10h30'	1'30'	-	Déplacement de la sondeuse
28	10h30'-10h31'	1'	-	Manipulation préliminaire
29	110h31'-10h52'	21'	3m	Forage
30	10h52'-10h52'30''	30''	-	Allongement du train de tiges
31	10h52'30''-11h14'	21'30''	3m	Forage
32	11h14'-11h14'30''	30''	-	Allongement du train de tiges
33	11h14'30''-11h37'	22'30''	3m	Forage
34	11h37'-11h37'30''	30''	-	Allongement du train de tiges
35	11h37'30''-11h47'30"	10'	3m	Forage
36	11h47'30''-11h48'	30''	-	Allongement du train de tiges
37	11h48'-12h08'30''	21'30''	3m	Forage
38	12h08'30''-12h11'	2'30''	-	récupération du train de tige
39	12h11'-12h12'	1'	-	Déplacement de la sondeuse
40	12h12'-12h13'	1'	-	Manipulation préliminaire
41	12h13'-12h14'	1'	-	Réparation de la sondeuse
42	12h14'-12h32'30''	18'30''	2.9m	Forage
43	12h32'30''-12h33'	30''	-	Allongement du train de tige
44	12h33'-12h53'	20'	3m	Forage
45	12h53'-12h53'30''	30''	-	Allongement du train de tige

Suite du Tableau III.5

N°	Temps	Chrono métrage	Longueur du trou, m	Sondeuse « INGERSOLL-RAND »
46	12h53'30''-13h15'30''	22'	3m	Forage
47	13h15'30''-13h16'	30''	-	Allongement du train de tige
48	13h16'-13h39'30''	23'30''	3m	Forage
49	13h39'30''-13h39'30"	30''	-	Allongement du train de tige
50	13h39'30"-14h01'30"	22'	3m	Forage
51	14h01'30"-14h04'30"	3'	-	récupération du train de tige
52	14h04'30"-14h24'30"	24'	2.2m	Forage

Tab III. 6 Exemple d'une carte de chronométrage

N°	Temps	Chronométrage	Longueur du trou, m	Sondeuse ATLAS COPCO »
1	6h00'-7h01'	61'	-	Temps perdu
2	7h01'-7h31'	30'	-	Mise en service (examen, graissage)
3	7h31'-7h41'	10'	-	Manipulation préliminaire
4	7h41'-8h04'	23'	1m	Forage
5	8h04'-8h04'30''	30''	-	Allongement du train de tige
6	8h04'30''-8h07'30''	3'	-	Arrêt de la sondeuse
6	8h07'30''-8h30'30''	23'	1m	Forage
7	8h30'30''-8h11'30''	30'	-	Allongement du train de tige
8	8h11'30''-8h11'41''	11''	1.m-	Forage
9	8h11'41''-8h41'30''	30'	-	Allongement du train de tige
10	8h41'30''-9h02'	21'30''	1.m	Forage
11	9h02'-9h02'30''	30''	-	Allongement du train de tige
12	9h02'30''-9h 25'30''	23'	1m	Forage
14	-9h 25'30''-9h 28'	2'30''	-	récupération du train de tige
15	9h 29'-30''-9h 31'	1'30''	-	Déplacement de la sondeuse
16	9h 31'-9h33'30''	2'30''	-	Manipulation préliminaire
17	9h33'30''-9h57'	23'30''	1m	Forage
18	9h57'-9h57' 30''	30''	-	Allongement du train de tige
19	9h8'-9h19'30''	21'30''	1.5m	Forage
20	9h19'30''-9h20'	30''	-	Allongement du train de tige
21	9h20'-9h41'30''	21'30''	1.5m	Forage
22	9h41'30''-9h42'	30''	-	Allongement du train de tige
23	9h42'-10h03'30''	21'30''	1.1m	Forage
24	10h03'30''-10h04'	30''	-	Allongement du train de tige
25	10h04'-10h25'30''	21'30''	1.5m	Forage
26	10h25'30''-10h28'30''	3'	-	récupération du train de tige
27	10h28'30''-10h30'	1'30'	-	Déplacement de la sondeuse
28	10h30'-10h31'	1'	-	Manipulation préliminaire
29	11h31'-10h52'	21'	1m	Forage
30	10h52'-10h52'30''	30''	-	Allongement du train de tiges
31	11h14'30''-11h37'	21'30''	1m	Forage
32	11h37'-11h37'30''	30''	-	Allongement du train de tiges
33	11h37'30''-11h47'30''	22'30''	1m	Forage
34	11h47'30''-11h48'	30''	-	Allongement du train de tiges
35	11h48'-12h08'30''	22'	1.0m	Forage
36	12h08'30''-12h11'	23'30''	-	Allongement du train de tiges
37	12h11'-12h12'	23'30''	1.6m	Forage
38	12h12'-12h13'	30''	-	récupération du train de tige
39	12h13'-12h14'	22'	-	Déplacement de la sondeuse
40	12h14'-12h32'30''	3'	-	Manipulation préliminaire
41	12h32'30''-12h33'	24'	-	Réparation de la sondeuse
42	12h33'-12h53'	22'	1. m	Forage
43	12h53'-12h53'30''	30''	-	Allongement du train de tige
44	11h14'30''-11h37'	23'30''	1.1m	Forage
45	11h37'-11h37'30''	30''	-	Allongement du train de tige
46	12h53'30''-13h15'30''	22'	3m	Forage
47	13h15'30''-13h16'	30''	-	Allongement du train de tige
48	13h16'-13h39'30''	23'30''	3m	Forage
49	13h39'30''-13h39'30''	30''	-	Allongement du train de tige
50	13h39'30''-14h01'30''	22'	3m	Forage
51	14h01'30''-14h04'30''	3'	-	récupération du train de tige
52	14h04'30''-14h24'30''	24'	2.2m	Forage

Tab III.7 Généralisation des résultats de chronométrage

N°	Indices	Désing- Ation	INGERSOLL-RAND			ATLAS-COPCO		
			1poste	2poste	Valeur moyenne	1poste	2poste	Valeurs moyennes
I	Travaux d'organisation	T _{org}						
I.1	Mise en service	T _{ser}	30'	-	15'	30'	-	15'
I.2	Déplacement préliminaire	T _{dép}	-	-	-	30'	-	15'
I.3	Repos des travailleurs	T _{rep}	55'	60'	57'30''	67'	-	35'30''
I.4	D'autres	T _{aut}	121'	180'	150'30''	72'	273	172'30''
	Total		206'	240'	223'	199'	273'	238'
II	Travaux auxiliaires	T _{aux}						
II.1	Manipulations préliminaires	T _{man}	14'30''	20'	17'15''	15'	14'	14'30''
II.2	Allongement, levage de tige	T _{al}	19'30''	25'	22'15''	18'	16'	17'
II.3	Déplacement d'un trou à l'autre	T _{dép}	4'	8'	6'	6'	4'	5'
II.4	Réparation de la sondeuse	T _{repa}	4'	7'	6'	5'30''	15'	10'15''
II.5	Remplacement de l'outil	T _{remp}	-	-	-	-	-	-
	Total	T _{aux}	42'	60'	51'30''	44'30''	49'	46'45''
III.1	Forage	T _f	432'	360'	397'	432'	360'	397''
	Profondeur totale, m	L	48	35	39,5	19.9	17.5	18.4
	Vitesse de forage, m/min	V _f	0,111	0,097	0,104	0.044	0.048	0,046

III.4. Résultats de l'étude expérimentale de forage à taillant coupant et leur analyse :

L'étude du régime de fonctionnement de la sondeuse a été réalisée dans les conditions de la carrière de fer d'Ouenza selon la méthodologie proposée (voir III-1).

Les paramètres des limites techniques de la sondeuse déterminés pendant son fonctionnement à vide sont :

- ✓ Vitesse de rotation maximale 60tr/min, 80tr/min et 100 tr/min.
- ✓ Force axiale appliquée maximale 12000kgf.
- ✓ Vitesse d'avancement maximale 0,20m/mn.

Durant les expériences nous avons constaté que la vitesse de forage s'accroît avec l'augmentation de la force axiale.

Nous signalons qu'au cours de notre étude expérimentale, ce sont les ruptures des coupants qui sont la cause essentielle de la diminution de la durée de vie de l'outil de forage (on procède directement à son changement).

Les résultats relevés sont représentés dans le tableau (III.8).

Tab III. 8. Résultats de l'étude expérimentale

Essais	P_{ax} ; kgf	Avec nr=100tr/min		Avec nr=80tr/min		Avec nr=60tr/min	
		Vf ; m/min n	H ; m	Vf ; m/min n	H ; m	Vf ; m/min n	H ; m
01	800	0,107	191	0,134	220	0,080	124
02	825	0,110	187	0,138	216	0,082	123
03	850	0,113	185	0,142	204	0,085	113
04	875	0,117	183	0,146	202	0,087	110
05	900	0,120	155	0,150	174	0,090	107
06	925	0,123	153	0,154	172	0,092	101
07	950	0,127	148	0,159	167	0,095	99
08	975	0,130	143	0,163	162	0,097	87
09	1000	0,134	141	0,167	160	0,100	84
10	1025	0,137	118	0,171	137	0,103	62
11	1050	0,140	101	0,175	120	0,105	52
12	1075	0,144	81	0,180	100	0,108	50
13	1100	0,147	58	0,184	77	0,110	42
14	1125	0,150	51	0,188	70	0,113	32
15	1150	0,154	38	0,192	57	0,115	30
16	1175	0,157	27	0,196	46	0,118	25
17	1200	0,160	25	0,201	44	0,120	24

On applique le logiciel Matlab sur les résultats de l'étude expérimentale, on obtient :

les courbes $V_{f1} = f(P_{ax})$, $V_{f2} = f(P_{ax})$, $V_{f3} = f(F)$.

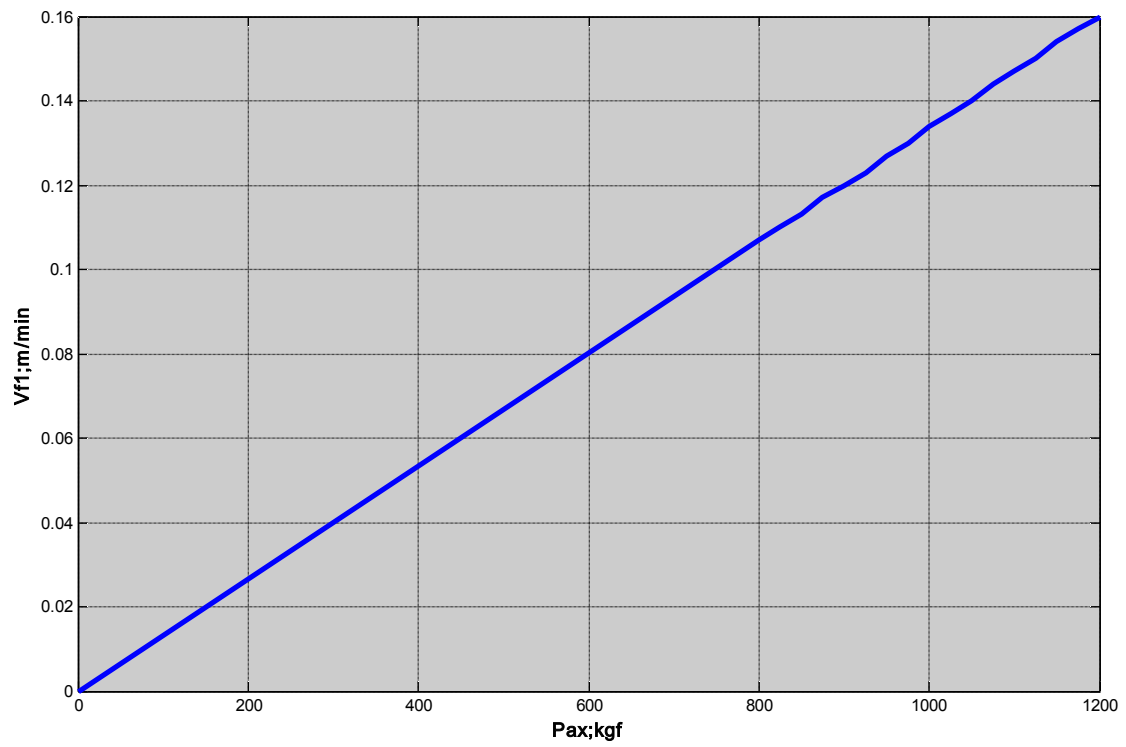


Fig III.5 la variation de la vitesse de forage (V_{f1}) en fonction de l'effort axial (P_{ax}).

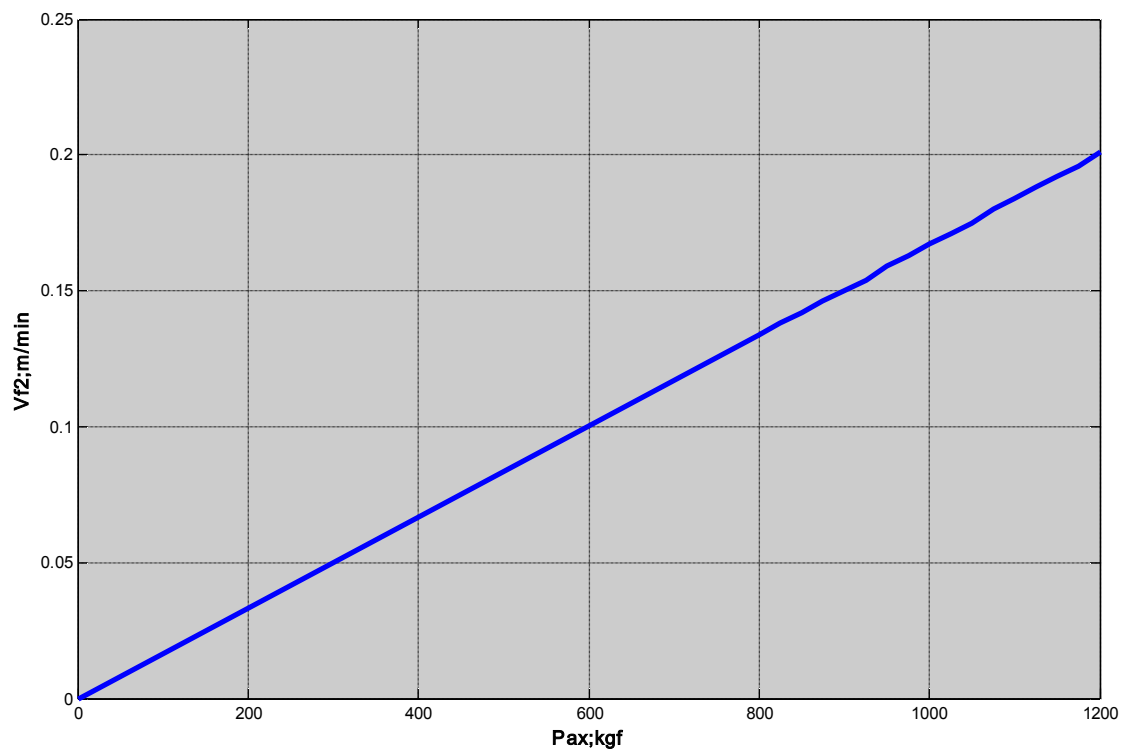


Fig III.6 la variation de la vitesse de forage (V_{f2}) en fonction de l'effort axial (P_{ax}).

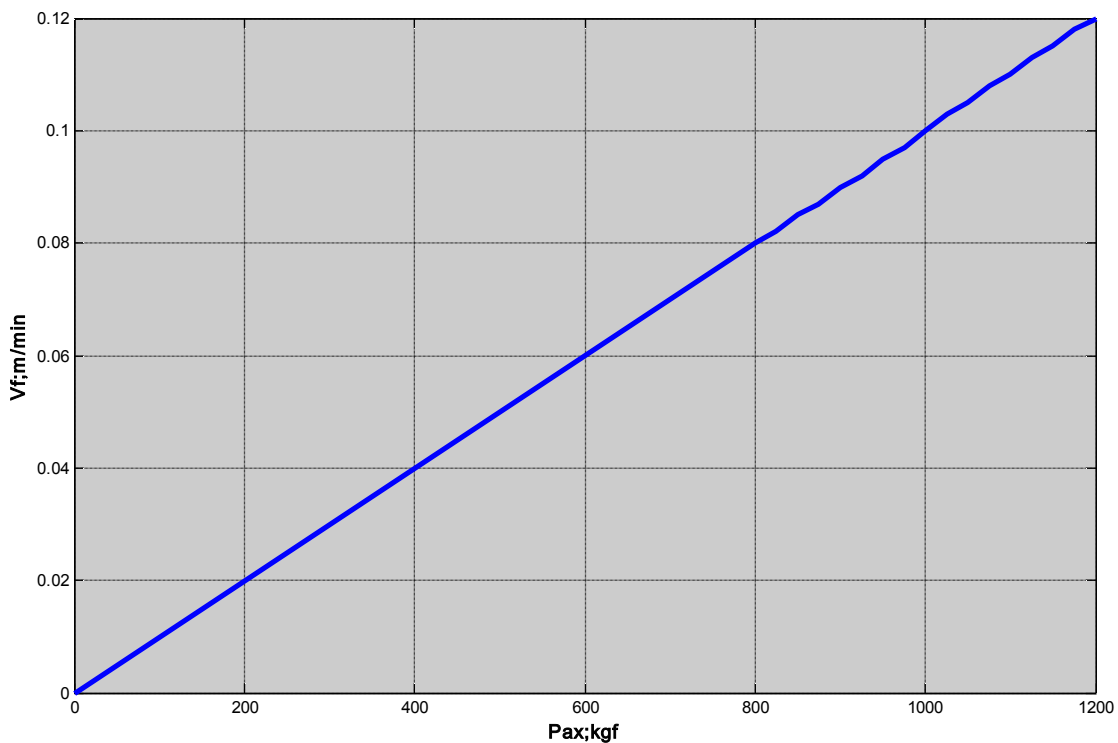


Fig. III.7 la variation de la vitesse de forage (V_{f3}) en fonction de l'effort axial (P_{ax}).

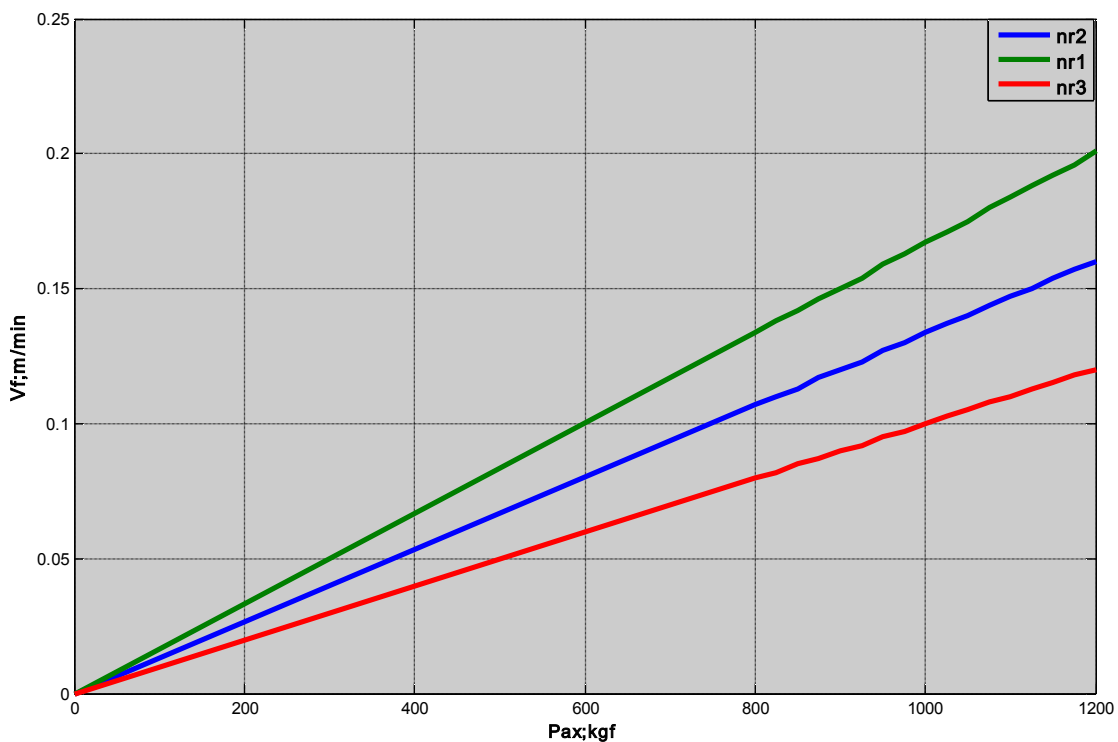


Fig III.8: la variation de la vitesse de forage (V_{f1}), (V_{f2}), (V_{f3}) en fonction de l'effort axial (P_{ax})

➤ **Interprétation de la figure III.8 :**

On remarque que les vitesses de forage (V_{f1}), (V_{f2}), (V_{f3}) augmentent tant que la force axiale augmente.

III.4.1. Analyse des résultats :

Pour le traitement des résultats, on utilise l'analyse de régression en supposant que la relation entre la vitesse de forage et la pression pour diverses forces axiales est représentée par une ligne droite dont la fonction est de la forme :

$$V_f = C_1 + C_2 \cdot p \quad ; \text{(III. 07)}$$

Où C_1 et C_2 sont les inconnus de l'équation, qui doivent être déterminées par les résultats expérimentaux.

En utilisant la méthode des moindres carrés, qui a pour principe que la droite la mieux ajustée aux données est celle pour laquelle des carrés des résidus sont minimaux, ces paramètres sont déterminés par les formules suivantes /36/

$$C_2 = \frac{N \sum P_i \cdot v_{fi} - \sum P_i \cdot \sum v_{fi}}{N \cdot \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2} \quad ; \quad \text{(III.08)}$$

N : nombre d'observations dans l'expérience.

P_i ; v_{fi} ; Pression et vitesse de forage pour la $i^{\text{ème}}$ expérience.

$$C_1 = \frac{N \sum P_i^2 \cdot N \sum v_{fi} - \sum P_i \cdot \sum P_i \cdot v_{fi}}{N \cdot \sum P_i - (\sum P_i)^2} \quad ; \quad \text{(III.09)}$$

Supposons que l'équation est sous la forme :

$$S = [F(x) - \tau(x)]^2 \quad ; \quad \text{(III.10)}$$

$$F(x) = Y_i$$

$$\tau(x) = C_1 + C_2 \cdot X \quad ; \quad \text{(III.11)}$$

Alors : $S = (Y_i - C_1 - C_2 \cdot X)^2$

1/ dérivé par rapport à C1:

$$\frac{ds}{dc1} = 0 \Rightarrow -2 \sum (Y_i - C1 - C2 \cdot X_i) = 0$$

On sait que $ds = -2$

$$D'où \sum_{i=1}^n (Y_i + c1 + c2 \cdot X_i) = 0$$

$$Y_i = nC1 + C2 \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad ; \quad (III.12)$$

2/dérivé par rapport à C2:

$$\frac{ds}{dc2} = 0 \Rightarrow -2 \sum_{i=0}^n (Y_i x_i - c1 \cdot x - c2 \cdot x)(x) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i = C1 \sum_{i=1}^n x_i + C2 \sum_{i=1}^n X_i \quad ; \quad (III.13)$$

Pour déterminer les deux inconnus ($c1$ et $c2$) du système d'équations. on calcule d'abord le déterminant :

$$\Delta = N \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad ; \quad (III.14)$$

Où :

$$X_i = P a x_i$$

$$Y_i = V f_i$$

-Pour $d=100\text{mm}$ et $n_r=60\text{tr/mn}$

Le système d'équation est :

$$\begin{cases} 17 \cdot C_1 + 170000 C_2 = 1,7 \\ 170000 C_1 + 1725500000 C_2 = 17223 \end{cases}$$

Le déterminant Δ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 17 & 170000 \\ 170000 & 1725500000 \end{vmatrix} = 433500000$$

$$\Delta = 433500000$$

Le calcul du coefficient C_1 :

$$C_1 = \frac{\Delta C_1}{\Delta}$$

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 170000 & 1,7 \\ 1725500000 & 17223 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_1 = 2,773$$

Le calcul du coefficient C_2 :

$$C_2 = \frac{\Delta C_2}{\Delta}$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 1,7 & 17 \\ 17223 & 170000 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_2 = -8,74 \cdot 10^{-6}$$

-Pour $d=100\text{mm}$ et $n_r=80\text{tr/mn}$

Le système d'équation est :

$$\begin{cases} 17 \cdot C_1 + 170000 C_2 = 2,84 \\ 170000 C_1 + 1725500000 C_2 = 28826,5 \end{cases}$$

Le déterminant Δ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 17 & 170000 \\ 170000 & 1725500000 \end{vmatrix} = 433500000$$

$$\Delta = 433500000$$

Le calcul du coefficient C_1 :

$$C_1 = \frac{\Delta C_1}{\Delta}$$

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 170000 & 2,84 \\ 1725500000 & 28826,5 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_1 = 1,960 \cdot 10^{-4}$$

Le calcul du coefficient C_2 :

$$C_2 = \frac{\Delta C_2}{\Delta}$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 2,84 & 17 \\ 28826,5 & 170000 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_2 = -1,672 \cdot 10^{-5}$$

-Pour $d=100\text{mm}$ et $n_r=100\text{tr/mn}$

Le système d'équation est :

$$\begin{cases} 17 \cdot C_1 + 170000 C_2 = 2,27 \\ 170000 C_1 + 1725500000 C_2 = 23042 \end{cases}$$

Le déterminant Δ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 17 & 170000 \\ 170000 & 1725500000 \end{vmatrix} = 433500000$$

$$\Delta = 433500000$$

Le calcul du coefficient C_1 :

$$C_1 = \frac{\Delta C_1}{\Delta}$$

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 170000 & 2,27 \\ 1725500000 & 23042 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_1 = 5,882 \cdot 10^{-4}$$

Le calcul du coefficient C_2 :

$$C_2 = \frac{\Delta C_2}{\Delta}$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 2,27 & 17 \\ 23042 & 170000 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$C_2 = -1,341 \cdot 10^{-5}$$

TabIII. 9 Détermination du coefficient de corrélation

N	X_i	Y_i	x_i^2	$x_i.Y_i$
01	8000	0,080	64000000	604
02	8250	0,082	68062500	676,5
03	8500	0,085	72250000	722,5
04	8750	0,087	76562500	761,25
05	9000	0,090	81000000	810
06	9250	0,092	85562500	851
07	9500	0,095	90250000	902,5
08	9750	0,097	95062500	945,75
09	10000	0,100	100000000	1000
10	10250	0,103	105062500	1055,75
11	10500	0,105	110250000	1102,5
12	10750	0,108	115562500	1161
13	11000	0,110	121000000	1210
14	11250	0,113	126562500	1271,25
15	11500	0,115	132250000	1322,5
16	11750	0,118	138062500	1386,5
17	12000	1,120	144000000	1440
Σ	170000	1,7	1725500000	17223
- Avec l'outil de diamètre $d = 100\text{mm}$; $n_r = 60\text{tr/mn}$				

Tab III 10 Détermination Du Coefficient De Corrélation

N	X_i	Y_i	x_i^2	$x_i \cdot Y_i$
01	8000	0,134	64000000	1072
02	8250	0,138	68062500	1138,5
03	8500	0,142	72250000	1207
04	8750	0,146	76562500	1277,5
05	9000	0,150	81000000	1350
06	9250	0,154	85562500	1424,5
07	9500	0,159	90250000	1510,5
08	9750	0,163	95062500	1589,25
09	10000	0,167	100000000	1670
10	10250	0,171	105062500	1752,75
11	10500	0,175	110250000	1837,5
12	10750	0,180	115562500	1935
13	11000	0,184	121000000	2024
14	11250	0,188	126562500	2115
15	11500	0,192	132250000	2208
16	11750	0,196	138062500	2303
17	12000	0,201	144000000	2412
Σ	170000	2,84	1725500000	28826,5
- Avec l'outil de diamètre $d = 100\text{mm}$; $n_r = 80\text{tr/mm}$				

Tab III 11 Détermination Du Coefficient De Corrélacion

N	X_i	Y_i	x_i^2	$x_i \cdot Y_i$
01	8000	0,107	64000000	856
02	8250	0,110	68062500	907,5
03	8500	0,113	72250000	960,5
04	8750	0,117	76562500	1023,75
05	9000	0,120	81000000	1080
06	9250	0,123	85562500	1137,75
07	9500	0,127	90250000	1206,5
08	9750	0,130	95062500	1267,5
09	10000	0,134	100000000	1340
10	10250	0,137	105062500	1404,25
11	10500	0,140	110250000	1470
12	10750	0,144	115562500	1548
13	11000	0,147	121000000	1617
14	11250	0,150	126562500	1687,5
15	11500	0,154	132250000	1771
16	11750	0,157	138062500	1844,75
17	12000	0,160	144000000	1920
Σ	170000	2,27	1725500000	23042
- Avec l'outil de diamètre $d = 100\text{mm}$; $n_r = 100\text{tr/mn}$				

III 4.2. Calcul de l'erreur relative à la vitesse de forage:

Pour l'outil de diamètre 100mm

a- avec la vitesse de rotation $n_1=100\text{tr/mn}$

$$E = \sqrt{\frac{(y_{cal} - y_i)^2}{n - 2}} \quad ; \quad (\text{III.15})$$

$$E = 1,875.10^{-4}$$

b- avec la vitesse de rotation $n_2=80\text{tr/mn}$

$$E = \sqrt{\frac{(y_{cal} - y_i)^2}{n - 2}}$$

$$E = 5,859.10^{-4}$$

c- avec la vitesse de rotation $n_3=60\text{tr/mn}$

$$E = \sqrt{\frac{(y_{cal} - y_i)^2}{n - 2}}$$

$$E = 4,628.10^{-5}$$

III-5- Détermination de la productivité des machines de forage rotatif :

Pendant le choix des machines de forage, la question qui nous préoccupe, a toujours été la productivité que peut assurer la machine 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 de la machine.

Plusieurs chercheurs ont considérés cette question, sans pour autant négliger les facteurs qui peuvent avoir une grande influence sur le choix du régime de fonctionnement des machines de forage et leurs productivités tels que l'effort axial. La hauteur de pénétration de l'outil, la vitesse d'avancement, et la puissance maximale du train de tige.

III-5.1. Choix du régime de fonctionnement de la sondeuse :

Selon le nomogramme que nous allons élaborer, on réalise le choix de la force axiale et la vitesse de rotation pour lesquelles la productivité de la sondeuse sera plus grande en tenant compte des facteurs limitants./34/.

Pour visualiser les questions, une représentation graphique et les résultats d'expériences sont montrés sur les figures (III.6) à (III.7). L'analyse des résultats d'expériences des figures citées, nous a permis de signaler que la relation entre la vitesse de forage et la pression d'alimentation est une ligne droite.

Les résultats obtenus sont vérifiés pour le domaine d'application de la force axiale exercée et de la vitesse de rotation pour le forage avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $P_{ax} = 10000\text{kgf}$, $n_1=100\text{tr/min}$, $n_2 = 80\text{ tr/min}$, $n_3 = 60\text{ tr/min}$.

La vérification de l'expérience a montré qu'avec l'augmentation de la force axiale, et la vitesse de rotation jusqu'à leurs valeurs indiquées ci-dessus provoquent l'accroissement de la vitesse de forage ; au-delà de ces limites, la productivité de la machine diminue , ce qui s'explique par le coincement et la détérioration de l'outil , et l'apparition des vibrations à cause des déblais au fond du trou .Pour remédier à cela et pour l'utilisation des possibilités entières de la machine dans son régime rationnel ; bien que représenté sur le nomogramme .

III 5.2. Calcul de la Productivité des sondeuses rotatives à taillant coupant dans les carrières du minerai de fer Algériennes :

L'efficacité d'une machine minière peut être caractérisée par quelques paramètres parmi lesquels nous distinguons en premier lieu la productivité. La connaissance de cette dernière pour les machines de forage permet de savoir le volume de forage à réaliser, de faire le choix de la machine dans les conditions concrètes et de planifier la production de l'entreprise. Ce paramètre dépend de plusieurs facteurs qui pour les sondeuses rotatives, peuvent être divisés en facteurs reflétant :

- les conditions d'exploitation (propriétés physico mécaniques des roches, diamètre et profondeur des trous forés).
- La construction des machines en question (puissance de mécanismes d'avancement et de rotation de l'outil, type de l'outil de forage).
- Les régimes de destruction des roches (vitesse de rotation de l'outil, énergie d'un choc).

Jusqu'à présent de nombreuses recherches ont été faites et ont permis d'aboutir à quelques méthodes de détermination de la productivité des sondeuses y compris celles rotatives. La plus répandue /19/ est basée sur les suppositions suivantes :

- la productivité théorique correspond à la vitesse mécanique de forage.
- la productivité technique tient compte des pertes de temps qui sont liées à la réalisation des opérations auxiliaires ayant lieu lors du forage du trou, tout en tenant compte de la nécessité d'exercer les opérations préparatoires.

La productivité technique est déterminée d'après la formule

$$Q_{\text{tech}} = \frac{T - T_{\text{pr}}}{\left(\frac{1}{V_f} + t_{\text{aux}} \right) \cdot K_{\text{rep}}} \quad , \text{ m/poste} \quad (\text{III.16})$$

Où

t_{aux} - durée des opérations auxiliaires réduites pour un mètre de trou foré, (min/m) ;

t_{aux} - durée des opérations préparatoires, (min) ;

T - durée d'un poste de travail, (min) ;

K_{rep} - coefficient tenant compte de la pause des ouvriers.

La productivité d'exploitation tient compte des pertes de temps qui portent le caractère fortuit (pannes imprévues des mécanismes de la sondeuse).

La productivité d'exploitation est exprimée par la formule

$$Q_{\text{exp}} = Q_{\text{tech}} \cdot K_u \quad , \text{ m/poste} \quad (\text{III.17})$$

Où K_u – coefficient d'utilisation de la sondeuse durant un poste.

L'analyse de la méthode exposée de détermination de la productivité des sondeuses montre que celle-ci a quelques inconvénients parmi lesquels nous distinguons :

la division des pertes de temps en deux groupes selon leur caractère (régulier et fortuit) dans certains cas éventuels, exemple remplacement de l'outil de forage. Ces pertes de temps se rapportent aux opérations auxiliaires qui doivent s'effectuer durant chaque poste. Mais dans le cas du forage des trous dans les roches non abrasives, il n'est pas nécessaire de remplacer l'outil de forage assez souvent. Cela veut dire que cette opération portera le caractère aléatoire.

- Cette méthode ne permet pas d'apprécier séparément le degré de l'influence de la construction de la sondeuse, ou de l'organisation de travail sur le niveau de la productivité.

Afin d'éviter les inconvénients énumérés nous recommandons l'utilisation d'une méthode connue élaborée pour les abatteuses chargeuses /25/ pour déterminer la productivité des sondeuses.

Comme dans le cas précédent nous estimons qu'il est nécessaire de distinguer la productivité théorique, technique et d'exploitation et de calculer celle théorique de la façon suivante :

$$Q_{\text{théo}} = V_f \quad , \text{ m/min} \quad (\text{III.18})$$

La productivité technique doit tenir compte de l'influence de l'imperfection technique de la sondeuse envisagée sur sa productivité et s'exprime par la formule suivante :

$$Q_{\text{tech}} = 60 \cdot Q_{\text{théo}} \cdot K_{\text{tech}} \quad , \text{ m/h} \quad (\text{III.19})$$

Où K_{tech} – coefficient de l'imperfection technique de la sondeuse.

$$K_{\text{tech}} = \frac{T_f}{T_f + T_{\text{aux}}} \quad , \quad (\text{III.20})$$

Où T_f – temps de travail productif de la sondeuse pendant un cycle, (min) ;

$$T_f = \frac{L}{V_f} \quad , \quad (\text{III.21})$$

Où

L –métrage du trou foré, (m) ;

T_{aux} – pertes sommaires de temps à la réalisation des travaux auxiliaires aux temps d'arrêt de la sondeuse à cause de son imperfection.

$$T_{aux} = T_{man} + T_{al} + T_{dép} + T_{rep} + T_{rem} ; \quad (III.22)$$

Où T_{man} - temps de manipulation préliminaire avant le forage de chaque trou, (min) ;

T_{al} - temps de rallongement et de levage du train des tiges,

$T_{dép}$ - temps de déplacement de la sondeuse au nouvel trou, (min)

T_{rep} - temps de réparation de la sondeuse au nouvel trou, (min)

T_{rem} - temps de remplacement de l'outil de forage, (min)

D'où :

$$K_{tech} = \frac{1}{1 + \frac{T_{aux}}{T_f}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{man} + T_{al} + T_{dép} + T_{rep} + T_{rem}}{L} \cdot V_f} , \quad (III.23)$$

Afin d'apprécier l'influence de divers facteurs sur la productivité technique nous admettons que le coefficient K_{tech} est égal à

$$K_{man} = \frac{T_f}{T_f + T_{man}} , \quad (III.24)$$

- s'il n'existe que des opérations préliminaires de manipulation

$$K_{al} = \frac{T_f}{T_f + T_{al}} , \quad (III.25)$$

- s'il n'existe que des opérations de rallongement et de levage du train des tiges.

$$K_{dép} = \frac{T_f}{T_f + T_{dép}} , \quad (III.26)$$

- s'il n'existe que des opérations de déplacement de la sondeuse au nouvel trou.

$$K_{rep} = \frac{T_f}{T_f + T_{rep}} , \quad (III.27)$$

- s'il n'existe que des opérations de réparation de la sondeuse.

$$K_{\text{remp}} = \frac{T_f}{T_f + T_{\text{remp}}}, \quad (\text{III.28})$$

-s'il n'existe que des opérations de remplacement de l'outil de forage.

Après transformation de la formule (3.10) on reçoit :

$$K_{\text{tech}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{K_{\text{man}}} - 1\right) + \left(\frac{1}{K_{\text{al}}} - 1\right) + \left(\frac{1}{K_{\text{dé}}} - 1\right) + \left(\frac{1}{K_{\text{rp}}} - 1\right) + \left(\frac{1}{K_{\text{rem}}} - 1\right)}, \quad (\text{III.29})$$

L'expression obtenue de mettre en évidence les possibilités techniques des machines examinées en comparant les résultats des essais effectués.

- la productivité d'exploitation dépend du degré d'utilisation des possibilités techniques d'une sondeuse dans les conditions concrètes de l'exploitation.

$$Q_{\text{exp}} = 60 \cdot Q_{\text{théo}} \cdot K_{\text{exp}}, \quad (\text{III.30})$$

Où

K_{exp} – coefficient tenant compte du travail continu de la sondeuse pendant son exploitation.

$$K_{\text{exp}} = \frac{T_f}{T_f + T_{\text{aux}} + T_{\text{org}}}, \quad (\text{III.31})$$

Où T_{org} - perte de temps à cause de l'organisation du travail.

Dans ce cas il s'agit nécessairement d'exercer les opérations préparatoires (examen superficiel de la sondeuse, graissage) et de l'existence des pertes de temps à cause de l'organisation de travail (repos des ouvriers, manque de front de taille).

Analogiquement nous pouvons écrire :

$$K_{\text{exp}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{\text{aux}} + T_{\text{org}}}{T_f}}, \quad (\text{III.32})$$

En utilisant la méthode proposée il est possible d'établir l'influence de divers facteurs sur la productivité des machines en question et de faire les propositions visant leur augmentation.

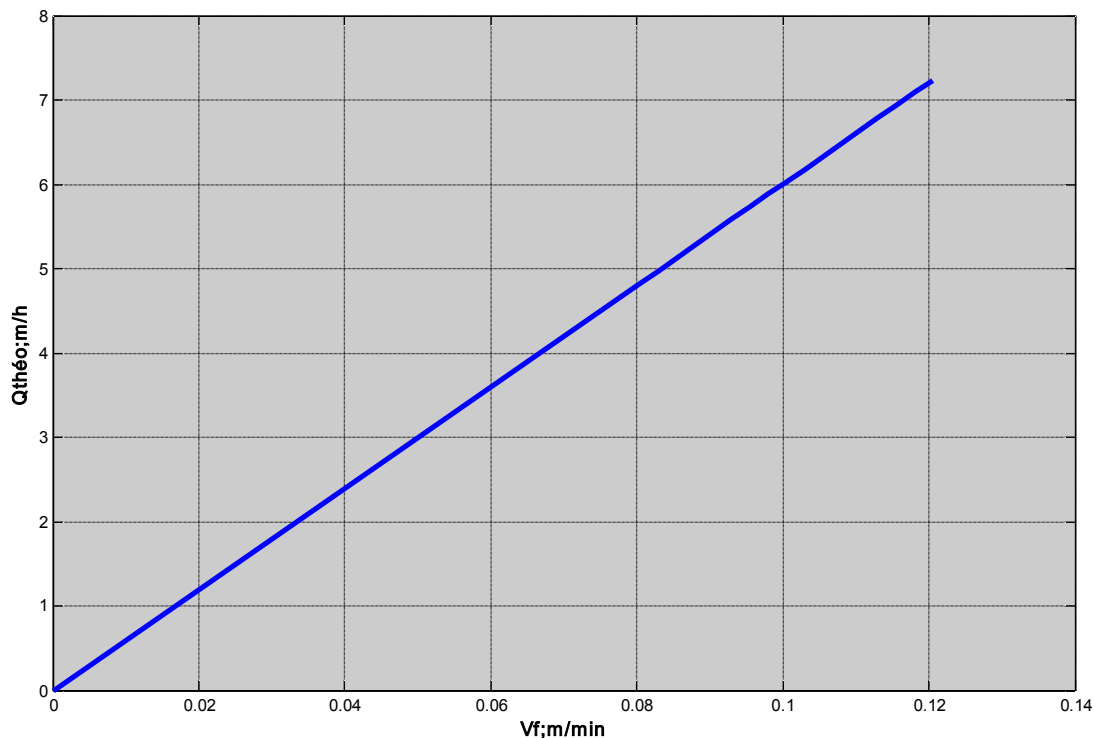
Tab III. 12 Résultats expérimentaux réalisés dans les conditions de la carrière d'Ouenza

E	Vf , m/mn	H , m	Qthé	Ktech	Qtech	Kexp	Qexp
01	0,0804	124	4,824	0,928	4,476	0,885	4,269
02	0,0829	123	4,974	0,925	4,600	0,882	4,387
03	0,0854	113	5,124	0,917	4,698	0,869	4,452
04	0,0879	110	5,274	0,913	4,815	0,863	4,551
05	0,0904	107	5,424	0,908	4,924	0,855	4,637
06	0,0929	101	5,578	0,901	5,025	0,845	4,713
07	0,0954	99	5,729	0,896	5,133	0,838	4,800
08	0,0979	87	5,879	0,881	5,179	0,817	4,803
09	0,1005	84	6,030	0,875	5,276	0,807	4,866
10	0,1030	62	6,181	0,833	5,148	0,750	4,635
11	0,1055	52	6,332	0,804	5,090	0,712	4,508
12	0,1080	50	6,482	0,794	5,146	0,698	4,524
13	0,1105	42	6,633	0,760	5,041	0,656	4,351
14	0,1130	32	6,784	0,702	4,762	0,586	3,975
15	0,1155	30	6,935	0,684	4,743	0,566	3,925
16	0,1180	25	7,085	0,638	4,520	0,514	3,641
17	0,1206	24	7,236	0,625	4,522	0,5	3,618

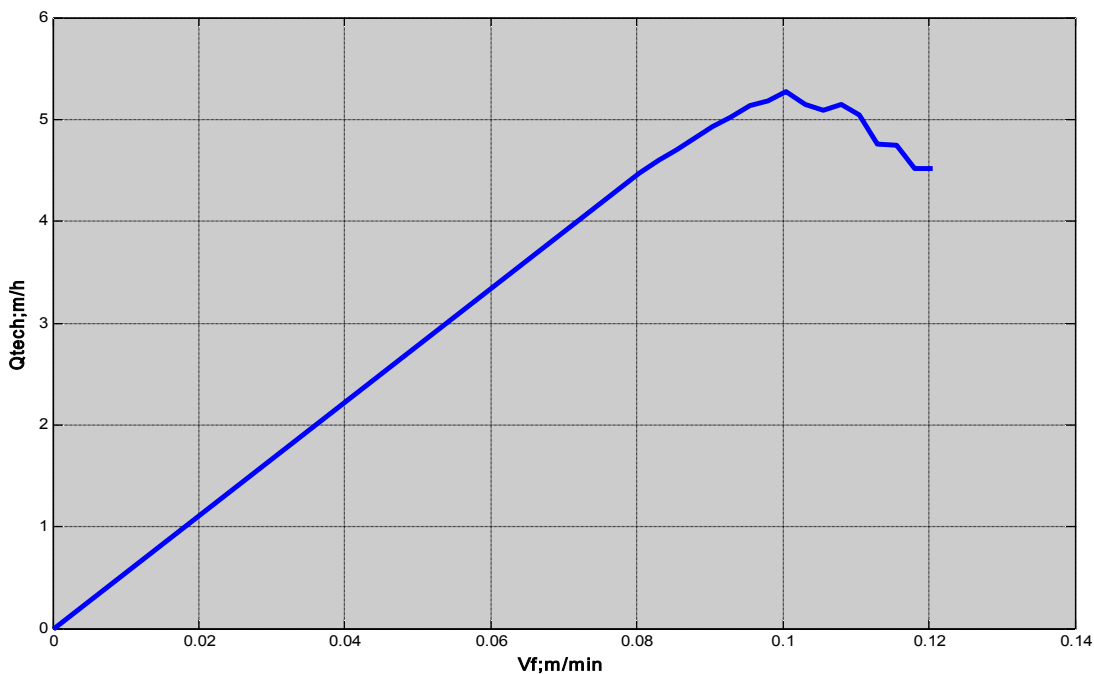
- Avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$.
- Vitesse de rotation $n_1= 60\text{tr/mn}$.

On a appliqué le logiciel Matlab sur les résultats de l'étude expérimentale, on obtient :

les courbes $Q_{théo} = f(V_{f1})$, $Q_{tech} = f(V_{f1})$, $Q_{exp} = f(V_{f1})$, $Q = f(V_{f1})$



FigIII.9. La variation de la productivité théorique (Qttheo) en fonction de la vitesse de forage (Vf)



FigIII.10. La variation de la productivité technique (Qttech) en fonction de la vitesse de forage (Vf)

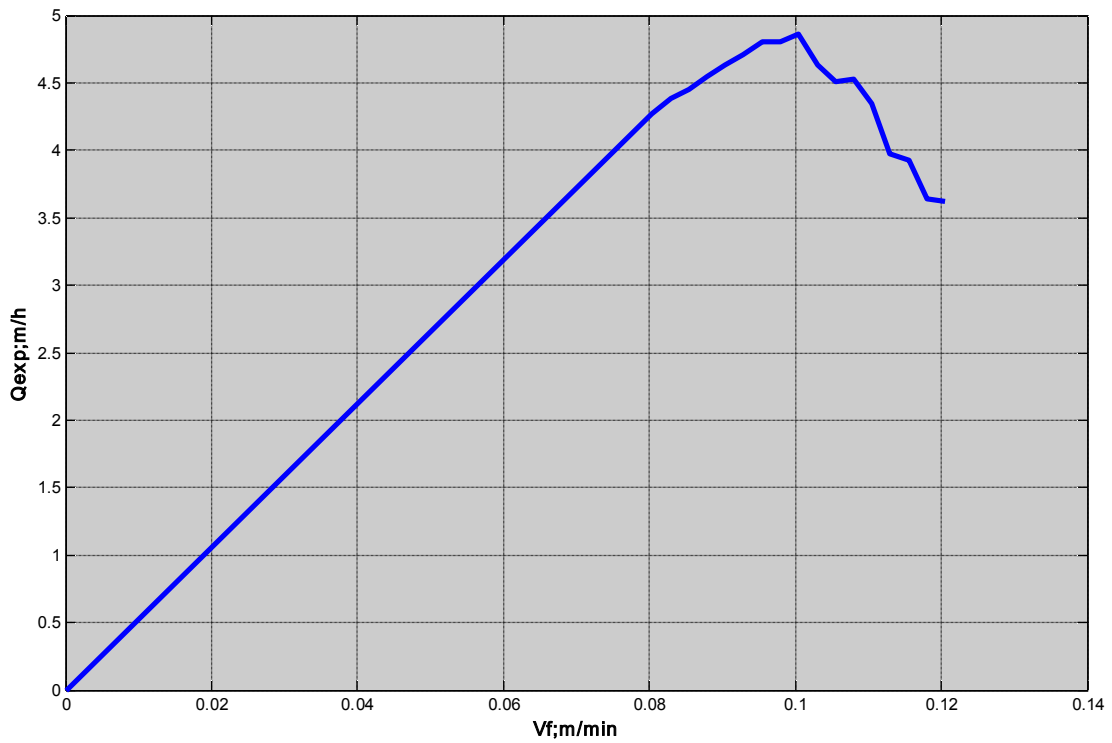


Fig. III.11. La variation de la productivité d'exploitation (Q_{exp}) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

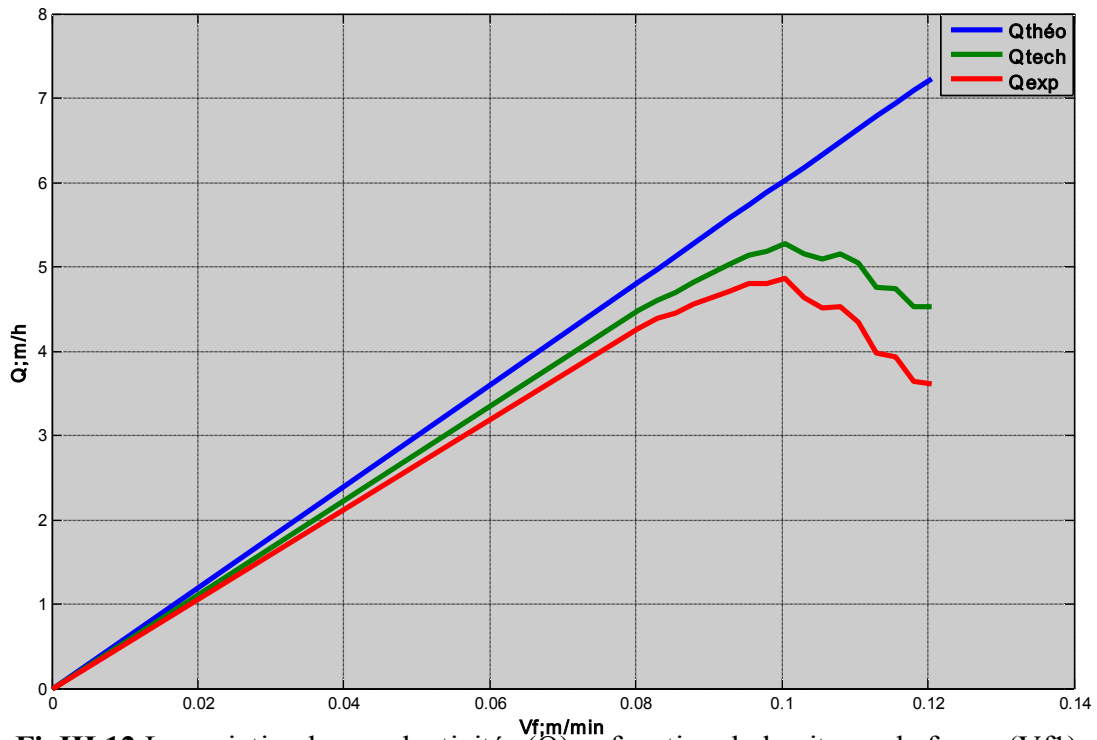
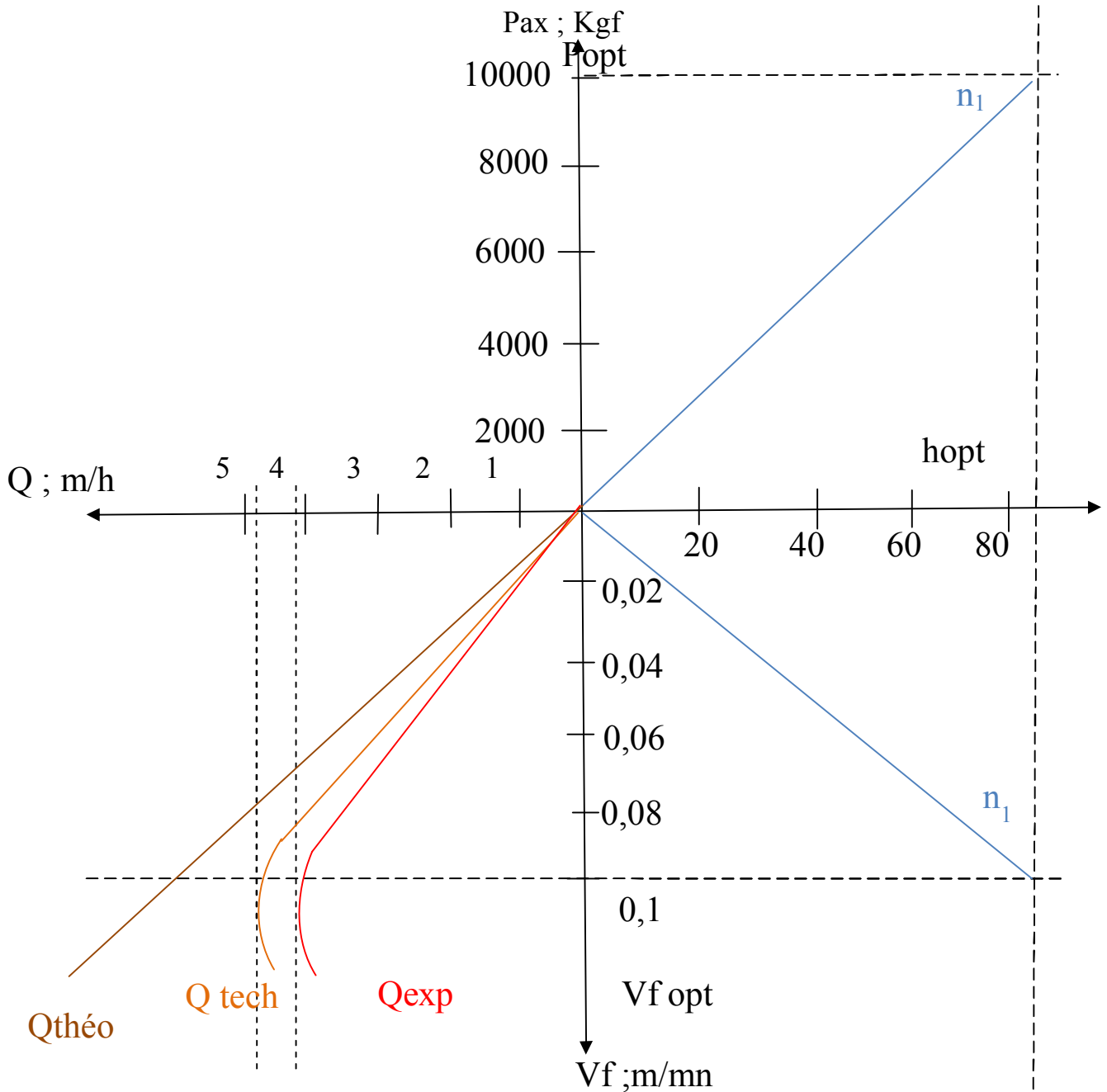


Fig. III.12. La variation des productivités (Q) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

Interprétation des figures (III.9), (III.10), (III.11), (III.12) :

-On remarque que la vitesse de forage (V_{fi}) augmente tant que la productivité théorique augmente.

-On remarque que la vitesse de forage (V_{fi}) augmentent tant que la productivité technique et exploitation augmentent jusqu'à certain valeur de la vitesse de forage, les productivités technique et d'exploitation diminues.



Tab III .13 Résultats obtenus dans les conditions de la carrière d'Ouenza

Fig.III.13. nomogramme des résultats expérimentaux avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $n_1 = 60 \text{ tr/mn}$

E	Vf , m/mn	H , m	Qthé	Ktech	Qtech	Kexp	Qexp
01	0,1340	220	8,040	0,931	7,485	0,891	7,163
02	0,1382	216	8,292	0,928	7,694	0,886	7,346
03	0,1423	204	8,543	0,924	7,885	0,880	7,517
04	0,1465	202	8,794	0,920	8,090	0,873	7,677
05	0,1507	174	9,045	0,906	8,194	0,852	7,706
06	0,1549	172	9,297	0,902	8,385	0,848	7,883
07	0,1591	167	9,548	0,897	8,564	0,840	8,020
08	0,1633	162	9,799	0,892	8,740	0,830	8,133
09	0,1675	160	10,050	0,888	8,924	0,827	8,311
10	0,1717	137	10,302	0,869	8,952	0,800	8,241
11	0,1758	120	10,553	0,851	8,980	0,774	8,168
12	0,1800	100	10,800	0,822	8,877	0,735	7,938
13	0,1842	77	11,056	0,777	8,590	0,676	7,473
14	0,1884	70	11,307	0,756	8,548	0,650	7,349
15	0,1926	57	11,558	0,722	8,344	0,597	6,900
16	0,1968	46	11,809	0,661	7,805	0,539	6,365
17	0,2010	44	12,061	0,645	7,779	0,522	6,295

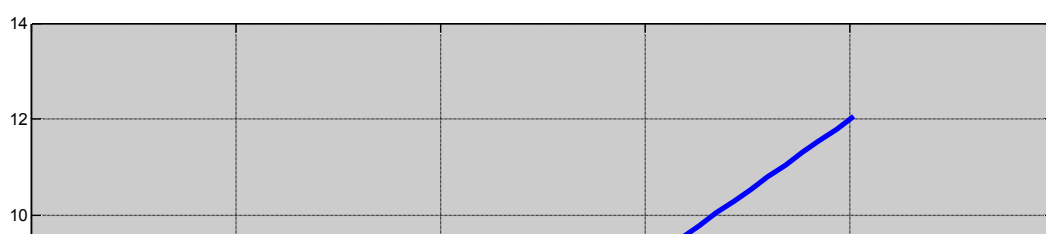
- A

vec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$.

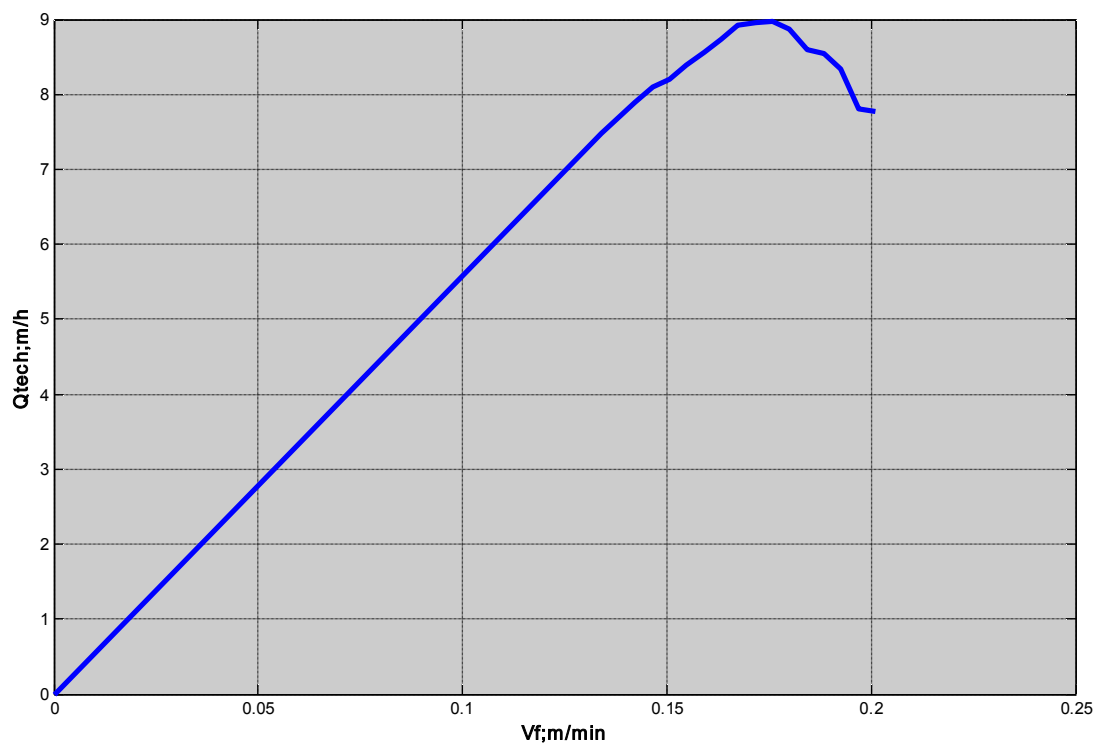
- Vitesse de rotation $n_2=80\text{tr/mn}$.

On a appliqué le logiciel Matlab sur les résultats de l'étude expérimentale, on obtient :

les courbes $Q_{théo} = f(V_{f2})$, $Q_{tech} = f(V_{f2})$, $Q_{exp} = f(V_{f2})$, $Q = f(V_{f2})$



FigIII.14 La variation de la productivité théorique (Q_{theo}) en fonction de la vitesse de forage (V_f)



FigIII.15 La variation de la productivité technique (Q_{tech}) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

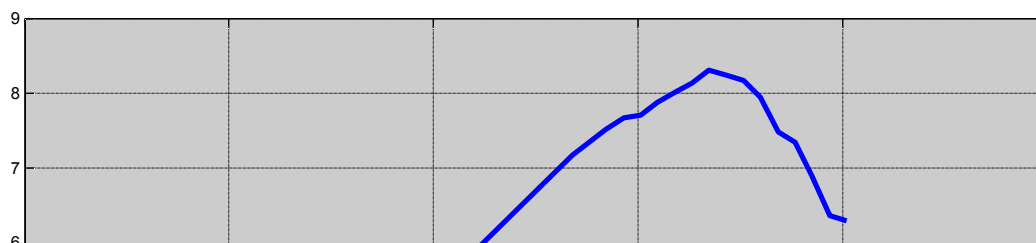


Fig III .16.La variation de la productivité d'exploitation(Q_{exp})en fonction de la vitesse de forage(V_f)

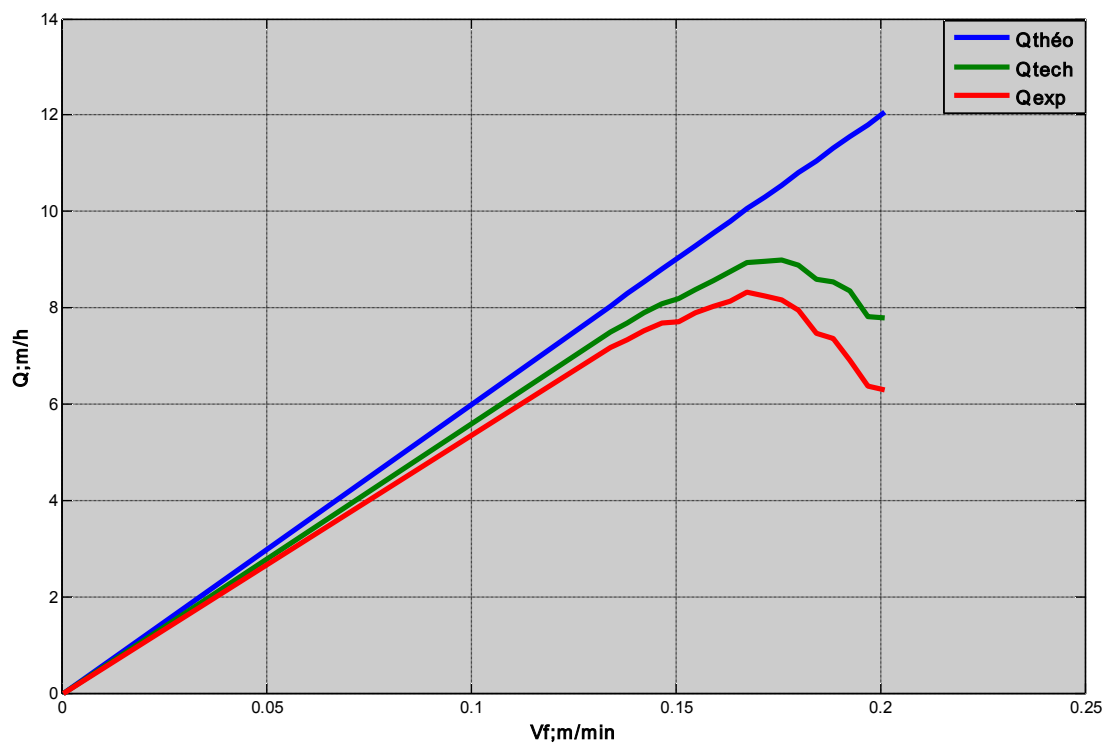


Fig III.17.La variation des productivités (Q) en fonction de la vitesse de forage(V_f)

➤ **Interprétation des figures (III.14), (III.15), (III.16),(III.17) :**

-On remarque que la vitesse de forage (V_f) augmente tant que la productivité théorique augmente.

-On remarque que la vitesse de forage (V_f) augmentent tant que la productivité technique et exploitation augmentent jusqu'à certain valeur de la vitesse de forage, les productivités technique et d'exploitation diminues.

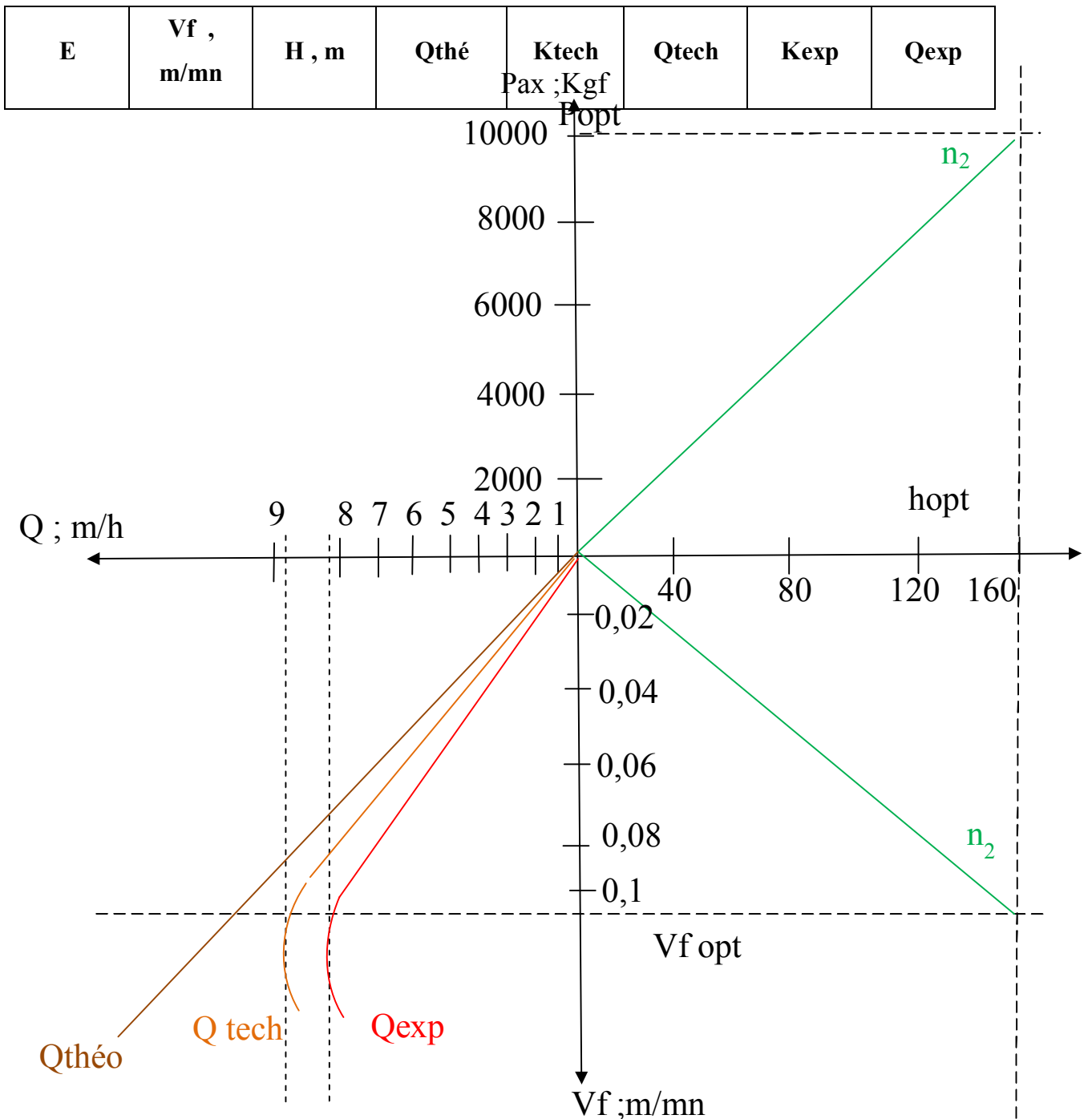


Fig.III.18– nomogramme des résultats expérimentaux avec l’outil de diamètre
Tab III .14 Résultats obtenus dans les conditions de la carrière d’Ouenza
 $d=100mm, n_2 = 80$ tr/mn

01	0,1072	191	6,423	0,937	6,018	0,899	5,774
02	0,1105	187	6,630	0,934	6,192	0,894	5,927
03	0,1139	185	6,834	0,931	6,362	0,891	6,089
04	0,1172	183	7,032	0,928	6,525	0,886	6,230
05	0,1206	155	7,236	0,914	6,613	0,865	6,259
06	0,1239	153	7,434	0,912	6,779	0,861	6,400
07	0,1273	148	7,638	0,906	6,920	0,853	6,515
08	0,1306	143	7,836	0,901	7,060	0,846	6,629
09	0,1340	141	8,040	0,897	7,211	0,840	6,753
10	0,1373	118	8,238	0,877	7,224	0,811	6,681
11	0,1407	101	8,442	0,857	7,234	0,782	6,601
12	0,1440	81	8,640	0,824	7,119	0,737	6,367
13	0,1474	58	8,844	0,766	6,774	0,663	5,863
14	0,1507	51	9,042	0,739	6,682	0,620	5,606
15	0,1541	38	9,246	0,672	6,213	0,552	5,103
16	0,1574	27	9,444	0,588	5,553	0,462	4,363
17	0,1608	25	9,648	0,565	5,451	0,438	4,225

- Avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$.
- Vitesse de rotation $n_3= 100\text{tr/mn}$.

On a appliqué le logiciel Matlab sur les résultats de l'étude expérimentale, on obtient :

les courbes $Q_{théo} = f(V_{f3})$, $Q_{tech} = f(V_{f3})$, $Q_{exp} = f(V_{f3})$, $Q = f(V_{f3})$

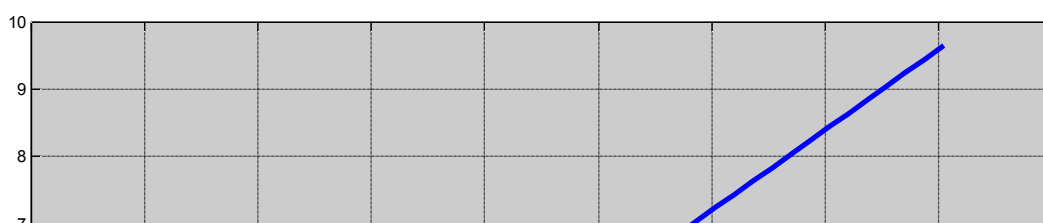


Fig III.19. La variation de la productivité théorique ($Q_{théo}$) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

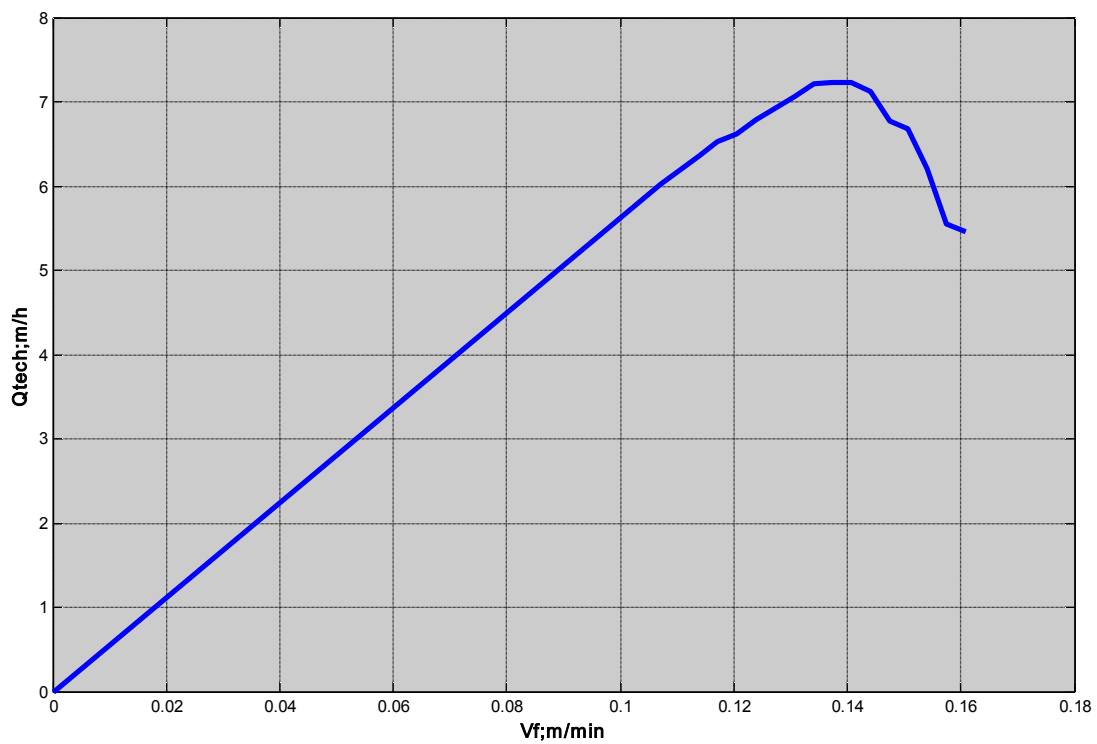


Fig III.20. La variation de la productivité technique (Q_{tech}) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

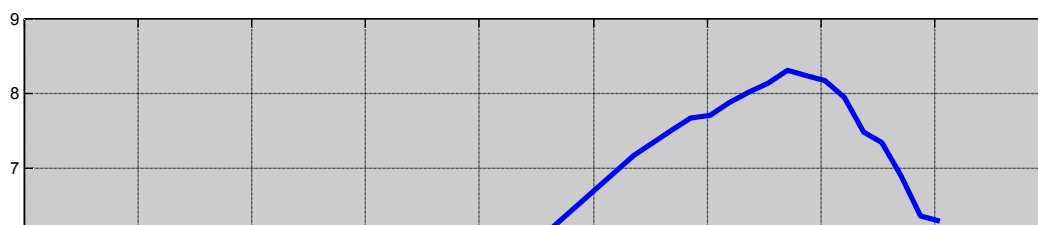
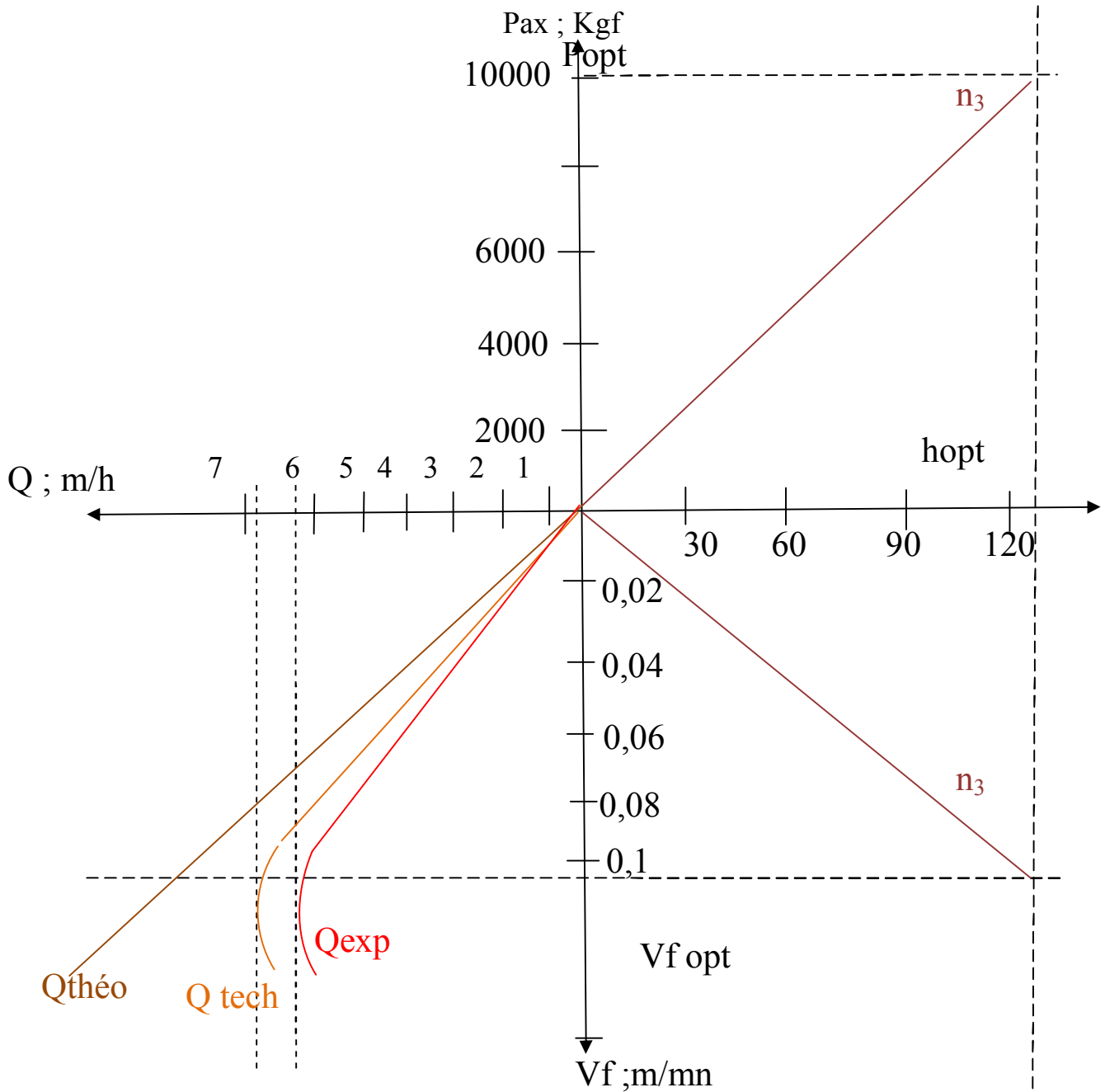


Fig III.21. La variation de la productivité exploitation (Q_{exp}) en fonction de la vitesse de forage (V_f)

➤ **Interprétation des figures (III.19), (III.20), (III.21) :**

-On remarque que la productivité théorique augmente tant que la vitesse de forage (V_f) augmente.

-On remarque que les productivités technique et exploitation augmentent jusqu'à certain valeur de la vitesse de forage, les productivités technique et d'exploitation diminues, tant que la vitesse de forage (V_B) augmentent.



III-6-Comparaison des résultats de calcul et ceux obtenus expérimentalement

Fig.III.23. nomogramme des résultats expérimentaux avec l'outil de diamètre $d=100\text{mm}$, $n_3=100\text{ tr/min}$
 Les résultats obtenus théoriquement par les méthodes de calcul en question portent le caractère qualitatif et peuvent être considérés comme approximatif, c'est pourquoi il est nécessaire de

prolonger la recherche en question en se basant sur l'étude expérimentale de processus de forage vu sa complexité.

Afin de simplifier le processus de calcul et obtenir rapidement les résultats, nous avons effectué les calculs statistiquement à l'aide de la méthode de moindre carré, en calculant les coefficients des équations du système afin de déterminer les paramètres rationnels du régime de fonctionnement des machines.

Ces derniers ont fait ressortir l'information suivante: en variant les paramètres de réglage de la machine, nous pouvons déterminer ou calculer les productivités techniques, d'exploitation, et le prix de revient en fonction de la vitesse de forage et du métrage foré.

L'indice permettant de limiter les paramètres de réglage de la machine est un indice technico-économique.

Ce dernier vérifie exactement la rationalité du régime de fonctionnement des machines de forage.

Bien que représenté sur le nomogramme, nous pouvons dire que pour l'étude faite avec l'utilisation de l'outil avec le diamètre $d=100\text{mm}$, nous avons la pression axiale $p=10000\text{kgf}$, la vitesse de rotation $n_{r1}=60\text{tr/mn}$ et $n_{r2}=80\text{tr/mn}$, $n_{r3}=100\text{tr/mn}$.

Conclusion :

-Après plusieurs essais, on est arrivé à déterminer les valeurs de constantes liées à la nature de la formation de la carrière de l'Ouenza.

-Les équations prises en considération pour établir les paramètres de forage sont vérifiées et peuvent être considérées comme équations de base de forage à taillant coupant dans les conditions des carrières algériennes.

IV- Détermination des régimes rationnels de fonctionnement des machines de forage rotatif :

VI-1-Critères et modes du choix des régimes de fonctionnement rationnels des machines de forage :

Il existe un point de vue commun sur la question du choix de type rationnel d'outil et les régimes de leur travail.

Il consiste en présence pour chaque variété de la roche un type d'outil qui est capable de le détruire le plus efficacement avec le régime de forage rationnel.

La diversité des roches leur composition pétrographique différente, les propriétés mécaniques etc. Oblige de résoudre ce problème pour les groupes des roches possédant des propriétés variantes dans les limites assez étroites.

En qualité de l'appréciation de l'efficacité du choix du type de l'outil et des régimes de fonctionnement, un nombre de chercheurs /18,19/ prennent en considération la vitesse de forage et le métrage de l'outil.

Les chercheurs de travail des taillants coupant dans les branches de l'industrie du pétrole, et d'autres /17/ ont recommandé en qualité de ce critère deux indices, vitesse maximale de forage, et prix de revient d'un mètre du trou foré.

La pratique montre que la présence de deux critères provoque parfois le non détermination de la résolution du problème. La structure du prix de revient d'un mètre du trou foré se compose de deux parties, dépenses dépendants du temps liés à la productivité des travaux de forage ainsi qu'au métrage pour l'outil. D'ici 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.

Lors de la réalisation des travaux miniers en qualité du critère généralisé de l'efficacité de n'importe quelle méthode de forage, on peut 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 de la sortie de la masse rocheuse.

Dans ce cas on tient compte de l'organisation des travaux de tir, du diamètre de forage, et de la maille de disposition des trous de mine, ainsi que de la granulométrie de la roche abattue etc. Cela permet de recommander ce critère lors de la projection des travaux de tir et au cours du choix des machines de forage. Ce critère par exemple a été utilisé par Mr. OUADI M. /38/ .

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

Ce dernier est déterminé d'après la formule suivante :

$$C = \frac{C_p}{Q_{exp}} + \frac{C_{ou}}{H} ; \text{DA /m}; (IV.1)$$

Ou C : prix de revient d'un mètre du trou foré ;

Q_{exp} : productivité d'exploitation lors de forage dans les conditions déterminées avec la combinaison constante des paramètres de forage, m /poste

C_{ou} : prix de l'outil, DA ;

H : le métrage des trous forés se rapportant à un outil,

D'ici on voit que dans la formule(IV.1)

Q_{exp} et H : sont les fonctions de la vitesse de forage et par conséquent de la vitesse de rotation et de force axiale appliquée ; le problème posé consiste à déterminer les valeurs des paramètres de réglage ou le prix de revient d'un mètre foré minimal.

C_p : dépenses se rapportant à l'exploitation de la machine de forage ; DA /poste.

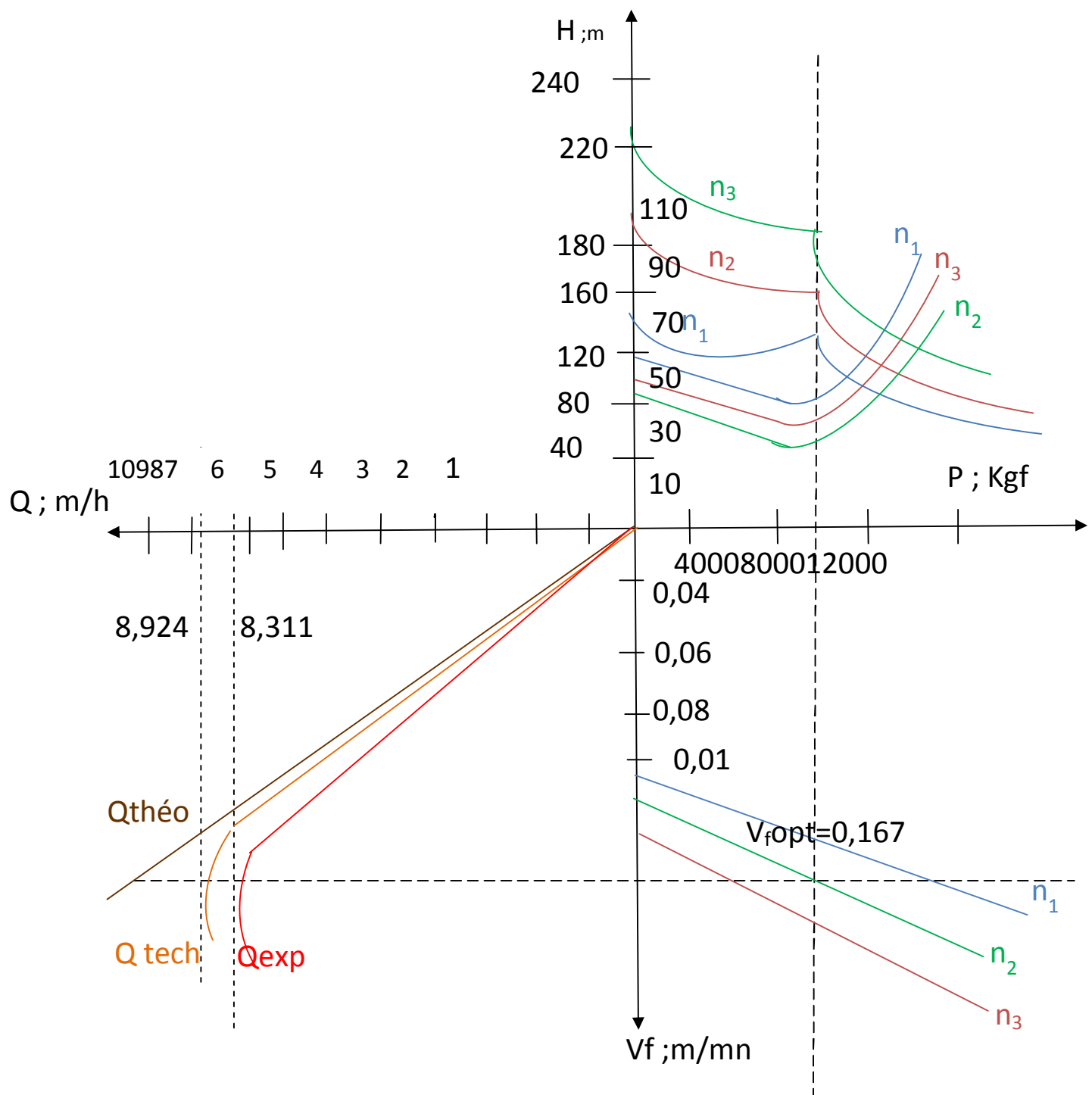
$$C_p = C_S + C_e + C_{ma} + C_{rép} + C_a ; \text{DA/poste.} \quad (IV.2)$$

C_a : cout de la machine amorti.

$$C_a = \frac{C_{mach}}{n_a.n_j.n_p} = \frac{C_{mach}.N}{n_j.n_p} (IV.3)$$

$$N = \frac{1}{q} = 0,2$$

N : norme d'amortissement ; C_S : le salaire de l'ouvrier par poste ; $C_{rép}$: le cout de la réparation par poste ; C_e : le cout de l'énergie par poste ; C_{ma} : le cout de la matière (graissage).



FigIV.1.Détermination des valeurs optimales du régime de fonctionnement des machines de forage rotatif

IV-2-Proposition des méthodes de la détermination du régime rationnel de fonctionnement des machines de forage a taillant coupant

Comme nous l'avons remarqué dans le chapitre précédent, le calcul du prix de revient d'un mètre du trou foré, vérifie exactement la rationalité du régime de fonctionnement de la machine.

La comparaison graphique des résultats de calcul obtenus théoriquement avec ceux obtenus expérimentalement a fait ressortir que la méthode la plus proche des résultats réels est de PERETOLCHKINE.

Donc on recommande l'application de cette dernière méthode lors de l'utilisation des machines de forage pour les mêmes conditions de la carrière de fer d'Ouenza.

Les paramètres rationnels du régime de fonctionnement des machines de forage a taillant coupant dans les conditions de la carrière citée ci-dessus sont représentés dans le tableau IV.1 ;

Tab IV.1 Paramètres optimaux de la sondeuse a taillant coupant

Vitesse de rotation, tr/min		P_{ax} ; Kgf	V_f ; m /min	Productivités			C DA/m
				$Q_{thé}$; m/h	Q_{tech} ; m/h	Q_{exp} ; m/h	
n_1	100	10000	0,1340	8,040	7,211	6,753	40,28
n_2	80		0,1675	10,050	8,924	8,311	36,22
n_3	60		0,1005	6,030	5,276	4,866	38,42

Conclusion

- 1- En résultat de recherches réalisé on a abouti à la conclusion que dans les conditions des carrières employant les moyens de forage défini, il est préférable d'utiliser le critère de prix de revient d'un mètre du trou foré pour déterminer les paramètres des régimes de fonctionnement rationnels.
- 2- Les particularités du modèle propose consistent dans la présentation de la productivité d'exploitation sou la forme proposée et en absence de l'influence des paramètres de réglage sur le métrage foré par un outil.
- 3- Pour assurer le prix de revient d'un mètre du trou foré minimal. Il faut chercher a travailler avec la force axiale appliquée et la vitesse de rotation optimales en se limitant par l'apparition des vibrations de la machine et le coincement de l'outil.
- 4- L'augmentation de la force axiale et la vitesse de rotation jusqu'à leurs valeurs optimales provoque l'accroissement de la vitesse de forage. Au-delà de ces limites la productivité de la machine diminue ce qui s'explique par la détérioration de l'outil de forage et les vibrations dues aux déséquilibres de la machine.

Conclusion générale :

Dans cette présente thèse portant le titre « Optimisation des paramètres techniques des machines de forages rotatif à taillant coupant » on a essayé d'étudier les principaux processus ayant une relation avec le mode d'exploitation du gisement de fer d'Ouenza.

L'analyse des sources bibliographiques et l'étude des conditions géologiques et minières des carrières de fer algériennes ; ainsi que les généralisations correspondantes faites ont permis de recommander l'utilisation du mode de forage rotatif ; car ce dernier assure les meilleures indices technico économiques ; en même temps et se malgré l'existence des recherches scientifique réalisées liées à l'utilisation du mode de forage rotatif renferment quelques points mal étudiés .

Ce travail permet de faire une synthèse sur les résultats obtenus :

1. Le forage rotatif assure les meilleurs indices technico- économique, en même temps et ce malgré l'existante des recherches scientifique réalisées liées à l'utilisation du mode de forage renferment quelques points mal étudiées, surtout s'il y a de l'application de l'outil à taillant coupant.
2. Les méthodes théoriques nous permettant de déterminer la hauteur d'enfoncement de l'outil en fonction des paramètres géométrique de l'outil, paramètres de réglage de la machine, et propriétés physico mécaniques de la roche.
3. La réalisation du forage expérimentale, son chronométrage dans les conditions réelles.

4. L'analyse des critères du choix de fonctionnement rationnel des sondeuses a abouti à l'utilisation du critère du prix de revient d'un mètre du trou foré. Dans notre cas pour assurer le prix de revient minimum d'un mètre du trou foré, il faut chercher à travailler avec les paramètres techniques de la machine les plus élevés en.

5. Les résultats obtenus expérimentalement montrent que les équations de détermination des paramètres optimaux de forage sont vérifiées et peuvent être appliquées conformément aux conditions d'exploitation des carrières algériennes.

Bibliographie :

- 1- VINOGRADO V.VC. Equipement sur la mécanisation de production dans les carrières sous la rédaction générale de VINOGRADOV Moscou édition Nedra 1974.
- 2- ALIMOV G.
DVORNIKOV L. T. Machine de forage Moscou édition Mashinostroyeniye année 1976.
- 3- CIMKINE B. A. Aide mémoire de forage dans les carrières sous la rédaction de CIMKIN B. A. Moscou Nedra 1981.
- 4- Revue Séminaire sur l'étude des propriétés physico mécaniques des roches Meliana N°1 année 1987.
- 5- MURRAY R.
SPIEGEL Probabilité et statistique Paris année 1985.
- 6- CHIPOVSKI I. A Découpage des roches moyennes duretés par coupeau de grande section série machines minières et automatisation édition T.Z.N.I.I.T.I. charbon Moscou année 1967 N°56.
- 7- KRAPIVINE M. G Recherche des dépendances décrivant le processus de forage année 1967 à nos jours.
- 8- CHAMCHEV F. A Technologie et technique de forage de prospection édition Nedra Moscou année 1966.
- 9- RADIONOV F. A Etablissement des paramètres essentiels caractérisant le processus de forage 1935+1936.
- 10- EPCHTEIN Analyse du régime de travail des tarières dans les conditions du laboratoire année 1940 et 1949.
- 11-CHRAINER A.
PETROV O.P.
YAKOCHEV V.P. Augmentation des bases physique du processus de destruction de la roche au forage 1969.
- 12-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.
- 13- ALIMOV O. D. Tentatives d'établissement du cor relations ou de proportion rationnel entre les paramètres de forage 1976.
- 14- KRAPIVINE N. G. Recherche des dépendances décrivant le processus de forage année 1967.
- 15- BERON A. I. Etat contemporain des études sur les propriétés physicomécaniques des roches et des découpages Moscou édition SKOTCHINKI A. A. année 1967.

- 16- GEUTOPANOV V. N. Influence des paramètres géométriques de l'outil au processus de la destruction des roches, recueil d'ouvrage MIRGEM N°41 année 1962.
- 17-MIKHAILOV B. G. Instruments des mines Moscou édition nédra année 1970.
KRAPIVINE M. G.
- 18- ALIMOV O. D. Machine de forage, construction.
- 19-KRAPIVINE M. G. Etude de l'influence des paramètres géométriques de l'outil a taillant coupant a la charge et à l'usure de l'outil édition journal des mines N°1
RAKOV I. A. année 1970.
MIKHAILOV B. G.
- 20- KRAPIVINE M. G. Régularité de base de l'usure et stabilité de l'outil dans les machines pour abattage année 1972.
- 21- POKROVSKI A. I. Etude et choix de l'outil coupant pour les organes d'exécution Moscou édition I.G.D. SCOTCHINSKI A. A. année 1969.
- 22- ORLOV V. Usure de l'outil lors du découpage des roches Moscou édition nedra 1969
- 23- MOSMOTRIAIE V. Etude sur contrainte du contact au bord de l'outil Moscou série des méthodes physico techniques de la destruction des roches année 1969.
- 24- KOUTCERO V. Technologie et technique du forage de prospection édition nedra Moscou 1965.
- 25- SOUKHANO V. Détermination de la vitesse mécanique de forage en fonction des paramètres des régimes de forage revue M. E. S. N°1 année 1967.
- 26-EPCHTEIN Technologie de forage lors de l'exploitation du gisement Moscou édition nedra 1939.
- 27-ALIMOV O. D. Régime du forage et les chemins pour l'augmentation de la productivité du forage série destruction des roches par le procédé mécanique Moscou édition science année 1976.
- 28-BARON L. Propriétés mécaniques et abrasives des roches Moscou édition
CHRAINERT. GOSRTEKHIZDAT année 1958.
- 29- Khibitchev Kik Prospection de la technologie des mines Moscou édition science.
Rabinder
- 30-RAKOV I. Méthode de calcul des régimes de forage des sondeuses, IMM Université d'Annaba 1983.
- 31-PERETOLTCHINE Calcul théorique de la productivité des sondeuses rotatives a taillant coupant. Journal minier N°6 1968.
- 32-LUBRHN M. Analyse des facteurs influant la marche d'abattage a pics France industrie

- minérale 1 983 275-292p.
- 33-CATALOGUE Catalogue de l'appareil de mesure des vitesses de rotation (tachymètre magnétique a main).
- 34- BARON L. I. Abrasivité des roches lors de l'abattage Moscou édition des sciences
KOUZNOTSOV A. V. URSS année 1961.
- 35- BARON L. I. Usure de l'outil lors du découpage des roches Moscou édition nedra 1969.
ATMEN L. B.
- 36-AMZALLAG E. Introduction a la statistique France Dunod 1969.
PICCIOLI N.
- 37-MILHOMME Optimisation de la vitesse d'avancement du forage revue de l'institut Français du pétrole.
- 38-OUADI M. Etude de l'efficacité technique d'utilisation des machines de forage dans les conditions de carrières de hadjar-soud année 1985.
- 39-DALIA A. Etude de la détermination des régimes de fonctionnement des machines de forage roto percutant dans les conditions des carrières de calcaire algérienne année 1988.
- 40-BADALOV .R.A. Détermination de la vitesse mécanique du forage en fonction des paramètres du régime de forage. Revue « Pétrole et gaz » M.E.S.N°1-1960.
- 41-KHOICHEMANE .L. Optimisation des paramètres des machines de forage a molettes –Dans les conditions de la carrière de ONENZA-Université d'Annaba année 2007.
- 42-KHOICHEMANE L. Augmentation de l'efficacité technique d'utilisation des machines de forage rotatif à taillant coupant Université d'Annaba année 1990.

ANNEXE :

Données de départ :

- 1) Productivité de l'unité $Q=.550+06 \text{ m}^3/\text{an}$
- 2) Diamètre du morceau moyen $D=.400^E+03 \text{ mm}$
- 3) Hauteur du gradin minimale $H=.120^E+02 \text{ m}$
- 4) Propriété de la roche
 - Dureté $F=.700^E+01$
 - Fissurité $LAMDA=.300^E+01 \text{ m}^{-1}$
 - Densité $GAMMA=.200^E+01 \text{ t/m}^3$
 - Humidité NON HUMIDE
 - Abrasivité NON ABRASIVITE

.850E+00 .950E+00 .900E+00 .700E+00 .831E+00 .810E+00

.820 E+00 .840E+00 .490E+00 .510E+01 .620E+00

.250E+00 .250E-01 .700E+00 .120E+00 .800E+01 .800E+01