

Essais comparatifs d'un lot de marteaux-perforateurs

par H. van DUYSE

Ingénieur Principal à INICHAR.

SAMENVATTING

De laatste jaren werd een belangrijke vooruitgang gemaakt bij de constructie van boorhamers.

In zacht terrein bereikt men zeer gemakkelijk ogenblikkelijke boorsnelheden van meer dan 1 m/min.

Er werden vergelijkende proeven verricht met boorhamers van 13 verschillende typen in steengroeven van klein graniet en zachte zandsteen.

Bij eenzelfde persluchtdruk vermindert de ogenblikkelijke boorsnelheid met 20 % wanneer men overgaat van een doormeter van 32 mm op één van 38 mm.

In zandsteen verhoogt de ogenblikkelijke boorsnelheid met 73 % bij een stijging van de dynamische luchtdruk van 4 kg/cm² tot 5,7 kg/cm²; in klein graniet bedraagt de verhoging van de ogenblikkelijke snelheid 55,5 % bij een toeneming van dynamische druk van 3,9 tot 5,5 kg/cm².

Het luchtdrukverbruik per minuut varieert van het enkele tot het dubbele naargelang de gebruikte boorhamer. Het verbruik per geboorde meter echter, dat het werkelijke verbruik daarstelt, is onafhankelijk van het type boorhamer dat men bezigt.

Het persluchtverbruik per geboorde meter verandert bijna niet met de persluchtdruk zolang de doormeter van het boorgat dezelfde blijft.

Daarentegen verhoogt het verbruik met 24 % wanneer men overgaat van een doormeter van 32 mm op één van 38 mm en dat bij dezelfde persluchtdruk.

De kostprijs van het boren is sterk veranderlijk met het type van boorhamer, de persluchtdruk en de doormeter van het boorgat.

INHALTSANGABE

Auf dem Gebiet der Konstruktion von Bohrhämmern haben die letzten Jahre erhebliche Fortschritte gebracht. In weichem Gebirge sind Bohrgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/min. durchaus

RESUME

Des progrès importants ont été réalisés ces dernières années dans la construction des marteaux-perforateurs.

En terrains tendres, on atteint couramment des vitesses instantanées de forage dépassant 1 m/min.

Des essais comparatifs de 13 types de marteaux-perforateurs ont été effectués dans des carrières de petit granit et de grès tendre.

Pour une même pression d'air comprimé, la vitesse instantanée de forage diminue de 20 % en passant d'un diamètre de 32 à 38 mm.

En grès, la vitesse instantanée de forage augmente de 73 % en passant d'une pression dynamique d'air comprimé de 4 kg/cm² à 5,7 kg/cm²; en petit granit, l'augmentation de la vitesse instantanée est de 55,5 % en passant d'une pression dynamique de 3,9 à 5,5 kg/cm².

La consommation d'air comprimé par minute varie du simple au double suivant les marteaux. Mais la consommation par mètre de trou foré, qui correspond à la consommation réelle, est indépendante du type de marteau-perforateur employé.

La consommation d'air comprimé par mètre de trou ne varie presque pas avec la pression d'air comprimé dans le cas d'un même diamètre de trou. Elle augmente par contre de 24 % en passant d'un diamètre de 32 à 38 mm pour une même pression d'air comprimé.

Le prix de revient du forage peut varier fortement suivant le type de marteau-perforateur, la pression d'air comprimé et le diamètre du trou de forage.

SUMMARY

Important progress has been achieved in recent years in the construction of hammers drills.

In soft rocks, instantaneous drilling speeds of over 1 m/minute have been reached.

normal. Wir haben mit 13 verschiedenen Bohrhämmertypen vergleichende Versuche in Steinbrüchen angestellt, von feinkörnigem Granit und zu sehr weichem Schiefer. Bei gleichem Luftdruck nimmt die Bohrgeschwindigkeit beim Uebergang von 32 zu 38 mm Durchmesser um 20 % ab.

Im Sandstein steigt die Bohrgeschwindigkeit bei Erhöhung des Luftdrucks von 4 auf 5,7 kg/cm² um 73 % ; in feinkörnigem Granit nimmt die Bohrgeschwindigkeit bei Erhöhung des Drucks von 3,9 auf 5,5 kg/cm² um 55 % zu. Der Druckluftverbrauch je Min. schwankt je nach der Hammertype im Verhältnis 1 zu 2 ; der Luftverbrauch je m Bohrloch allerdings, der dem tatsächlichen Verbrauch entspricht, ist von der Art des eingesetzten Bohrhammers unabhängig. Bei gleichem Lochdurchmesser verändert sich der Druckluftverbrauch je gebohrten m so gut wie gar nicht mit der Aenderung des Luftdrucks, wohl aber steigt er bei Erhöhung des Bohrl Lochdurchmessers von 32 auf 38 mm bei gleichbleibendem Druck um 24 %.

Die Bohrkosten können je nach der Art des Bohrhammers, dem Luftdruck und dem Lochdurchmesser stark schwanken.

Comparative tests of 13 types of hammers drills were carried out in quarries of small granite and soft sandstone.

For the same pressure of compressed air, the instantaneous drilling speed decreases by 20 % when passing from a diameter of 32 to 38 mm.

In sandstone, the instantaneous drilling speed increases by 73 % passing from a dynamic pressure of compressed air of 4 kg/cm² to 5,7 kg/cm² ; in small granite, the increase in instantaneous speed is 55.5 % passing from a dynamic pressure of 3.9 to 5.5 kg/cm².

The consumption of compressed air per minute varies from single to double according to the drills. But the consumption per metre drilled, which corresponds to the real consumption, is independent of the type of hammer drill used.

The consumption of compressed air per metre drilled hardly varies with the pressure of compressed air in the case of holes of the same diameter.

On the other hand, it increases by 24 % when passing from a diameter of 32 to 38 mm for the same pressure of compressed air and the diameter of the hole drilled.

SOMMAIRE

Introduction.

1. Nature des terrains.
 11. Petit granit.
 12. Grès.
2. Montage adopté pour les essais.
3. Conditions des essais.
 31. Fleurets.
 32. Position des trous et pression d'air comprimé utilisée pour le forage.
 33. Mesures effectuées.
4. Caractéristiques des marteaux-perforateurs soumis aux essais.
5. Caractéristiques des béquilles soumises aux essais.
6. Résultats des essais.
 61. En petit granit.
 62. En grès tendre.
 63. Durée des manœuvres d'amorçage et d'avancement des béquilles et de retrait des fleurets.
7. Consommation d'air comprimé.
 71. Consommation d'air comprimé par minute de forage.
 72. Consommation d'air comprimé par mètre foré.
 73. Consommation totale d'air comprimé.

74. Consommation d'air comprimé en fonction de la profondeur de forage.

8. Coût du forage proprement dit.

81. Coût du forage proprement dit.
82. Coût du forage y compris les changements de trou et les incidents.
83. Coût de toute la phase de forage.

9. Conclusions.

91. Consommation d'air comprimé.
92. Pression d'air comprimé.
93. Diamètre des trous.
94. Emplacement du trou.
95. Profondeur du trou.
96. Poids des marteaux.
97. Prix de revient.

INTRODUCTION

Etant donné la difficulté d'effectuer des essais comparatifs de forage dans les travaux miniers par suite des variations rapides de la nature des terrains, des fluctuations dans la pression d'air comprimé, de la qualification du personnel, etc... il a paru opportun à Inichar de faire ces essais en carrières.

Nous tenons à remercier vivement la direction des carrières de « Belle Roche » à Comblain-au-Pont et des « Hayettes » à Aywaille de nous avoir autorisés

à effectuer des essais comparatifs de marteaux-perforateurs dans un de leurs chantiers.

Nous remercions spécialement MM. LHOIST, ISERENTANT et JURDANT qui nous ont reçus avec bienveillance et nous ont conseillés pour le choix des emplacements de forage.

* * *

Le matériel de forage joue un rôle important pour l'obtention de grands avancements dans le creusement des boueux ; il importe donc de connaître les performances comparées des marteaux-perforateurs et des béquilles supports. Les essais ont porté sur un lot de 14 types de marteaux-perforateurs et de 7 béquilles de marques différentes :

Marteaux.

Atlas-Copco : BBD 41 WK - BBD 41 WKB ou BBD 43 WK - Tigre - BBD 90

Colinet : TC 22

Flottmann : BK 14 W - BK 20 W

Gardner : S 58

Krupp : Suprham 20 ZWK - Suprham 118 ZWK

Meudon : GP - HP

Montabert : T 21 - T 25

Béquilles.

Atlas-Copco : BMK 90 A5 - BMK 82 D A4 - BMK 82 S A4

Colinet : BA 50/2

Flottmann : ET 17

Gardner : F1 2 B

Krupp : PBS 76 - PBL 60

Meudon : STU 30 L - SR 3

Montabert : PM 206 M - PAM 206 R.

Tous les marteaux ont foré le même nombre de trous, de même longueur, à une série de niveaux identiques, de même inclinaison et avec la même pression d'air comprimé.

Les forages ont été exécutés par un spécialiste de chaque firme.

1. NATURE DES TERRAINS

Les essais ont été effectués en petit granit et en grès tendre dans deux carrières situées dans la vallée de l'Amblève.

11. Petit granit.

La carrière de petit granit, dite de « Belle Roche », est située près de Comblain-au-Pont. Les essais ont eu lieu dans des bancs du Tournaisien épais, très homogènes, inclinés à 55°. Le terrain est peu clivé.

Les forages ont été exécutés à partir d'une surface parallèle aux plans de stratification.

La résistance moyenne à la compression des carottes de petit granit est de 1.545 kg/cm² ; les éprouvettes cylindriques avaient 50 mm de diamètre, 50 mm de hauteur et une densité de 2.730 kg/dm³.

Pour déterminer l'homogénéité du massif de petit granit, un forage de 3,20 m a été effectué par tronçons de 50 cm avec mesure du temps de forage et de la longueur forée.

Le tableau I donne les vitesses instantanées de forage relevées pour les tronçons successifs.

TABLEAU I.

Vitesses instantanées de forage en petit granit.

| Tronçons | Vitesse instantanée de forage en cm/min. |
|--|--|
| de 1 à 50 cm | 50,7 |
| de 50 à 100,4 cm | 52,1 |
| de 100,4 à 149,7 cm | 53,0 |
| de 149,7 à 200 cm | 50,3 |
| de 200 à 249,1 cm | 50,1 |
| de 249,1 à 299,4 cm | 51,3 |
| de 299,4 à 316,1 cm | 54,5 |
| Moyenne | 51,7 |
| Ecart maximum par rapport à la moyenne | 5,4 % |

12. Grès.

La carrière de grès, dite des « Hayettes », est située près d'Aywaille. Les essais ont eu lieu dans le grès Famennien. Les bancs sont inclinés à 60° et ont une épaisseur qui varie de 0,50 à 2 m.

Les épaisseurs successives des bancs forés sont respectivement de 0,55 m, 0,65 m, 1 m, 0,80 m et 1 m.

Les forages ont été exécutés à partir d'une surface parallèle aux plans de stratification et tous les trous



Fig. 1. — Coupe à travers-bancs montrant la succession des bancs de grès. On aperçoit au bas du rocher un fleuret de 3,20 m.

ont donc traversé les mêmes bancs. La figure 1 montre une coupe à travers-bancs.

Des échantillons ont été découpés dans chacun des bancs sous forme de cylindres de 25 mm de diamètre et 25 mm de hauteur et de cylindres de 50 mm de diamètre et 50 mm de hauteur.

La résistance à la compression de ces échantillons varie fortement d'un banc à l'autre.

Le tableau II donne la moyenne des résultats obtenus sur les éprouvettes.

TABLEAU II.

Résistance à la compression des cylindres de grès.

| Banc | Résistance à la compression en kg/cm ² | |
|---------------|---|---------------------|
| | Cylindre de 25 mm Ø | Cylindre de 50 mm Ø |
| 0 à 0,55 m | 1.715 | |
| 0,55 à 1,20 m | 2.550 | |
| 1,20 à 2,20 m | 2.940 | 1.695 |
| 2,20 à 3,00 m | 2.150 | 1.172 |

Une coupe à travers-bancs existant dans la carrière, il était possible d'accéder aux différents bancs de flanc et des essais de forage ont été exécutés dans chacun des bancs pour en déterminer la forabilité.

Le tableau III donne les vitesses instantanées moyennes de forage mesurées dans les bancs accessibles.

TABLEAU III.

Vitesse instantanée de forage dans trois bancs de grès.

| Banc | Vitesse instantanée de forage en cm/min |
|---------------|---|
| 1,20 à 2,20 m | 67,6 |
| 2,20 à 3,00 m | 54,9 |
| 3,00 à 4,00 m | 49,2 |

2. MONTAGE ADOPTE POUR LES ESSAIS

La figure 2 montre la disposition adoptée pour le matériel nécessaire à l'exécution des essais de forage.

L'air comprimé, fourni par un compresseur mobile, passe successivement par une cuve-tampon, un débitmètre, un graisseur de ligne et un manomètre avant d'alimenter le marteau-perforateur et la béquille soumis à l'essai.

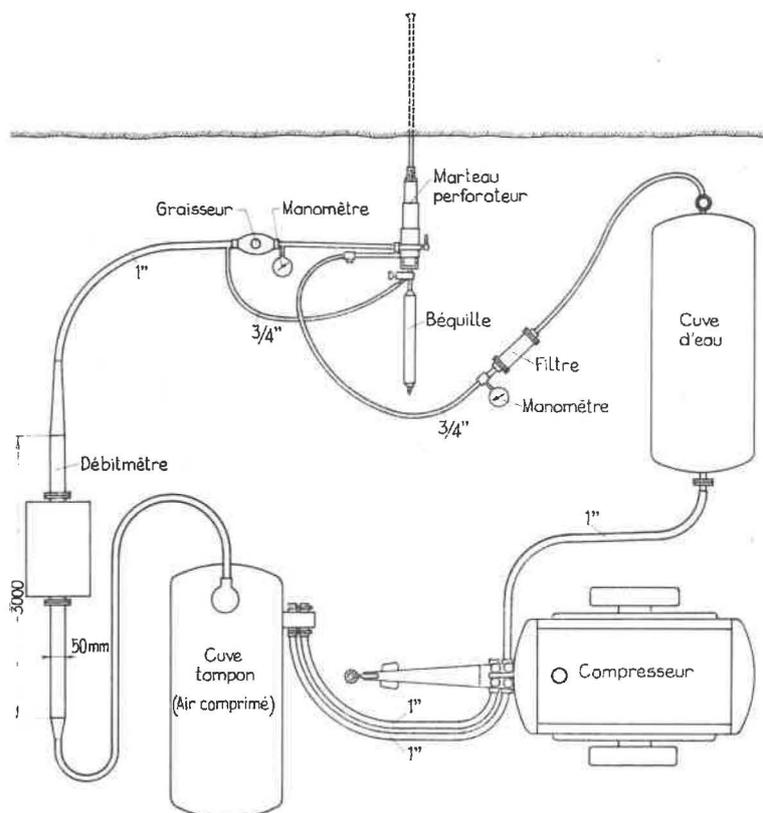


Fig. 2. — Disposition adoptée pour l'exécution des essais de forage.

La cuve-tampon a une capacité de 1,5 m³ et est pourvue de purgeurs. La liaison entre le compresseur et la cuve est assurée par deux flexibles de 25 mm de diamètre.

L'eau de curage vient d'une cuve de 900 litres mise en pression directement par l'air comprimé. Le circuit d'alimentation en eau comprend un manomètre et un filtre.

Compresseur.

Le compresseur mobile utilisé, de marque Atlas-Copco du type VT 6 Dd, est actionné par un moteur de 75 ch et a un débit de 8,9 m³/min. Lors des essais, ce compresseur n'alimente qu'un seul marteau-perforateur à la fois, ce qui permet de disposer d'un volume d'air amplement suffisant, même pour les marteaux dont la consommation est la plus élevée (environ 5 m³/min). La pression de l'air peut être réglée assez exactement à partir de ce compresseur.

Débitmètre.

La consommation d'air comprimé a été mesurée par un appareil diviseur de flux suivant le système Neuhaus fourni par la firme Integra de Liège. La figure 3 montre le fonctionnement de principe de

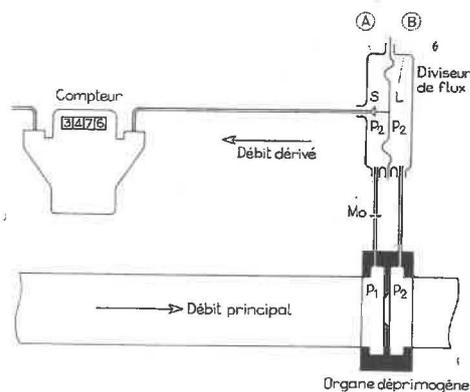


Fig. 3. — Coupe du débitmètre Neuhaus.

l'appareil. Un diaphragme fixé à une collerette est monté sur une tuyauterie rigide de 50 mm de diamètre intérieur, placée dans le circuit d'alimentation du marteau-perforateur. Ce diaphragme crée une perte de charge et les pressions de part et d'autre de celui-ci sont p₁ et p₂. Ces deux prises d'influence (+) et (-) sont raccordées à une membrane différentielle libre (L) qui fonctionne comme organe de zéro. Le rôle de cette membrane est de maintenir à équivalence les pressions p₂ dans les deux chambres A et B. Cette opération est rendue possible par la fuite à travers le pointeau S et le freinage de l'ajutage Mo.

Le petit ajutage calibré Mo est donc le siège de la même pression différentielle que l'organe déprimogène principal.

D'après la loi de similitude, les débits dans ces deux organes resteront proportionnels et le débit dérivé sera égal à 1/C fois le débit principal, C étant une constante de l'installation. Pour obtenir des indications exactes, il suffira de mesurer avec précision ce débit dérivé.

Le pointeau S de la membrane détend le gaz, à la pression atmosphérique, et c'est sur le débit détendu que se font les mesures. Un totalisateur placé sur ce débit dérivé permet d'obtenir à une constante près (1/C), aux conditions atmosphériques, la valeur exacte en m³ des volumes passés dans la conduite principale.

Lors des arrêts dans la consommation d'air comprimé, il n'y a pas de pression différentielle à hauteur du diaphragme principal et la position de la membrane L a été réglée pour que le pointeau S obture par son propre poids l'entrée de la conduite dérivée.

Les mesures de débit ont été effectuées lors des forages en petit granit.

Flexibles.

Les flexibles utilisés ont 1" de diamètre pour l'alimentation du marteau-perforateur et 3/4" pour l'alimentation du pousseur et pour l'amenée d'eau au marteau.

Graisseur.

Un graisseur individuel est inséré dans le circuit d'alimentation en air comprimé du marteau-perforateur. On utilise généralement de l'huile Almo. Les graisseurs de ligne ont en général une capacité de 0,7 litre et le débit d'huile peut être réglé avec grande précision ; les pertes de charge sont faibles et varient de 0,1 kg/cm² pour un débit d'air comprimé de 1 m³/min à 0,3 kg/cm² pour un débit de 5 m³/min.

3. CONDITIONS DES ESSAIS

31. Fleurets.

Tous les trous ont été forés à 3,20 m de profondeur à l'aide de deux fleurets, l'un de 1,60 m et l'autre de 3,20 m de longueur. Il a été fait usage de fleurets neufs au début de chaque série d'essais avec un type de marteau déterminé.

Les fleurets utilisés sont du type monobloc en acier hexagonal de 22 mm sur plat avec taillant, simple burin, constitué par une plaquette en carbure de tungstène. Un trou central est prévu pour l'injection d'eau.

Les emmanchements ont tous 108 mm de longueur. Le diamètre des taillants est de 33 et de 39 mm pour les fleurets de 1,60 m de longueur et de 31 et 37 mm pour ceux de 3,20 m.

Tous les fleurets utilisés sont de fabrication « Coromant », sauf ceux utilisés avec les marteaux Krupp

qui doivent avoir un emmanchement spécial : le trou axial pour l'injection d'eau doit s'évaser du côté de l'emmanchement jusqu'à un diamètre maximum de 12 mm pour permettre l'introduction d'un tube spécial d'injection d'eau.

32. Position des trous et pression d'air comprimé utilisée pour le forage.

Ces deux facteurs ont été choisis en fonction des conditions de forage habituellement rencontrées dans les galeries au fond.

Des trous horizontaux ont été forés à des hauteurs variant de 0,80 m à 1,40 m et des trous inclinés à 2 m et à 0,20 m de hauteur, pour se mettre dans les conditions des trous forés en couronne et des trous voisins de la sole des galeries.

1 à 2 m de hauteur et incliné à 7° vers le haut, 4 forés horizontalement à 1,56 m, 1,32 m, 1,08 m et 0,84 m de hauteur,

- 1 à 0,20 m de hauteur et incliné de 18° vers le bas.
- 4 trous au diamètre de 39 et de 37 mm et à une pression d'air comprimé de 5,5 kg/cm² ; tous horizontaux et situés à 1,45 m, 1,30 m, 1,10 m et 0,95 m de hauteur.
- 2 trous au diamètre de 33 et de 31 mm et à une pression d'air comprimé de 3,9 kg/cm² ; tous horizontaux et situés à 0,96 m et 1,44 m de hauteur.

L'écartement entre deux lignes de trous verticaux était de 20 cm environ (fig. 4).



Fig. 4. — Vue d'ensemble des trous forés à la carrière de petit granit.

Les pressions d'air comprimé adoptées ont été d'environ 5,6 kg/cm² et 4 kg/cm², qui correspondent aux meilleures et aux plus basses pressions rencontrées dans le fond.

Les diamètres de forage ont été fixés à 31-33 mm et à 37-39 mm qui sont des dimensions courantes dans les travaux miniers ; le petit diamètre est utilisé pour la dynamite et le diamètre de 37-39 mm pour les explosifs de sécurité.

321. Essais en petit granit.

Douze trous de 3,20 m ont été forés avec chaque type de marteau. Ces trous étaient disposés sur deux lignes verticales :

- 6 trous au diamètre de 33 et de 31 mm et à une pression d'air comprimé de 5,50 kg/cm² situés respectivement :

Pour s'assurer de l'homogénéité de la nature des terrains d'une ligne verticale à l'autre, un trou de contrôle a été foré à 1,20 m de hauteur dans chaque zone prévue pour chaque type de marteau. Ce trou a été foré à l'aide d'un même marteau-perforateur Atlas-Copco de type BBD 41 WKB actionné par le même opérateur.

322. Essais en grès.

Sept trous de 3,20 m, tous horizontaux, ont été forés avec chaque type de marteau. Ces trous étaient disposés sur une seule ligne verticale.

- 5 trous au diamètre de 33 et de 31 mm et à une pression d'air comprimé de 5,7 kg/cm², situés à 1,50 m, 1,35 m, 1,20 m, 1,05 m et 0,80 m de hauteur.

— 2 trous au diamètre de 33 et de 31 mm et à une pression d'air comprimé de 4 kg/cm², situés à 1,40 m et 0,90 m de hauteur.

De plus, un trou de contrôle a été foré à 1,20 m de hauteur dans chaque ligne verticale prévue avec un marteau-perforateur Atlas-Copco BBD 41 WKB.

33. Mesures effectuées.

331. Profondeur des trous.

Après 20 à 100 mm, le forage était arrêté pour mesurer la profondeur de l'amorçage.

Les profondeurs des trous ont été soigneusement mesurées après forage à 1,60 m et à 3,20 m à l'aide d'une tige graduée. Une encoche était faite à l'orifice du trou et servait de repère pour la mesure exacte de la longueur.

Toutes les longueurs ont toujours été mesurées par un même opérateur.

332. Temps de forage.

Les temps de forage ont aussi toujours été mesurés par un même opérateur pour éliminer le facteur d'appréciation.

On a mesuré la durée de l'amorçage et la durée du forage proprement dit, en décomptant le temps mis pour ravancer le pied de la béquille. On a mesuré séparément les temps nécessaires aux ravancements de pied de la béquille, aux retraits du fleuret et au changement de trou. On a décompté aussi les différents calages des perforateurs qui se sont produits en grès tendre.

333. Débit.

Toutes les mesures du débit ont aussi été effectuées par un même opérateur.

La consommation d'air comprimé a été mesurée pour l'amorçage, le forage et le retrait du fleuret.

334. Pression d'air comprimé et de l'eau.

Les pressions d'air comprimé et de l'eau ont été déterminées par un même opérateur, qui a indiqué dans son rapport les pressions maxima et minima lors de l'amorçage, lors du forage et pendant les arrêts.

TABLEAU IV.
Caractéristiques des marteaux-perforateurs.

| Marque | Type | Alésage en mm | Course en mm | Consommation théorique à 6 kg/cm ² en m ³ /min | Vitesse de rotation en tr/min | | Cadence de frappe Nombre de coups/min | | Poids en kg sans chape | Prix en FB |
|-------------|-------------------------------|---------------|--------------|--|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | | | | à 5 kg/cm ² | à 6 kg/cm ² | à 5 kg/cm ² | à 6 kg/cm ² | | |
| | | | | | | | | | | |
| Atlas-Copco | BBD 41 WK | 75 | 45 | 3,2 | | | 3000 | | 22,7 | 14.650 |
| | BBD 41 WKB ou BBD 43 WK | 75 | 45 | 4 | — | 220 | 3000 | | 23 | 14.650 |
| | BBD 90 | 90 | 45 | 4,6 | — | 290 | 3100 | | 27,4 | 16.950 |
| Colinet | TC 22 | 77 | 45 | 3,5 à 4 | 600 | | 3000 | | 22,5 | 13.855 sans chape 14.480 avec chape |
| Flottmann | BK 14 W | 70 | 42,5 | 2,7 | 240 | 260 | 2400 | 2550 | 18 | 9.000 |
| | BK 20 W | 80 | 42 | 3,6 | 220 | 240 | 2550 | 2620 | 22,8 | 11.000 |
| Gardner | S 58 F | 66,68 | 66,68 | 3,0 | 215 | 240 | 2050 | 2068 | 20,9 | 13.900 |
| Krupp | Suprham 20 ZWK | 78 | 40 | 3,2 | | | 2600 | | 22 | 10.200 |
| | Suprham 118 ZWK | 68 | 62 | | | | | | 24 | 12.000 |
| Meudon | GP | 80 | 69 | 3,4 | 270 | 290 | 2500 | 2700 | 22 | 14.000 |
| | HP | 83 | 67 | 4,2 | 280 | 300 | 2600 | 2800 | 25,9 | 16.800 |
| Montabert | T 21 E | 76 | 62 | 2,850 | 280 | 320 | 2850 | 3150 | 23 | 14.300 |
| | T 25 | 79 | 82 | 3,350 | 205 | 235 | 2300 | 2500 | 26,1 | 15.450 |

4. CARACTERISTIQUES DES MARTEAUX-PERFORATEURS SOU MIS AUX ESSAIS

Les marteaux-perforateurs essayés se classent dans la catégorie des marteaux de poids moyen qui peuvent être utilisés avec une béquille pneumatique et conçus pour forer avec injection centrale d'eau. Leur poids varie de 18 à 30 kg. Les marteaux lourds, d'un poids de 50 à 70 kg, généralement employés sur jumbo, bien que très puissants, ont été écartés parce que peu maniables.

Les marteaux de poids moyen ont une vitesse instantanée plus faible, mais sont plus maniables et moins coûteux. Grâce à leur maniabilité, leur vitesse commerciale se rapproche de celle des marteaux lourds.

Le tableau IV donne les caractéristiques des divers marteaux-perforateurs soumis aux essais.

Remarques.

Marteaux Meudon.

Les essais ont été effectués sur les marteaux de type HP et GP munis d'un atténuateur de bruit et d'un réservoir d'huile incorporés au cylindre. Ce réservoir d'huile d'une capacité de 0,500 litre permet de supprimer dans certains cas le graisseur de ligne. L'atténuateur de bruit, branché sur l'échappement des marteaux, a pour effet d'augmenter un peu le poids et de réduire la vitesse instantanée de forage de l'ordre de 10 à 15 %.

Le marteau HP est muni d'une commande simultanée pour l'eau et l'air.

Marteaux Montabert.

Les marteaux de types T 21 et T 25 soumis aux essais sont pourvus d'un régulateur automatique de la pression d'eau. Le marteau de type T 21 E est muni d'un écran atténuateur de bruit.

Marteaux Krupp.

L'arrivée d'eau est commandée par une soupape à membrane qui est ouverte dès que le marteau fonctionne.

Le tube de guidage suit tous les mouvements, y compris les mouvements de rotation du fleuret. L'étanchéité du tube d'injection est assurée par un joint à rebord. La pointe en Vulkolan du tube de guidage, serrée de toutes parts contre le fleuret par la pression de l'air et de l'eau, en assure la parfaite étanchéité.

Marteaux Flottmann.

Le marteau Flottmann de type BK 14 est le seul marteau essayé dont le poids est inférieur à 20 kg, ce qui permet de l'utiliser sans béquille et avec un seul foreur dans certains cas spéciaux.

Marteaux Atlas-Copco.

A titre documentaire, signalons que lors des essais effectués en petit granit, le marteau du type Tigre a réalisé la même vitesse instantanée que le marteau du type BBD 43.

Le marteau-perforateur du type BBD 90 soumis aux essais n'était pas muni d'un atténuateur de bruit ; mais un essai comparatif effectué entretemps dans la carrière de petit granit avec deux marteaux BBD 90 a permis de constater que la présence de cet atténuateur de bruit réduisait la vitesse instantanée de forage de 1 % seulement.

5. CARACTERISTIQUES DES BEQUILLES SOU MISES AUX ESSAIS

L'emploi des béquilles pneumatiques s'est généralisé petit à petit depuis l'après-guerre, surtout ces dix dernières années.

Le réglage exact de la poussée à appliquer sur le taillant du fleuret n'est pas facile à acquérir et il n'est pas rare de constater une variation de 100 % de la vitesse instantanée d'un même marteau en fonction de l'habileté du foreur. Il est nécessaire de régler l'admission d'air dans la béquille et de doser l'effort de poussée ou de retenue qu'il faut exercer sur la poignée du marteau-perforateur pour les adapter à la nature des terrains traversés et à la profondeur du trou.

La poussée exercée sur le fleuret ne doit pas être trop forte pour permettre le dégagement du taillant de l'empreinte creusée dans la roche et doit cependant être suffisante pour compenser la réaction du perforateur et supprimer les battements.

C'est dans ce but que tous les forages ont été effectués par un foreur expérimenté de chacune des firmes participant aux essais.

Le tableau V donne les caractéristiques des béquilles utilisées pour les essais.

Remarques.

Montabert : la firme Montabert fournit aussi des béquilles à 3 et 4 tubes permettant de forer des trous de couronne à 3,20 m et à près de 4 m de hauteur avec distributeur central à graisseur incorporé, groupant les commandes marteau et béquille à hauteur d'homme.

6. RESULTATS DES ESSAIS

61. En petit granit.

Le tableau VI donne le résultat des essais de forage en petit granit pour l'ensemble des trous de petit diamètre forés avec une pression moyenne d'air comprimé de 5,5 kg/cm².

TABLEAU V.

Liste des béquilles ou pousseurs pneumatiques utilisés.

| Marque | Type | Marteau utilisé | Caractéristiques spéciales | Diamètre du piston en mm | Longueur de course en mm | Longueur totale pour le transport en mm | Matériau du cylindre | Poids en kg | Prix en FB |
|-------------|--------------------------|-----------------|---|--------------------------|--------------------------|---|----------------------|------------------|------------|
| Atlas-Copco | BMK 90 A5 | BBD 90 | Piston dirigé vers le haut ou une version dite rétractile | 67 | 1.300 | 1.780 | aluminium | 20,7 | 8.450 |
| | BMK 82 DA4 BMK 82 SA4 | BBD 41-43 | Piston dirigé vers le haut | 57 | 1.300 | 1.780 | aluminium | 18,6 | 5.300 |
| | | BBD 41-43 | Piston dirigé vers le haut | 57 | 1.300 | | acier | 21,6 | 4.500 |
| Colinet | BA 50/2 | TC 22 | Piston dirigé vers le haut | 50 | 1.400 | 2.000 | aluminium | 23 avec chape | 5.970 |
| Flottmann | ET 17 | BK 14 W | Piston dirigé vers le bas | | | | | 17,0 | 6.200 |
| | ET 17 | BK 20 W | | | | | | 13,0 | |
| Gardner | FL 5A 3 | S 58 | | 57,3 | 1.219 | 1.930 | acier | 20,8 | |
| Krupp | PBS 76 | Suprham 20 ZWK | Télescopique | 70/60 | 1.320 | | acier | 21 | |
| | PBL 60 | 118 ZWK | Simple | 60 | 1.600 | | aluminium | 16 | |
| Meudon | STU 30 L | HP | Télescopique (2 expansions) | 59 × 70 | 1.950 | 1.600 | aluminium | 20 | 7.900 |
| | SR 3 | GP | Simple | 64 | 1.250 | 1.800 | acier | 16,8 | 5.100 |
| Montabert | PM 206 M | T 21 | Piston dirigé vers le haut | | 1.300 | | acier | 20 | |
| | PAM 206 R | T 25 | Piston dirigé vers le bas | 64 | 1.300 | 1.700 | aluminium | 17 | 7.260 |

TABLEAU VI.
Essais de forage en petit granit.

Pression moyenne d'air comprimé : 5,5 kg/cm².
Diamètre de forage : 31 - 33 mm.
Longueur de forage : 3,20 m par trou.

| Marque | Type | Pression d'air comprimé pendant le forage en kg/cm ² | Consommation moyenne d'air comprimé en m ³ /min. | Vitesse instantanée de forage en cm/min. | Vitesse instantanée de forage corrigée pour une pression moyenne de 5,5 kg/cm ² en cm/min. |
|-------------|-----------|---|---|--|---|
| Meudon | HP | 5,3 - 5,7 | 4,935 | 60,8 | 60,8 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 5,3 - 5,7 | 4,230 | 60,4 | 60,4 |
| Meudon | GP | 5,3 - 5,7 | 3,820 | 52,5 | 52,5 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 5,4 - 5,6 | 3,720 | 51,4 | 51,4 |
| Montabert | T 25 | 5,3 - 5,7 | 3,395 | 44,4 | 44,4 |
| Colinet | TC 22 | 5,2 - 5,4 | 4,020 | 42,7 | 44,9 |
| Montabert | T 21 | 5,8 - 6,0 | 3,300 | 42,6 | 39,6 |
| Krupp | S 118 ZWK | 5,3 - 5,7 | 3,332 | 42,0 | 42,0 |
| Flottmann | BK 20 | 5,4 - 5,6 | 2,700 | 42,0 | 42,0 |
| Krupp | S 20 ZWK | 5,4 - 5,6 | 3,330 | 41,8 | 41,8 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 5,3 - 5,7 | 2,662 | 41,1 | 41,1 |
| Gardner | S 58 | 5,3 - 5,7 | 2,736 | 33,4 | 33,4 |
| Flottmann | BK 14 | 5,6 - 6,0 | 2,780 | 32,4 | 30,7 |

Remarques.

1) Les firmes Colinet et Krupp signalent que, depuis la période des essais, elles avaient mis sur le marché de nouveaux types de marteaux-perforateurs. Nous n'avons pas eu l'occasion de les essayer et nous laissons aux utilisateurs le soin de les apprécier.

2) La firme Atlas-Copco a mis entretemps sur le marché un nouveau type de marteau-perforateur appelé « Panthère » ou BBD 90 W. Des essais non officiels, qui ont eu lieu récemment, ont donné pour ce marteau une vitesse instantanée supérieure de 10 à 15 % à celle obtenue avec le marteau BBD 90 avec une consommation d'air de 4,1 m³/min à une pression de 5 kg/cm².

3) Les essais de forage avec les marteaux T 25 de la firme Montabert ont donné une vitesse instantanée de forage de 44,4 cm/min. A la demande de la firme, des essais non officiels ont eu lieu 2 semaines plus tard et ont donné une vitesse instantanée moyenne de 54,4 cm/min. Ces derniers essais ont été effectués sans mesurer la consommation d'air comprimé ni la pression.

* * *

La pression d'air comprimé pendant le forage n'a pas toujours pu être réglée exactement.

Une pression d'air comprimé de 5,4 à 5,8 kg/cm² pendant le forage exigeait une pression statique d'air comprimé de 6,1 à 6,4 kg/cm² lors des arrêts par suite des pertes de charge dans les flexibles, graisseurs, débitmètres.

La dernière colonne du tableau donne la vitesse instantanée qui aurait été obtenue dans le cas d'une pression moyenne d'air comprimé de 5,5 kg/cm². Pour obtenir cette vitesse, nous avons tenu compte des vitesses instantanées réalisées à la pression désignée ici et à basse pression (tableau VII) et nous avons extrapolé les valeurs à la pression de 5,5 kg/cm².

Le tableau VI donne aussi la consommation moyenne d'air comprimé mesurée à une pression d'environ 5,5 kg/cm². On constate que ces débits mesurés lors des essais ne correspondent pas toujours exactement aux consommations théoriques données au tableau IV.

Le tableau VII donne les résultats des essais du forage en petit granit pour l'ensemble des trous de petit diamètre forés avec une pression moyenne d'air comprimé de 3,9 kg/cm².

TABLEAU VII.
Essais de forage en petit granit.

Pression moyenne de l'air comprimé : 3,9 kg/cm².
Diamètre de forage : 31 - 33 mm.
Longueur de forage : 3,20 m par trou.

| Marque | Type | Pression d'air comprimé pendant le forage en kg/cm ² | Vitesse instantanée de forage en cm/min. | Vitesse instantanée de forage corrigée pour une pression de 3,9 kg/cm ² en cm/min. |
|-------------|-----------|---|--|---|
| Atlas-Copco | BBD 90 | 3,7 - 3,8 | 39,0 | 40,9 |
| Meudon | HP | 3,7 - 3,8 | 33,5 | 35,9 |
| Meudon | GP | 3,8 - 4,0 | 32,4 | 32,4 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 3,8 - 4,0 | 30,2 | 30,2 |
| Montabert | T 25 | 4,0 - 4,2 | 31,1 | 29,2 |
| Colinet | TC 22 | 3,8 - 4,0 | 27,7 | 27,7 |
| Montabert | T 21 | — | — | — |
| Krupp | S 118 ZWK | 3,8 - 4,0 | 27,2 | 27,2 |
| Flottmann | BK 20 | 3,8 - 4,0 | 25,6 | 25,6 |
| Krupp | S 20 ZWK | 4,0 - 4,2 | 27,2 | 25,3 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 3,8 - 4,0 | 24,0 | 24,0 |
| Gardner | S 58 | 3,8 - 4,0 | 23,9 | 23,9 |
| Flottmann | BK 14 | 3,8 - 4,0 | 21,0 | 21,0 |

Le tableau VIII donne le résultat des essais de forage en petit granit pour l'ensemble des trous.

TABLEAU VIII.
Vitesse instantanée de forage en cm/min.

| Marque | Type | Poids en kg | Pression de forage : 5,5 kg/cm ² Diamètre de forage | | Pression de Forage 3,9 kg/cm ² |
|-------------|-----------|-------------|---|------------|--|
| | | | 31 - 33 mm | 37 - 39 mm | Diamètre de forage 31 - 33 mm |
| Meudon | HP | 25,9 | 60,8 | 46,2 | 35,9 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 27,4 | 60,4 | 51,0 | 40,9 |
| Meudon | GP | 22 | 52,5 | 41,3 | 32,4 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 23 | 51,4 | 39,4 | 30,2 |
| Montabert | T 25 | 26,1 | 44,4 | 35,6 | 29,2 |
| Colinet | TC 22 | 22,5 | 44,9 | 35,7 | 27,7 |
| Montabert | T 21 | 23 | 39,6 | — | — |
| Krupp | S 118 ZWK | 24 | 42,0 | 34,2 | 27,2 |
| Flottmann | BK 20 | 22,8 | 42,0 | 32,7 | 25,6 |
| Krupp | S 20 ZWK | 22 | 41,8 | 34,0 | 25,3 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 22,7 | 41,1 | 33,9 | 24,0 |
| Gardner | S 58 | 29,9 | 33,4 | 25,8 | 23,9 |
| Flottmann | BK 14 | 18 | 30,7 | 25,2 | 21,0 |
| Moyenne | | | 45,0 | 36,1 | 28,6 |

62. En grès tendre.

Le tableau IX donne le résultat des essais de forage en grès pour l'ensemble des trous de petit

diamètre forés avec une pression moyenne d'air comprimé de 5,7 kg/cm².

TABLEAU IX.

*Essais de forage en grès.*Pression moyenne de l'air comprimé au cours du forage : 5,7 kg/cm².

Diamètre de forage : 31 - 33 mm.

Longueur de forage : 3,20 m.

| Marque | Type | Pression de l'air comprimé lors du forage en kg/cm ² | Vitesse instantanée de forage en cm/min. | Vitesse instantanée de forage corrigée pour une pression de 5,7 kg/cm ² en cm/min. |
|-------------|-----------|---|--|---|
| Meudon | HP | 5,5 - 5,9 | 82,1 | 82,1 |
| Meudon | GP | 5,6 - 5,8 | 73,0 | 73,0 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 5,3 - 5,7 | 65,5 | 68,0 |
| Montabert | T 25 | 5,6 - 5,8 | 61,0 | 61,0 |
| Krupp | S 118 ZWK | 5,6 - 5,8 | 58,9 | 58,9 |
| Krupp | S 20 ZWK | 5,6 - 5,8 | 56,8 | 56,8 |
| Montabert | T 21 | 5,5 - 5,9 | 52,5 | 52,5 |
| Colinet | TC 22 | 5,4 - 5,8 | 49,0 | 50,0 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 5,3 - 5,9 | 47,0 | 48,3 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 5,5 - 5,9 | 43,8 | 43,8 |
| Flottmann | BK 20 | 5,5 - 5,9 | 38,5 | 38,5 |
| Gardner | S 58 | 5,5 - 5,9 | 36,4 | 36,4 |
| Flottmann | BK 14 | 5,5 - 5,9 | 36,0 | 36,0 |

Pour obtenir dans cette carrière une pression d'air comprimé de 5,5 à 5,9 kg/cm² pendant le forage, il fallait avoir une pression statique d'air comprimé de 6,2 à 6,5 kg/cm².

La dernière colonne du tableau donne la vitesse instantanée qui aurait été obtenue dans le cas d'une

pression moyenne de 5,7 kg/cm², cette vitesse corrigée a été obtenue par extrapolation des résultats obtenus à deux pressions d'air comprimé.

Le tableau X donne le résultat des essais de forage en grès pour les trous d'un diamètre de 31 - 33 mm forés avec une pression moyenne de 4 kg/cm².

TABLEAU X.

*Essais de forage en grès.*Pression moyenne de l'air comprimé au cours du forage : 4,0 kg/cm².

Diamètre de forage : 31 - 33 mm.

Longueur de forage : 3,20 m.

| Marque | Type | Pression de l'air comprimé pendant le forage en kg/cm ² | Vitesse instantanée de forage en cm/min. | Vitesse instantanée de forage corrigée pour une pression de 4 kg/cm ² en cm/min. |
|-------------|-----------|--|--|---|
| Atlas-Copco | BBD 90 | 3,8 - 4,2 | 46,9 | 46,9 |
| Meudon | HP | 3,9 - 4,2 | 47,2 | 46,3 |
| Meudon | GP | 4,0 - 4,3 | 43,7 | 41,3 |
| Colinet | TC 22 | 3,8 - 4,2 | 33,3 | 33,3 |
| Montabert | T 25 | 4,0 - 4,3 | 35,2 | 35,5 |
| Krupp | S 118 ZWK | 4,0 - 4,3 | 30,3 | 28,1 |
| Krupp | S 20 ZWK | 4,0 - 4,3 | 32,8 | 31,1 |
| Montabert | T 21 | 3,8 - 4,2 | 29,8 | 29,8 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 3,8 - 4,2 | 27,0 | 27,0 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 3,8 - 4,2 | 22,2 | 22,2 |
| Flottmann | BK 20 | 4,0 - 4,3 | 24,7 | 23,2 |
| Gardner | S 58 | — | — | — |
| Flottmann | BK 14 | 4,0 - 4,3 | 21,1 | 20,1 |

Le tableau XI reprend le résultat des essais de forage en grès pour l'ensemble des trous forés dans

le cas d'une pression de 5,7 et 4 kg/cm² pour un même diamètre de forage de 31 - 33 mm.

TABLEAU XI.
Vitesse instantanée de forage en cm/min.

| Marque | Type | Poids en kg | Diamètre de forage : 31 - 33 mm Pression de forage : | |
|-------------|-----------|-------------|---|------------------------|
| | | | 5,7 kg/cm ² | 4,0 kg/cm ² |
| Meudon | HP | 25,9 | 82,1 | 46,3 |
| Meudon | GP | 22 | 73,0 | 41,3 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 27,4 | 68,0 | 46,9 |
| Montabert | T 25 | 26,1 | 61,0 | 33,5 |
| Krupp | S 118 ZWK | 24 | 58,9 | 28,1 |
| Krupp | S 20 ZWK | 22 | 56,8 | 31,1 |
| Montabert | T 21 | 23 | 52,5 | 29,8 |
| Colinet | TC 22 | 22,5 | 50,0 | 33,3 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 23 | 48,3 | 27,0 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 22,7 | 43,8 | 22,2 |
| Flottmann | BK 20 | 22,8 | 58,5 | 23,2 |
| Gardner | S 58 | 29,9 | 56,4 | — |
| Flottmann | BK 14 | 18 | 56,0 | 20,1 |
| Moyenne | | — | 54,9 | 31,8 |

63. Durée des manœuvres d'amorçage et d'avancement des béquilles et de retrait des fleurets.

La profondeur des amorçages a varié de 20 à 100 mm et la durée de ce forage a varié de 5 à 40 s suivant les difficultés.

La durée de l'avancement de la béquille (marteau-perforateur arrêté) a varié de 5 à 8 s.

La durée de retrait du fleuret a varié de 6 à 10 s.

7. CONSOMMATION D'AIR COMPRIMÉ

71. Consommation d'air comprimé par minute de forage.

Le tableau VI donne la consommation moyenne d'air comprimé en m³/min, en petit granit, dans le cas d'une pression d'air comprimé de 5,5 kg/cm² et d'un diamètre du trou de 31 - 33 mm.

TABLEAU XII.
Consommation d'air comprimé en m³/min.

| Marque | Type | Pression : 5,5 kg/cm ² | | Pression : 3,9 kg/cm ² Ø du trou : 31 - 33 mm | |
|-------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|---|--|
| | | Diamètre 31 - 33 mm | Diamètre 37 - 39 mm | | Diminution de consommation en % par rapport à une pression de 5,5 kg/cm ² |
| Meudon | HP | 4,935 | 4,970 | 3,050 | 39 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 4,230 | 4,021 | 2,968 | 30 |
| Meudon | GP | 3,820 | 3,870 | 2,527 | 34 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 3,720 | 3,783 | 2,532 | 33 |
| Montabert | T 25 | 3,395 | 3,305 | 2,530 | 26 |
| Colinet | TC 22 | 4,020 | 4,080 | 2,845 | 29 |
| Montabert | T 21 | 3,300 | — | — | — |
| Krupp | S 118 ZWK | 3,332 | 3,253 | 2,409 | 22 |
| Flottmann | BK 20 | 2,700 | 2,800 | 2,227 | 18 |
| Krupp | S 20 ZWK | 3,330 | 3,287 | 2,250 | 33 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 2,662 | 2,549 | 1,809 | 32 |
| Gardner | S 58 | 2,736 | 2,720 | — | — |
| Flottmann | BK 14 | 2,780 | 2,763 | 1,931 | 31 |

Le tableau XII donne la consommation moyenne d'air comprimé en m³/min pour les conditions suivantes :

- pression d'air comprimé : 5,5 kg/cm² - diamètre du trou : 31 - 33 mm
- pression d'air comprimé : 5,5 kg/cm² - diamètre du trou : 37 - 39 mm
- pression d'air comprimé : 3,9 kg/cm² - diamètre du trou : 31 - 33 mm

On peut constater que la consommation d'air comprimé évolue sensiblement comme les vitesses instantanées de forage obtenues au cours de ces essais. La consommation varie presque du simple au double entre les deux extrêmes.

A une pression déterminée et pour un même diamètre de forage, la consommation d'air comprimé est constante, que le trou soit foré horizontalement ou incliné vers le haut ou vers le bas.

L'augmentation du diamètre de forage ne provoque pas de différence appréciable dans la consommation d'air comprimé par minute (colonnes 3 et 4).

La dernière colonne du tableau XII indique la diminution de consommation en mètre cube/minute exprimée en pourcent, obtenue en passant d'une pression de 5,5 kg/cm² à 3,9 kg/cm² pour un même diamètre de trou. La diminution de consommation est importante.

72. Consommation d'air comprimé par mètre foré.

Cette consommation donnée au tableau XIII correspond plus à la consommation réelle d'air comprimé dans les travaux miniers ; les consommations par mètre de trou dépendent fortement de la vitesse instantanée de forage.

TABLEAU XIII.
Consommation d'air comprimé en m³/m foré dans le petit granit.

| Marque | Type | Pression : 5,5 kg/cm ² | | Pression : 3,9 kg/cm ² |
|-------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| | | Diamètre 31 - 33 mm | Diamètre 37 - 39 mm | Diamètre du trou : 31 - 33 mm |
| Meudon | HP | 7,770 | 10,850 | 9,110 |
| Atlas-Copco | BBD 90 | 7,300 | 8,240 | 7,590 |
| Meudon | GP | 7,400 | 9,360 | 7,785 |
| Atlas-Copco | BBD 43 | 7,210 | 9,550 | 8,420 |
| Montabert | T 25 | 7,690 | 9,210 | 8,125 |
| Colinet | TC 22 | 9,430 | 11,850 | 10,075 |
| Montabert | T 21 | 7,810 | — | — |
| Krupp | S 118 ZWK | 8,030 | 9,550 | 8,810 |
| Flottmann | BK 20 | 6,500 | 8,600 | 8,000 |
| Krupp | S 20 ZWK | 7,700 | 9,310 | 9,195 |
| Atlas-Copco | BBD 41 | 6,690 | 7,550 | 7,540 |
| Gardner | S 58 | 8,550 | 10,150 | — |
| Flottmann | BK 14 | 8,700 | 10,530 | 9,195 |
| Moyenne | | 7,780 | 9,600 | 8,510 |

On constate que l'écart entre les consommations des divers marteaux est très faible.

Dans le tableau XIII, les marteaux ont été classés dans l'ordre décroissant des vitesses de forage et la consommation par mètre foré n'évolue plus du tout comme la vitesse instantanée de forage.

On constate aussi qu'en augmentant le diamètre des trous de 20 % environ (en passant du diamètre de 31 - 33 mm au diamètre 37 - 39 mm), la consommation d'air comprimé augmente de près de 24 %.

L'emploi d'une pression d'air comprimé plus faible, 3,9 kg/cm² au lieu de 5,5 kg/cm², n'augmente que de 9 % la consommation d'air comprimé.

En admettant qu'un mètre cube d'air comprimé coûte 0,20 F, on constate que le coût de l'énergie s'élève à 1,60 F/m de trou foré en moyenne pour un diamètre de 31 - 33 mm et de 2 F/m environ pour un diamètre de 37 - 39 mm.

73. Consommation totale d'air comprimé.

Dans les tableaux précédents, il n'a été question que de la consommation d'air comprimé pendant le forage proprement dit.

La consommation réelle s'obtient en ajoutant la consommation pendant l'amorçage et pendant le retrait du fleuret du trou.

Lors des essais, on a constaté qu'il fallait ajouter 1,1 m³ par trou de 3,20 m.

Cette consommation est sensiblement indépendante de la longueur du trou ; elle serait la même dans le cas d'un trou de 2,40 m foré à l'aide de 2 fleurets.

74. Consommation d'air comprimé en fonction de la profondeur de forage.

Nous avons mesuré séparément la consommation d'air comprimé lors du forage du trou de 0 à 1,60 m et lors de son approfondissement à 3,20 m.

Pour le forage au diamètre de 31 - 33 mm et à la pression de 5,5 kg/cm², on constate que, pour 3 marteaux, la consommation est la même par mètre de trou dans le tronçon 0 à 1,60 m et le tronçon 1,60 à 3,20 m ; la consommation augmente de 5 à 20 % pour 6 marteaux et diminue de 2 à 10 % pour 4 marteaux.

Pour le forage au diamètre de 37 - 39 mm et à la pression de 5,5 kg/cm², on constate que la consommation augmente de 5 à 20 % pour tous les marteaux dans le tronçon de 1,60 à 3,20 m.

Par contre pour le forage au diamètre de 31 - 33 et à la pression de 3,9 kg/cm², la consommation diminue de 5 à 10 % pour 8 marteaux ; elle reste stationnaire pour 3 marteaux et augmente de 5 à 10 % pour 2 marteaux.

8. COUT D'UN FORAGE COMPLET

A titre d'exemple, nous supposons le cas d'un bouveau à claveaux dans lequel la volée comporte 54 trous de 2,40 m donnant un avancement moyen de 2 m par cycle.

Le terrain traversé est supposé être du grès tendre ou du schiste dur permettant de réaliser des vitesses instantanées de forage semblables à celles rencontrées dans les 2 carrières.

On suppose le front attelé à 4 hommes et 3 marteaux-perforateurs forant chacun 18 trous.

Pour faciliter l'établissement du coût de la phase complète de forage, nous avons envisagé les 3 stades suivants :

1) *Le forage proprement dit*, correspondant à la vitesse instantanée et qui est la partie utile de l'opération dont le prix de revient dépend fortement du type de marteau-perforateur utilisé, de la pression d'air comprimé et du diamètre du trou.

2) *Le forage proprement dit plus les diverses manœuvres* telles que l'amorçage, le changement de trou et les incidents qui dépendent principalement de l'habileté du foreur.

3) *La phase entière de forage* qui comprend en plus le montage des planchers de travail, le transport et le raccordement des marteaux-perforateurs qui dépendent principalement de l'organisation du chantier.

81. Coût du forage proprement dit.

Chaque marteau doit forer 18 trous de 2,40 m, soit 43,20 m.

Le tableau XIV donne le coût en salaires et en consommation d'énergie pour le forage instantané de 54 trous.

On suppose que les fleurets peuvent forer chacun 600 m en moyenne en estimant à 20 % du prix d'achat les frais de réaffûtage et de transport.

On suppose de plus que les marteaux-perforateurs peuvent forer chacun 300 heures sans usure et révi-

sion complète et que les béquilles pneumatiques peuvent être utilisées sans révision complète pendant 20.000 m.

Nous ne tenons pas compte de la consommation d'eau qui est d'environ 5 litres/mètre, soit environ 250 litres pour une volée complète.

Dans la plupart des cas, au fond la pression réelle au cours du forage se rapproche plus de 4 kg/cm² que de 3,7 kg/cm².

Avec une pression de 4 kg/cm² et un marteau léger, le forage effectif coûte à peu près deux fois plus qu'avec un marteau plus puissant.

82. Coût du forage y compris les changements de trou et les incidents.

Aux frais du forage effectif, qui dépendent du matériel utilisé, de la pression d'air comprimé, du diamètre du trou et du terrain traversé, il faut ajouter les manœuvres de changement de trou, d'amorçage et de retrait des fleurets qui sont en grande partie indépendantes du matériel employé.

D'après de nombreux chronométrages effectués, il faut compter 30 s en moyenne par trou pour retirer le fleuret, changer de trou et pour amorcer, il faut en plus ajouter une moyenne de 10 s pour tenir compte des incidents qui peuvent survenir pendant le forage.

Pour une volée de 54 trous, ces opérations demandent 36 min par homme, soit 2 h 24 min pour 4 hommes, ce qui donne une dépense de 400 F en salaires.

Il faut encore ajouter la consommation d'air comprimé pour l'amorçage et le retrait du fleuret, celle-ci est d'environ 1 m³ par trou soit 54 m³ ou 10 F.

Il convient donc d'ajouter 410 F à chacun des coûts établis au paragraphe précédent pour 2 m de bouveau.

83. Coût de toute la phase de forage.

De nombreux chronométrages effectués dans les bouveaux à claveaux ont montré que le forage effectif plus les changements de trous et les incidents survenant au cours du forage ne représentent que 50 à 60 % du temps total de l'opération de forage.

Ces opérations auxiliaires, tels le peignage du front, le transport et le montage du plancher de forage, l'amenée et le raccordement du matériel de forage, exigent un travail total d'environ 3 heures réparti sur les 4 ouvriers, ce qui représente une somme de 500 F en salaires pour un avancement du bouveau de 2 m.

Le tableau XV donne le coût total pour les divers cas envisagés.

TABLEAU XIV.

Prix de revient du forage proprement dit de 54 trous de 2,40 m forés à l'aide de 3 marteaux-perforateurs correspondant à un avancement de 2 m de bouveau.

| | Marteau-perforateur le plus rapide | Marteau-perforateur le moins rapide |
|--|---------------------------------------|--|
| | F | F |
| <i>Cas A</i> : Pression d'air comprimé : 5,7 kg/cm ² Diamètre du trou : 31 - 33 mm Durée totale du forage effectif Consommation d'énergie en air comprimé | 52 min 768 m ³ | 119 min 990 m ³ |
| <i>Prix de revient</i> : | | |
| Salaires des 4 ouvriers (y compris les charges sociales) | 580 | 1.300 |
| Energie consommée | 153 | 198 |
| Fleuret | 187 | 187 |
| Marteau-perforateur | 146 | 198 |
| Béquille | 32 | 32 |
| Huile | 45 | 58 |
| Total | 1.143 | 1.973 |
| <i>Cas B</i> : Pression d'air comprimé : 5,7 kg/cm ² Diamètre de forage : 37 - 39 mm Durée totale du forage effectif Consommation d'énergie | 73 min 1.089 m ³ | 143 min 1.230 m ³ |
| <i>Prix de revient</i> : | | |
| Salaires des 4 ouvriers | 810 | 1.650 |
| Energie consommée | 279 | 246 |
| Fleuret | 187 | 187 |
| Marteau-perforateur | 202 | 247 |
| Béquille | 32 | 32 |
| Huile | 65 | 70 |
| Total | 1.575 | 2.432 |
| <i>Cas C</i> : Pression d'air comprimé : 4,0 kg/cm ² Diamètre de forage : 31 - 33 mm Durée totale du forage effectif Consommation d'énergie (air comprimé) | 91 min 821 m ³ | 205 min 1.185 m ³ |
| <i>Prix de revient</i> : | | |
| Salaires des 4 ouvriers | 1.010 | 2.280 |
| Energie consommée | 164 | 237 |
| Fleuret | 187 | 187 |
| Marteau-perforateur | 255 | 342 |
| Béquille | 32 | 32 |
| Huile | 49 | 69 |
| Total | 1.697 | 3.147 |

TABLEAU XV.
Coût du forage par mètre de bouveau.

| | Pression d'air comprimé en kg/cm ² | Diamètre du trou en mm | Prix de revient en FB Marteau-perforateur | |
|-------|---|------------------------|---|-----------------|
| | | | le plus rapide | le moins rapide |
| Cas A | 5,7 | 31 - 33 | 1.026 | 1.442 |
| Cas B | 5,7 | 37 - 39 | 1.212 | 1.671 |
| Cas C | 4,0 | 31 - 33 | 1.303 | 2.029 |

Dans la plupart des cas, dans les mines belges, la pression d'air comprimé pendant le forage est plus proche de 4 kg/cm² que de 5,7 kg/cm². Le gain de prix de revient entre un marteau rapide et un marteau plus lent est de plus de 700 F/m de bouveau dans le cas envisagé (terrain gréseux). L'utilisation d'un marteau lent conduit donc à une augmentation de 50 % des dépenses.

En terrain schisteux, le coût du forage sera plus faible, mais les proportions entre les divers cas se maintiendront au même ordre de grandeur.

En Campine, de nombreux chronométrages effectués en schiste donnent une vitesse instantanée moyenne de 60 cm/min avec un marteau-perforateur Atlas-Copco BBD 41 et une pression d'air comprimé de 5 kg/cm² environ.

Ce même marteau a permis de forer dans le grès de la carrière des Hayettes avec une vitesse instantanée de 46,6 cm/min, avec une pression d'air comprimé de 5,7 kg/cm², et une vitesse estimée à 35 cm/min dans le cas d'une pression de 5 kg/cm².

On peut estimer que les vitesses instantanées de forage réalisées en schiste seraient 40 % plus élevées que celles obtenues dans la carrière des Hayettes.

9. CONCLUSIONS

91. Consommation d'air comprimé.

a) La consommation d'air comprimé d'un marteau ne doit pas être un critère important pour le choix d'un marteau-perforateur.

La consommation d'air comprimé par minute varie presque du simple au double suivant les marteaux. Mais la consommation par mètre de trou, qui correspond donc à la consommation réelle, est indépendante du type de marteau-perforateur employé.

La consommation instantanée de 3 marteaux-perforateurs peut varier de 15 m³/min à 8 m³/min suivant le type de marteau-perforateur choisi, mais la consommation totale pour l'ensemble des trous est la même pour chaque type de marteau-perforateur. Pour ne pas perdre l'avantage de la vitesse instantanée plus grande du marteau le plus rapide, il est cependant indispensable que le débit d'air comprimé du réseau soit suffisant pour fournir ces 15 m³/min à front du bouveau sans réduction de pression.

b) La consommation d'air comprimé par mètre de trou ne varie presque pas avec la pression d'air comprimé dans le cas d'un même diamètre de trou.

Elle augmente par contre de 24 % en passant d'un diamètre de trou de 31 à 37 mm avec une même pression d'air comprimé.

92. Pression d'air comprimé.

La vitesse instantanée de forage augmente très rapidement avec la pression d'air comprimé.

En grès, la vitesse instantanée de forage augmente de 73 % en passant d'une pression d'air comprimé de 4,0 kg/cm² à 5,7 kg/cm².

En petit granit, la vitesse instantanée de forage augmente de 55,5 % en passant d'une pression d'air comprimé de 3,9 kg/cm² à 5,5 kg/cm².

Rappelons qu'une pression d'air comprimé de 5,5 kg/cm² lors du forage exige une pression statique d'environ 6 à 6,2 kg/cm².

93. Diamètre des trous.

Il semble que l'on n'ait pas intérêt à augmenter inutilement le diamètre des trous.

Pour une même pression d'air comprimé, la vitesse instantanée de forage diminue de 20 % en passant d'un diamètre de trou de 31 - 33 mm à 37 - 39 mm. Dans ce cas cependant, l'augmentation du volume de roches abattu par le taillant est de 29 % ; cette augmentation du rendement par unité de débris abattus provient du fait que l'espace annulaire réservé pour l'évacuation des débris de forage est plus grand quand le diamètre de trou est de 37 - 39 mm.

Dans le cas du forage au diamètre de 42 - 44 mm nécessaire pour l'utilisation d'explosifs gainés, la diminution de la vitesse instantanée de forage doit être notablement plus importante encore et approcher de 50 %.

Dans le cas d'un emploi de cartouche de dynamite de 25 mm de diamètre, on a intérêt à forer au diamètre de 32 mm à condition que la présence d'eau ne provoque pas un gonflement du terrain et un rétrécissement du trou.

Remarquons ici qu'outre une dépense supplémentaire en main-d'œuvre et en énergie, l'utilisation d'un grand diamètre de forage raccourcit la durée de vie d'un fleuret.

Un fleuret de même marque, qui permet de forer 1.000 m au diamètre de 32 mm, ne permet pas de forer plus de 750 m dans le cas d'un diamètre de taillant de 37 mm et de 300 à 400 m, dans le cas d'un diamètre de taillant de 44 mm.

La qualité du fleuret joue aussi un grand rôle. La durée de vie d'un fleuret varie de 1 à 2 au moins suivant le type.

94. Emplacement du trou.

On n'a pas constaté de différence appréciable dans la vitesse de forage suivant que le trou est foré incliné (vers le bas près du sol) ou (vers le haut à 2 m de hauteur) ou horizontalement entre 0,80 et 1,40 m de hauteur.

95. Profondeur du trou.

On n'a pas constaté de différence appréciable dans la vitesse instantanée suivant la profondeur du trou, même avec les marteaux d'une puissance plus faible.

Le tableau I montre qu'en terrain homogène (petit granit) la vitesse instantanée de forage est la même pour le tronçon de 1 à 50 cm que pour le tronçon de 2,50 à 3,16 m.

En faisant abstraction de l'effet utile du minage, ceci montre l'intérêt d'augmenter au maximum la longueur des volées.

96. Poids des marteaux.

Le tableau IV donne le poids des divers marteaux essayés ; celui-ci varie de 22 à 30 kg, sauf pour le marteau Flottmann BK 14 qui ne pèse que 18 kg.

On doit constater qu'à part le marteau Flottmann plus léger, l'influence du poids des marteaux ne joue pas un rôle déterminant dans la vitesse instantanée des divers marteaux-perforateurs.

97. Prix de revient.

Dans le creusement d'un bouveau, les salaires interviennent pour une part prépondérante dans le prix de revient total de la phase forage (environ 75 %). On a donc tout intérêt à utiliser des marteaux rapides, un diamètre de trou minimum et une pression d'air comprimé assez élevée.

Le tableau XV donne le coût du forage par mètre de bouveau dans le cas de deux types de marteau-perforateur, avec deux pressions d'air comprimé et deux diamètres de forage.

Il convient d'ajouter que les pertes de temps dues à un calage du fleuret diminuent avec l'augmentation de puissance du marteau ; celle-ci dépend en partie de la consommation d'air comprimé par minute de forage.