

## Perforation en grands diamètres

Essais pratiques réalisés dans  
une carrière de calcaire primaire du Tournaisis

## Boren met grote diameters

Praktijkproeven in een primaire kalksteengroeve  
in de streek van Doornik

**L. SIRONVAL \***

### *IN MEMORIAM*

Né en 1926, Monsieur SIRONVAL fit de brillantes études à l'Université de Liège, où il obtint une licence en sciences chimiques. Il y devint ensuite Assistant à la Faculté des Sciences.

Il entra à la Société des Ciments de l'Escaut à Antoing en qualité de Directeur des Services de production, laboratoire et recherche.

Au sein de cette Société, il s'intéressa particulièrement, entre autres disciplines, aux techniques de perforation et d'abattage de la pierre.

En collaboration avec l'INIEX, il poursuivit des recherches statistiques concernant les vibrations provoquées par les tirs de mines.

### *IN MEMORIAM*

De heer SIRONVAL werd in 1926 geboren. Hij deed schitterende studies aan de Universiteit de Liège waar hij het licentiaat in de scheikunde behaalde. Daarna werd hij assistent aan de Fakulteit Wetenschappen.

Hij trad in dienst van de Société des Ciments de l'Escaut in Antoing als directeur van de Diensten Productie, Laboratoria en Research.

In deze onderneming had hij, naast andere domeinen, bijzondere belangstelling voor de technieken inzake het boren en winnen van steen.

In samenwerking met het NIEB werkte hij mee aan statistische onderzoeken over trillingen als gevolg van schieten.

### *RESUME*

*Les essais de perforation effectués en grands diamètres et en marteau fond de trou avec des pressions de 24,5 kg/cm<sup>2</sup> ont fait apparaître les points suivants :*

\* Directeur production, laboratoires et recherches, S.A. Cimescaut, B-7640 Antoing.

### *SAMENVATTING*

*Boorproeven met grote diameter en d.m.v. gathamers onder een druk van 24,5 kg/cm<sup>2</sup> hebben het volgende aangetoond :*

\* Directeur Productie, Laboratoria en Research S.A. Cimescaut, B-7640 Antoing.

*Pour une fragmentation convenable à l'abattage, on augmente le quadrillage dans des proportions nettement supérieures au simple rapport des diamètres au carré.*

*On peut admettre que le quadrillage suit une loi générale :*

$$G = k (D)^n \text{ où } n > 2$$

*La vitesse de perforation augmente avec la pression exercée sur le marteau.*

*Le grand diamètre favorise la réduction de consommation d'explosifs.*

*Pour des charges maximales par volée ne dépassant pas 385 kg et des distances entre tirs et habitations supérieures à 200 mètres, les vitesses de vibrations n'ont pas dépassé 5 mm/s.*

## ZUSAMMENFASSUNG

*Die bei großen Durchmessern mit einem Lochgrundhammer unter einem Druck von 24 kg/cm<sup>2</sup> ausgeführten Durchbohrversuche führten zu folgenden Ergebnissen :*

— *Bei einer geeigneten Zerkleinerung beim Abbau erhöht sich das Raster in einem Verhältnis, das wesentlich größer als das einfache Verhältnis der Quadrat der Durchmesser ist.*

*Es kann angenommen werden, daß das Raster einem allgemeinen Gesetz folgt :*

$$G = k (D)^n \text{ mit } n > 2$$

— *Die Durchbohrgeschwindigkeit erhöht sich mit dem auf den Hammer ausgeübten Druck.*

— *Ein großer Durchmesser wirkt sich günstig auf den Sprengstoffverbrauch aus.*

— *Bei einer maximalen Ladung pro Salve von nicht mehr als 385 kg und einer Entfernung zwischen den Sprengungen und den Wohnungen von mehr als 200 Metern lagen die Vibrationsgeschwindigkeiten nicht über 5 mm/sec.*

## 1. INTRODUCTION

En carrière, la recherche des conditions optimales de l'abattage de la roche dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la perforation joue un rôle important.

Cette perforation est, en soi, un ensemble complexe comprenant :

*Om bij het winnen een behoorlijke verbrokkeling te krijgen, wordt het quadrilleren verhoogd in verhoudingen die duidelijk hoger liggen dan de eenvoudige verhouding van de diameter in het kwadraat.*

*Aangenomen mag worden dat het quadrilleren een algemene wet volgt :*

$$G = k (D)^n \text{ waarin } n > 2$$

*De boorsnelheid stijgt met de druk die op de hamer wordt uitgeoefend.*

*De grote diameter vergt minder springstoffen.*

*Voor maximale ladingen per reeks van ten hoogste 385 kg en voor afstanden tussen schoten en woningen van meer dan 200 m lag de trilsnelheid niet hoger dan 5 mm/s.*

## SUMMARY

*Large-diameter drilling trials using hole-bottoming drills at pressures of 24.5 kg/cm<sup>2</sup> threw up the following points :*

a) *Maintaining a suitable fragmentation, the dimensions of the drilling pattern are increased by a factor considerably greater than the ratio of the square diameters.*

*It can be assumed that the shot-firing pattern obeys a general law :*

$$G = k (D)^n \text{ where } n > 2$$

b) *Drilling speed increases with drilling pressure.*

c) *The large diameter of the holes helps to reduce the consumption of explosives.*

d) *For maximum charges per round of shots not over 385 kg, and for distances between the nearest dwellings and the shots of over 200 metres, the velocity of the vibrations did not exceed 5 mm/sec.*

## 1. INLEIDING

Tal van factoren spelen een rol in het onderzoek naar de optimale omstandigheden waarin gesteente wordt gewonnen in een groeve. Een belangrijke rol is toebedeeld aan het boren.

Dit boren is op zich een complexe aangelegenheid met o.a. :

- la technique de perforation
- le matériel de perforation
- les conditions de perforation.

Par technique de perforation, on doit considérer : la rotation, le marteau hors trou et le marteau fond de trou.

Le matériel de perforation dépend de la technique choisie et des conditions de perforation que l'on désire s'imposer.

Dans notre cas, nous savions que la technique de perforation par rotation n'était pas possible dans tous nos bancs (existence de noyaux siliceux durs). Le matériel utilisant le marteau hors trou est actuellement limité à la perforation en diamètre de 110 mm maximum.

Il nous restait donc à envisager la technique du marteau fond de trou et à rechercher un matériel permettant de travailler avec la pression la plus élevée possible pour un diamètre de perforation le plus grand possible.

Les essais de perforation en carrière ont été réalisés avec un matériel permettant les conditions suivantes :

- marteau fond de trou forant en diamètre de 165 mm
- compresseur réalisant une pression de 350 PSI (24,6 kg/cm<sup>2</sup>, 2,41 MPA) et un débit de 900 cfm (25,5 m<sup>3</sup>/min).

Les résultats de ces essais seront exposés dans trois parties :

- 1) La perforation comprenant le quadrillage en fonction du diamètre des fourneaux ainsi que la vitesse d'enfoncement de l'outil d'attaque de la roche.
- 2) Le coût énergétique englobant le fuel utilisé par la machine et l'explosif (ANFO + dynamite) nécessaire pour fracturer la roche.
- 3) Les mesures de vibrations qui doivent accompagner toute modification des plans de tirs de mines.

## 2. PERFORATION

### 2.1. Quadrillage

#### 2.1.1. Remarques préliminaires

Lorsqu'on parle de quadrillage, il faut être prudent. En effet, le quadrillage varie fortement en fonction des éléments principaux suivants :

##### a) Nature de la roche

Par nature de la roche, il faut comprendre composition minéralogique et texture qui peuvent varier

- de boortechiek,
- het boormateriaal,
- de booromstandigheden.

Onder boortechiek dient te worden verstaan : de draaiboor, de slagboor en de gathamer.

Welk boormateriaal gebruikt wordt, hangt af van de gekozen techniek en van de booromstandigheden waarin men wenst te werken.

In ons geval wisten wij dat de techniek met draaiboring niet kon worden toegepast in al onze lagen (aanwezigheid van harde kiezelkernen). Met het materieel waarbij een hamer buiten het boorgat wordt gebruikt, kan momenteel een diameter van 110 mm maximum worden geboord.

Er restte ons dus enkel de techniek met de gathamer te bekijken en na te gaan met welk materieel met de hoogste druk kan worden gewerkt bij een zo groot mogelijke boordiameter.

De boorproeven in de groeve werden gedaan met materieel met volgende kenmerken :

- een gathamer voor een boordiameter van 165 mm
- een compressor waarmee een druk van 350 PSI (24,6 kg/cm<sup>2</sup>, 2,41 MPA) en een debiet van 900 cfm (25,5 m<sup>3</sup>/min) kan worden gerealiseerd.

De resultaten van deze proeven worden weergelegd in drie delen :

- 1) Het boren, inclusief het quadrilleren, afhankelijk van de diameter mijngaten en de snelheid van de indringing van het boorapparaat in het gesteente ;
- 2) De energiekosten, inclusief de door de machine verbruikte olie en de springstof (ANFO + dynamiet) voor het verbrokkelen van het gesteente ;
- 3) De metingen van de trillingen die bij elke wijziging aan de schietplannen moeten worden gedaan.

## 2. HET BOREN

### 2.1. Het quadrilleren

#### 2.1.1. Voorafgaande opmerkingen

Als men het over quadrilleren heeft, moet men voorzichtig zijn. Het quadrilleren is immers sterk verbonden met de volgende hoofdzaken.

##### a) Aard van het gesteente

Onder aard van het gesteente dient te worden verstaan : de mineralogische samenstelling en textuur

fortement non seulement d'une carrière à l'autre pour des roches de compositions minéralogiques différentes mais peuvent également fluctuer entre des bancs différents au sein d'une même carrière.

Les délits, les diaclases, les coupes terreuses sont aussi des facteurs qui jouent un rôle non négligeable sur la distance que l'on peut admettre entre fourneaux.

#### b) *Installation de concassage primaire*

Le type de concasseur primaire exige une granulométrie à l'alimentation.

Cette granulométrie imposée à la roche abattue sera réglée par le quadrillage qui ne pourra pas dépasser une valeur maximale donnée. En général, le quadrillage sera d'autant plus resserré que l'on recherche une granulométrie fine.

#### c) *Conditions de production*

On peut souhaiter obtenir une granulométrie plus grosse si on recherche, par exemple, la production de moellons. Ces conditions de production conduisent à des vues identiques à celles imposées par l'installation de concassage primaire.

#### d) *Bourrage*

Il est fréquent de laisser une partie supérieure du fourneau sans explosif afin d'éviter les projections de matériaux. Ce point est d'autant plus important si on se rapproche d'habitations. La partie supérieure du fourneau non remplie d'explosifs peut conduire, dans le cas de roches fracturées, à la formation de blocs non souhaités.

Afin de réduire cet effet néfaste, on aura souvent comme seul recours que le resserrement du quadrillage.

Ces quelques notions montrent combien il peut être difficile de comparer des quadrillages.

Aussi, dans les essais entrepris, il n'a été tenu compte que des quadrillages pris dans des mêmes bancs et dans des endroits très voisins de la carrière.

### 2.1.2. *Résultats des essais*

Les résultats sont donnés au tableau I.

On y trouve les quadrillages pour divers diamètres de forage ainsi que le rapport de quadrillage par rapport au quadrillage de 80 mm pris comme référence.

A partir de ces valeurs, on peut établir le graphique I. L'examen de celui-ci fait immédiatement constater que le rapport des diamètres au carré  $(D/D\ 80)^2$  s'écarte de la courbe du rapport des quadrillages

die niet alleen fel van elkaar kunnen verschillen voor gesteentes met verschillende mineralogische samenstelling, maar ook sterk kunnen afwijken van elkaar voor diverse lagen in een zelfde groeve.

De verkeerd liggende stenen, diaclasen en aardversnijdingen zijn ook factoren die een niet te verwaarlozen rol spelen inzake de tussen de mijngaten aanvaardbare afstand.

#### b) *Primaire breker*

Het type primaire breker eist bij de aanvoer een bepaalde granulometrie.

De granulometrie die voor het gewonnen gesteente wordt gevraagd, dient te worden geregeld door het quadrilleren waarbij een bepaalde maximale waarde niet mag worden overschreden. Over het algemeen dient de quadrillingsafstand des te korter te zijn naarmate een fijnere granulometrie wordt gevraagd.

#### c) *Productie-eisen*

Het zou kunnen dat een grotere granulometrie gewenst is als men b.v. moellon-stenen wil produceren. Deze productie-eisen leiden tot dezelfde gezichtspunten als die voor de primaire breekinstallatie.

#### d) *Opproppen*

Het gebeurt vaak dat in het bovenste gedeelte van het mijngat geen springstof wordt aangebracht om te vermijden dat materialen worden weggeslingerd. Hoe korter men bij woningen opereert, hoe belangrijker dit punt is. Het niet met springstof gevulde bovenste gedeelte van het mijngat kan bij breuksteen meebrengen dat niet gewilde blokken ontstaan.

Om deze schadelijke uitwerking te beperken, is het enige middel vaak de quadrillingsafstand te verkorten.

Uit deze enkele begrippen blijkt hoe moeilijke gevallen van quadrilleren met elkaar kunnen worden vergeleken.

Bij de gedane proeven zijn enkel die gevallen van quadrilleren in aanmerking genomen die in dezelfde lagen werden uitgevoerd en op plaatsen die zeer dicht bij elkaar liggen in de groeve.

### 2.1.2. *Resultaten van de proeven*

De resultaten staan vermeld in tabel I.

Hierin treft men aan de quadrilleringen voor diverse boordiameters evenals de quadrillingsverhouding t.o.v. de quadrillering van 80 mm die als referentie wordt genomen.

Met deze waarden kan grafiek I worden opgesteld. Hiervan kan men meteen aflezen dat de verhouding van de diameters in kwadraat  $(D/D\ 80)^2$  afwijkt van

TABLEAU I

Diamètres de Forage D (mm)	80	106	120	130	165	Boordiameter D (mm)
Quadrillages Q (m <sup>2</sup> )	5	9	12	17,5	35	Quadrilleringen Q (m <sup>2</sup> )
Rapports Q/Q 80	1,00	1,80	2,40	3,50	7,00	Verhoudingen Q/Q 80
Rapports (D/D 80) <sup>2</sup>	1,00	1,74	2,25	2,64	4,24	Verhoudingen (D/D 80) <sup>2</sup>

TABEL I

(Q/Q 80). Cette constatation est des plus importantes et mérite une confirmation. Ainsi, trois périodes de production ont été relevées et il a été compté les quantités de mètres forés en diamètres 80 mm, 106 mm, 130 mm et 165 mm pour chacune des périodes.

Les valeurs sont données au tableau II.

de kromme voor de verhouding van de quadrilleringen (Q/Q 80). Deze vaststelling is zeer belangrijk en vereist een bevestiging. Daarom werden in drie produktietermijnen opmetingen gedaan en hierbij werd opgetekend hoeveel meter in elke periode werd geboord met een diameter van 80 mm, 106 mm, 130 mm en 165 mm.

Tabel II geeft de cijfers.

TABLEAU II

Tonnages	Mètres forés			
	80	106	130	165
100157	636	2867	—	248
202305	717	2246	—	1541
187984	108	4933	—	740
198208	1784	4461	826	342

TABEL II

Tonnage	Geboorde meters			
	80	106	130	165
100157	636	2867	—	248
202305	717	2246	—	1541
187984	108	4933	—	740
198208	1784	4461	826	342

On peut au départ du tableau II établir un système de 4 équations à 4 inconnues : ces inconnues étant les tonnes par mètre foré pour chaque diamètre.

Si l'on divise ces tonnes/mètre par la densité de la pierre calcaire qui est de 2,5, on obtient le quadrillage qui a été pris pour chacun des diamètres de forage.

On obtient ainsi le tableau III.

Op basis van tabel II kan een systeem van 4 vergelijkingen met 4 onbekenden worden opgesteld ; deze onbekenden zijn de tonnen per geboorde meter voor elke diameter.

Als men deze ton/meter deelt door de dichtheid van de kalksteen nl. 2,5, bekomt men de quadrillering die voor elke boordiameter werd aangehouden.

Zo komt tabel III tot stand.

TABLEAU III

Diamètres (m)	Tonnes (T/m)	Quadrillages (m <sup>2</sup> )
80	12,685	5,074
106	24,344	9,738
130	43,866	17,546
165	89,848	35,939

TABEL III

Diameter (m)	Ton (t/m)	Quadrillering (m <sup>2</sup> )
80	12,685	5,074
106	24,344	9,738
130	43,866	17,546
165	89,848	35,939

Les valeurs de quadrillage sont pratiquement identiques à celles relevées par mesurages sur les bancs et données dans le tableau I et la figure 1.

De quadrillingswaarden zijn praktisch dezelfde als bij de metingen aan de lagen die in tabel I en figuur 1 zijn opgenomen.

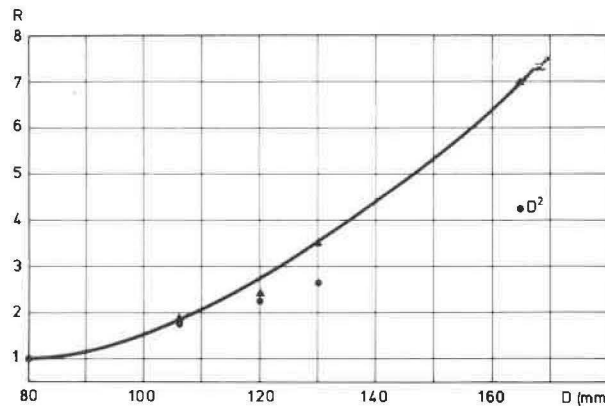


Fig. 1

Pour être aussi complet que possible, il faut signaler que de récents essais ont permis de montrer que, dans certains bancs, les perforations en 165 mm permettaient un quadrillage de l'ordre de 45 à 48 m<sup>2</sup>, alors qu'en 106 mm, des quadrillages de 11,5 à 12 m<sup>2</sup> étaient réalisables. Dans ce cas, on retrouve le même rapport que celui renseigné au tableau I.

Ceci démontre l'avantage de travailler en valeurs relatives.

Il reste donc à donner une justification de cet effet du diamètre sur le quadrillage.

Om zo volledig mogelijk te zijn, dient nog te worden vermeld dat recente proeven hebben uitgewezen dat boringen van 165 mm in bepaalde lagen een quadrillering van 45 tot 48 m<sup>2</sup> mogelijk maakten en dat met 106 mm quadrilleringen van 11,5 tot 12 m<sup>2</sup> konden worden gerealiseerd. In dat geval komt men tot dezelfde houding als in tabel I aangegeven. Hieruit blijkt het voordeel met relatieve waarden te werken.

Rest ons dus een verklaring te verstrekken van de invloed van de diameter op de quadrillering.

### 2.1.3. Effet du diamètre sur le quadrillage

Lorsqu'on augmente le diamètre des fourneaux, deux facteurs doivent être pris en considération.

a) L'augmentation du quadrillage en fonction du rapport des diamètres au carré.

Le quadrillage relatif (par exemple à 80 mm) est donné par :

$$Q/Q_{80} = (D/D_{80})^2 \quad (1)$$

Cette relation constitue le maintien de la charge par volume de pierre à abattre.

b) En plus de la relation (1) que l'on pourrait considérer comme relation de base, il faut tenir compte de la notion suivante :

Si, par exemple, nous comparons des fourneaux de diamètres 100 mm et 50 mm, il est bien certain qu'il faudra 4 fourneaux de 50 mm pour 1 fourneau de 100 pour satisfaire l'équation (1). Mais il doit être remarqué que le fourneau de 100 mm, contenant autant d'explosifs que les 4 fourneaux de 50 mm, a une surface latérale 2 fois moindre que la somme des surfaces latérales des 4 fourneaux de 50 mm. Il faut donc admettre que la pression exercée par les explo-

### 2.1.3. Invloed van de diameter op de quadrillering

Als de diameter van de mijngaten vergroot wordt, moet met twee factoren rekening worden gehouden.

a. De verhoging van de quadrillering afhankelijk van de verhouding van de diameter in kwadraat.

De relatieve quadrillering (b.v. op 80 mm) wordt gegeven door :

$$Q/Q_{80} = (D/D_{80})^2 \quad (1)$$

Deze relatie betekent een aanhouden van de lading t.o.v. het te winnen gesteente.

b. Naast relatie (1) die als een basisrelatie zou kunnen worden beschouwd, dient met het navolgende rekening te worden gehouden.

Als wij b.v. mijngaten met een diameter van 100 mm en van 50 mm met elkaar vergelijken, dan staat het vast dat voor een mijngat van 100 mm 4 mijngaten van 50 mm nodig zijn om aan vergelijking (1) te voldoen. Maar er dient te worden opgemerkt dat het zijoppervlak van het mijngat van 100 mm waarin evenveel springstof zit als in de 4 mijngaten van 50 mm tweemaal minder groot is dan de som van de zijoppervlakken van de 4 mijngaten van 50 mm. Men kan dan aannemen dat de druk die door de springstof

sifs sur la surface latérale du fourneau de 100 mm sera 2 fois plus grande.

En généralisant et en considérant le diamètre de 80 mm et la pression (P 80) exercée sur la paroi latérale du fourneau de ce diamètre comme valeurs de référence, on peut poser que la pression relative est donnée par

$$P/P 80 = (D/D 80).$$

Cette pression supérieure aura certainement un effet favorable sur la fragmentation lors de l'explosion.

Si à même charge, on obtient une meilleure fragmentation lorsqu'on augmente le diamètre du fourneau, il s'ensuit que l'on pourra réduire les explosifs dans les fourneaux si l'on se contente de travailler suivant l'équation (1).

D'autre part, si l'on maintient la quantité d'explosifs dans les fourneaux, et si l'on veut maintenir en outre une même granulométrie à la fragmentation, il faudra agrandir le quadrillage d'une valeur  $Q_x$  proportionnel à  $P/P 80$  ou :

$$Q_x = k(P/P 80) = k(D/D 80) \quad (2)$$

L'équation (2) est donc un correctif à apporter à l'équation (1). Ce correctif peut être apporté de deux façons :

*comme terme additif. On aura alors :*

$$Q/Q 80 = (D/D 80)^2 + k(D/D 80) \quad (3)$$

Pour l'équation (3), on envisagera la modification suivante :

$$[Q/Q 80 - (D/D 80)^2] = k(D/D 80) \quad (3a)$$

ou en général :

$$[Q/Q 80 - (D/D 80)^2] = f(D/D 80) \quad (3b)$$

Ceci met l'équation (3) sous une forme plus simple car  $(D/D 80)^2$  est connu.

*comme terme multiplicatif. On obtiendra :*

$$Q/Q 80 = k(D/D 80)^3 \quad (4)$$

où  $k \leq 1$

Cette dernière équation peut être généralisée en une fonction géométrique.

$$Q/Q 80 = k_1(D/D 80)^n \quad (4a)$$

où  $2 < n \leq 3$  et  $k_1 \rightarrow k$  lorsque  $n \rightarrow 3$ .

Les équations (3), (3a), (3b), (4), (4a) peuvent être estimées au départ du tableau I.

#### 2.1.4. Détermination d'une relation entre le quadrillage et le diamètre

Avant d'entreprendre une étude statistique, il faut déterminer la valeur du coefficient de corrélation que l'on peut admettre pour une probabilité d'existence d'une relation donnée.

op het zijoppervlak van het mijngat van 100 mm wordt uitgeoefend, tweemaal groter is.

Bij veralgemening en als de diameter van 80 mm en de druk (P 80) op de zijwand van het mijngat met deze diameter als referentiewaarde worden beschouwd, mag men stellen dat de relatieve druk wordt gegeven door

$$P/P 80 = (D/D 80)$$

Deze hogere druk heeft ongetwijfeld een gunstige weerslag op de verbrokkeling bij de explosie.

Als bij een zelfde lading een betere verbrokkeling wordt verkregen terwijl de diameter van het mijngat is vergroot, volgt hieruit dat springstoffen in de mijngaten kunnen worden verminderd als men volgens vergelijking (1) werkt.

Als de hoeveelheid springstoffen in de mijngaten wordt aangehouden en als ook een zelfde granulometrie bij de verbrokkeling wordt gewenst, dient de quadrillering met een proportionele waarde  $Q_x$  te worden vergroot tot  $P/P 80$  of :

$$Q_x = k(P/P 80) = k(D/D 80) \quad (2)$$

Vergelijking (2) is dus een correctie op vergelijking (1) die op twee manieren kan worden aangebracht.

*als toegevoegde term ; men heeft dan :*

$$Q/Q 80 = (D/D 80)^2 + k(D/D 80) \quad (3)$$

Voor vergelijking (3) wordt de volgende wijziging overwogen :

$$[Q/Q 80 - (D/D 80)^2] = k(D/D 80) \quad (3a)$$

of in het algemeen :

$$[Q/Q 80 - (D/D 80)^2] = f(D/D 80) \quad (3b)$$

Hiermee wordt vergelijking (3) eenvoudiger want  $(D/D 80)^2$  is gekend.

*als vermenigvuldigingsterm ; men heeft dan :*

$$Q/Q 80 = k(D/D 80)^3 \quad (4)$$

waarin  $k \leq 1$

Deze vergelijking kan worden veralgemeend tot een geometrische functie :

$$Q/Q 80 = k_1(D/D 80)^n \quad (4a)$$

waarin  $2 < n \leq 3$

en  $k_1 \rightarrow k$  als  $n \rightarrow 3$

De vergelijkingen (3), (3a), (3b), (4) en (4a) kunnen aan de hand van tabel I worden opgelost.

#### 2.1.4. Vaststelling van een relatie tussen de quadrillering en de diameter

Alvorens een statistische studie te maken, dient te worden vastgesteld wat de waarde van de correlatiecoëfficiënt is die kan worden aangenomen voor de bestaansfactor van een gegeven relatie.

Dans le cas des essais, on dispose de 5 jours de valeurs. Le nombre de degrés de liberté étant de 4, on prendra comme valeur minimale du coefficient de corrélation  $r$ , la valeur 0,99 et ce pour une probabilité d'existence de 99,9 %.

a) Recherche de la relation

$$Q/Q\ 80 = (D/D\ 80)^2 + k(D/D\ 80).$$

Si l'on examine l'équation (3a), on pourrait calculer  $k$  en déterminant :

$$[Q/Q\ 80 - (D/D\ 80)^2]/(D/D\ 80) = k$$

On constate que  $k$  n'est pas une constante mais varie en fonction de  $D/D\ 80$ .

On serait donc amené à calculer l'équation générale (3b), ce qui revient aussi à exprimer que  $k$  n'est pas une constante mais une variable dépendant de  $D/D\ 80$ .

Il n'est pas possible d'entrer dans cette voie actuellement, le nombre de données est trop peu important pour assurer une étude statistique.

b) Recherche de la relation

$$Q/Q\ 80 = k(D/D\ 80)^3$$

On peut déterminer statistiquement la relation 4, on obtient les valeurs :

$$Q/Q\ 80 = 0,78897(D/D\ 80)^3 + 0,0211 \quad (5)$$

avec  $r = 0,997$  et une estimation de l'erreur sur  $Q/Q\ 80$  de  $s = 0,2096$ .

La valeur résiduelle de la relation (5) (0,0211) est comprise dans la précision de l'estimation de cette relation ( $s = 0,2096$ ).

Si l'on calcule la relation plus générale (4a) on obtient :

$$Q/Q\ 80 = 0,91011(D/D\ 80)^{2,70677} \quad (6)$$

avec  $r = 0,991$  et une estimation de l'erreur sur  $Q/Q\ 80$  de  $s = 0,114$ .

On voit la similitude entre les relations (5) et (6). Il semble bien que l'on puisse prendre la relation (5) comme une estimation du quadrillage en fonction du diamètre.

Pour être complet, il faudrait déterminer une relation du type (5) ou (6) pour chaque banc d'exploitation. En effet, si pour chaque banc et éventuellement pour chaque variété de roche, on obtenait une relation du type (4), on pourrait envisager de caractériser une roche par son coefficient  $k$  (inférieur à 1) qui serait une mesure de l'aptitude de cette roche à se fracturer.

#### 2.1.5. Extension du quadrillage

On peut donc au départ de la relation (5) calculer le rapport  $Q/Q\ 80$  pour des diamètres de forage supérieures à 165 mm.

In het geval van de proeven beschikt men over 5 dagen waarden. Als minimale waarde van de correlatiecoëfficiënt  $r$  wordt de waarde 0,99 aangenomen en dit voor een bestaansfactor van 99,9 %.

a) Onderzoek van de relatie

$$Q/Q\ 80 = (D/D\ 80)^2 + k(D/D\ 80)$$

Als men vergelijking (3a) uitwerkt, zou men  $k$  kunnen berekenen door het bepalen van :

$$[Q/Q\ 80 - (D/D\ 80)^2]/(D/D\ 80) = k$$

Men stelt vast dat  $k$  geen constante is maar afhankelijk van  $D/D\ 80$  varieert. Men zou dan kunnen overgaan naar de berekening van de algemene vergelijking (3b), maar dit leidt eveneens tot de uitspraak dat  $k$  geen constante is maar een variabele, afhankelijk van  $D/D\ 80$ .

Momenteel kan deze weg niet ingeslagen worden omdat het aantal gegevens niet groot genoeg is voor een statistische studie.

b) Onderzoek van de relatie

$$Q/Q\ 80 = k(D/D\ 80)^3$$

Relatie 4 kan statistisch bepaald worden en men bekomt de waarden :

$$Q/Q\ 80 = 0,78897(D/D\ 80)^3 + 0,0211 \quad (5)$$

met  $r = 0,997$  en een bepaling van de afwijking op  $Q/Q\ 80$  van  $s = 0,2096$ .

De restwaarde van relatie (5) (0,0211) is begrepen in de nauwkeurigheid van de uitwerking van deze relatie ( $s = 0,2096$ ).

Als men de algemenere relatie (4a) berekent, verkrijgt men :

$$Q/Q\ 80 = 0,91011(D/D\ 80)^{2,70677} \quad (6)$$

met  $r = 0,991$  en een schatting van de afwijking op  $Q/Q\ 80$  van  $s = 0,114$ .

De gelijkenis tussen de relaties (5) en (6) is duidelijk.

Het schijnt wel dat relatie (5) kan beschouwd worden als een bepaling van de quadrillering afhankelijk van de diameter.

Om volledig te zijn zou voor elke ontginningslaag een relatie van het type (5) of (6) moeten worden vastgesteld. Als immers voor elke laag en eventueel voor elke gesteentesoort een relatie van type (4) zou worden verkregen, zou kunnen worden overwogen een gesteente te karakteriseren met zijn coëfficiënt  $k$  (minder dan 1), hetgeen een meting zou zijn van de geschiktheid van dit gesteente om te worden verbrokken.

#### 2.1.5. Uitbreiding van de quadrillering

Met behulp van de relatie (5) kan men dus de verhouding  $Q/Q\ 80$  voor boordiameters van meer dan 165 mm berekenen.



Le tableau IV indique les valeurs obtenues pour divers diamètres.

Tabel IV geeft de waarden aan die voor diverse diameters werden verkregen.

TABLEAU IV

TABEL IV

Diamètres D (mm)	80	106	120	130	150	165	180	200	250	300	Diameters D (mm)
Q/Q 80											Q/Q 80
calculés suivant (5)	0.82	1.86	2.68	3.41	5.22	6.94	9.01	12.35	24.1	41.6	berekend volgens (5)
obtenus du tableau I	1.00	1.80	2.40	3.50	—	7.00	—	—	—	—	verkregen uit tabel I

Lorsqu'on examine les valeurs Q/Q 80 calculées, on arriverait à déduire que le quadrillage pour 200 mm serait de  $12,35 \times 5 = 61,75 \text{ m}^2$   
250 mm serait de  $24,1 \times 5 = 120,50 \text{ m}^2$   
300 mm serait de  $41,6 \times 5 = 208,00 \text{ m}^2$ .

Après avoir effectué une perforation en 200 mm, il est possible d'affirmer que le quadrillage de  $60 \text{ m}^2$  est tout à fait réalisable pour une bonne granulométrie à l'abattage. On peut évidemment se demander quelle est la limitation du quadrillage.

Pourrait-on envisager un quadrillage de  $208 \text{ m}^2$  en effectuant des perforations en diamètre de 300 mm ?

Sans pouvoir apporter une réponse théorique à cette question, on peut dire que le matériel mobile existant à l'heure actuelle limiterait le diamètre.

En outre, les charges par fourneau deviendraient peut-être trop élevées et conduiraient à des vibrations élevées surtout pour les carrières situées près d'habitations.

## 2.2. Vitesse de perforation

Ce facteur est important dans les coûts de la perforation. Seul le matériel peut limiter ce facteur.

En ce qui concerne la vitesse de perforation, les mêmes remarques que celles faites pour le quadrillage en 2.1.1. doivent être prises en considération. Il est habituel de prendre les vitesses instantanées, c'est-à-dire les vitesses pour enfoncer 1 tube puis de compter les temps morts pour vissage du tube, dévissage et enlèvement du tube etc.

Si ce point de vue est intéressant pour le constructeur, par contre l'utilisateur n'ayant aucune action sur le mécanisme de la machine n'a pas intérêt à réper-

Als men de berekende waarden Q/Q 80 onderzoekt, kunnen volgende gegevens worden afgeleid : de quadrillering voor  
200 mm zou  $12,35 \times 5 = 61,75 \text{ m}^2$  bedragen  
250 mm zou  $24,10 \times 5 = 120,50 \text{ m}^2$  bedragen  
300 mm zou  $41,60 \times 5 = 208,00 \text{ m}^2$  bedragen.

Na een boring van 200 mm kan worden bevestigd dat de quadrillering van  $60 \text{ m}^2$  zeker te realiseren is voor een goede granulometrie bij de winning. Men kan zich natuurlijk afvragen waar de grens van de quadrillering ligt.

Zou men kunnen denken aan een quadrillering van  $208 \text{ m}^2$  bij boringen met een diameter van 300 mm ?

Zonder een theoretisch antwoord op deze vraag te kunnen geven, mag men zeggen dat het momenteel bestaande mobiele materieel de diameter zou beperken.

Bovendien zouden de ladingen per mijn gat misschien te hoog worden en leiden tot hevige trillingen, vooral voor groeven die in de nabijheid van woningen zijn gelegen.

## 2.2. Boorsnelheid

Deze factor is belangrijk voor de boorkosten en alleen het materieel kan voor een verlaging zorgen.

Wat de boorsnelheid betreft, gelden dezelfde opmerkingen als die welke voor het quadrilleren werden gemaakt in punt 2.1.1. Gewoonlijk worden de momentsnelheden genomen d.w.z. de snelheid om 1 buis in te brengen, vervolgens worden de dode tijden geteld voor het vastdraaien van de buis, het los-schroeven en wegnemen van de buis, enz...

Is dit een interessant gezichtspunt voor de constructeur, dan is de gebruiker helemaal niet geïnteresseerd in het optekenen van al deze dode tijden en

torier tous ces temps morts et à se lancer dans des suppositions qui souvent n'ont rien à voir avec son problème.

Aussi avons-nous considéré comme valeur de vitesse, la vitesse horaire relevée pendant le forage d'un tir c'est-à-dire la machine étant en place, on chronomètre le temps nécessaire pour forer le nombre de trous nécessaires à un tir. Au départ de ces mètres forés et du temps nécessaire, on détermine une vitesse horaire. Un tir est souvent représenté par un nombre de mètres à peu près constant.

### 2.2.1. Influence de la roche

La roche représentée par sa texture et sa forme minéralogique joue un rôle majeur sur la vitesse de perforation. Au sein d'une même carrière, on peut constater des fluctuations de vitesse d'avancement non négligeables.

Le tableau V montre les résultats obtenus pour une même machine forant en diamètre 165 mm à une pression de 24,6 kg/cm<sup>2</sup> dans des bancs différents.

TABLEAU V

Bancs	I	II	III	IV
Vitesses (1)				
Moyennes (m/h)	28.76	27.98	30.40	32.32
Ecart-Types (m/h)	2.09	1.78	1.99	2.76

(1) (vitesse pour forer un tir).

On voit nettement que l'on passe d'une vitesse de 28 m/heure à plus de 32 m/heure suivant le banc.

Il est certain que la hauteur du palier à forer a une importance car plus le palier est petit plus la machine devra se déplacer pour réaliser un tir.

Aussi est-il intéressant de comparer les bancs II et III qui ont une même hauteur et qui se différencient seulement par leur structure et composition minéralogique.

La variance basée sur les deux échantillons est :

$$V = \frac{37,96 + 15,93}{13 + 5 - 2} = 3,368$$

ce qui donne un écart-type de  $s = \sqrt{3,368} = 1,83$ .

in het maken van veronderstellingen die vaak niets met zijn probleem te maken hebben, want deze gebruiker kan het mechanisme van de machine niet beïnvloeden.

Als snelheidswaarde hebben wij ook aangenomen de uursnelheid die bij het boren van een mijngat wordt opgetekend d.w.z. als de machine ter plaatse is, wordt de tijd opgenomen voor het boren van het aantal gaten voor één schot. Op basis van de geboorde meter en van de vereiste tijd wordt een uursnelheid bepaald. Een schot wordt vaak door een vrijwel constant aantal meter weergegeven.

### 2.2.1. Invloed van het gesteente

De textuur en de mineralogische vorm van het gesteente spelen een hoofdrol in de boorsnelheid. In één en dezelfde kan men niet te verwaarlozen schommelingen in de voortgangssnelheid vaststellen.

Tabel V geeft de resultaten met eenzelfde boormachine voor een diameter van 165 mm bij een druk van 24,6 kg/cm<sup>2</sup> in verschillende lagen.

TABEL V

Lagen	I	II	III	IV
Snelheden (1)				
Gemiddelde (m/h)	28.76	27.98	30.40	32.32
Type-afwijkingen (m/h)	2.09	1.78	1.99	2.76

(1) (snelheid voor het boren van een mijngat.)

Men ziet duidelijk dat men van een snelheid van 28 m/uur naar meer dan 32 m/uur gaat naargelang de lagen.

Zeker is dat de hoogte van de lengte van de boorgaten belangrijk is want hoe korter de boorgaten, hoe vaker de machine moet worden verplaatst om een schot vol te maken.

Een interessante vergelijking kan ook worden gemaakt voor de lagen II en III die even hoog zijn en enkel van elkaar verschillen door hun structuur en mineralogische samenstelling.

De variabiliteit op basis van deze beide monsters bedraagt :

$$V = \frac{37,96 + 15,93}{13 + 5 - 2} = 3,368$$

wat een type-afwijking oplevert van  $s = \sqrt{3,368} = 1,83$ .

L'écart-type de comparaison des deux moyennes sera :

$$s = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = s \sqrt{\frac{13 + 5}{13 \times 5}} = 0,96$$

Le test de student donnera :

$$t = \frac{30,4 - 27,98}{0,96} = 2,51$$

pour un nombre de degrés de liberté de  $\phi = 13 + 5 - 2 = 16$ .

On peut donc admettre qu'il y a différence significative entre les deux moyennes donc dans les vitesses d'enfoncement de la perforation des bancs II et III.

Cette différence est nette entre les bancs II et IV.

Il faut donc être prudent lorsqu'on exprime des vitesses de perforation.

### 2.2.2. Influence du matériel

Comme il a été dit, le facteur vitesse dépend du matériel. Il a été examiné des vitesses de perforation à 14 kg/cm<sup>2</sup>, 20 kg/cm<sup>2</sup> et 24,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Les résultats sont donnés au tableau VI.

TABLEAU VI

Pressions (kg/cm <sup>2</sup> )	14	20	24,5
Vitesses (m/h)	19	24	28,5

Ces trois points permettent d'estimer, avec une approximation assez grossière faut-il le dire, une relation :

$$\text{Vitesse (m/h)} = 6,33 + 0,905 P \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

Cette relation nous paraît, pour l'instant, une bonne estimation pour comparer d'autres machines à perforer avec marteau hors trou. Rien n'autorise cependant à penser que cette relation est valable pour les pressions nettement inférieures à 17 kg.

Il est même possible qu'il n'y ait pas une linéarité entre vitesse et pression sur toute l'étendue de la gamme des pressions. En effet, si la relation (6) est mathématiquement valable, elle conduit à une solution non acceptable à savoir que pour  $P = 0$ ,  $V = 6,33$  soit une vitesse de 6,33 m/h pour une pression nulle !

On doit donc supposer que pour des pressions inférieures à 17 kg la vitesse diminue plus rapidement que ne l'exprime la relation (6).

De type-afwijking bij vergelijking van beide gemiddelden is :

$$s = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = s \sqrt{\frac{13 + 5}{13 \times 5}} = 0,96$$

De student-test geeft :

$$t = \frac{30,4 - 27,98}{0,96} = 2,51$$

voor  $\phi = 13 + 5 - 2 = 16$ .

Er mag dus worden aangenomen dat er een betekenisvol verschil is tussen beide gemiddelden van de indrijfsnelheid bij de boringen in de lagen II en III.

Dit verschil is duidelijk tussen de lagen II en IV.

Men moet dus voorzichtig zijn als men het over boorsnelheden heeft.

### 2.2.2. Invloed van het materieel

Zoals eerder gezegd, is de factor snelheid afhankelijk van het materieel. De boorsnelheden bij 14 kg/cm<sup>2</sup>, 20 kg/cm<sup>2</sup> en 24,5 kg/cm<sup>2</sup> werden onderzocht.

De resultaten staan in tabel VI.

TABEL VI

Druk (kg/cm <sup>2</sup> )	14	20	24,5
Snelheid (m/h)	19	24	28,5

Deze drie punten maken het mogelijk, zij het met een vrij grove benadering, een relatie op te zetten :

$$\text{Snelheid (m/h)} = 6,33 + 0,905 P \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

Deze relatie lijkt ons op dit ogenblik een goede raming op te leveren ter vergelijking met andere boormachines met slaghamers. Er is echter geen enkele reden om te denken dat deze relatie geldt voor druk van ruim onder de 17 kg.

Het is zelfs mogelijk dat er geen lineariteit is tussen snelheid en druk over de volle gamma van de drukken. Al is relatie (6) mathematisch geldig, zij leidt echter tot een niet-aanvaardbare oplossing nl. dat voor  $P = 0$ ,  $V = 6,33$  d.w.z. een snelheid van 6,33 m/h voor druk nul !

Men moet dus veronderstellen dat de snelheid bij een druk van minder dan 17 kg sneller daalt dan relatie (6) aangeeft.

On peut aussi noter que, jusqu'à présent, les vitesses obtenues avec marteau fond de trou à des pressions de 24,5 kg/cm<sup>2</sup> sont identiques à celles obtenues, dans le meilleur des cas, avec les machines à marteau hors trou hydraulique.

### 3. COÛTS ENERGETIQUES

Dans des coûts énergétiques, on peut englober la consommation de fuel pour le compresseur et la consommation en explosif ; ce dernier étant en soi une forme d'énergie.

#### 3.1. Consommation en explosif

La variation de consommation en explosif en fonction du diamètre des fourneaux dépend de la fonction :

$$Q/Q\ 80 = 0,7889 (D/D\ 80)^3$$

Il est bien certain que pour un même compactage, l'explosif par trou sera égal au rapport des diamètres au carré.

$$E/E\ 80 = (D/D\ 80)^2$$

où E est la quantité d'explosif en kg par fourneau de diamètre D, E 80 la quantité de cet explosif pour un fourneau de diamètre 80 (D 80).

Etant donné que le quadrillage augmente plus vite que le rapport des diamètres au carré, il s'ensuit que le nombre de grammes d'explosif à la tonne par rapport au diamètre 80 sera donné par :

$$E/E\ 80 = (D/D\ 80)^2 / 0,7889 (D/D\ 80)^3 \\ = 1,2676 \times (D\ 80/D) \quad (7)$$

Si l'on veut estimer le gain en explosif entre un diamètre de 165 mm et de 106 mm, il faudra faire le rapport de l'équation (6) calculée une fois avec le diamètre de 165 mm et l'autre fois avec le diamètre de 106 mm.

$$E\ 165/E\ 80 = 1,2676 (D\ 80/D\ 165) \quad (7a)$$

$$E\ 106/E\ 80 = 1,2676 (D\ 80/D\ 106) \quad (7b)$$

Le rapport 7a par 7b conduit à :

$$E\ 165/E\ 106 = (D\ 106/D\ 165) \quad (8)$$

On peut également obtenir un rapport E 165/E 106 au départ de l'équation géométrique (6).

Ce qui conduit à :

$$E\ 165/E\ 106 = (D\ 106/D\ 165)^{0,70677} \quad (9)$$

Nous obtenons donc les valeurs « théoriques » suivantes :

Er kan dus ook worden opgemerkt dat tot nog toe de snelheden met gathamers bij een druk van 24,5 kg/cm<sup>2</sup> gelijk zijn aan die welke in het beste geval met hydraulische slagboormachines werden gehaald.

### 3. ENERGIEKOSTEN

Tot de energiekosten dienen ook gerekend te worden het olieverbriuk voor de compressor en het verbriuk aan springstoffen want dit laatste is eigenlijk een vorm van energie.

#### 3.1. Springstofverbruik

De variatie in het springstofverbruik naargelang de diameter van de mijngaten, is afhankelijk van de functie

$$Q/Q\ 80 = 0,7889 (D/D\ 80)^3.$$

Natuurlijk zal de hoeveelheid springstof per mijngat, als ze op dezelfde wijze is aangedrukt, gelijk zijn aan de verhouding van de diameters in het kwadraat.

$$E/E\ 80 = (D/D\ 80)^2$$

waarin E de hoeveelheid springstof in kg/mijngat met diameter D is, E 80 de hoeveelheid van deze springstof voor een mijngat met diameter 80 (D 80).

Ervan uitgaande dat de quadrillering sneller stijgt dan de verhouding van de diameter in het kwadraat, volgt dat het aantal grammen springstof per ton t.o.v. diameter 80 zal worden aangegeven door :

$$E/E\ 80 = (D/D\ 80)^2 / 0,7889 (D/D\ 80)^3 \\ = 1,2676 \times (D\ 80/D) \quad (7)$$

Als men een idee wil hebben van de besparing aan springstof tussen een diameter van 165 mm en 106 mm, dient een verhouding te worden opgesteld van relatie (6) die eenmaal met een diameter van 165 mm werd berekend en een andere keer met een diameter van 106 mm.

$$E\ 165/E\ 80 = 1,2676 (D\ 80/D\ 165) \quad (7a)$$

$$E\ 106/E\ 80 = 1,2676 (D\ 80/D\ 106) \quad (7b)$$

De verhouding (7a) tot (7b) leidt tot :

$$E\ 165/E\ 106 = (D\ 106/D\ 165) \quad (8)$$

De verhouding E 165/E 106 kan eveneens verkregen worden op basis van de geometrische vergelijking (6).

Dit leidt tot :

$$E\ 165/E\ 106 = (D\ 106/D\ 165)^{0,70677} \quad (9)$$

Wij verkrijgen dan de volgende « theoretische » waarden :

	Equations	
	(8)	(9)
E 165 / E 106	0,6424	0,7314
E 200 / E 106	0,5300	0,6384
E 200 / E 165	0,8250	0,8729

On voit donc que l'on peut estimer un gain de  $\pm 30\%$  d'explosif lorsqu'on augmente le diamètre de forage de 106 à 165 mm, de  $\pm 40\%$  si l'on perfore en 200 mm au lieu de 106 mm.

En pratique, on a obtenu :

- en diamètre 165 mm des quadrillages allant de 30 à 49 m<sup>2</sup> avec des quantités d'explosif de 14,4 kg à 15,2 kg par mètre.
- en diamètre 106 mm des quadrillages de 8 à 12,5 m<sup>2</sup> avec des quantités d'explosif de 5,4 à 6,2 kg par mètre.

Ces données permettent d'établir des fourchettes de consommation en g/t d'explosif (tableau VII).

	Vergelijkingen	
	(8)	(9)
E 165 / E 106	0,6424	0,7314
E 200 / E 106	0,5300	0,6384
E 200 / E 165	0,8250	0,8729

Men ziet dus dat de winst aan springstof kan geschat worden op  $\pm 30\%$  als de boordiameter van 106 op 165 mm wordt gebracht, en op  $\pm 40\%$  als men een diameter van 200 mm i.p.v. 106 mm boort.

De praktijk leverde volgende cijfers op :

- met een diameter van 165 mm quadrilleringen van 30 tot 49 m<sup>2</sup> met hoeveelheden springstof van 14,4 kg tot 15,2 kg per meter ;
- met een diameter van 106 mm quadrilleringen van 8 tot 12,5 m<sup>2</sup> met hoeveelheden springstof van 5,4 kg tot 6,2 kg per meter.

Met deze gegevens tussen verbruiksvergelijkingen in gram springstof per ton worden opgesteld (tabel VII).

TABLEAU VII

TABEL VII

Diamètres D (mm)	106				165				Diameter D (mm)
	8		12,50		30		49		
Quadrillages Q (m <sup>2</sup> )	8		12,50		30		49		Quadrillering Q (m <sup>2</sup> )
Tonnes/mètre (t/m)	20		31,25		75		122,5		Ton/meter (t/m)
Explosifs (kg/m)	5,4	6,2	5,4	6,2	14,4	15,2	14,4	15,2	Springstof (kg/m)
Grammes/tonne (g/t)	270	310	172,8	198,4	192	202,2	117,5	124,1	Gram/ton (g/t)

De ce tableau, il apparaît nettement que s'il y a un chevauchement des domaines de consommation en explosif, on s'aperçoit que les consommations obtenues avec le diamètre de 165 mm ont une tendance très nette à être inférieures à celles obtenues avec le diamètre de 106 mm.

Ces réductions peuvent atteindre 30 %.

### 3.2. Consommation en fuel

Cette consommation dépend essentiellement du type de matériel. Dans les essais effectués, la dimi-

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat het verbruik met een diameter van 165 mm lager ligt dan met een diameter van 106 mm.

Deze vermindering kan 30 % bereiken.

### 3.2. Olieverbruik

Dit verbruik hangt voornamelijk af van het type materieel. Bij de uitgevoerde proeven was de daling

nution de la consommation en fuel par tonne, pour la perforation, a été due aux éléments suivants :

- Remplacement de l'air comprimé par l'hydraulique pour les mouvements de rotation, de levage et d'enfoncement du train des tiges.
- L'air comprimé est utilisé seulement pour le fonctionnement du marteau et la remontée des sédiments.
- Installation du compresseur sur le même châssis porteur que la colonne de perforation. Ceci élimine les inconvénients du compresseur mobile annexe à savoir longueur des tuyaux, raccords qui sont autant de sources de perte d'air.

#### 4. ENVIRONNEMENT

Le problème de l'environnement comprend un ensemble de facteurs dont l'incidence des vibrations sur les habitations a été la plus étudiée.

En plus de la question des vibrations, il ne faut pas non plus négliger les conséquences des projections de pierrailles, le bruit et la poussière ; phénomènes accompagnant toujours un tir de mines.

Grâce à la collaboration de l'Institut National des Industries Extractives qui nous a prêté son matériel de mesure de vibrations et a fait l'interprétation des résultats, il a été permis d'entreprendre deux séries : l'une réalisée en diamètre de 106 mm l'autre en diamètre de 165 mm.

La figure 2 résume les résultats obtenus. La vitesse de la vibration (exprimée en mm/s) suit une loi générale du type :

$$V = k (D / \sqrt{CM})^\alpha$$

où D est la distance en mètres entre le tir et l'endroit de la mesure ; CM est la charge en kg de la volée la plus chargée ; V est la vitesse en millimètres par seconde ; k et  $\alpha$  sont des constantes.

Cette loi peut se représenter :

$$\log V = \alpha \log (D / \sqrt{CM}) + \log k$$

La campagne de mesures peut être considérée comme limitée : 28 tirs en diamètre 106 mm et 18 en diamètre 165 mm.

La figure 2 donne deux lois :

l'une pour le diamètre de 106 mm

$$V = 122,71 (D / \sqrt{CM})^{-1,5}$$

l'autre pour le diamètre de 165 mm

$$V = 108,21 (D / \sqrt{CM})^{-1,28}$$

avec des coefficients de corrélation ( $R^2$ ) de 0,70 et 0,68 respectivement.

in het olieverbbruik per ton voor het boren te danken aan de volgende elementen :

- Vervanging van de perslucht door een hydraulisch systeem voor de draai-, hef- en indringingsbewegingen van het stangenstel ;
- Perslucht wordt enkel nog gebruikt voor de werking van de hamer en het ophalen van het steengruis ;
- Installatie van de compressor op hetzelfde draagchassis als de boortoren. Hiermee worden de euvels met een compressor uitgeschakeld nl. lange slangen, aansluitingen die evenveel bronnen van luchtverlies zijn.

#### 4. MILIEU

Het milieuprobleem omvat een geheel van factoren waarvan de weerslag van de trillingen op de woningen het grondigst werd bestudeerd.

Naast het probleem van de trillingen mag ook niet voorbij gegaan worden aan de gevolgen van weggeslingerd gesteente, het lawaai en het stof, verschijnselen die immer met mijnschoten gepaard gaan.

Dankzij de samenwerking met het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven waarvan wij het materiaal voor het meten van de trillingen hebben geleend en dat de resultaten heeft geïnterpreteerd, konden twee series worden uitgevoerd : één met een diameter van 106 mm en een andere met een diameter van 165 mm.

Figuur 2 vat de geboekte resultaten samen. De trilsnelheid (uitgedrukt in mm/s) volgt een algemene wet van het type :

$$V = k (D / \sqrt{CM})^\alpha$$

waarin D de afstand in meter is tussen de plaats van het schieten en de meetplek ; CM is de lading in kg van de hoogst geladen reeks ; V is de snelheid in millimeter per seconde ; k en  $\alpha$  zijn constanten.

Deze wet kan als volgt worden voorgesteld :

$$\log V = \alpha \log (D / \sqrt{CM}) + \log k$$

De meetcampagne is als begrensd te beschouwen : 28 schoten in een diameter van 106 mm en 18 in een diameter van 165 mm.

Figuur 2 geeft twee wetten :

de ene voor de diameter van 106 mm :

$$V = 122,71 (D / \sqrt{CM})^{-1,5}$$

de andere voor de diameter van 165 mm :

$$V = 108,21 (D / \sqrt{CM})^{-1,28}$$

met correlatiecoëfficiënten ( $R^2$ ) van respectievelijk 0,70 en 0,68.