

INSTITUT NATIONAL DES MINES

Rapport sur les travaux de 1963

ANNEXE III

La déflagration des explosifs à ions échangés

par

G. NENQUIN et E. DEMELENNE

Communication
à la 11^e Conférence Internationale
des Directeurs de Stations d'Essais
(AIX-LES-BAINS - 1^{er} au 5 juillet 1963)

NATIONAAL MIJNINSTITUUT

Verslag over de Werkzaamheden in 1963

BIJLAGE III

De deflagratie van de springstoffen met ionenuitwisseling

door

G. NENQUIN en E. DEMELENNE

Mededeling aan de
11^e Internationale Conferentie
der Directeurs van de Proefstations
(AIX-LES-BAINS - 1 tot 5 juli 1963)

SOMMAIRE

1. *Introduction.*
2. *Etude en laboratoire du mécanisme physico-chimique de la déflagration.*
 21. Etude de la déflagration à la pression atmosphérique.
 22. Déflagration en milieu confiné.
 23. Conclusions de l'étude en laboratoire.
3. *Tirs en mortier et au rocher.*
4. *Conclusions pratiques.*

1. INTRODUCTION

Contrairement à la détonation qui consiste en une décomposition instantanée de la matière explosive, la déflagration est une combustion lente de cette matière.

Alors que la détonation est amorcée et propagée par onde de choc, la déflagration est un phénomène essentiellement chimique et thermique.

Cela étant, on conçoit aisément que, si la déflagration se produit dans un mélange grisouteux à

OVERZICHT

1. *Inleiding.*
2. *Laboratoriumstudie van het fysico-chemisch mechanisme van de deflagratie.*
 21. Studie van de deflagratie onder atmosferische druk.
 22. Studie van de deflagratie in gesloten ruimte.
 23. Besluiten van de laboratoriumstudie.
3. *Schietproeven in de mortier en in het gesteente.*
4. *Praktische besluiten.*

1. INLEIDING

In tegenstelling met de ontploffing die een ogenblikkelijke onthinding van de springstof is, is de deflagratie een langzame verbranding ervan.

Terwijl de ontploffing door een schokgolf ontstaan en voortgeplant wordt, is de deflagratie eigenlijk een scheikundig en thermisch verschijnsel.

Daarom verstaat men ook gemakkelijk dat een deflagratie in een gashoudend mengsel met gevaarlijk gehalte onvermijdelijk leidt tot de ontvlaming daarvan.

teneur dangereuse, elle en provoque invariablement l'inflammation.

Il est bien connu que tous les explosifs utilisés dans la mine peuvent déflagrer, mais c'est particulièrement pour les explosifs de sûreté que les conséquences de la déflagration peuvent être les plus graves puisque ces explosifs sont précisément employés en des endroits où la présence du grisou est toujours à craindre.

En vue de pouvoir parer à ce danger, nous avons tenté de pénétrer le mécanisme physico-chimique de ce phénomène ainsi que les causes qui en sont à l'origine.

Nous ne nous sommes occupés que des explosifs à ions échangés car, en Belgique, les explosifs de sûreté sont, à peu près exclusivement, de ce type.

Disons tout de suite que, dans leur conception actuelle, ces explosifs présentent, en régime de détonation, la plus haute sûreté tant vis-à-vis du grisou que des poussières de charbon.

Leur charge limite d'agrégation est, en effet, de 2.200 g. Leur composition est donnée au tableau I qui montre que les uns sont à base de nitrate de potasse et les autres à base de nitrate de soude.

Ajoutons aussi que la sécurité de ces explosifs dépend de leur composition mais également et, pour une large part, de la granulométrie de leurs sels : nitrate alcalin et chlorure ammonique.

TABLEAU 1

Constituants	Types	
	à base de KNO ₃	à base de NaNO ₃
Nitroglycérine	9,50	10,00
Nitrate de potassium	58,25	—
Nitrate de sodium	—	55,20
Chlorure ammonique	30,00	34,10
Additifs	2,25	0,70

Notre étude s'est développée sur trois plans, à savoir, au laboratoire, en mortier et au rocher.

2. ETUDE EN LABORATOIRE DU MECANISME PHYSICO-CHIMIQUE DE LA DEFLAGRATION

Nous avons étudié la déflagration, d'une part, de l'explosif seul, et d'autre part, de l'explosif mélangé avec de la poussière de charbon à raison de 24 g de charbon par molécule de nitrate alcalin.

Le charbon minéral utilisé contient 31,64 % de matières volatiles et 1,69 % de cendres. Le diamètre des grains est inférieur à 63 microns.

Het is een algemeen bekend feit dat al de in de kolenmijnen gebruikte springstoffen tot deflagratie kunnen aanleiding geven, maar vooral bij veiligheidsspringstoffen zijn de gevolgen van de deflagratie het gevaarlijkst omdat deze springstoffen gebruikt worden op plaatsen waar mijngas altijd te vrezen is.

Ten einde dit gevaar te bestrijden hebben wij getracht het fysico-chemisch mechanisme van dit verschijnsel te leren kennen alsmede de oorzaken ervan op te sporen.

Wij hebben ons alleen bezig gehouden met springstoffen met ionenuitwisseling omdat in België praktisch al de veiligheidsspringstoffen tot dit type behoren.

Er dient onmiddellijk opgemerkt dat deze springstoffen zoals ze nu gemaakt worden bij ontploffingsregime de grootste veiligheid bieden zowel tegenover mijngas als tegenover kolenstof.

Hun grenslading is inderdaad 2.200 g. De samenstelling ervan wordt in tabel I opgegeven waaruit blijkt dat het hoofdbestanddeel hetzij kaliumnitraat hetzij natriumnitraat is.

Er dient nog opgegeven te worden dat de door deze springstoffen geboden veiligheid niet alleen afhangt van hun samenstelling doch ook en wel voornamelijk van de korrelgrootte der zouten die erin voorkomen : kaliumnitraat en ammoniumchloride.

TABEL 1

Bestanddelen	Typen	
	met KNO ₃ als hoofd- bestanddeel	met NaNO ₃ als hoofd- bestanddeel
Nitroglycerine	9,50	10,00
Kaliumnitraat	58,25	—
Natriumnitraat	—	55,20
Ammoniumchloride	30,00	34,10
Toevoegsels	2,25	0,70

Onze studie werd uitgevoerd zowel in het laboratorium als met de mortier en in het gesteente.

2. LABORATORIUMSTUDIE VAN HET FYSICO-CHEMISCH DEFLAGRATIEMECHANISME

Wij hebben de deflagratie bestudeerd zowel van de springstof alleen als van de springstof gemengd met kolenstof in verhouding van 24 g kolenstof voor één mol kaliumnitraat.

De gebruikte steenkool bevat 31,64 % vluchtlige bestanddelen en 1,69 % as. De doormeter van de korrels bedraagt minder dan 63 mikron.

21. Etude de la déflagration à la pression atmosphérique.

Cette étude ayant fait l'objet d'une publication (*) précédente, nous nous limiterons à en rappeler le mode opératoire et les résultats.

211. Mode opératoire.

Nous avons étudié la décomposition thermique de l'explosif seul et des mélanges explosif-charbon, aux températures respectives de 310° C, 450° C, 600° C et 800° C.

Dans ce but, nous avons utilisé un four électrique. La température de la chambre du four, mesurée à l'aide d'un thermocouple platine-platine rhodié, peut être maintenue constante grâce à un régulateur à dilatation thermique.

Lorsque la chambre du four est à la température désirée, le creuset contenant un échantillon de 5 g du mélange à étudier est introduit dans le four.

Nous avons déterminé, dans chaque cas, le temps d'initiation de la réaction de la décomposition, en mesurant l'intervalle de temps compris entre l'introduction du creuset dans la chambre du four et l'apparition des premières flammes.

212. Résultats des expériences.

— Lorsque l'on préchauffe les explosifs à ions échangés à une température égale ou supérieure à 290° C, on constate la combustion de la nitroglycérine, ainsi que la décomposition du chlorure ammonique et du nitrate alcalin en ammoniac et en oxyde d'azote.

— A température supérieure à 800° C, nous avons parfois pu observer la combustion de ces gaz (fig. 1). Cette combustion est plus fréquente avec l'explosif à base de NaNO₃ qu'avec l'explosif à base de



Fig. 1.

Déflagration de l'explosif seul.
Deflagratie van de springstof alléén.

21. Studie van de deflagratie onder atmosferische druk.

Daar deze studie reeds behandeld werd in een voorgaande publikatie (*) zullen wij ons beperken tot het herhalen van de werkwijze en van de resultaten.

211. Werkwijze.

Wij hebben de thermische ontbinding bestudeerd van de springstof alléén en van de mengsels springstof-kolen respectievelijk op de volgende temperaturen : 310° C, 450° C, 600° C en 800° C.

Wij hebben daarbij een elektrische oven gebruikt. De temperatuur van de ovenkamer wordt gemeten door middel van een thermokoppel platina-platina met rhodium en kan constant gehouden worden met behulp van een regulator met thermische uitzetting.

Wanneer de ovenkamer de gewenste temperatuur bereikt heeft, wordt de kroes met het monster van 5 g van het te bestuderen mengsel in de oven geplaatst.

Wij hebben voor elk geval de tijd bepaald die verloopt vóór de ontbindingsreactie begint, en wel door het meten van de tijdspanne begrepen tussen het ogenblik waarop de kroes in de ovenkamer wordt geplaatst en het verschijnen van de eerste vlammen.

212. Uitslagen van de proefnemingen.

— Wanneer men de springstoffen met ionenuitwisseling op voorhand verwarmt tot op een temperatuur gelijk aan of hoger dan 290° C, bestaatigt men de verbranding van de nitroglycerine en de ontbinding van het ammoniumchloride en het kaliumnitraat in ammoniac en stikstofoxyde.

— Op een temperatuur boven de 800° C, hebben wij somtijds de verbranding van deze gassen kunnen waarnemen (zie figuur 1). Deze verbranding komt meer voor bij de springstof met NaNO₃ als hoofdbestanddeel dan bij die met KNO₃. Dit is toe te schrijven aan het feit dat het ammoniumchloride zich sneller ontbindt dan het kaliumnitraat en dat het smeltpunt van het natriumnitraat lager is dan dat van het kaliumnitraat. Bij de springstof met natriumnitraat als hoofdbestanddeel vormt zich gemakkelijker, op de contactoppervlakte tussen springstof en lucht, een laag gesmolten zouten die de snelle diffusie van het ammoniac verhindert, waardoor onder deze korst de vorming wordt bevorderd van het ontvlambaar mengsel NH₃/N₂O₅.

— Zoals blijkt uit figuur 2, geven de met kolenstof gemengde springstoffen met ionenuitwisseling aanleiding tot een deflagratie met projectie van vlammen die in gang gezet wordt door de verbrand-

(*) Verslag van het N.M.I. over de werkzaamheden van 1961 - « Annalen der Mijnen van België » - juli-augustus 1962.

KNO_3 . Ceci est dû au fait que le chlorure ammonique se décompose plus rapidement que le nitrate alcalin et que la température de fusion du nitrate de soude est plus basse que celle du nitrate de potassium. Avec l'explosif à base de nitrate de soude, il se forme plus facilement, à la surface de contact de l'explosif et de l'air, une couche de sels en fusion qui empêche la diffusion rapide de l'ammoniaque, ce qui facilite la formation, sous cette croûte, du mélange inflammable $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}_5$.

— Comme le montre la figure 2, les explosifs à ions échangés, mélangés avec de la poussière de charbon, donnent lieu à une déflagration fusante qui est amorcée par la combustion de la nitroglycérine. Ce sont les explosifs à base de nitrate de potassium qui brûlent le plus facilement parce que la vitesse de combustion des mélanges KNO_3 -charbon est plus élevée que celle des mélanges NaNO_3 -charbon.

— Lorsqu'ils sont préchauffés à une température supérieure à 300°C , les explosifs à ions échangés ne déflagrent pas instantanément, mais seulement après un temps minimum d'initiation. Ce temps diminue en fonction de la température de préchauffage (tableau 2).

TABLEAU 2

Température de la chambre du four	Temps d'initiation de l'inflammation en secondes à la pression atmosphérique		
	310°C	450°C	600°C
Explosif au KNO_3	140	71	29
Explosif au KNO_3 + charbon minéral	128	49	10
Explosif au NaNO_3	195	73	16
Explosif au NaNO_3 + charbon minéral	111	26	9

A la température de 800°C , le temps d'initiation est encore de l'ordre d'une à deux secondes.

— A la pression atmosphérique et à la température de 20°C , la combustion d'une cartouche de mélange explosif-charbon, une fois amorcée, se continue et se propage avec une vitesse de 2,5 cm par minute. Par contre, dans les mêmes conditions, si l'explosif n'est pas mélangé à du charbon, la combustion s'arrête.

22. Déflagration en milieu confiné.

221. Mode opératoire.

Au cours de cette étude, nous avons utilisé uniquement l'explosif à base de KNO_3 .

ding van de nitroglycerine. Het zijn de springstoffen met kaliumnitraat als hoofdbestanddeel die het gemakkelijkste branden omdat de verbrandingssnelheid van de mengsels KNO_3 -steenkool hoger is dan die van de mengsels NaNO_3 -steenkool.

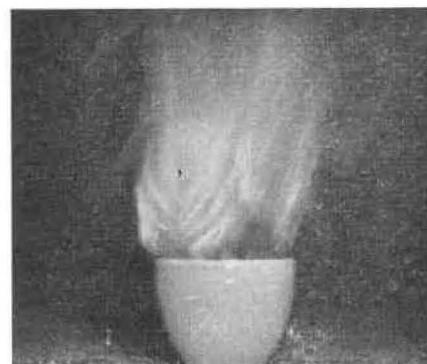


Fig. 2.
Déflagration du mélange explosif-charbon.
Deflagratie van het mengsel springstof-steenkool.

— Na voorverwarming op een temperatuur hoger dan 300°C , deflagreren de springstoffen met ionenuitwisseling niet ogenblikkelijk, doch slechts na een minimum vertraging. Deze vertraging vermindert in verband met de temperatuur van de voorverwarming (zie tabel 2).

TABEL 2

Temperatuur van de ovenkamer	Vertraging der ontvlaming, in seconden, onder atmosferische druk		
	310°C	450°C	600°C
Springstof met KNO_3	140	71	29
Springstof met KNO_3 + steenkool	128	49	10
Springstof met NaNO_3	195	73	16
Springstof met NaNO_3 + steenkool	111	26	9

Op een temperatuur van 800°C is de vertraging nog ongeveer één tot twee seconden.

— Onder de atmosferische druk en op 20°C , gaat de eenmaal ontstoken verbranding van een patroon springstof-steenkool voort en met een voortplantingssnelheid van 2,5 cm per minuut. Daarentegen houdt de verbranding in dezelfde omstandigheden op wanneer de springstof niet met steenkool vermengd is.

22. Deflagratie in gesloten ruimte.

221. Werkwijze.

In de loop van deze studie hebben wij alleen de springstof met KNO_3 als hoofdbestanddeel gebruikt.

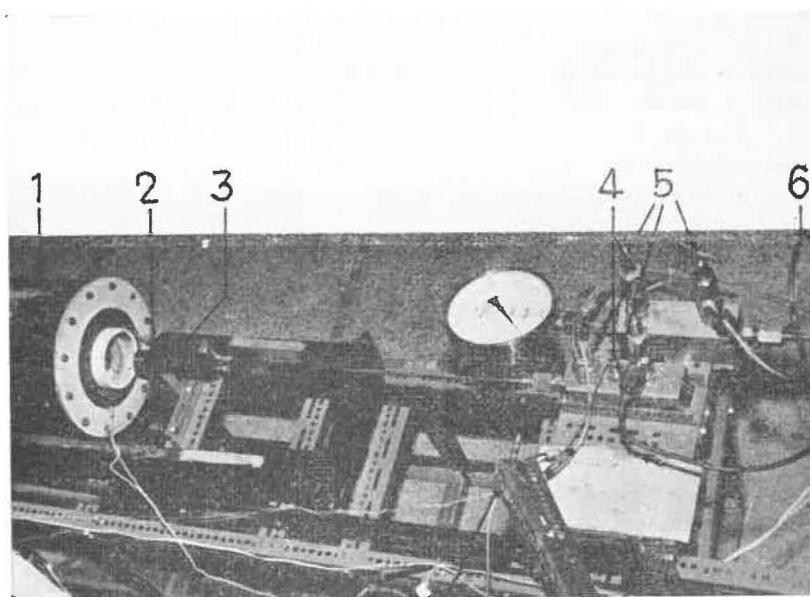


Fig. 3.

Bombe — Bom.

- 1) four — oven — 2) thermocouple — thermokoppel — 3) bombe — bom —
 4) capteur piézoélectrique — piezoelektrische ontvanger — 5) vannes — kranen
 — 6) vers la bonbonne d'azote — naar de stikstoffles

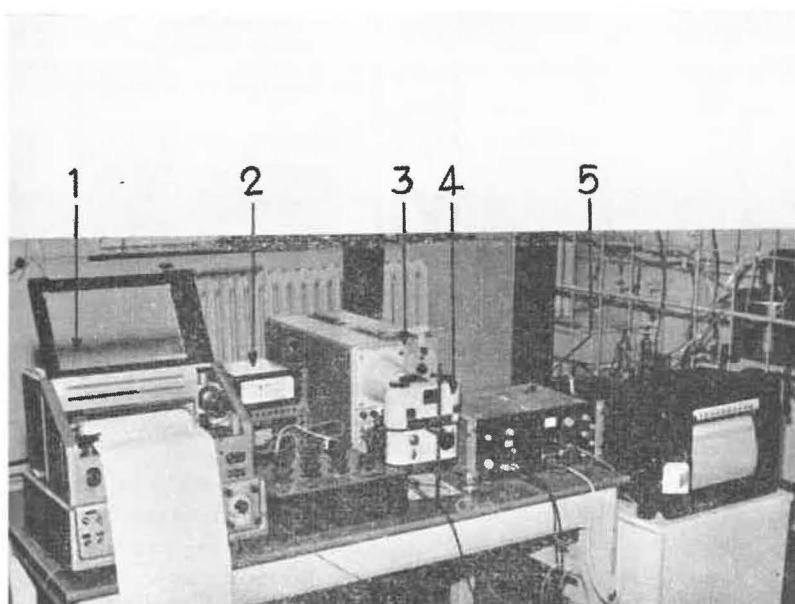


Fig. 4.

Appareils enregistreurs et régulateur.
Registreeerapparaten en regelaar.

- 1) galvanomètre enregistreur — registrerende galvanometer — 2) régulateur de température à cellule photoélectrique — temperatuurregelaar met foto-elektrische cel — 3) oscilloscophe — oscillograaf — 4) caméra — camera — 5) alimentation et amplification du capteur à quartz — voeding en versterking van de kwartsontvanger

Le principe de la méthode est d'amorcer la déflagration en préchauffant l'explosif préalablement introduit dans une bombe contenant de l'azote sous pression et placée dans un four.

Nous avons utilisé l'azote parce que les fumées de tir sont normalement constituées de gaz inertes.

La figure 3 montre le dispositif expérimental qui comprend :

- la bombe, en acier inoxydable, dont le volume intérieur est de $12,6 \text{ cm}^3$;
- l'appareillage de mesure de pression et d'introduction des gaz : capteur piézoélectrique et vannes ;
- le four, dont la température est maintenue constante à 500°C par régulateur à cellule photoélectrique (fig. 4).

La température des parois de la bombe est mesurée, durant l'expérience, par un thermocouple Ni-Cr/Ni et enregistrée par un galvanomètre. Après introduction de la bombe dans le four, la température, à l'intérieur de celle-ci, augmente d'abord régulièrement de $40,8$ degrés par minute, puis brusquement lorsque la combustion de l'explosif se produit. Faute d'un matériel adéquat, nous n'avons pu, jusqu'à présent, mesurer cette température avec précision, mais nous espérons bien y parvenir prochainement.

La pression dans la bombe est mesurée à l'aide d'un capteur piézoélectrique et reçue par un oscillographe cathodique sur l'écran duquel nous pouvons observer et photographier la variation de cette pression au cours de la combustion.

222. Résultats des expériences.

Nous avons photographié la variation de la pression lors de la combustion, d'une part, de 2 g d'explosif et d'autre part, de $2,28 \text{ g}$ de mélange d'explosif-carbon, alors que les pressions initiales en azote étaient respectivement à la température ordinaire, avant introduction de la bombe dans le four, de $1,033 - 5 - 10 - 20 - 30 - 50 \text{ kg/cm}^2$.

Les résultats, obtenus à partir de pressions initiales respectivement de $5 - 10$ et 30 kg/cm^2 , apparaissent sur les divers oscillogrammes rassemblés à la figure 5. Sur la moitié gauche de cette figure 5, les oscillogrammes donnent la variation de pression de la déflagration de l'explosif seul, tandis que ceux de la moitié droite représentent la variation de pression de la déflagration du mélange explosif-carbon.

Cette variation de pression est exprimée en kg/cm^2 en fonction du temps, celui-ci étant mesuré en secondes dans les séries S et en millisecondes dans les séries mS.

De methode bestaat in principe uit het ontsteken van de deflagratie door voorverwarming van de springstof, die van tevoren in een oven wordt geplaatst en wel in een met stikstof onder druk gevulde bom.

Wij hebben stikstof gebruikt omdat de rookgassen der springstoffen normaal inert zijn.

Figuur 3 toont de experimentele inrichting die bestaat uit :

- de bom uit roestvrij staal met een inwendig volume van $12,6 \text{ cm}^3$;
- de toestellen voor meting van de druk en aanvoer van het gas : piezo-elektrische ontvanger en kranen ;
- de oven, waarvan de temperatuur constant op 500°C gehouden wordt door middel van een regelaar met foto-elektrische cel (zie figuur 4).

De temperatuur van de wanden van de bom wordt gedurende de proef gemeten door middel van een thermokoppel Ni-Cr/Ni en geregistreerd door een galvanometer. Nadat de bom in de oven geplaatst is stijgt haar inwendige temperatuur eerst regelmatig met $40,8$ graad per minuut, daarna plotseling op het ogenblik van de verbranding der springstof. Bij gebrek aan passend materieel, hebben wij tot nog toe deze temperatuur niet nauwkeurig kunnen meten, doch wij hopen hierin weldra te gelukken.

De druk in de bom wordt gemeten door middel van een piezo-elektrische ontvanger en opgenomen door een kathodestraaloscillograaf, op het scherm waarvan wij de schommelingen van deze druk in de loop van de verbranding kunnen waarnemen en fotograferen.

222. Resultaten van de proefnemingen.

Wij hebben de druckschommeling bij de verbranding gefotografeerd eerst van 2 g springstof, en dan van $2,28 \text{ g}$ van een mengsel springstof en kolen, met een aanvankelijke stikstofdruk, bij gewone temperatuur en vóór de bom in de oven geplaatst was, van respectievelijk $1,033 - 5 - 10 - 20 - 30 - 50 \text{ kg/cm}^2$.

De resultaten bekomen vanaf een aanvankelijke druk van $5 - 10$ en 50 kg/cm^2 komen voor op de verscheidene in figuur 5 verzamelde oscillogrammen. Op de linker helft van deze figuur geven de oscillogrammen de druckschommeling tengevolge van de deflagratie van de springstof alléén, terwijl die van de rechter helft de druckschommeling tengevolge van de deflagratie van het mengsel springstof-kolen voorstellen.

Deze druk wordt uitgedrukt in kg/cm^2 in functie van de tijd, die uitgedrukt wordt in seconden in de reeksen S en in milliseconden in de reeksen « mS ».

De begintemperatuur en -druk van de deflagratie (T_i, P_i), die op elk oscillogram aangeduid zijn,

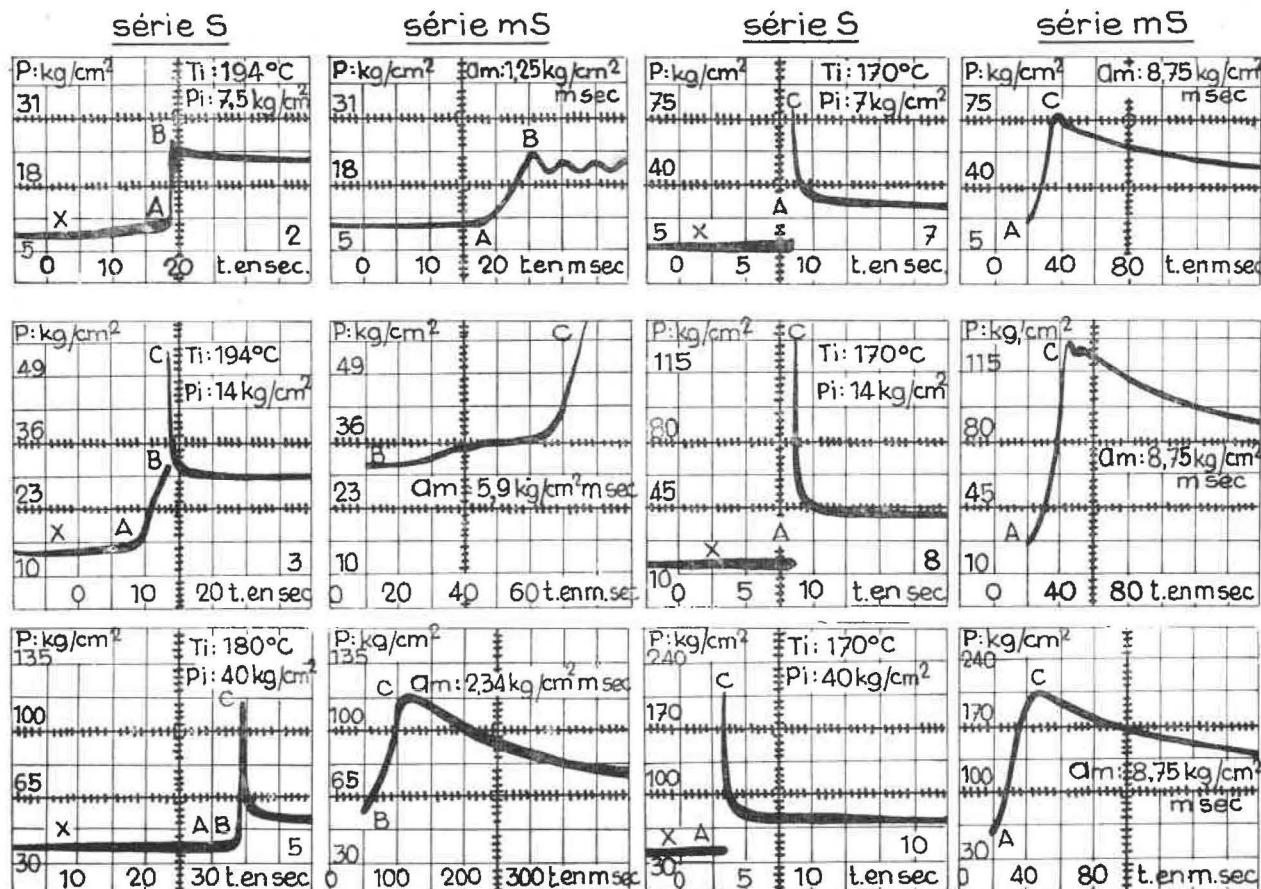
EXPLOSIF SEUL

Fig. 5.
Oscillogrammes.

explosif seul - springstof alléén — mélange d'explosif et de charbon - mengsel springstof met kolen

La température et la pression d'initiation de la déflagration (T_i , P_i), indiquées sur chaque oscillogramme, sont la température et la pression régnant dans la bombe lorsque la déflagration commence, c'est-à-dire à l'instant même où l'augmentation régulière de pression, due à la dilatation thermique du gaz ambiant (courbe xA des oscillogrammes), change de régime et devient brusque (courbes AB et AC des oscillogrammes).

223. Analyse des résultats.

L'examen des oscillogrammes précités permet de dire que :

— En milieu confiné, pour des pressions initiales inférieures ou égales à 7.5 kg, la déflagration de l'explosif seul commence à 194°C mais se limite à la combustion de la nitroglycérine ; cette réaction produit la variation de pression représentée sur les oscillogrammes 1 et 2 par la courbe AB ; l'oscillogramme 1 est donné à la figure 6 et le 2 à la figure 5.

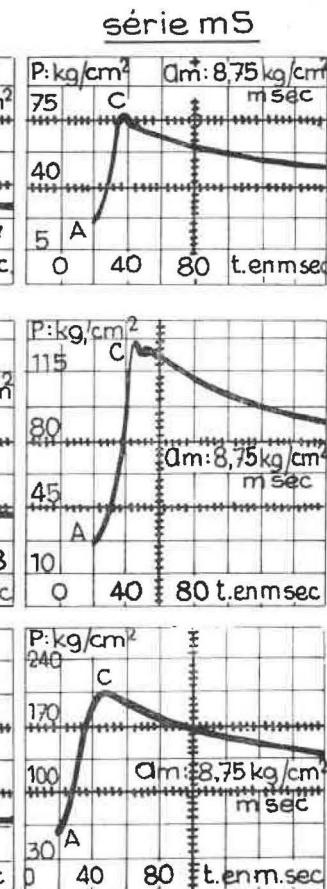
MELANGE D'EXPLOSIF & DE CHARBON

Fig. 5.
Oscillogrammes.

de temperatuur en de druk die in de bom heersen wanneer de deflagratie begint, d.w.z., op het ogenblik zelf waar de regelmatige stijging van de druk, toe te schrijven aan de thermische uitzetting van de omgevende gassen (kromme xA van de oscillogrammen), van regime verandert en plotseling klimt (krommen AB en AC van de oscillogrammen).

223. Ontleding van de resultaten.

Uit het onderzoek der bovengenoemde oscillogrammen blijkt het volgende :

— In gesloten midden en bij een begindruk lager dan of gelijk aan 7.5 kg/cm^2 begint de deflagratie van de springstof alléén op een temperatuur van 194°C doch ze beperkt zich tot de verbranding van de nitroglycerine ; deze reactie veroekt de drakschommeling verbeeld op de oscillogrammen 1 en 2 door de kromme AB ; oscillogram 1 wordt gegeven door de figuur 6 en oscillogram 2 staat op figuur 5.

— Par contre, lorsque la pression initiale est égale ou supérieure à 17 kg/cm^2 , la combustion de la nitroglycérine (courbe AB des oscillogrammes 3 et 5 de la figure 5) est suivie par la combustion de l'ammoniaque et de l'oxyde d'azote, résultant de la décomposition du NH_4Cl et du nitrate alcalin ; cette combustion entraîne la variation de pression représentée par la courbe BC des oscillogrammes 3 et 5.

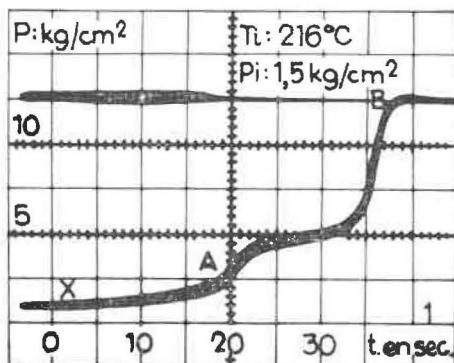


Fig. 6.
Oscillogramme — Oscillogram.

— Le temps d'initiation de la déflagration du NH_4Cl et du KNO_3 , qui consiste en la combustion de l'ammoniaque et de l'oxyde d'azote, est d'autant plus court que la pression initiale est élevée ; lorsque celle-ci est de 14 kg/cm^2 (voir oscillogramme 3), le temps d'initiation de cette réaction, qui est donnée par la projection de la courbe AB sur l'axe des temps, est de 5,5 secondes ; à la pression de 40 kg/cm^2 , ce temps n'est plus mesurable (voir oscillogramme 5). En effet, les variations de la pression provoquée par la combustion de la nitroglycérine et par la combustion de l'ammoniaque et de l'oxyde d'azote, se confondent.

— La déflagration du mélange explosif-charbon, qui commence à la température de 170°C , est déjà complète à la pression de 7 kg. La courbe de pression AC des oscillogrammes 7, 8 et 10 montre que la combustion de la nitroglycérine amorce instantanément la déflagration du mélange charbon-nitrate de potassium.

— De l'examen des pressions maximales, il résulte que la déflagration du mélange explosif-charbon libère une quantité d'énergie beaucoup plus grande que la déflagration de l'explosif seul ; en effet, à la pression initiale de 14 kg/cm^2 avec l'explosif seul (oscillogramme 3), la pression maximum est de 46 kg/cm^2 tandis que, pour le mélange explosif-charbon (oscillogramme 8), elle est de 108 kg/cm^2 .

— Wanneer daarentegen de aanvangsdruk gelijk is aan of hoger dan 17 kg/cm^2 , wordt de verbranding van de nitroglycerine (kromme AB van oscillogrammen 3 en 5 op figuur 5) gevolgd door de verbranding van het ammoniak en van het stikstofoxyde, voortkomende van de ontbinding van het NH_4Cl en van het kaliumnitraat ; deze verbranding verwekt de drukvariatie verbeeld door de kromme BC van oscillogrammen 3 en 5.

— De ontvlammingsvertraging der deflagratié van het NH_4Cl en van het KNO_3 , die bestaat uit de verbranding van het ammoniak en het stikstofoxyde, is des te korter naargelang de begindruk hoger is ; wanneer deze gelijk is aan 14 kg/cm^2 (zie oscillogram 3), is de vertraging van deze reactie — gegeven door de projectie van de kromme AB op de tijd-as — gelijk aan 5,5 seconden ; bij een druk van 40 kg/cm^2 is die duur niet meer meetbaar (zie oscillogram 5). Inderdaad vallen de drukvariaties, verwekt door de verbranding van de nitroglycerine en door de verbranding van het ammoniak en het stikstofoxyde samen.

— De deflagratié van het mengsel springstof-kolen, die aanvangt bij 170°C temperatuur, is reeds volledig onder een druk van 7 kg/cm^2 . De druk-kromme AC van de oscillogrammen 7, 8 en 10 toont aan dat de verbranding van de nitroglycerine ogenblikkelijk de deflagratié van het mengsel steenkool-kaliumnitraat veroorzaakt.

— Uit de vergelijking van de maximale druk in beide gevallen blijkt dat de deflagratié van het mengsel springstof-steenkool een veel grotere hoeveelheid energie vrijmaakt dan de deflagratié van de springstof alléén ; inderdaad bekomt men bij een aanvangsdruk van 14 kg/cm^2 met de springstof alléén (oscillogram 3) een maximumdruk van 46 kg/cm^2 terwijl men voor het mengsel springstof-steenkool (oscillogram 8) 108 kg/cm^2 als maximumdruk bekomt.

— De maximumversnelling van de drukschommeling, a_m , uitgedrukt in kilogram per vierkante centimeter en per milliseconde in functie van de aanvangsdruk, blijft constant in het geval van de deflagratié van het mengsel springstof-steenkool, terwijl ze met springstof alléén een maximum vertoont, hetgeen toe te schrijven is aan de verdunning van het ontvlambaar gasmengsel door de in de bom bevatte stikstof.

23. Conclusies uit de laboratoriumstudie.

Het fysico-chemisch mechanisme van de deflagratié is verschillend voor springstof alleen gebruikt en voor springstof gemengd met kolenstof.

— « De eenvoudige deflagratié » doet zich enkel voor met de springstof alléén. Zij wordt in gang gezet door de verbranding van de nitroglycerine. De

— L'accélération maximum de la variation de pression a_m exprimée en kilogrammes par centimètre carré et par milliseconde, en fonction de la pression initiale, reste constante dans le cas de la déflagration du mélange explosif-charbon, tandis que, dans le cas de l'explosif seul, elle passe par un maximum, ce qui est dû à la dilution du mélange gazeux inflammable par l'azote contenu dans la bombe.

23. Conclusions de l'étude en laboratoire.

Le mécanisme physico-chimique de la déflagration est différent suivant que l'explosif est seul ou qu'il est mélangé à de la poussière de charbon.

— « *La déflagration simple* » ne se manifeste qu'avec l'explosif seul. Elle est initiée par la combustion de la nitroglycérine. Les calories libérées par cette combustion provoquent la décomposition des sels (NH_4Cl et nitrate alcalin) et la formation, en confinement, d'un mélange gazeux inflammable composé d'ammoniaque et d'oxyde d'azote.

Le temps d'initiation de la combustion de ce mélange est d'autant plus court que la pression initiale est plus élevée.

— « *La déflagration fusante* » se produit uniquement avec les mélanges explosif-charbon. Elle est due à la combustion vive du charbon et du nitrate alcalin. En effet, le charbon et le nitrate alcalin forment un mélange auto-combustible dont l'inflammation est amorcée par la combustion de la nitroglycérine. La déflagration fusante est la plus dangereuse car, pour celle-ci, la combustion, une fois amorcée, se propage à l'ensemble de la cartouche, indépendamment de la température et de la pression ambiante.

— La pression initiale des gaz chauds favorise la combustion de la nitroglycérine : en effet, la température d'inflammation de la nitroglycérine, qui est, à la pression atmosphérique, de 290° , est inférieure à 195°C lorsque la pression initiale est supérieure à $7,5 \text{ kg/cm}^2$.

— La température de préchauffage de l'explosif influence le temps d'initiation de la combustion de la nitroglycérine ; à la pression atmosphérique, ce temps est de plusieurs dizaines de secondes à la température de 310°C ; il n'est plus que d'une à deux secondes à la température de 800°C .

3. TIRS EN MORTIER ET AU ROCHER

Dans le tir des mines, tel qu'on le pratique généralement, l'explosif se trouve en milieu confiné puisque placé dans des fourneaux hermétiquement fermés au moyen d'un bourrage compact.

bij deze verbranding vrijgemaakte calorieën veroorzaken de ontbinding van de zouten (NH_4Cl en kaliumnitraat) en, in gesloten ruimte, de vorming van een ontvlambaar gasmengsel bestaande uit ammoniak en stikstofoxide.

De vertraging van de verbranding van dit mengsel is des te korter naargelang de begindruk hoger is.

— « *De deflagratię met projectie* » doet zich enkel voor met de mengsels springstof-steenkool. Zij is toe te schrijven aan de hevige verbranding van de steenkool en van het kaliumnitraat. Steenkool en kaliumnitraat vormen inderdaad een zelfbrandbaar mengsel waarvan de ontvlamming in gang gezet wordt door de verbranding van de nitroglycerine. De deflagratię met projectie is de gevaarlijkste want eens de verbranding ervan in gang, plant zij zich voort over de gehele patroon, ongeacht temperatuur en druk in de omgeving.

— De begindruk van de warme gassen begünstigt de verbranding van de nitroglycerine ; de ontvlammingstemperatuur van de nitroglycerine, die onder atmosferische druk gelijk is aan 290° , daalt inderdaad tot onder 195°C voor een begin-druk hoger dan $7,5 \text{ kg/cm}^2$.

— De temperatuur bereikt door de voorverwarming van de springstof beïnvloedt de vertraging van de verbranding van de nitroglycerine ; onder atmosferische druk bereikt deze vertraging verscheidene tientallen seconden op de temperatuur van 310°C ; zij valt op een tot twee seconden op de temperatuur van 800°C

3. SCHIETPROEVEN MET DE MORTIER EN IN HET GESTEENTE

Bij het schieten in de mijnen, zoals het gewoonlijk uitgevoerd wordt, bevindt zich de springstof in opgesloten toestand vermits zij geplaatst is in mijngaten die hermetisch gesloten zijn door een dichte opvulling. Uit de bovenvermelde laboratoriumstudie blijkt echter dat de springstoffen in dergelijk geval kunnen deflagreren wanneer zij in aanraking komen met warme gassen gedurende een tijd die des te korter is naargelang druk en temperatuur van deze gassen hoger zijn.

Steunende op deze bevinding hebben wij talrijke schietproeven uitgevoerd, zowel met de mortier als in het gesteente, ten einde te bepalen hoe de omstandigheden nodig voor de deflagratię in de mijngaten kunnen ontstaan.

Wij hebben namelijk het geval beschouwd van een mijn :

- op het ogenblik van de ontploffing ervan en
- op het ogenblik van de ontploffing van een voorafgaande naburige mijn.

Or, de l'étude en laboratoire susvisée, il résulte qu'en pareil cas les explosifs peuvent déflagrer lorsqu'ils se trouvent au contact de gaz chauds pendant un temps qui est d'autant plus court que la pression et la température de ces gaz sont plus élevées.

Cela étant, nous avons procédé à de multiples tirs, tant au mortier qu'au rocher, en vue de déterminer comment les conditions, qui engendrèrent la déflagration, peuvent se trouver réalisées dans les trous de mines.

Nous avons notamment considéré le cas d'une mine :

- au moment de son explosion et
- au moment de l'explosion d'une mine voisine plus hâtive.

31. Cas d'une mine, au moment de son explosion.

Dans ce cas, pour que des gaz chauds puissent se former et rester au contact de l'explosif, il faut qu'une partie seulement de la charge détone et que le bourrage reste en place.

Nous avons constaté que cela peut se présenter lorsque :

— Les cartouches d'explosif laissent à désirer au point de vue de leur aptitude à la transmission de la détonation. Nous avons observé que, si l'explosif à ions échangés n'est pas bien protégé contre l'humidité, ladite aptitude de ces cartouches diminue rapidement et peut même devenir nulle.

— Entre les cartouches, il existe des vides dont la longueur dépasse la distance de transmission de la détonation qui, normalement, est de l'ordre de 3 à 6 cm.

— Les cartouches sont séparées par des intercalations de poussières de roches ou de charbon. Parfois intercalations, de 2 ou 3 cm suffisent souvent pour interrompre la transmission de la détonation.

32. Cas d'une mine au moment de l'explosion d'une mine voisine plus hâtive.

Dans ce cas, si la mine considérée est assez proche de la mine voisine plus hâtive et surtout s'il existe des fissures ou des joints de stratification entre les fourneaux de ces mines, les gaz chauds, émis par la détonation de la seconde, peuvent venir au contact de l'explosif de la première et en provoquer la déflagration avant l'explosion de celle-ci.

De plus, il est possible que le mouvement des roches, provoqué par l'explosion de la mine plus hâ-

31. Geval van een mijn op het ogenblik van de ontploffing ervan.

In dit geval kunnen de warme gassen zich enkel vormen en in aanraking blijven met de springstof op voorwaarde dat slechts een gedeelte van de lading ontploft en dat de opvulling ter plaatse blijft.

Wij hebben vastgesteld dat dit kan voorkomen wanneer :

— de springstof te wensen overlaat uit oogpunt van geschiktheid tot de voortplanting van de ontploffing. Wij hebben waargenomen dat bij de springstof met ionenuitwisseling die niet goed tegen de vochtigheid beschermd is, genoemde eigenschap snel vermindert en zelfs gans kan verdwijnen ;

— er tussen de patronen ledige ruimten bestaan waarvan de lengte de voortplantingsafstand van de ontploffing — die normaal gelijk is aan 3 tot 6 cm — overschrijdt ;

— wanneer er tussen de patronen ophopingen van steen- of kolenstof liggen. Dergelijke ophopingen, zelfs met een lengte van slechts twee of drie centimeter, zijn dikwijls voldoende om de voortplanting van de ontploffing te onderbreken.

32. Geval van een mijn op het ogenblik van de ontploffing van een voorafgaande naburige mijn.

Wanneer het beschouwde mijngat dicht genoeg gelegen is bij het naburige en vooral wanneer er spleten of gelaagdheidsvoegen tussen beide mijngaten bestaan, kunnen de door de ontploffing van de vroegere mijn verspreide warme gassen, in aanraking komen met de springstof van de latere en er de deflagratie van veroorzaakt worden dat de ontploffing zich voordoet.

Daarenboven is het mogelijk dat de door de ontploffing van de voorafgaande mijn verwekte gesteentebeweging de samendrukking kan mede brengen van de patronen in het ander mijngat en daaroor een ongunstige invloed uitoefenen op hun geschiktheid tot ontploffing.

33. Opmerking.

Men zal moeten toegeven dat de hoger beschouwde onregelmatigheden zich in de praktijk kunnen voordoen en dat de deflagratie in de mijngaten waarschijnlijk meer voorkomt dan men vermoedt. Het ligt daarenboven voor de hand dat men het niet altijd bemerkt, vermits het verschijnsel afgelopen is of onder de stenen verstopt wanneer men enkele minuten na het schieten naar het front terugkeert.

Men wordt het enkel gewaar wanneer er zichtbare sporen van overblijven, zoals vlammen of gloeiende punten in mijnstompen of elders, of wanneer

tive, entraîne la compression des cartouches de l'autre mine et agisse ainsi défavorablement sur leur aptitude à la détonation.

33. Remarque.

On admettra que les anomalies envisagées ci-dessus puissent se présenter dans la pratique et que la déflagration, dans les fourneaux de mine, se produise probablement plus souvent qu'on ne le pense. Il est d'ailleurs naturel que l'on ne s'en rende pas compte chaque fois, puisque le phénomène a généralement pris fin ou a été étouffé dans les déblais lorsque l'on retourne à front, plusieurs minutes après le tir.

On ne s'en aperçoit que lorsque des traces visibles, telles que flammes et incandescence, persistent dans des culots et ailleurs, ou que des mines explosent avec retardement, ou encore, ce qui heureusement devient de plus en plus rare grâce aux progrès de la ventilation et à l'éducation plus poussée des boutefeux, que des inflammations de grisou en résultent.

4. CONCLUSIONS PRATIQUES

Ayant décelé certaines causes de déflagration des explosifs à ions échangés, nous avons recherché le moyen de les éviter.

A cet égard, nos travaux nous ont amenés à préconiser les mesures suivantes :

41. Au moment de son emploi, l'explosif doit posséder une bonne aptitude à la transmission de la détonation.

Pour cela, il doit être, dès l'origine, bien protégé contre l'humidité qui est son ennemi n° 1 ; nous avons, en effet, constaté que l'action de celle-ci provoque une agglomération des sels, ce qui entraîne une diminution de ladite aptitude.

Les cartouches doivent donc être aussi hermétiques que possible. En Belgique, nous demandons également qu'elles soient livrées par paquets de 25 (2,5 kg) en boîtes de carton paraffinées, à l'intérieur desquelles elles sont placées dans un sac étanche en matière plastique.

Comme, en outre, le vieillissement entraîne un appauvrissement en nitroglycérine aux extrémités des cartouches, ce qui est aussi défavorable à l'aptitude, l'explosif doit être utilisé dans les trois mois à dater de sa fabrication.

42. Dans les fourneaux de mine, les cartouches doivent être placées en file continue, c'est-à-dire sans vide ni intercalation de poussières entre elles.

Ce but peut être atteint en plaçant les cartouches jointivement dans une gaine, puis en introduisant

mijnen met vertraging ontploffen, of ook nog bij mijngasontvlammingen die gelukkig zeldzamer worden dank zij de verbetering van de ventilatie en dank zij een meer verzorgde opleiding van de schietmeesters.

4. PRAKTISCHE BESLUITEN

Wij hebben zekere oorzaken van deflagratię van de springstoffen met ionenuitwisseling ondekt, en de middelen opgezocht om ze te vermijden.

Onze werkzaamheden hebben ons ertoe gebracht de volgende maatregelen aan te bevelen :

41. De springstof moet op het ogenblik van het gebruik een goede geschiktheid bezitten tot de voortplanting van de ontploffing.

Te dien einde moet zij van meet af aan goed beschut zijn tegen de vochtigheid, die haar grootste vijand is ; wij hebben inderdaad vastgesteld dat onder invloed van de vochtigheid een agglomeratie van zouten optreedt, die een vermindering van gezegde geschiktheid meebrengt.

De patronen moeten dus zo hermetisch mogelijk zijn. In België vragen wij daarenboven dat zij gevuld worden in pakken van 25 (2,5 kg) in geparfineerde kartonnen dozen, waarin zij in een waterdichte plastic zak geborgen zijn.

Daar de veroudering anderzijds een verdunning van de nitroglycerine op de beide uiteinden van de patroon meebrengt, hetgeen ook ongunstig is voor de genoemde voortplantingsgeschiktheid, moet de springstof gebruikt worden binnen de drie maand volgend op de vervaardiging.

42. De patronen moeten in de mijngaten op een ononderbroken rij geplaatst worden zonder tussenruimte noch stofophopingen. Dit doel kan bereikt worden wanneer men de patronen tegen elkaar in een huls duwt en de aldus gereedgemaakte lading in het mijngat steekt.

Het spreekt van zelf dat deze huls uit een niet ontvlambare stof moet vervaardigd zijn en niet vatbaar mag zijn voor gevaarlijke elektrostatische ladingen.

43. Bij het schieten met vertraging moeten de mijngaten zodanig geplaatst en de vertragingen zodanig gekozen worden dat :

— de door de ontploffing van een mijn ontwikkelde gassen niet op te hoge temperatuur of druk in aanraking kunnen komen met de lading van een latere mijn, en dit een zekere tijd vóór de ontploffing van haar eigen slaghoedje ;

— de door de ontploffing van een mijn veroorzaakte beweging in het gesteente de lading in een naburig mijngat niet kan samendrukken op zodanige wijze dat de geschiktheid tot voortplanten van de ontploffing bij de patronen van deze lading al te zeer wordt verminderd.

la charge ainsi préparée dans le fourneau. Il va de soi que cette gaine doit être en matière difficilement inflammable et non susceptible de se charger dangereusement d'électricité statique.

43. Dans les tirs avec détonateurs à retard, les fourneaux doivent être disposés et les retards des détonateurs choisis de telle manière que :

— les gaz, dégagés par l'explosion d'une mine, ne puissent arriver trop chauds et trop comprimés au contact de la charge d'une mine plus tardive, assez longtemps avant l'explosion du détonateur de celle-ci ;

— le mouvement des roches, provoqué par l'explosion d'une mine, ne puisse comprimer la charge d'une mine voisine au point de diminuer exagérément l'aptitude à la transmission de la détonation des cartouches de cette charge.

Pour satisfaire à ces deux conditions, il convient que la distance entre les fourneaux ne soit pas trop faible et que le délai, entre les départs de deux mines voisines, soit le plus court possible.

En Belgique, la réglementation impose une distance en roches d'au moins 40 cm et un délai d'au plus 70 millisecondes entre deux mines voisines.

Remarquons que ces deux prescriptions, susceptibles de réduire le risque de déflagration, permettent généralement d'éviter la décapitation ou l'amputation des fourneaux et que c'est d'ailleurs pour parer à ce danger qu'elles furent primitivement édictées.

44. Cependant, comme il n'est pas certain que les mesures ci-dessus seront toujours prises, nous avons recherché un moyen complémentaire capable de réduire, sinon d'écartez le risque de déflagration dans tous les cas.

441. En nous basant sur le fait qu'au laboratoire, nous avons constaté que ce phénomène ne se produit, à la pression atmosphérique, que si l'explosif est porté à une température de plus de 290° C pendant un certain temps, qui est encore d'une à deux secondes à 800° C, nous avons procédé à des centaines de tirs dans les conditions suivantes : dans un mortier à culasse amovible (fig. 7) et sans bourrage, nous laissions entre une cartouche initiatrice et une cartouche réceptrice, un vide de 15 cm et plus, au-delà duquel la détonation ne se transmettait pas.

Pour aucun de ces tirs, nous n'avons observé la moindre trace de déflagration.

— Dans les mêmes conditions que ci-dessus, mais en plaçant un léger bourrage d'argile, qui est d'ailleurs expulsé chaque fois au moment de la mise à feu, nous avons fait la même constatation.

— Par contre, toujours dans les mêmes conditions, mais en plaçant un bourrage d'argile de 40 à

Opdat aan beide voorwaarden zou voldaan worden moet de afstand tussen de mijngaten niet te gering zijn en de tijd tussen de ontploffingen van twee naburige mijnen zo kort mogelijk.

In België legt de reglementering een afstand op van ten minste 40 cm in het gesteente en een tussen-tijd van ten hoogste 70 milliseconden voor twee naburige mijngaten.

Het is een feit dat beide voorschriften die bedoeld zijn om het risico van een deflagratie te verminderen, in 't algemeen de beschadiging van de mijngaten voorkomen ; ze werden trouwens oorspronkelijk met dat doel uitgevaardigd.

44. Vermits het evenwel niet zeker is dat de aanbevolen maatregelen altijd zullen genomen worden, hebben wij een aanvullend middel gezocht om het deflagratierisico zonet gans te vermijden dan toch aanzienlijk te verminderen.

441. Wij hebben in het laboratorium vastgesteld dat dit verschijnsel zich onder atmosferische druk slechts voordoet een zekere tijd nadat de springstof op een temperatuur hoger dan 290° C gebracht werd, en dat die tijd nog gelijk is aan één tot twee seconden bij 800° temperatuur ; daarom zijn wij overgegaan tot honderden schietproeven in de volgende omstandigheden : in een mortier met afneembare kulas en zonder opvulling lieten wij tussen een slagpatroon en een ontvangstpatroon een ledige ruimte van 15 cm en meer, afstand vanaf dewelke de ontploffing zich niet meer voortplant (zie fig. 7).

Bij geen enkel dezer schietproeven hebben wij het minste spoor van deflagratie waargenomen.

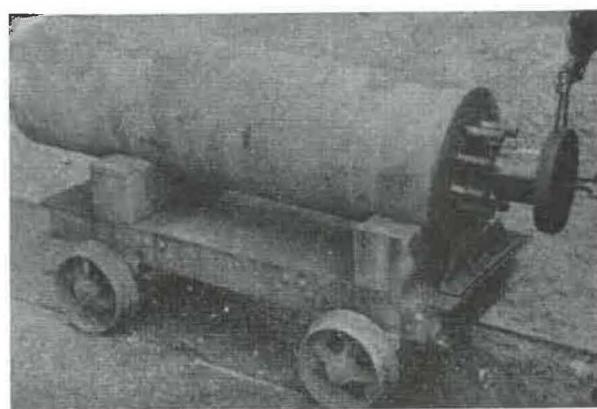


Fig. 7.

Mortier à culasse amovible.
Mortier met afneembare kulas.

— In dezelfde omstandigheden als hierboven, doch nu met een lichte kleiopstopping, die echter zonder uitzondering bij het ontsteken uitgejaagd wordt, hebben wij dezelfde vaststelling gemaakt.

— Wanneer daarentegen in dezelfde omstandigheden, gebruik gemaakt wordt van een vaste opstop-

70 cm, bien calé (fig. 8) et qui reste en place au moment du tir, nous avons souvent retrouvé des résidus fondus de la cartouche réceptrice. Parfois aussi, il s'est produit une expulsion bruyante du bourrage, plusieurs secondes après la mise à feu.

Nous pensons que ces faits sont caractéristiques d'une déflagration plus ou moins poussée.

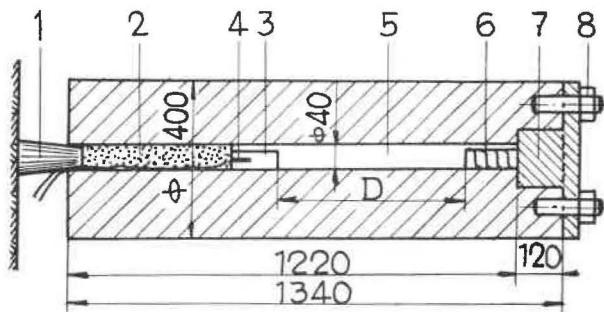


Fig. 8.

Coupe du mortier : 2 cartouches.
Doorsnede van de mortier : 2 patronen.

1) broche de bois - houten pen — 2) bourrage d'argile - kleiopstopping — 3) cartouche initiatrice - slagpatroon — 4) détonateur - slaghoedje — 5) intervalle D de 10 à 50 cm - tussenruimte D, lengte 10 tot 50 cm — 6) cartouche réceptrice - ontvangstspatroon — 7) culasse - kulas — 8) goujons de fixation - bevestigingstappen

442. Cela étant, on devrait conclure que, pour éviter la déflagration, le bourrage n'est pas désirable, mais, d'un autre côté, pour obtenir un bon rendement des explosifs à ions échangés, il faut un bon bourrage.

Dès lors, il nous est apparu que le bourrage par ampoules d'eau pourrait peut-être concilier ces deux exigences contradictoires.

En effet, si l'ampoule est placée telle quelle contre la charge ou même calée au moyen d'un léger bourrage d'argile, l'eau qu'elle contient n'obtient complètement le fourneau que pendant un temps très court au moment de l'explosion ; de plus, en se pulvérifiant et en se vaporisant, cette eau ne peut, nous semble-t-il, qu'entraver la déflagration en refroidissant les gaz chauds et en éteignant des flammes éventuelles.

Nous avons fait de nombreux tirs, tant au mortier qu'au rocher, avec ce système de bourrage consistant en ampoules contenant environ 250 cm³ d'eau. En aucun cas, l'ampoule étant libre ou calée dans le fourneau par 10 cm d'argile et les cartouches étant séparées par des vides ou des intercalations, nous n'avons observé le moindre indice de déflagration ; l'explosif que nous retrouvions était comprimé ou projeté mais toujours intact.

En outre, afin de nous rendre compte de l'effet de l'eau seule sur ce phénomène, nous avons placé

ping met een lengte van 40 tot 70 cm (zie figuur 8) die ter plaatse blijft bij het schieten, werden dikwijls gesmolten overblijfsels van de ontvangstspatroon teruggevonden. Soms werd de opstopping zelfs met veel lawaai enkele seconden na het ontsteken uitgedreven.

Volgens ons wijzen deze verschijnselen op een min of meer doorgedreven deflagratie.

442. Hieruit zou men moeten besluiten dat men, om de deflagratie te vermijden, de opstopping moet weglaten ; doch deze is onontbeerlijk voor een goede werking van de springstoffen met ionenuitwisseling.

Om aan deze beide tegenstrijdige eisen te voldoen heeft men gedacht aan een opvulling met waterpatronen.

Wanneer immers dergelijke patroon zonder meer tegen de lading geplaatst wordt of er zelfs tegen gedrukt wordt door middel van een lichte kleiprop zal het water bij de ontploffing slechts gedurende een zeer korte tijd het mijngat volledig afdichten : daarenboven komt het ons voor dat dit water door zijn versstuiving en verdamping de deflagratie moet hinderen, vermits het de warme gassen afkoelt en gebeurlijke vlammen uitdooft.

Talrijke proeven werden uitgevoerd met een dergelijke opstopping, bestaande uit ampullen met ongeveer 250 cm³ water. Of de waterpatroon vrij in het mijngat zat of door 10 cm klei werd tegengehouden, of er tussen de patronen enkel een vrije ruimte of een tussenvulling bestond, nooit hebben wij het minste spoor van een deflagratie kunnen vaststellen ; de teruggevonden springstof was samengedrukt of uitgeworpen doch altijd ongeschonden.

Daarenboven hebben wij, om ons rekenschap te geven van de invloed van het water alléén op dit verschijnsel, de waterpatroon in de mortier met afneembare kulas geplaatst, met een stevige kleiopstopping met een lengte van 40 tot 50 cm, die ter plaatse blijft bij het schieten. De waterpatroon, die ongeveer 30 cm lang is werd geplaatst tussen de opvulling en de slagpatroon en tussen deze laatste en de ontvangstspatroon werd ten minste 15 cm ruimte gelaten, zoals aangeduid op figuur 9.

50 schietproeven van deze soort werden uitgevoerd en in het merendeel werd de springstof van de ontvangstspatroon ongeschonden teruggevonden alsook het papier van het omhulsel ; van tijd zelfs bleef de patroon heel, alhoewel zeer samengedrukt (zie figuur 10) terwijl, zoals hoger gezegd, in dezelfde schietomstandigheden doch zonder waterpatroon, slechts enkele overblijfsels van de gesmolten springstof teruggevonden werden (zie figuur 10 - linker deel) of de opvulling met vertraging uitgejaagd werd.

Wij hebben insgelijks 50 schietproeven uitgevoerd in de boven vermelde omstandigheden doch met een tweede waterpatroon die dan tussen de ontvangst-

l'ampoule dans le mortier à culasse amovible, avec un solide bourrage d'argile de 40 à 50 cm, bien calé et restant en place au moment du tir. L'ampoule de 30 cm de longueur environ était disposée entre le bourrage d'argile et la cartouche initiatrice, celle-ci étant séparée de la cartouche réceptrice par un vide d'au moins 15 cm de longueur, comme indiqué à la figure 9.

Nous avons fait 50 tirs de ce genre et avons le plus souvent retrouvé l'explosif de la cartouche réceptrice intact ainsi que le papier de son enveloppe ; parfois même, la cartouche fortement comprimée restait entière (fig. 10) alors que, comme dit plus haut, dans les mêmes conditions de tir, mais sans ampoule d'eau, nous retrouvions les résidus d'explosif fondu (fig. 10 - partie gauche) ou avions des expulsions retardées du bourrage.

Nous avons également fait 50 tirs dans les conditions ci-dessus, mais en plaçant une seconde am-

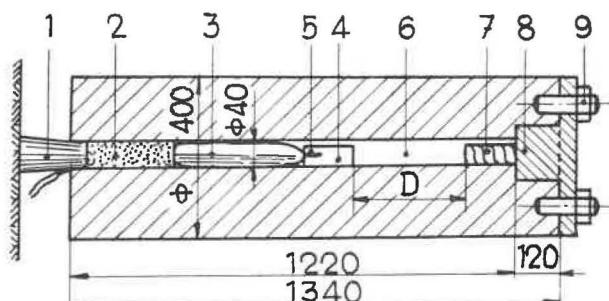


Fig. 9.

Coupe du mortier : 2 cartouches + ampoule d'eau.
Doorsnede van de mortier : 2 patronen + waterpatroon.

1) broche de bois - houten pen — 2) bourrage d'argile - kleiopstopping — 3) ampoule d'eau Ø 35 mm, longueur 300 mm - waterpatroon Ø 35 mm, lengte 300 mm — 4) cartouche initiatrice - slagpatroon — 5) détonateur - slaghoedje — 6) intervalle D de 10 à 50 cm - tussenruimte D, 10 tot 50 cm — 7) cartouche réceptrice - ontvangstpatroon — 8) culasse - kulas — 9) goujons de fixation - bevestigingstappen

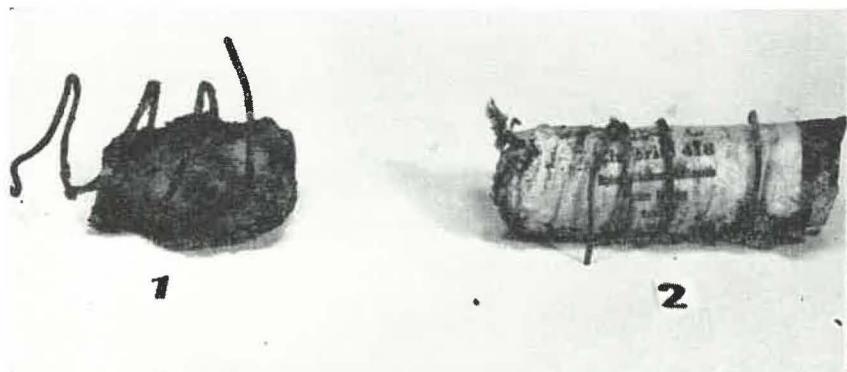


Fig. 10.

Suivant le dispositif utilisé par Audibert et Delmas, la cartouche réceptrice est enserée dans les spires d'un fil métallique enroulé en hélice.

Zoals in de door Audibert en Delmas gebruikte inrichting wordt de ontvangstpatroon vast omwonden met een spiraalvormige stalen draad.

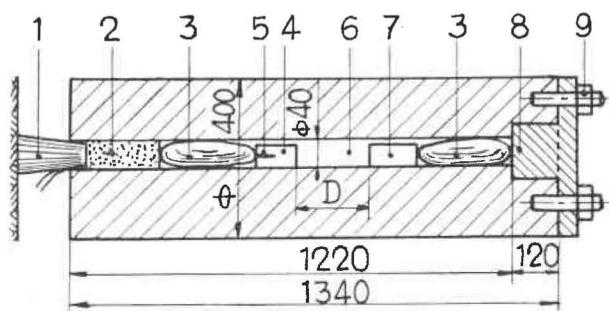


Fig. 11.

Coupe du mortier : 2 cartouches + 2 ampoules d'eau.
Doorsnede van de mortier : 2 patronen + 2 waterpatronen.

1) broche de bois - houten pen — 2) bourrage d'argile - kleiopstopping — 3) ampoules d'eau Ø 35 mm, longueur 200 mm - waterpatronen Ø 35 mm, lengte 200 mm — 4) cartouche initiatrice - slagpatroon — 5) détonateur - slag-

hoedje — 6) intervalle D variant de 10 à 15 cm - tussenruimte D, lengte 10 tot 15 cm — 7) cartouche réceptrice - ontvangstpatroon — 8) culasse - kulas — 9) goujons de fixation - bevestigingstappen

poule d'eau entre la cartouche réceptrice et le fond de la culasse, comme le montre la figure 11, les ampoules n'ayant alors que 20 cm de longueur.

Les résultats de ces tirs ont confirmé ceux des tirs repris au paragraphe précédent.

45. Il semble donc que le bourrage, au moyen d'ampoules d'eau, puisse entraver fortement la déflagration des explosifs à ions échangés et que le placement d'une ampoule au fond du fourneau doive encore renforcer cette action. Il convient évidemment que ces ampoules soient en matière difficilement inflammable.

Nous pensons que, lorsqu'il est bien mis au point à tous égards, ce procédé, conjugué avec les autres mesures que nous préconisons ci-dessus, est de nature à réduire considérablement la probabilité du phénomène en question.

patroon en de bodem van de kulas geplaatst werd, zoals aangetoond op figuur 11; in dit geval zijn beide waterpatronen slechts 20 cm lang.

De uitslagen van deze schietproeven hebben die van de vorige bevestigd.

45. Het blijkt dus dat de opstopping door middel van waterampullen de deflagratię van de springstof-fen met ionenuitwisseling aanzienlijk kan hinderen en dat het plaatsen van een waterpatroon tegen de bodem van het mijngat deze werking nog versterkt. Het is natuurlijk nodig dat deze patronen uit een moeilijk ontvlambare stof vervaardigd zijn.

Wij zijn van mening dat dit procédé, met zorg uitgewerkt in elk opzicht, en gekoppeld aan de andere door ons hierboven aangehaalde voorzorgsmaatregelen, van aard is de waarschijnlijkheid van het verschijnsel in kwestie aanzienlijk te verminderen.