

B. Etude du procédé Cardox . . . . .	989
C. Etude du matériel électrique antigrisouteux. . . . .	992
D. Recherches sur l'inflammation du gaz tonnant dans les lampes électriq. portatives (seconde note)	998
a) Rappel des recherches antérieures . . . . .	998
b) Essais d'inflammation par les étincelles d'accu- mulateurs . . . . .	999
c) Conclusions. . . . .	1011
E. Etudes diverses . . . . .	1012
a) Tuyaux pour air comprimé avec mise à la terre . . . . .	1012
b) Locomotives Diesel. . . . .	1013
F. Etude de masques antipoussières . . . . .	1014
G. Laboratoire des recherches scientifiques. . . . .	1015
Résumé des résultats obtenus à :	
1) l'Institut National des Mines . . . . .	1016
2) à la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain . . . . .	1020
<b>ANNEXE I</b>	
Essais de puissance des explosifs à gaine renforcée, par R. Lefebvre. . . . .	1027
<b>ANNEXE II</b>	
Etude de masques antipoussières, par L. Brison. . . . .	1041
<b>ANNEXE III</b>	
La cinétique de la combustion lente du méthane, par M. Vanpée . . . . .	1053
<b>ANNEXE IV</b>	
L'échange hydrogène-deuterium dans la réaction deute- rium + méthane + oxygène, par Ad. Van Tiggelen. . . . .	1093
<b>ANNEXE V</b>	
Liste des appareils électriques et divers agréés en 1947 sur proposition de l'Institut National des Mines. . . . .	1125

INSTITUT NATIONAL DES MINES  
A FRAMERIES-PATURAGES

# RAPPORT sur les Travaux de 1947

PAR

J. FRIPIAT,  
Ingénieur en Chef des Mines,  
Administrateur-Directeur de l'Institut.

## A. — TRAVAUX SUR LES EXPLOSIFS ET LES DETONATEURS.

### I. Vérifications et études diverses sur les explosifs.

#### α) Tirs de contrôle des explosifs S. G. P. (47 tirs).

Ces tirs ont porté sur les explosifs suivants :

Flammivore . . . . .	1	échantillon
Matagnite . . . . .	2	id.
Nitrocoopalite . . . . .	3	id.
Alkalite . . . . .	3	id.
Sabulite . . . . .	3	id.
Triamite . . . . .	3	id.

Les explosifs ont été prélevés soit par les Services d'Ar-  
rondissement dans les charbonnages, soit par l'Institut lui-  
même chez les fabricants.

Pour les tirs en atmosphère grisouteuse, nous n'avons pas  
constaté de déficience; aucun des explosifs soumis à l'épreu-  
ve n'a enflammé le grisou à la charge de 900 gr.

Pour vérifier la charge-limite en présence des poussières charbonneuses, nous avons procédé de la manière indiquée déjà dans les rapports antérieurs : le nuage poussiéreux a été mis en suspension par une cartouche explosant dans un sac de papier renfermant le charbon fin.

Malgré sa rigueur, ce mode opératoire n'a donné lieu à inflammation que pour deux explosifs (Alkalite et Triamite) les seuls qui, parmi les six formules encore fabriquées en Belgique, renferment du nitrate de potasse.

Des essais dont nous parlerons ultérieurement ont montré que cette substance est favorable à l'inflammation des poussières charbonneuses par le tir.

#### b) Etude de formules présentées par des firmes étrangères.

A la demande de la Fabrique suisse d'explosifs à Dottikon, nous avons déterminé, par des tirs au mortier, la charge-limite des deux formules appelées „ Aldorfite II et III “ et présentant la composition indiquée dans le tableau I.

TABLEAU I

Composants	Aldorfite II	Aldorfite III
Nitrate ammonique	70	69
Nitroglycérine	6	8
Dinitrotoluène	1	1
Farine de bois	3	3
Chlorure sodique	20	19

Ces deux explosifs ont été tirés à la charge de 900 gr. au mortier de 55 mm. sans enflammer ni le grisou, ni les poussières charbonneuses à 30 % de matières volatiles.

Nous avons procédé à la même vérification sur six formules fabriquées par la firme hollandaise „ Nederlandsche Springstoffenfabrieken “.

Dans le tableau II, nous indiquons la composition pour chacune de ces formules, celles-ci étant désignées par des numéros d'ordre III, IV, V, IIIa, IVa et Va.

TABLEAU II

Composants	III	IV	V	IIIa	IVa	Va
Nitrate ammonique	62	62	62	64	64	64
Tinitrotoluol	16	16	15	16	16	15
Farine de bois	—	—	1	—	—	1
Fluorure de calcium	3	—	—	3	—	—
Chlorure de potassium	—	3	3	—	3	3
Chlorure de sodium	19	19	19	17	17	17

Les tirs au mortier de 55 mm. ont donné lieu aux constatations suivantes :

#### a) En présence du grisou.

##### Formule III.

Cinq tirs à 900 gr. dont trois avec amorçage antérieur et deux avec amorçage postérieur. Une inflammation avec l'amorçage postérieur.

##### Formule IV.

Cinq tirs à 900 gr. dont deux avec inflammation. De ces deux tirs, l'un avait été réalisé avec amorçage postérieur, l'autre avec amorçage antérieur.

##### Formule V.

Un tir à 800 gr. et cinq tirs à 900 gr. Des cinq tirs à 900 gr., un a donné l'inflammation avec amorçage antérieur.

##### Formule IIIa.

Un tir à 850 gr., six tirs à 900 gr. et un tir à 800 gr. Trois tirs à 900 gr. (un avec amorçage postérieur, deux avec amorçage antérieur) et un tir à 800 gr. (avec amorçage antérieur) ont donné l'inflammation.

*Formule IVa.*

Cinq tirs à 900 gr. dont deux (un avec amorçage antérieur et avec amorçage postérieur) ont enflammé.

*Formule Va.*

Deux tirs à 800 gr. Six tirs à 900 gr. Un des tirs à 900 gr. avec amorçage antérieur a donné l'inflammation.

b) **En présence des poussières charbonneuses.**

Formule III : 5 tirs à 900 gr.

Formule IV : 1 tir à 900 gr.

Formule V : 5 tirs à 900 gr.

Formule IIIa : 1 tir à 900 gr.

Formule IVa : 5 tirs à 900 gr.

Formule Va : 4 tirs à 900 gr.

Aucun de ces tirs n'a donné l'inflammation.

Seule, la formule III pourrait être agréée en Belgique; pour celle-là, en effet, il n'y a pas eu inflammation par la charge de 900 gr. avec l'amorçage antérieur, le seul à envisager pour les tirs de classement.

Les formules IV, V, IVa et Va sont sensiblement équivalentes.

La formule IIIa, qui a enflammé à la charge de 800 gr., est la moins sûre des six.

En abordant cette étude nous pensions pouvoir en tirer des renseignements intéressants sur l'efficacité des fluorure de calcium et chlorure de potassium non utilisés par les fabricants belges; l'une ou l'autre de ces deux substances figure en effet conjointement avec le chlorure de sodium dans les formules expérimentées. En réalité les résultats de nos expériences ne nous ont pas permis de tirer des conclusions intéressantes : ou bien tous les sels hologénés présentent une efficacité sensiblement équivalente comme inhibiteur de l'inflammation ou bien les quantités de fluorure de calcium et de

chlorure de potassium en cause ne sont pas suffisantes pour couvrir la dispersion affectant les résultats des tirs au mortier.

c) **Recherches spéciales sur l'Alkalite II (Explosif S. G. P.)**

Comme nous l'avons dit précédemment, l'Alkalite de composition normale (composition agréée par l'Arrêté du 20 mai 1938) enflamme régulièrement les poussières charbonneuses lorsqu'elles sont soulevées par une charge explosive.

Dans le but de corriger cette déficience, nous avons demandé à la Fabrique Nationale de Produits chimiques et d'Explosifs de modifier la composition de l'explosif dans le sens d'une diminution de la teneur en nitrate potassique.

Dans le tableau III, nous avons indiqué les quinze formules ayant subi l'épreuve de tir en galerie tant en présence du grisou que des poussières, celles-ci étant mises en suspension par une cartouche d'explosif S.G.P. détonant une seconde avant la mise à feu de la charge à expérimenter.

Dans ce tableau, nous avons noté également les résultats extrêmes enregistrés au cours de nos recherches. Les tirs ont été réalisés soit avec l'amorçage antérieur (détonateur à l'orifice du mortier), soit avec l'amorçage postérieur (détonateur au fond du mortier).

Le second est anormal et ne peut donc être pris en considération pour le classement officiel des explosifs.

Si nous l'avons appliqué au cours de nos recherches, c'était dans le but d'apprécier l'influence du mode d'amorçage sur la tenue de l'explosif en présence d'une atmosphère inflammable.

Toutes les formules dont la teneur en nitrate potassique atteignait 3 % ont enflammé les poussières à des charges soit inférieures soit égales à 900 gr.

La formule 7 qui ne renfermait pas cette substance n'a

TABEAU III

TABEAU III	MORQUE	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nitrate ammonique	56,5	55,4	55,5	56,5	55,5	55,5	63,0	60,-	60,-	61,-	61,-	58,5	60,5	59,-	60,-	61,-
Trinitrotoluol	11,5	10,-	11,3	10,5	10,-	10,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	13,-	13,-	12,5	12,5	12,-
Binitrotoluol	-	1,5	1,95	1,-	1,5	1,-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrate potassique	6,5	6,5	6,36	6,5	6,5	6,5	-	3,-	3,-	2,-	2,-	2,-	-	2,-	1,-	-
Aluminium	0,5	0,5	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,-
Chlorure sodique	25,-	25,-	24,5	26,-	25,-	26,-	25,-	25,-	25,-	25,-	25,-	26,-	26,-	26,-	26,-	26,-
— TIRS EN PRESENCE DES POUSSIÈRES CHARBONNEUSES — (50 JUILLETS PAR CHARGE EXPLOSIVE)																
a) Amorçage antérieur		400	600	400	500	400	400	800	900	900	900	900	900	900	900	900
Inflammation par (Gr)																
Pas inflammation par (id)																
b) Amorçage postérieur																
Inflammation par (Gr)																
Pas inflammation par (id)																
— TIRS EN PRESENCE DU GRISOU —																
a) Amorçage antérieur																
Inflammation par (Gr)																
Pas inflammation par (id)																
b) Amorçage postérieur																
Inflammation par (Gr)																
Pas inflammation par (id)																

enflammé ni le grisou ni les poussières à la charge de 900 gr., mais son aptitude à la détonation n'était pas suffisante.

Des trois formules 14, 15 et 16, la première est celle paraissant la plus sûre. A la charge de 900 gr., elle n'a enflammé ni le grisou ni les poussières, lorsque le détonateur était placé à l'orifice du mortier.

Dans le cas de l'amorçage postérieur, il n'y a pas eu inflammation du grisou, tandis qu'en atmosphère poussiéreuse, un tir seulement sur quatre a produit l'inflammation.

Cette formule a été agréée comme explosif S.G.P.

d) Etude de la Triamite S. G. P.

Ces recherches répondent aux mêmes préoccupations que celles suscitées par l'Alkalite.

La Triamite normale conforme à la formule suivante :

Nitrate ammonique	49,7
Trinitrotoluol	14,0
Nitrate potassique	4,3
Perchlorate potassique	5,5
Cellulose	0,5
Chlorure sodique	26,0

allume également les poussières charbonneuses mises en agitation violente par l'explosion d'une cartouche.

Partant des constatations auxquelles avaient donné lieu les tirs d'Alkalite, nous avons donc préconisé une réduction de nitrate alcalin.

L'explosif modifié comme suit :

Nitrate ammonique	52,43
Trinitrotoluol	14,23
Perchlorate ammonique	4,97
Nitrate potassique	2,00
Cellulose	0,50
Chlorure sodique	25,87

tiré à la charge de 900 gr. au mortier de 55 mm. n'allume pas les poussières charbonneuses à 30 % de matières volatiles, même avec l'amorçage postérieur. Cette constatation confirme celles enregistrées au cours de notre étude de l'Alkalite.

## II. Etude de la gaine de sûreté.

Depuis deux ans déjà, l'étude de la gaine de sûreté a reconquis la priorité parmi les recherches d'intérêt immédiat figurant à notre programme de travail.

En abordant la revision de cette invention plus que trentenaire, nous nous étions proposé d'abord de remédier aux défaillances qui s'étaient révélées lorsque dès la fin de la guerre, nous avons remis en vigueur le contrôle périodique des explosifs S.G.P.

Cette détermination que justifiait pleinement la prépondérance des explosifs gainés dans notre police du minage, nous fit entreprendre au cours de l'année 1946, une étude systématique des substances capables d'exercer une action extinctrice sur les flammes de détonation.

Cette étude aboutit à une solution satisfaisante et même uniforme en ce sens qu'elle excluait la diversité des mélanges gainants utilisés jusqu'alors par les fabricants.

Mais au cours de l'année 1947, nous fûmes amenés à envisager l'utilisation de la gaine dans des conditions bien différentes de celles prévues par l'inventeur.

En imaginant la cartouche de sûreté, Em. Lemaire pensait en effet ne l'appliquer à titre de précaution additionnelle, qu'aux explosifs S.G.P. présentant déjà par le fait de leur composition une sécurité dûment éprouvée par des tirs en galerie.

Nous n'avons pas cru devoir nous arrêter à cette conception et ce fut là, l'occasion de nouvelles recherches.

Les nécessités économiques de l'heure présente exigent en

effet, dans certains cas particuliers, l'utilisation de formules plus puissantes et par conséquent moins sûres que celles prescrites par notre règlement de minage. La gaine est encore ici le correctif tout indiqué et on en arrive ainsi à la catégorie des explosifs brisants gainés, utilisables notamment pour l'abatage en veine dure et peu grisouteuse.

Enfin, reprenant l'idée mise en avant, il y a plus de 10 ans par la Station de Derne, l'Institut National des Mines a expérimenté également en 1947, une gaine non plus composée uniquement de matières inertes, mais renfermant aussi une substance explosive en l'occurrence la nitroglycérine. Dans ce qui suit, nous exposons brièvement les résultats de nos travaux tant sur la gaine inerte que sur la gaine explosive (ou active).

### α) Applications de la gaine inerte.

Parmi les substances expérimentées en 1946, certaines présentaient une efficacité remarquable. Des gaines de carbonate et de bicarbonate de soude d'un poids maximum de 75 gr. par cartouche permirent notamment de tirer en pleine atmosphère grisouteuse et sans inflammation, la charge maximum d'emploi de nos explosifs S.G.P. (800 gr.).

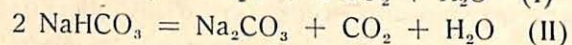
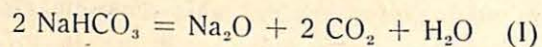
Rappelons que pour cette épreuve, les cartouches gainées étaient suspendues en file à une barre métallique, maintenue par des attaches dans l'axe longitudinal de la galerie expérimentale. Notons également que les extrémités de la charge étaient nues, c'est-à-dire, non pourvues de coiffes terminales de matière extinctrice.

Malgré l'excès d'azote figurant dans la composition du grisou naturel qui nous arrive du siège Grand-Trait des Charbonnages belges, le tir en atmosphère grisouteuse constitue assurément une épreuve très sévère et pour cette raison, nous n'avons pas jugé nécessaire, comme nous le faisons habituel-

lement pour les tirs au mortier, de compenser par une addition d'oxygène, l'apport de gaz inerte.

Nos expériences avaient donc fait ressortir la supériorité des carbonate et bicarbonate de soude; elles avaient montré aussi que ces deux substances sont d'efficacité sensiblement équivalente. Rappelons à ce sujet quelques renseignements thermochimiques.

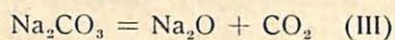
La dissociation du bicarbonate peut se faire de deux façons soit conformément à l'une ou l'autre des équations I et II :



en absorbant par gramme de substance 0,637 calorie dans le premier cas (I), 0,180 calorie dans le second (II).

La mise en liberté de la première molécule d'anhydride carbonique (équation II) s'opère à une température relativement basse, car à 102°, la tension de ce gaz atteint déjà une atmosphère.

La dissociation du carbonate suivant l'équation III :



exige au contraire une température plus élevée et 0,736 calorie par gramme.

A 1.200°, la tension de dissociation du carbonate n'est que de 41 mm. de mercure.

On constate donc d'une part une décomposition à basse température absorbant une quantité de chaleur relativement faible (bicarbonate) et d'autre part une décomposition à haute température avec une consommation de chaleur quatre fois plus grande ( $0,736/0,180 = 4$ ).

Ajoutons qu'on ignore dans quelle proportion et avec quelle vitesse les substances se dissocient au contact des gaz chauds de la détonation et au sein de l'atmosphère surcomprimée qui les entoure.

Dans le cas du carbonate, le phénomène se complique encore par la déshydratation de cette substance à laquelle sont associées sept ou dix molécules d'eau.

En résumé, il n'est pas possible par les seules considérations de la thermochimie de justifier l'équivalence du carbonate et du bicarbonate de soude comme matière gainante.

Enfin, suivant la doctrine relativement récente des réactions en chaîne, les solides pulvérisés agissent au titre d'inhibiteur, non pas tant par absorption de chaleur, phénomène conditionné par leurs propriétés calorifiques et thermochimiques, mais surtout par le fait qu'ils constituent un écran de particules très fines contre lequel les centres propagateurs de l'oxydation se recombinent prématurément avant d'avoir subi les collisions réactionnelles conduisant à l'inflammation.

On comprend alors pourquoi le carbonate et le bicarbonate dont les caractéristiques thermochimiques sont si différentes, se comportent d'une manière identique vis-à-vis des flammes de détonation.

De ces deux substances, seul le bicarbonate fut retenu pour servir désormais de matière gainante. Il présente en effet l'avantage d'une structure physique remarquablement stable. Le carbonate au contraire durcit et s'agglomère à la longue; de plus, sa mise en gaine est plus difficile.

Rappelons qu'en 1932, à la suite d'une étude des matières gainantes, le Safety in Mines Research Board à Sheffield avait déjà reconnu la supériorité du bicarbonate. A la même époque, l'Institut National des Mines expérimentait également avec succès des explosifs gainés avec cette substance. Celle-ci n'avait cependant pas été imposée, les mélanges gainants d'utilisation courante en Belgique ayant paru suffisamment efficaces (1).

(1) Voir Rapport sur les travaux de 1933, page 8, Annales des Mines de Belgique, Tome XXXV, Année 1934.

Au cours de l'année 1947, la gaine au bicarbonate a été étudiée sous deux formes :

1° en épaisseur normale conforme à l'Arrêté royal du 14 août 1930, soit 3 mm.;

2° en épaisseur renforcée, c'est-à-dire, supérieure à 3 mm., format convenant particulièrement pour les explosifs brisants.

Tous les essais ont porté sur des cartouches gainées réalisées chez les fabricants, c'est-à-dire, à l'échelle industrielle.

Nous donnons ci-après pour chaque explosif expérimenté, les caractéristiques (poids et diamètre) du noyau explosif et de la gaine, ainsi que les résultats essentiels des tirs en galerie.

#### 1) Flammivore (explosif S.G.P.)

##### Gaine normale (épaisseur 3 mm.)

Noyau explosif de 100 gr. mesurant 130 × 30 mm. (longueur et diamètre).

Gaine : bicarbonate 90 %, ciment 10 %. 60 gr. par cartouche.

10, 12 et même 14 cartouches disposées en file et suspendues en plein grisou n'allument pas.

##### Gaine renforcée (épaisseur 5 mm.)

Noyau explosif de 100 gr., 132 × 30 mm.

Gaine : bicarbonate 90 %, ciment 10 %. 96 gr. par cartouche.

Diamètre extérieur : 40 mm.

18 cartouches disposées en 2 files juxtaposées et suspendues en plein grisou n'allument pas. — 20 cartouches disposées aussi en 2 files allument le grisou.

#### Gaine renforcée (épaisseur 7,5 mm.)

Noyau explosif de 100 gr., 185 × 25 mm.

Gaine bicarbonate 90 %, ciment 10 %. 184 gr. par cartouche.

Diamètre extérieur : 40 mm.

15 cartouches disposées en file et suspendues en plein grisou ne donnent pas l'inflammation. (Il est probable qu'une charge supérieure n'aurait pas non plus donné l'inflammation.)

#### 2) Nitrocoopalite (explosif S.G.P.)

##### Gaine normale (épaisseur 3 mm.)

Noyau explosif : 100 gr. 132 × 30 mm.

Gaine au bicarbonate pur, 71 gr. par cartouche.

9 cartouches disposées en file et suspendues en plein grisou n'allument pas. Avec 10 cartouches, il y a inflammation.

#### 3) Alkalite (explosif S.G.P.)

##### Gaine normale (épaisseur 3 mm.)

Noyau explosif : 100 gr. 122 × 30 mm.

Gaine au bicarbonate pur : 65 gr. par cartouche.

9 cartouches disposées en file et suspendues en plein grisou n'allument pas.

Les explosifs S.G.P. pourvus d'une gaine normale (3 mm. d'épaisseur) réalisée industriellement au poids de 71 gr. et moins par cartouche ont donc pu être tirés à la charge de 900 gr. sans donner l'inflammation.

On notera aussi avec intérêt la charge importante de Flammivore avec gaine renforcée tirée en plein grisou sans enflammer.

#### 4) Ruptol (explosif brisant)

##### Gaine normale (épaisseur 3 mm.)

Noyau explosif : 100 gr. 130 × 30 mm.

Gaine : bicarbonate de soude 90 %, ciment 10 %. 56 gr. par cartouche.

3 cartouches suspendues en plein grisou donnent l'inflammation.

**Gaine renforcée (épaisseur 5 mm.)**

Noyau explosif : 100 gr. 130 × 30 mm.

Gaine, même composition, diamètre extérieur 40 mm.

Poids : 106 gr. par cartouche.

7 cartouches suspendues en plein grisou donnent l'inflammation une fois sur 2 essais. 7 cartouches disposées en file au mortier de 40 mm. n'allument pas les poussières charbonneuses à 30 % de matières volatiles soulevées par une charge d'explosif. (1)

**Gaine renforcée (épaisseur 7,5 mm.)**

Noyau explosif : 100 gr. 190 × 25 mm.

Gaine : même composition.

Diamètre extérieur : 40 mm., poids 190 gr. par cartouche.

10 cartouches suspendues en file en plein grisou donnent une fois l'inflammation sur six essais; 9 cartouches n'enflamment pas.

5 cartouches mises en file au mortier de 40 mm., avec amorçage postérieur, n'allument ni le grisou vivifié par une addition d'oxygène, ni les poussières charbonneuses. (1)

En ce qui concerne le Ruptol (Explosif brisant), on voit que la gaine normale ne suffit pas pour donner une sécurité acceptable. La gaine renforcée (épaisseur 7,5 mm.) a permis au contraire de tirer sans inflammation 900 gr. d'explosif en plein grisou naturel et 500 gr. au mortier en présence soit des poussières, soit du grisou vivifié.

Ce résultat est intéressant, car étant donné la puissance élevée de cet explosif, 500 gr. suffisent très amplement pour le minage en veine.

Au cours de l'année 1948, d'autres explosifs brisants gagnés au bicarbonate seront soumis aux mêmes épreuves.

(1) La profondeur du fourneau n'étant que de 98 cm., il ne nous a pas été possible de mettre une charge supérieure.

**b) Etude de la gaine active.**

La gaine active étudiée à l'Institut National des Mines provient des Poudreries Réunies de Belgique. Elle présente une composition analogue à celle de la bicarbite allemande et bénéficie comme celle-ci de l'efficacité du bicarbonate de soude.

Constituants	Gaine bicarbite	Gaine active belge
Nitroglycérine	15	15
Bicarbonate de soude	50	82
Chlorure de sodium	35	—
Gühr	—	2
Talc	—	1

L'une et l'autre sont en définitive des explosifs à faible potentiel. (1)

En ce qui concerne la gaine belge, on peut s'en rendre compte par l'examen des caractéristiques indiquées ci-après:

	Explosif S. G. P.	Gaine active belge
Chaleur dégagée par la décomposition d'un kilog. de substance (à volume constant)	627 calories	75 calories
Elargissement net au bloc de plomb donné par 10 gr. de substance (Essai Trauzl) ...	240 cm <sup>3</sup>	23 cm <sup>3</sup>

- N. B. — Le bicarbonate est supposé se transformer en  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

(1) Une notice très détaillée sur la bicarbite figure aux pages 16 et suivantes du Rapport sur les travaux de 1938 de l'Institut National des Mines (Annales des Mines, Tome XL, Année 1939).

Dans cette notice, sont relatés également les essais de tir effectués à Pâturages sur la gaine allemande.



1.600 gr. de gaine active belge (5 cartouches de 40 mm. de diamètre et de 320 gr. détonent en plein grisou sans enflammer.

Nous indiquons ci-après les résultats que nous avons obtenus avec trois explosifs pourvus de la gaine active.

### 1. — Nitrobaelenite (Explosif S.G.P.)

Noyau explosif : poids 50 gr.; longueur 180 mm.; diamètre 20 mm.

Gaine : 216 gr.; diamètre 40 mm.

12 cartouches suspendues en plein grisou n'enflamment pas.

14 cartouches au contraire donnent l'inflammation.

### 2. — Securite B (Explosif S.G.P.)

Nous attribuons à cet explosif la qualité S.G.P. bien que sa charge-limite au mortier, tant en présence du grisou que des poussières soit de l'ordre de 700 gr., c'est-à-dire, inférieure de 200 gr. à celle des explosifs normaux. (1)

Noyau explosif : poids 100 gr.; longueur 180 mm.; diamètre 20 mm.

Gaine : poids 235 gr.; diamètre 40 mm.

5 cartouches suspendues en plein grisou n'enflamment pas, mais 6 cartouches donnent l'inflammation.

### 3. — Fractorite (Explosif brisant)

Noyau explosif : poids 50 gr.; longueur 160 mm.; diamètre 20 mm.

Gaine : poids 221 gr.; diamètre 40 mm.

5 cartouches suspendues en plein grisou n'enflamment pas, mais 6 cartouches donnent l'inflammation.

(1) On trouvera à la page 7 du Rapport sur les travaux de 1946 de l'Institut National des Mines (voir Annales des Mines de Belgique, Année 1947-48, Tome XLVII), la composition de cet explosif.

Un second échantillon de cet explosif identique au précédent, mais pourvu d'une gaine de 242 gr. couvrant à la fois la surface latérale et les fonds des cartouches a donné aux essais les résultats suivants :

8 cartouches suspendues en plein grisou allument deux fois sur 6 essais. La même charge explosant au sein d'un nuage poussiéreux, ne l'allume pas.

6 cartouches au mortier de 40 mm. n'allument pas les poussières charbonneuses (à 30 % de matières volatiles) soulevées par une charge d'explosif, ni non plus le grisou de la station vivifié par addition d'oxygène.

Comme on peut le constater, la gaine active ne permet pas de tirer en plein grisou des charges aussi importantes que la gaine inerte, soit 600 gr. de Nitrobaelenite avec gaine active contre 900 gr. du même explosif avec gaine inerte.

Le potentiel de travail de la charge avec gaine active est néanmoins supérieur. En effet, si on suppose le bicarbonate se décomposant en  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ , on obtient :

473 calories pour 600 gr. d'explosif S.G.P. avec gaine active (216 gr. de gaine par cartouche) et

442 calories pour 900 gr. d'explosif S.G.P. avec gaine inerte (70 gr. de gaine par cartouche).

Comparée à la gaine inerte, la gaine active présente deux avantages :

1° elle peut déborder sur les fonds des cartouches sans gêner la propagation de l'onde explosive;

2° elle augmente l'aptitude à la détonation de l'explosif. La distance maximum pouvant être ménagée entre deux cartouches à l'air libre, sans gêner la transmission de la détonation est de 4 cm. pour l'explosif avec gaine inerte; elle dépasse 16 cm. pour l'explosif avec gaine active.

### c) Essais de puissance des explosifs à gaine renforcée.

Pour déterminer la puissance des explosifs, on procède généralement par tirs de faibles charges au bloc de plomb (Essai Trauzl).

Dix à quinze grammes d'explosif sont introduits avec un détonateur au fond d'une cavité circulaire ménagée dans l'axe d'un bloc de plomb cylindrique, puis la charge est recouverte d'un bourrage. Après détonation, on mesure l'accroissement en volume de la cavité et on obtient ainsi une valeur relative de la puissance de l'explosif.

La méthode est simple et rapide; on ne peut cependant tenir pour certain qu'elle conduise à une échelle des puissances conforme à celle des tirs réels.

Désirant lever cette incertitude en ce qui concerne les explosifs à gaine renforcée, nous avons fait appel à la collaboration du Groupement des Poudres et Explosifs pour l'exécution d'essais de puissance au rocher. Ceux-ci ont été réalisés dans les travaux souterrains du Charbonnage du Gouffre sous la direction de M. R. Lefèvre, ingénieur en chef - directeur du 2<sup>me</sup> Arrondissement des Mines à Mons.

On trouvera en annexe à ce rapport (Annexe I) un compte rendu de ces essais.

### III. Etude des incidents de minage.

Ainsi que nous l'avons fait dans les rapports antérieurs, nous entendons par incidents de minage, les détonations anormales ou déflagrations fusantes des charges explosives.

Ils ont déjà été longuement étudiés par les stations étrangères (notamment Liévin et Montluçon) et nous leur avons nous-mêmes consacré beaucoup d'expériences sans arriver à des résultats décisifs. (Voir rapports annuels de l'Institut

National des Mines sur les travaux de 1944 à 1946 — Annales des Mines de Belgique, tomes XLVI et XLVII.)

Au cours de l'année 1947, notre attention fut attirée à nouveau sur un incident de ce genre observé avec un explosif S.G.P. dans le Bassin de Charleroi et au sujet duquel notre collègue M. R. Lefèvre, ingénieur en chef des Mines, nous donna les détails suivants :

Quatre mines avaient été forées à front d'un pilier pour abattre un banc de toit préalablement souscavé de 1 m. 40 d'épaisseur moyenne et de 2 m. de largeur. Ces quatre trous profonds de 1 m. 80 étaient disposés conformément au croquis figure 1.

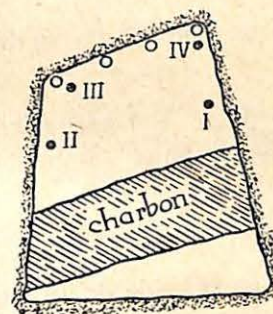


Fig. 1.

Les terrains étaient friables, mais sans traces charbonneuses.

Les mines I, II et III chargées respectivement de 2, 2 et 3 cartouches de Nitrocooppalite gainée furent tirées successivement et sans incident, après quoi le boutefeufu introduisit dans le fourneau IV, 3 cartouches du même explosif avec un détonateur, celui-ci se trouvant à l'extrémité de la charge, voisine du bourrage d'argile de 40 cm. de longueur.

La mise à feu fut suivie non d'une détonation, mais d'un souffle violent.

Revenu à front, le boutefeufu constata que la bêle la plus

proche de la mine et le garnissage brûlaient avec flamme. La charge n'avait pas travaillé.

Ce compte rendu très détaillé fut pour nous l'occasion d'entreprendre des essais dans le but de reproduire l'incident.

Dans notre galerie n° 1 du Bois de Colfontaine, creusée en terrains schisteux, nous avons procédé à quatorze tirs de Nitrocooppalite avec bourrage d'argile, en variant les modes d'amorçage et de chargement, l'explosif étant ou non pourvu de la gaine.

Nous donnons ci-après le relevé des tirs et les conditions dans lesquelles ils ont été réalisés :

*Tir 1 :*

3 cartouches (1 sans gaine, 2 avec gaine), bourrage 35 cm.

*Tir 2 :*

2 cartouches sans gaine + 1 cartouche amorce renfermant 20 gr. de charbon concentré autour du détonateur. Bourrage 35 cm.

*Tir 3 :*

3 cartouches sans gaine, vide de 15 cm. entre la première et la seconde (les cartouches étant numérotées suivant l'ordre d'introduction dans le fourneau). Bourrage 30 cm.

*Tir 4 :*

3 cartouches sans gaine, 15 mm. de matière gainante entre la seconde et la troisième cartouche. Bourrage 35 cm.

*Tir 5 :*

3 cartouches sans gaine, 15 mm. de charbon fin entre chaque cartouche. Bourrage 30 cm.

*Tir 6 :*

3 cartouches sans gaine, vide de 30 mm. entre la première et la deuxième et 15 mm. de charbon entre la seconde et la troisième cartouche. Bourrage de 35 cm.

*Tir 7 :*

3 cartouches sans gaine, détonateur juxtaposé à la troisième cartouche. Bourrage de 30 cm.

*Tir 8 :*

2 cartouches sans gaine + 1 cartouche avec gaine, détonateur contre la troisième cartouche. Bourrage de 30 cm.

*Tir 9 :*

2 cartouches sans gaine et une cartouche avec gaine, détonateur contre la troisième; 2 à 3 cm. de papier entre chaque cartouche. Bourrage de 25 cm.

*Tir 10 :*

3 cartouches sans gaine, détonateur contre la troisième cartouche. Bourrage 30 cm.

*Tir 11 :*

3 cartouches sans gaine, fortement comprimées, détonateur contre la troisième cartouche. Bourrage 30 cm.

*Tir 12 :*

4 cartouches sans gaine, détonateur contre la quatrième cartouche. Bourrage 30 cm.

*Tir 13 :*

3 cartouches sans gaine, 25 mm. de schiste pulvérulent entre chaque cartouche. Bourrage de 15 cm.

*Tir 14 :*

3 cartouches sans gaine, 30 mm. de schiste pulvérulent entre chaque cartouche, détonateur dans la première cartouche (amorçage postérieur). Bourrage 30 cm.

Toutes les charges ont produit leur travail normal d'abattage en fragmentant le massif sur une profondeur égale à celle des trous.

Malgré toutes les déficiences de chargement, nous ne sommes donc pas parvenus à réaliser la déflagration fusante.

Il est cependant possible dans un tir au rocher de provo-

quer la combustion d'une cartouche amorcée d'un détonateur.

Dans une expérience exécutée en 1946, également en terrain schisteux, la cartouche amorce composée de 80 gr. de Flammivore et de 20 gr. de matière inerte (charbon fin et paraffine en parties égales) avait brûlé sans faire détoner le reste de la charge.

Le seul effet du tir avait été un élargissement insignifiant du fourneau sans déplacement du bourrage.

Cette constatation positive jointe à tous les résultats négatifs enregistrés précédemment, donnait à penser que la déflagration était possible moyennant une altération profonde de la matière explosive.

Des défauts d'amorçage ou de chargement telles que détonateur simplement en contact avec la cartouche, solution de continuité de la charge avec ou sans interposition de matières pulvérulentes, compression exagérée des charges (tous défauts dont l'intervention dans la pratique du minage ne paraît pas devoir être exclue) s'étaient montrées en effet peu favorables à la déflagration aussi bien dans les tirs au mortier que dans les tirs à la pierre.

Au cours de l'année 1947, nous nous sommes attachés à reproduire la déflagration fusante de trois explosifs S.G.P. (Flamivore, Nitrocooppalite et Sabulite) et à rechercher l'effet de cette déflagration sur les cartouches contiguës.

Nos constatations peuvent se résumer comme suit :

- a) Charge composée de 2 ou 3 cartouches d'explosif normal et d'une cartouche amorcée d'un détonateur, mais renfermant 20 à 22 gr. de charbon et de paraffine en parties égales.

L'explosion du détonateur entraîne la combustion soit totale, soit partielle de la cartouche-amorce. Les autres cartouches sont réduites en longueur comme si elles avaient subi un choc.

Comme travail effectué par l'explosion, on ne constate qu'une légère fissuration du terrain, le bourrage étant resté en place ou refoulé quelque peu vers l'orifice.

- b) Cartouche amorce altérée par de la paraffine seule (20 gr.) et suivie de 2 ou 3 cartouches normales.

La cartouche-amorce brûle sans produire d'effet sur le reste de la charge. Le bourrage est expulsé et la devanture du trou est emportée sur une profondeur correspondant à la position de la cartouche-amorce.

Le mélange explosif-paraffine est donc plus actif que le mélange explosif-paraffine-charbon.

- c) Cartouche-amorce renfermant 15 gr. de paraffine. Le détonateur fait exploser la cartouche-amorce et détoner les cartouches contiguës qu'elles soient ou non altérées.

- d) Cartouche-amorce renfermant 20 gr. de charbon. Cette cartouche brûle sans faire détoner, ni brûler, les cartouches contiguës quelle que soit leur composition. Le bourrage reste en place.

Le remplacement du charbon par du schiste pulvérulent, ne conduit à aucune constatation spéciale, sauf qu'il y a détonation partielle de la cartouche-amorce au voisinage immédiat du détonateur.

Il est intéressant de rapprocher ces constatations de celles enregistrées lors de tirs au mortier et indiquées aux pages 47 et suivantes du Rapport annuel sur les travaux de 1944-1945.

En amorçant une déflagration par un inflammateur enfoncé dans un mélange d'explosif et de poudre noire avec ou sans charbon fin, nous avons obtenu en 1944, la détonation complète de 2 ou 3 cartouches saines dépourvues de leurs fonds de papier et chargées au mortier derrière un fort bourrage d'argile. Lorsqu'on laissait des fonds de papier en place, toutes autres conditions restant inchangées, la déflagration se

limitait à la cartouche-amorce et laissait intactes les cartouches contiguës.

Ces expériences effectuées dans des conditions d'amorçage très lointaines de la pratique montrent dans quelle mesure les fonds de papier peuvent contrarier la propagation; on peut en dire autant des intercalations de matières pulvérulentes (schiste, charbon).

Il importe donc pour éviter les ratés de curer avec soin les fourneaux de mine; nous n'en dirons pas plus à ce sujet, car cette précaution est bien connue de nos boutefeux.

Revenant à nos essais de déflagration par altération de l'explosif, nous reconnaissons qu'il est difficile de concevoir dans la pratique la possibilité d'une falsification intime telle que nous l'avons réalisée. Nous nous autorisons néanmoins à insister sur l'influence néfaste des manipulations brutales des cartouches et des chocs violents du bourroir sur la charge.

Il peut en résulter l'éclatement des enveloppes et la mise en contact de la matière explosive avec des substances combustibles (charbon et paraffine) favorables à la déflagration.

#### IV. Tirs au rocher d'explosifs S. G. P.

##### a) Nécessité des tirs au rocher pour l'étude des explosifs S. G. P.

Depuis 1931, date à laquelle furent abandonnées nos galeries du Bois de Colfontaine, toutes nos recherches sur les explosifs ont été réalisées uniquement en galerie expérimentale au mortier d'acier.

Nous disposons à cette fin de trois mortiers creusés d'un fourneau de section circulaire mesurant suivant le type :

Longueur 570 mm.; diamètre 55 mm.

Longueur 980 mm.; diamètre 40 mm.

Longueur 1100 mm.; diamètre 30 mm.

Le premier est utilisé pour les tirs de classement des explosifs S.G.P. Les cartouches (100 gr.) y sont introduites et juxtaposées trois par trois, disposition qui, malgré la faible longueur du fourneau permet d'expérimenter des charges de 900 grammes.

Ce mode de chargement qui ne rappelle en rien celui de la pratique, a été adopté depuis longtemps déjà par plusieurs stations expérimentales. Son avantage est de conférer à l'épreuve le maximum de sévérité et de conduire ainsi à la charge-limite la plus faible.

Les mortiers de 40 et 30 mm. sont réservés à des études spéciales, et notamment le premier, pour les tirs de charges gainées, le second pour le tir en file de cartouches non gainées.

Le diamètre d'encartouchage des explosifs S.G.P. étant généralement de 30 mm., les densités de chargement sont 0,3 pour le mortier de 55 mm., 1 pour le mortier de 30 mm. La première est exagérément faible; la seconde est normale, disons même un peu plus grande que celle des tirs à la pierre.

Ajoutons enfin que les charges sont tirées sans bourrage et que le détonateur est placé généralement à l'orifice du fourneau.

Quand on réfléchit à ces détails expérimentaux, on doit reconnaître qu'ils sont bien différents des circonstances ordinaires du minage; tout au plus, peut-on voir dans le tir au mortier, la réalisation d'un coup débouillant, considéré à tort ou à raison comme l'incident le plus dangereux.

En d'autres termes, le mortier a pour seul avantage de se prêter à la répétition des épreuves et de mettre ainsi l'expérimentateur en mesure de déterminer la sécurité relative des formules étudiées.

Il est donc rationnel de compléter les essais en galerie expérimentale par des tirs au rocher et c'était déjà l'opinion

d'Em. Lemaire lorsqu'il entreprit ses expériences au Bois de Colfontaine.

Celles-ci furent réalisées au cours des années 1927 à 1929 dans deux galeries : un bouveau-midi et un chassage-levant creusés le premier dans des terrains schisteux et le second dans un banc de grès dur. Aucune publication n'ayant paru à ce sujet, nous donnons ci-après un bref aperçu des constatations auxquelles ont donné lieu les cent vingt-cinq tirs exécutés à cette époque.

D'une façon générale, on n'observa jamais l'inflammation du grisou par les explosifs S.G.P.

On procéda d'abord par coups isolés avec bourrage, le fourneau recevant un poids d'explosif égal à la charge-limite déterminée au mortier, ensuite par volées de 3 à 5 fourneaux, sans bourrage, chargés de 8, 9, 10 et parfois 16 cartouches de 100 grammes.

Quelles que fussent la résistance du terrain et l'épaisseur des bancs à emporter, tous ces essais ne donnèrent que des résultats négatifs.

Avec la dynamite n° 1 (75 % de nitroglycérine et 25 % de guhr) les inflammations ont été au contraire très fréquentes, mais toujours irrégulières, à tel point qu'il ne fut pas possible de mettre en évidence ni l'influence de la longueur du bourrage, ni celle du travail de fragmentation imposé à la charge.

Quelques exemples feront ressortir l'allure divagante des résultats enregistrés avec cet explosif.

En terrain schisteux peu résistant, il y eut inflammation par deux cartouches chargées derrière un bourrage de 75 cm. de longueur dans un banc de 50 cm. d'épaisseur, tandis que 4 cartouches n'enflammèrent pas sous un bourrage de 40 cm. et dans un banc de 30 cm.

Sous un banc de grès dur de 20 à 30 cm. d'épaisseur, une charge de 3 cartouches tirée avec un bourrage de 20 cm.

n'enflamme pas, mais il y a inflammation pour des bourrages plus longs atteignant même 50 cm.

Citons pour finir, les constatations déconcertantes observées avec des charges de 3 cartouches tirées sans bourrage sous des bancs de schiste tendre de 35 cm. d'épaisseur. Il y eut inflammation lorsque l'espace libre entre la cartouche-amorce et l'orifice du trou était de 75 cm., mais non lorsque cet espace était de 50, 40 et 20 cm.

Deux conclusions ressortaient de ces expériences :

- 1° Les formules admises comme antigrisouteuses pouvaient, sans donner l'inflammation, être tirées au rocher à des charges bien supérieures à la charge-limite déterminée par l'épreuve au mortier.
- 2° Pour la dynamite, il paraissait résulter que le risque n'était pas toujours fonction directe de la charge. On verra certes dans cette constatation une analogie avec celles de la Station de Derne (Allemagne) dont il sera question ultérieurement.

En 1930 et 1931, notre étude du tir simultané nous amena à vérifier de nouveau la sécurité de nos explosifs S.G.P. dans les mines forées en grès dur. (1)

Nous fîmes à cette époque, 24 volées de 2 à 7 mines comportant des charges totales allant de 1,3 à 5,9 kg. d'explosif, la plupart des trous renfermant un poids d'explosif bien supérieur à la charge-limite au mortier.

Aucune de ces expériences ne donna lieu à l'explosion du grisou, ce qui encore une fois confirmait la qualité de nos explosifs S.G.P.

Or, il se fait que dans les mines belges, des inflammations

(1) Voir Ad. Breyre, Rapport sur les travaux de 1931, pages 20 et suivantes (Annales des Mines de Belgique, Tome XXXIII, Année 1932).

se sont produites à l'occasion de tirs de deux ou trois cartouches qui, apparemment du moins, avaient été amorcées correctement et chargées avec le bourrage réglementaire.

Devait-on chaque fois incriminer l'explosif ? Nous ne le pensons pas. Dans certains cas en effet, la ligne de tir présentait de telles avaries qu'on ne pouvait exclure l'intervention des étincelles électriques jaillissant entre les conducteurs dépourvus d'isolant.

Ces étincelles, même sous un débit bien inférieur à celui nécessaire au départ des mines possèdent toujours l'énergie suffisante pour allumer les mélanges grisouteux.

Pour cette raison, on ne saurait apporter trop de soin à la réalisation des circuits de mise à feu.

Toutefois, ce sentiment de suspicion à l'égard des lignes de tir ne nous autorisait aucunement à négliger l'explosif et à rejeter d'une manière définitive l'hypothèse de sa mise en défaut.

Nous avons été ainsi amenés à reprendre l'étude au rocher des petites charges, c'est-à-dire, inférieures à la charge-limite et ne comportant parfois que 2 ou 3 cartouches.

Nous revenions ainsi au mode d'expérimentation adopté jadis par la Station de Derne (Allemagne) dont les travaux ont fait en 1933, l'objet d'un important mémoire de Beyling et Schultze-Rhonhof. (1)

Les analogies de leurs recherches avec les nôtres sont telles que nous ne pouvons négliger de rappeler succinctement leurs observations.

(1) Untersuchungen über die Schlagwettersicherheit von Wettersprengstoffen unter betriebmässigen Bedingungen par Beyling et Schulze Rhonhof.

Ce mémoire a été commenté en détail par Ad. Brèyre, aux Annales des Mines de Belgique, Tome XXXIV, Année 1933, page 713.

#### b) Recherches de la Station de Derne.

Elles ont porté principalement sur les deux formules :

	Wetter-Detonit B	Wetter-Wasagit B
Nitrate ammonique .....	72	30,5
Nitroglycérine .....	4	28,5
Binitrotoluène .....	2	—
Gelose .....	—	0,7
Farine de bois .....	3	0,3
Talc .....	—	0,5
Chlorure de potassium ...	19	—
Chlorure de sodium .....	—	39,5

Ces explosifs sont utilisés en cartouches de 100 gr. au diamètre de 30 mm. Leur charge-limite au mortier est de 450 gr. au moins. Au bloc de plomb (Essai Trauzl) ils donnent un élargissement égal ou inférieur à 240 cm<sup>3</sup>.

Les charges introduites avec ou sans bourrage dans des trous forés au diamètre de 30 à 35 mm. soit dans le grès, soit dans le schiste étaient tirées en présence de mélanges grisouteux à 9,5 % de méthane. Différents modes d'amorçage furent utilisés :

**Amorçage antérieur :** détonateur à l'extrémité avant de la dernière cartouche introduite dans le fourneau.

**Amorçage intermédiaire :** détonateur dans l'extrémité arrière de l'avant dernière cartouche.

**Amorçage postérieur :** détonateur dans l'extrémité arrière de la première cartouche introduite.

Le second et le troisième ne sont pas de pratique courante en Belgique; le second est régulièrement utilisé dans la Ruhr.

Enfin, les expérimentateurs classèrent leurs constatations

en tenant compte du travail effectué par la charge. Ils ont donc distingué :

- les mines sans bourrage qui n'ont pas travaillé;
- les mines sans bourrage qui ont travaillé;
- les mines avec bourrage qui n'ont pas travaillé;
- les mines avec bourrage qui ont travaillé.

#### Wetter-Detonit B.

##### a) Mines sans bourrage qui n'ont pas travaillé.

Cet explosif a donné des inflammations du grisou (neuf inflammations sur 105 tirs), avec l'amorçage intermédiaire lorsque la longueur de l'espace libre devant la charge était comprise entre 10 et 30 cm.

Avec l'amorçage postérieur, on enregistra deux inflammations seulement sur 27 tirs et avec l'amorçage antérieur 4 inflammations sur 159 tirs.

Ces quatre inflammations avec amorçage antérieur se produisirent dans les conditions suivantes :

- 2 cartouches — Espace libre 4 cm.
- 3 cartouches — Espace libre 60 cm.
- 4 cartouches — Espace libre 11 cm.
- 6 cartouches — Espace libre 27 cm.

##### b) Mines sans bourrage qui ont travaillé.

Sur soixante tirs avec amorçage antérieur, six furent suivis d'inflammation, soit :

- 2 cartouches — Espace libre 0 cm.
- 2 cartouches — Espace libre 4 cm.
- 2 cartouches — Espace libre 26 cm.
- 3 cartouches — Espace libre 22 cm.
- 4 cartouches — Espace libre 0 cm.
- 6 cartouches — Espace libre 17 cm.

Aucune inflammation ne se produisit avec des charges de 1 1/2 cartouche, ni avec celles comportant plus de six cartouches.

##### c) Mines avec bourrage qui n'ont pas travaillé.

Pas d'inflammation, même avec l'amorçage intermédiaire (le plus dangereux) lorsque la longueur du bourrage d'argile dépassait 2 cm.

##### d) Mines avec bourrage qui ont travaillé.

On n'enregistra que 3 inflammations, soit avec 2 cartouches (bourrage 14 cm.), 2 cartouches (bourrage 19 cm.), 5 cartouches (bourrage 28 cm.). Ces cartouches provenaient toutes du même lot, ce qui donnait à penser que la composition de l'explosif n'était pas normale.

Aucun des essais (au total 76) effectués sous bourrage avec d'autres lots du même explosif et avec les amorçages antérieur et intermédiaire ne fut suivi d'inflammation.

#### Wetter-Wasagit B.

##### a) Mines sans bourrage qui n'ont pas travaillé.

Avec 1 cartouche et un vide inférieur à 10 cm. devant la charge, il y avait régulièrement inflammation.

Avec 2 cartouches, il y avait inflammation lorsque l'espace libre devant la charge était de 10 cm. mais non quand cet espace atteignait 12 cm. Quatre cartouches avec 36 cm. d'espace libre ont causé une fois l'inflammation. Des charges plus importantes n'ont plus enflammé. Ces résultats ont été obtenus avec l'amorçage antérieur.

L'amorçage intermédiaire a donné très souvent l'inflammation quelle que fut le nombre de cartouches, surtout lorsque le vide devant la charge était inférieur à 20 cm.

Une seule inflammation a été observée avec l'amorçage postérieur et une charge de 2 cartouches.



b) **Mines sans bourrage qui ont travaillé.**

Toutes ces mines ont été tirées avec l'amorçage antérieur. Celles qui ont enflammé le grisou comportaient plus de deux cartouches et la charge se trouvait à plus de 10 cm. de l'orifice du trou.

c) **Mines bourrées.**

Aucune inflammation lorsque le bourrage dépassait 4 cm. Avec un bourrage de 2 cm. et une cartouche, on a obtenu 3 coups débourrants suivis d'inflammation. Même avec ce bourrage réduit, des charges comportant deux cartouches au moins n'ont plus enflammé.

En résumé, Beyling et Schulze-Rhonhof ont enregistré dans leur galerie au rocher des inflammations par des charges bien inférieures aux charges-limites déterminées au mortier. Il ressort même de leurs expériences que les petites charges (1 à 3 cartouches) sont les plus dangereuses surtout celles qui non bourrées effectuent un travail de fragmentation.

Ces expérimentateurs observèrent aussi que la présence d'un bourrage de longueur inférieure cependant à celle prescrite supprime l'inflammation quelle que soit la position d'un détonateur.

A la suite de leurs recherches, Beyling et Schulze-Rhonhof proposèrent un mécanisme postulant l'intervention de particules d'explosif qui ayant échappé à la détonation seraient projetées en dehors du fourneau; l'inflammation se produirait lorsque ces particules en voie de décomposition pénétreraient dans le milieu inflammable; de leur position relative par rapport aux gaz brûlés et refroidis par la détente dépendrait l'issue du tir.

Si on admet cette explication, on saisit aisément l'influence

déterminante de la longueur du vide devant la charge, de la position du détonateur, de la rigidité du confinement.

Les résultats négatifs enregistrés avec des charges importantes s'expliqueraient par un accroissement de la pression, favorable à la décomposition de l'explosif et par le grand volume de gaz brûlés jouant le rôle d'écran protecteur.

Nous ne nous étendrons pas plus longuement sur les déductions des expérimentateurs allemands; ce que nous en avons dit suffit pour faire ressortir l'intérêt des tirs au rocher.

Les expériences que nous avons entreprises dans nos galeries du Bois de Colfontaine ont donc pour but de voir si nos explosifs S.G.P. donnent lieu aux mêmes anomalies que les explosifs allemands.

Nous entendons par anomalies, les inflammations par charges bien inférieures à celle définie comme étant de sécurité dans les tirs au mortier, soit 900 gr.

Nous ne pouvons prévoir quels seront les résultats de nos recherches, mais, si parmi les formules agréées en Belgique, il s'en trouvait une moins sûre à la pierre qu'au mortier, nous en ferions un sujet d'étude et serions alors amenés soit à la supprimer du classement soit à modifier sa composition.

On trouvera ci-après la description de nos galeries ainsi que le mode opératoire adopté pour la réalisation des expériences.

c) **Galeries du Bois de Colfontaine.**

Mode opératoire.

Nous avons utilisé les deux galeries du Bois de Colfontaine. La première (galerie n° 1) est un bouveau-midi sensiblement rectiligne de 68 m. de longueur, traversant des terrains schisteux. La seconde (galerie n° 2) est un chassage levant de 45 m., prolongé par un bouveau sud de 26 m. creusés tous deux dans des grès très durs.

Pour réduire le plus possible les manipulations, nous avons rapproché les fronts de travail des orifices d'accès. Dans la

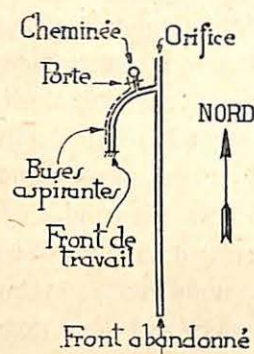


Fig. 2.

galerie n° 1, nous avons donc ouvert à 8 m. de l'entrée, un chassage vers le couchant qui est passé progressivement en allure de travers-bancs.

Dans la galerie n° 2, un bouveau a été amorcé vers le nord à 9 m. de l'entrée.

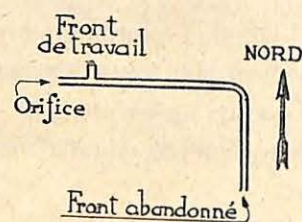


Fig. 3.

Dans la galerie n° 1, nous avons aménagé également un circuit de ventilation soit un montage de 6 m. 50 environ aboutissant à une cheminée de tôle de 4 m. de hauteur (40 cm. de diamètre) plantée verticalement dans le flanc du rocher.

Au fur et à mesure du creusement, une ligne de canars aspirants a été prolongée à partir du montage jusqu'à proximité du front.

On verra aux figures 2 et 3 la disposition actuelle de nos deux chantiers d'expériences.

Le soutènement est constitué par des arcs métalliques en deux pièces, faites de poutrelles doubles et réunies par des éclisses et boulons. Il est complété par un garnissage de lam-bourdes et de tôles usagées laissant à la galerie une section utile de 3 m<sup>2</sup>.

Le forage des trous est exécuté au racagnac dans la galerie n° 1 (schiste) et à l'air comprimé dans la galerie n° 2 (grès dur).

Pour chaque expérience, on procède de la manière suivante :

Après avoir placé la charge dans le fourneau, on isole le fond de la galerie par une cloison de papier fort. Cette cloison est fixée par des lattes qu'on cloue sur des chevrons attachés à un des cadres de soutènement.

(La position de cette cloison est modifiée après 6 ou 10 expériences suivant l'allure du creusement.)

On introduit ensuite le grisou dans la chambre isolée par la cloison de papier. A cette fin, on dispose sur le sol et derrière la cloison, un tuyau métallique perforé, raccordé par un tuyau de caoutchouc à une bonbonne. Cette bonbonne qui se trouve en dehors de la chambre renferme du grisou comprimé à une pression comprise entre 60 et 150 kg., variable avec le volume de mélange à réaliser. Lorsque la vidange de la bonbonne est terminée, on prélève pour analyse un échantillon du mélange. On utilise pour cette opération un long tuyau de cuivre qui traversant la feuille de papier débouche à courte distance du front.

Nous avons vérifié à plusieurs reprises que le mélange était bien homogène. Cette vérification a été faite notamment lorsque la cloison de papier se trouvait à 4 m. du front; les teneurs en méthane à 2 m. et à 3 m. de la cloison ne différaient pas de plus de 0,25 %.

Après la prise d'échantillon, on procède à la mise à feu de la charge. Lorsqu'il y a inflammation, un souffle violent s'échappe par l'orifice de la galerie; il se produit ensuite un appel d'air qui provoque la fermeture brutale des portes défendant l'accès de la galerie.

Des touffes-témoins en coton nitré, substance aisément inflammable attachées au soutènement, indiquent également s'il y a eu ou non inflammation du mélange par le tir ainsi que le développement atteint par la flamme.

d) Essais réalisés en 1947.

Notre étude a commencé dans les derniers mois de l'année; nous n'avons donc pas encore réuni assez de constatations expérimentales pour donner un aperçu de la sécurité des petites charges.

Jusqu'ici nous avons procédé à 65 tirs, soit :

58 tirs de Flamivore, Nitrocooppalite et Triamite à la galerie n° 1.

7 tirs de Triamite à la galerie n° 2.

A la galerie n° 1, les charges comportant de 2 à 8 cartouches ont été tirées isolément, la plupart sans bourrage et avec amorçage postérieur. La disposition des trous par rapport aux faces dégagées variait suivant l'avancement; tous les cas rencontrés dans la pratique du minage ont donc été réalisés : trous de bouchon (une seule face dégagée), trous de bosseyement (deux ou trois faces dégagées).

Aucun de ces tirs ne donna l'inflammation du grisou.

Les expériences de la galerie n° 2 avaient pour objet l'étude d'une inflammation de grisou survenue le 29 novembre 1947 au siège St-Charles des Charbonnages du Bois-du-Cazier.

D'après les déclarations du boutefeu, sept mines de 1 m. 50 avaient été forées dans le mur de la couche au pilier du chantier Gros Pierre à l'étage de 835 m. Ces mines étaient disposées conformément au croquis figure 4.

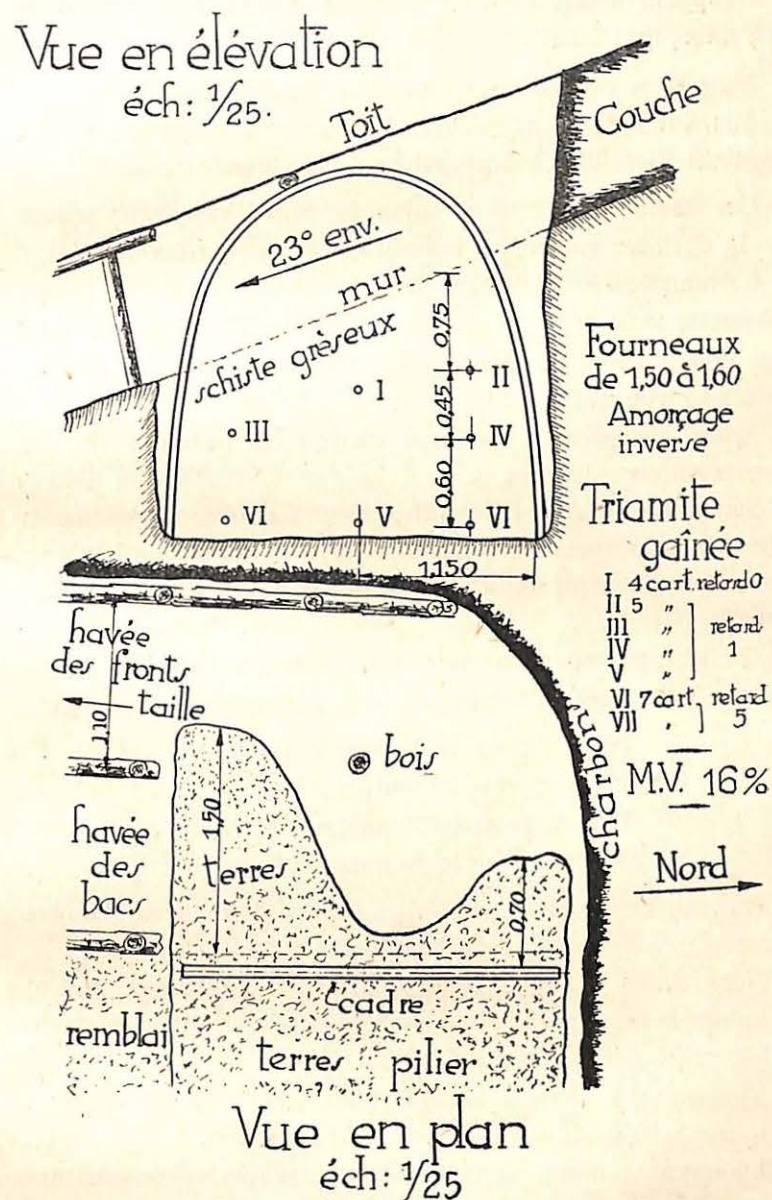


Fig. 4.

L'explosif utilisé était la Triamite gainée, les charges et les amorçages étant :

Mine I : 4 cartouches, détonateur instantané.

Mines II à V : 5 cartouches, détonateur à temps 1.

Mines VI et VII : 5 cartouches, détonateur à temps 5.

Les détonateurs étaient enfoncés dans l'extrémité arrière de la dernière cartouche introduite (amorçage inverse).

Le boute-feu fit partir les charges qui sautèrent en 3 coups distincts; mais entre le second et le troisième, il se produisit une inflammation de grisou qui brûla grièvement l'un des ouvriers se trouvant dans le pilier.

Après l'accident, l'ingénieur chargé de l'enquête, fit les constatations suivantes :

Seules les charges III et VII avaient travaillé normalement; elles avaient fracturé les terrains sur 1 m. 60 de profondeur; les autres n'avaient fissuré le mur que sur 30 à 40 cm. d'épaisseur.

On ne put cependant retrouver trace du fourneau 1, les autres étaient restés intacts sur des longueurs importantes :

85 cm. pour le fourneau II.

105 cm. pour le fourneau IV.

75 cm. pour le fourneau V.

135 cm. pour le fourneau VI.

Du fond de la mine V, on retira un peu de matière blanche, humide, paraissant être de l'explosif.

Nous avons examiné la ligne de tir (longueur 47 m.) et l'exploseur sans trouver le moindre indice qui put faire croire à leur intervention dans l'accident.

Toutefois l'isolant de la ligne était carbonisé sur toute sa longueur, conséquence ordinaire de l'explosion.

L'analyse chimique de l'explosif montra que sa composition différait très peu de la formule normale.

Pour nos essais à la galerie n° 2 (grès dur), nous avons

utilisé la Triamite non gainée avec amorçage inverse et procédé par coups isolés et par volées, dans les conditions suivantes :

Tir 1 :

1 trou de bouchon, 5 cartouches, déto temps 1, bourrage 4 cm.

2 trous de bosseyement à 46 et 38 cm. de la face libre, 4 cartouches, détonateur temps 3, bourrage 7 cm. — Teneur en méthane 7,25 %.

Tir 2 :

2 trous de bosseyement à 30 cm. de la face libre, 5 et 6 cartouches, détos temps 1 et 3, bourrage 3 et 10 cm. — Teneur en méthane 9,0 %.

Tir 3 :

1 trou de bouchon, 4 cartouches, pas de bourrage, vide entre la charge et l'orifice 96 cm. — Teneur en méthane 8,75 %.

Tir 4 :

1 trou de bouchon, 5 cartouches, bourrage 22 cm. — Teneur en méthane 8,25 %.

Tir 5 :

2 trous de bosseyement à 27 cm. de la face libre, 4 et 5 cartouches, détos temps 1 et 3, pas de bourrage, vide entre la charge et l'orifice 25 et 19 cm. (les 2 trous sont forés en terrains très fissurés). — Teneur en méthane 8,75 %.

Tir 6 :

2 trous de bosseyement à 42 cm. de la face libre, 7 et 3 cartouches, détos à temps 1 et 3, pas de bourrage, charges affleurant l'orifice des trous. — Teneur en méthane 9 %.

Tir 7 :

2 trous de bouchon, 4 et 5 cartouches, détos à temps 1 et 2, pas de bourrage, vide entre la charge et l'orifice 54 cm. — Teneur en méthane 9 %.

Dans aucun cas, il n'y eut inflammation du grisou.

En résumé, les 65 expériences réalisées en 1947 ont donné des résultats négatifs.

Dans la galerie n° 1 (terrain schisteux), chaque tir produisait beaucoup de poussières fines qu'on retrouvait en nuage persistant à proximité du front et en dépôt sur le soutènement.

Il y a lieu de se demander si ces poussières stériles ne jouent pas le même rôle que la matière gainante, soit une action immunisante contre l'inflammation du grisou.

On n'observe rien de semblable dans la galerie n° 2 (grès dur); pour ce motif, nous y ferons dorénavant toutes nos expériences de tir en grisou.

#### V. Recherches sur les détonateurs à temps.

L'extension du tir à temps justifie ces longues et minutieuses recherches que nous effectuons chaque année sur les détonateurs.

Nos vérifications portent tout spécialement sur la sensibilité des amorces et la régularité des départs, deux facteurs déterminants de l'exécution correcte du minage.

On trouvera ci-après les résultats d'expériences effectuées sur deux fabrications.

##### α) Détonateurs de la « Nobel Explosives Cy » de Glasgow.

Les détonateurs à temps de cette firme ont déjà été étudiés en 1945 et leur emploi a été autorisé par une décision de la Direction générale des Mines.

Néanmoins, pour parer à un défaut de sensibilité des amorces, nous avons estimé utile de limiter le nombre de détonateurs insérés dans le circuit de tir.

Des modifications apportées au sertissage des conducteurs et à la composition de l'amorce motivèrent un nouvel examen.

Dans la fabrication nouvelle, les conducteurs pénètrent par

un bouchon de néoprène de 10 mm. de longueur emprisonné par écrasement et matriçage du tube de cuivre (voir fig. 5).

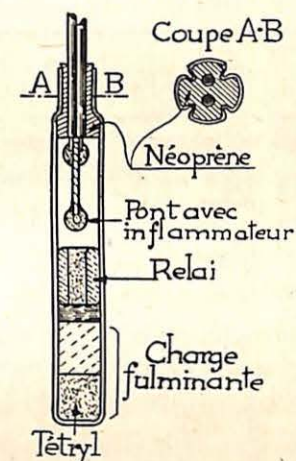


Fig. 5.

Ce bouchon est percé d'une ouverture livrant passage aux deux conducteurs. (Dans les détonateurs examinés en 1945, les conducteurs étaient sertis dans un bouchon de plomb.)

Nous avons procédé aux recherches suivantes :

##### 1° Détermination du courant minimum d'allumage.

Un courant de 1 ampère suffit pour écarter l'éventualité de ratés. Pour cette intensité, la première fabrication étudiée en 1945 avait donné des ratés.

##### 2° Vérification de la régularité des départs.

Elle a été faite d'après le procédé habituel : enregistrement à l'oscillographe des ondes sonores émises par les différents retards.

Nous avons utilisé au total 74 détonateurs : 16 à retard I, 14 à retard III, 15 à retard V, 14 à retard VII et 15 à retard IX.

Le courant a été réglé systématiquement en-dessous de 1 ampère c'est-à-dire, entre 0,79 et 0,92 ampère.

Nous indiquons ci-après les résultats globaux de cette vérification (Tableau IV).

TABLEAU IV

	Déto à retard				
	I	III	V	VII	IX
Moyenne des retards	0,521	1,414	2,599	3,421	4,398
Retard maximum	0,600	1,500	2,750	3,500	4,520
Retard minimum	0,425	1,540	2,440	3,560	4,290
Ecart entre les extrêmes	0,175	0,160	0,310	0,140	0,250
Ecart maximum avec la moyenne	0,096	0,086	0,159	0,079	0,122
Décalage minimum entre les retards	Retard 5 minimum	» 5	Retard 1 maximum	» 5	» 5
	» 7	» 7	» 5	» 7	» 7
	» 9	» 9	» 7	» 9	» 9

Ces chiffres sont affectés d'une dispersion moindre que celle constatée en 1945.

### 3° Vérification de la résistance du sertissage.

Pour procéder à cette épreuve, nous avons utilisé un étau fait de deux pièces de bois articulées autour d'une charnière.

Le détonateur étant serré dans l'étau, un opérateur exerçait un effort de traction sur les conducteurs.

Vingt détonateurs ont été soumis à cette épreuve. Chaque fois il y a eu rupture des conducteurs, mais sans explosion du détonateur.

### 4° Epreuve d'étanchéité du sertissage.

Dix détonateurs sont restés immergés pendant 21 heures sous 2 mètres d'eau. On constata ensuite que ni la résistance ohmique, ni la sensibilité au courant d'allumage n'était modifiée.

Quatre détonateurs connectés en série ont explosé sous un courant de 0,88 ampère, les six autres pour un courant de 0,89 ampère.

## CONCLUSION

Les essais auxquels nous avons procédé montrent que la nouvelle fabrication des détonateurs à temps de la „ Nobel Explosive Cy “ est supérieure à celle étudiée en 1945.

En conséquence, les détonateurs du nouveau type qu'on peut désigner par détonateurs à bouchon de néoprène peuvent être utilisés en lieu et place des détonateurs à bouchon de plomb agréées en 1945. Il faut néanmoins maintenir l'interdiction d'utiliser simultanément dans le même circuit des retards pairs et impairs, mais pour ce qui est du courant minimum de tir, nos essais ont montré qu'un ampère suffit pour effectuer un tir sans ratés.

### b) Détonateurs de la firme Dupont de Nemours.

Ces détonateurs sont fabriqués en onze numéros de 0 à X, ceux-ci indiquant le délai qui s'écoule entre le lancé du courant et l'explosion.

Nous n'avons pu les proposer à l'agrément de la Direction générale des Mines pour les motifs suivants : longueur exagérée des tubes de cuivre, irrégularité des départs et délais exagérés pour les retards supérieurs au n° V.

Nous indiquons ci-après les longueurs des tubes pour 4 retards :

N° du retard	Longueur du tube en mm.
V	70
VII	85
IX	105
X	120

Le détonateur retard X est presque aussi long qu'une cartouche d'explosif.

La détermination des temps d'explosion a conduit aux résultats indiqués dans le tableau V.

TABLEAU V

N° des retards	Retard moyen en secondes	Retard minimum	Retard maximum	Ecart entre maximum et minimum
I	1,14	0,95	1,23	0,30
II	2,28	2,11	2,58	0,47
III	3,53	2,90	3,56	0,66
IV	4,53	4,27	4,74	0,47
V	6,45	5,61	7,20	1,59
VI	8,25	7,8	8,9	1,1
VII	10,7	9,8	10,2	0,4
VIII	12	11,2	12,8	1,6
IX	14,2	13,6	15,0	1,4
X	16,5	15,8	17,2	1,4

Ce tableau montre :

1° que les écarts entre les retards excèdent 1 seconde, de telle sorte que le retard V déjà est supérieur à 5 secondes, délai que nous estimons ne pouvoir être dépassé, dans les mines grisouteuses ou poussiéreuses.

D'après certains techniciens anglais, la durée totale du sautage ne devrait même pas dépasser 4 secondes (Colliery Guardian du 3 octobre 1947).

2° que la dispersion des temps d'explosion pour un même retard est de l'ordre de 1/2 seconde pour les n° II à IV, et même de plus d'une seconde pour les étages V à X. On ne peut donc pas considérer que les mines amorcées d'un même retard sauteraient en même temps lors d'un tir en

grande volée. Le risque de culots non explosés et d'abatage incomplet est donc beaucoup plus grand qu'avec les types autorisés jusqu'ici en Belgique.

## B. — ETUDE DU PROCÉDE CARDOX.

Ce procédé utilise comme on le sait la vaporisation de l'acide carbonique liquide pour fragmenter les roches de dureté moyenne : charbon ou schiste. Dans certains cas, il peut donc être substitué aux explosifs.

Le tube d'acier qu'on introduit dans le trou de mine, renferme l'acide liquéfié et une cartouche chauffante; l'une de ses extrémités est fermée par un disque d'acier calibré.

La combustion vive de la cartouche sous la pression élevée régnant dans le tube donne naissance à une onde de choc qui se propage dans le fluide et rompt le disque de fermeture.

L'acide carbonique se répand alors dans le fourneau et dans les fissures avoisinantes et provoque par sa vaporisation instantanée la fragmentation du massif.

Déjà en 1936, les tubes Cardox avaient fait l'objet de recherches à l'Institut National des Mines et leur utilisation dans les mines grisouteuses avait été autorisée par une décision de la Direction générale des Mines. (1)

La faveur des exploitants pour le procédé ne se manifesta néanmoins qu'à partir de 1946.

Nous avons saisi cette occasion pour faire de nouvelles expériences qui se justifiaient d'ailleurs par certaines modifications apportées à la cartouche chauffante.

En 1936, cette cartouche était amorcée d'un inflammateur

(1) On trouvera à la page 34 du Rapport sur les travaux de 1936, Annales des Mines de Belgique, Tome XXXVIII, Année 1937, une description détaillée avec croquis du tube Cardox.

à masse pulvérulente et renfermait un mélange composé comme suit :

Chlorate de sodium .....	72
Nitrate de soude .....	15
Paraffine .....	8
Soufre .....	2
Charbon .....	3

Les tubes tirés en plein grisou n'avaient donné l'inflammation que moyennant la réalisation simultanée des conditions anormales suivantes :

- absence totale d'acide carbonique;
- augmentation de la charge de la cartouche chauffante (200 gr. au lieu de 100 gr.);
- réduction de l'épaisseur du disque de fermeture à 1,3 mm. alors que le disque le plus mince prévu par le fabricant avait 3,6 mm. d'épaisseur.

Dans les conditions normales de chargement, l'acide libéré crée devant la flamme de la cartouche, une atmosphère asphyxiante s'opposant à la propagation de cette flamme au mélange grisouteux.

Le tube Type B-37 étudié en 1947 est analogue en principe à celui agréé en 1936. Le disque de fermeture a soit 2,78 mm., soit 3,57 mm. d'épaisseur; suivant les cas, sa rupture se produit pour une pression statique de 1.890 ou de 2.362 kilos par cm<sup>2</sup>.

La cartouche chauffante d'un poids total de 100 gr. renferme 80 gr. d'un mélange combustible au perchlorate dénommé „ Heatox D “ ainsi qu'une amorce constituée par un fil en nichrome noyé dans un mélange de chlorate de potasse et de charbon.

Comme nous l'avons dit précédemment, les modifications apportées à la cartouche chauffante étaient la raison majeure

pour laquelle nous estimions utile de procéder à une nouvelle étude.

Des essais préliminaires effectués sur la cartouche chauffante seule montrèrent qu'elle ne pouvait être allumée à l'air libre. Nous avons porté jusqu'à 175 volts, la tension appliquée à l'amorçage électrique sans obtenir l'allumage.

D'après le fabricant, la mise à feu n'est possible que si la matière combustible est confinée dans des conditions analogues à celles existant au moment d'un tir normal.

Nous avons pu constater en effet (voir tableau VI) que le fonctionnement du tube Cardox dépend de la quantité d'acide carbonique introduite lors du chargement.

Tableau VI

Poids d'acide carbonique en gr.	Constatations
609	Le disque de fermeture est emporté, la cartouche est entièrement brûlée.
495	Idem.
397	Le disque n'est pas cisailé; la cartouche est néanmoins complètement brûlée.
312	Idem.
198	Idem.
99	Le disque n'est pas cisailé; la cartouche est indemne.
0	Idem.

Ces constatations résultent de 20 expériences; onze d'entre elles ont été effectuées dans le grisou et notamment celles (au nombre de quatre) pour lesquelles il y a eu rupture du disque.

Pour ces expériences, le tube était placé horizontalement dans l'axe de la chambre d'explosion de notre galerie expéri-



mentale, c'est-à-dire dans une atmosphère grisouteuse renfermant 9 % de méthane.

Dans aucun cas, il n'y a eu inflammation du grisou. A la suite de ces expériences, l'emploi du tube Cardox type B-37 a été agréé par la Décision 13 D/6167 du 11 juin 1947 de la Direction générale des Mines.

### C. — ETUDE DU MATERIEL ELECTRIQUE ANTIGRISOUTEUX.

#### Appareils électriques antigrisouteux.

Au cours de l'année 1947, nous avons examiné et proposé à l'agrément de la Direction générale des Mines, 40 appareils électriques, soit : 12 moteurs, 2 transformateurs, 3 disjoncteurs-inverseurs, 13 coffrets de commande, 1 haveuse, 2 perforatrices, 3 boîtes de jonction, 1 lampe électropneumatique avec ampoule à vapeur de mercure, 1 armature pour éclairage par tube fluorescent, 2 ohmmètres à pile sèche.

Parmi ces appareils, certains présentent des particularités de construction favorables à la sécurité; nous les mentionnons ci-après avec quelques détails.

1) **Transformateur au quartz type G. 406.I de la firme Merlin de Grenoble** présenté pour agrément par la Société Anonyme „ Electromécanique “ de Bruxelles.

La puissance normale de cet appareil est de 150 KVA et les tensions primaire et secondaire sont respectivement de 5.000 et 550 volt.

Les organes électriques sont logés dans une cuve en tôle soudée de forme parallépipédique dans laquelle l'espace libre est rempli presque entièrement de sable pur ou quartz en grains calibrés.

Cette particularité exclut la possibilité d'explosion toujours à redouter lorsque le diélectrique est de l'huile donnant par échauffement des vapeurs combustibles.

Pour accélérer l'évacuation des calories à partir des enroulements, des écrans métalliques de grande surface sont intercalés dans les bobinages et prolongés jusque dans les ondulations de la tôle formant la partie latérale de la cuve.

Pour faciliter le placement des organes intérieurs et des écrans ainsi que le remplissage par le quartz, les noyaux magnétiques sont disposés horizontalement et les écrans verticalement.

Quatre regards avec glace de 8 mm. d'épaisseur sont prévus dans la partie haute de la cuve pour examen du niveau de sable.

2) **Coffrets de commande à distance.** — Nous avons examiné deux appareils de ce genre, construits par des firmes anglaises et destinés à l'alimentation d'engins sujets à de fréquents déplacements : perforatrices, haveuses, chargeuses, etc.

La commande à distance en courant triphasé d'un engin mobile exige l'emploi d'un câble souple sous gaine de caoutchouc à cinq conducteurs : trois conducteurs de puissance établissant donc la liaison entre la source de courant et le moteur, un fil pilote et un fil de terre.

La connexion du câble s'opère tant à la machine qu'au coffret, par l'intermédiaire d'une prise de courant à fiche, celle-ci renfermant soit quatre tiges, soit quatre douilles auxquelles aboutissent les 3 conducteurs de puissance et le fil pilote. Le fil de terre lui, est relié aux masses des fiches terminales.

Quand le câble est en service, la carcasse de la machine réceptrice se trouve donc en liaison par le fil de terre avec celle du coffret que nous supposons mise au sol d'une manière efficace.

Le circuit de contrôle qui doit assurer la mise en marche et l'arrêt du moteur, ainsi que la protection contre les chocs électriques est alimenté à basse tension par un transformateur.

Ce circuit est composé du fil pilote, du fil de terre, d'un relai, d'un interrupteur et se ferme par les carcasses du coffret et de la machine. Le transformateur et le relai se trouvent dans le coffret de commande tandis que l'interrupteur est placé dans l'enveloppe du moteur.

La fermeture du circuit par cet interrupteur amène l'excitation du relai, qui commande l'enclenchement du disjoncteur d'où mise en marche du moteur.

L'arrêt résulte de la manœuvre inverse, c'est-à-dire de l'ouverture du circuit de contrôle. Celle-ci se produit également lorsqu'on retire, sans autre précaution, l'une des fiches des prises de courant.

Il est donc impossible d'utiliser la machine (haveuse, perforatrice, etc.) lorsque sa masse n'est pas mise à la terre.

Lorsque le contact des fiches dans les prises de courant n'est pas franc (ce qui peut résulter de l'empoussiérage des organes) ou en d'autres termes, lorsqu'une résistance parasite est introduite dans le circuit contrôle et par conséquent dans le fil de terre, le relai n'est plus excité au taux voulu et le disjoncteur n'est pas enclenché.

La machine réceptrice ne peut donc recevoir du courant, lorsque sa masse n'est pas reliée franchement à celle du coffret.

Le système de contrôle à distance, tel que nous venons de le décrire protège donc le personnel contre les chocs électriques pouvant résulter d'une mise accidentelle sous tension des organes accessibles de la machine. La protection serait cependant imparfaite si un court-circuit s'établissait dans le câble entre le fil pilote et le fil de terre. La fermeture permanente du circuit de contrôle maintiendrait en effet le disjoncteur enclenché que la fiche terminale du câble soit ou non retirée de la douille placée sur la machine. (Rappelons que cette fiche renferme des bornes aisément accessibles lorsque le câble est déconnecté.)

La firme Hugh Wood a paré à ce danger par la disposition représentée à la figure 6.

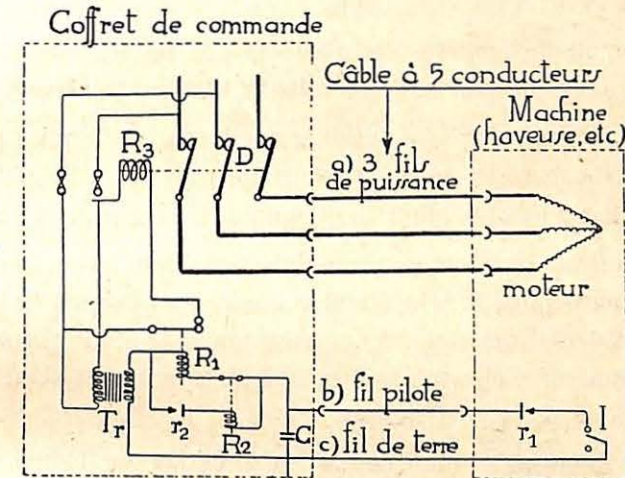


Fig. 6.

Le circuit de contrôle comporte maintenant deux redresseurs  $r_1$  et  $r_2$  (type oxymétal) l'un dans la machine, l'autre dans le coffret.

Lorsque l'installation est en service, le relai  $R_1$  est excité, le relai  $R_2$  ne l'est pas. (C'est le cas schématisé dans la figure). Le relai  $R_1$  reçoit en effet le courant ondulé (une demi-onde par période) que laisse passer le redresseur  $r_1$ , tandis que le relai  $R_2$  ne reçoit aucun courant, son circuit d'alimentation renfermant en effet deux redresseurs  $r_1$  et  $r_2$  connectés en opposition.

L'excitation et la non excitation du relai  $R_3$  du disjoncteur sont concomitantes de celles du relai  $R_1$  et fonction par conséquent de la position de l'interrupteur I. La manœuvre de cet interrupteur amène ou supprime donc l'alimentation du moteur.

Lorsqu'il se produit dans le câble, un contact entre le fil

pilote et le fil de terre, le redresseur  $r_1$  devient inopérant et le courant ondulé passant par le redresseur  $r_2$  excite le relai  $R_2$  qui ouvre le circuit du relai  $R_1$ , d'où déclenchement du disjoncteur et arrêt de la machine.

Le circuit de contrôle est alimenté par un transformateur auxiliaire  $T_2$  qui abaisse à 24 volts la tension du réseau.

L'installation comporte aussi un condensateur C qui a pour office d'absorber les extra-courants de rupture et de réduire les chances d'inflammation du grisou par le circuit de contrôle.

Les coffrets de manœuvre anglais possèdent généralement en plus un dispositif de protection contre les pertes à la terre (core-balance); celui-ci n'est opérant que si le point neutre du transformateur d'alimentation est mis à la terre, pratique qui n'est pas de règle en Belgique.

Il est constitué par un anneau magnétique sur lequel sont disposé trois bobines insérées dans chacune des phases et une bobine relai. Lorsque les phases sont parfaitement équilibrées, il n'y a pas de flux magnétique dans le noyau. Mais si dans la partie du réseau située en aval du coffret, une phase vient à être mise à la terre, le déséquilibre des courants engendre alors dans le noyau magnétique un flux. Celui-ci produit un courant dans la bobine relai, lequel provoque le déclenchement du disjoncteur par le jeu d'un relai auxiliaire.

**3) Perforatrices.** — Il s'agit de perforatrices rotatives utilisables dans le charbon et le schiste tendre et construites par les firmes „ Victor Products “ de Wallsend-on-Tyne et „ Hugh Wood “ de Gateshead-on-Tyne.

Ces machines sont pourvues d'un moteur asynchrone avec rotor à cage d'écureuil alimenté sous la tension soit de 125, soit de 220 volts à 50 périodes. La vitesse du moteur est généralement de 3.000 tours/minute et celle-ci est réduite par un système d'engrenages planétaires à une valeur compatible

avec le fonctionnement normal d'attaque, c'est-à-dire comprise entre 300 et 500 tours.

La firme „ Victor Products “ prévoit sur certaines de ses machines, un moteur alimenté sous la fréquence 150 et tournant à 9.000 tours/minute. Dans ce cas, le courant triphasé est fourni par un transformateur rotatif placé dans le coffret de commande et alimenté sous la fréquence normale (50 périodes). Ces perforatrices sont pourvues de la commande à distance; l'alimentation est donc suspendue dans le cas d'un circuit de mise à la terre défectueux.

**4) Ohmmètres à pile.** — Ces appareils sont destinés à la vérification des circuits de tir. La source de courant est constituée par des éléments secs, analogues à ceux utilisés dans les lampes de poche.

Les organes sont protégés par une enveloppe de bakélite et l'appareil est transporté dans une pochette en cuir, ajourée de telle façon qu'on peut sans gêne aucune, exécuter toutes les manœuvres et lectures sans retirer l'appareil.

L'étincelle de court-circuit n'allume pas le mélange air-gaz d'éclairage, plus inflammable cependant que n'importe quel mélange grisouteux.

La sécurité de ces appareils réside dans le fait que les tensions et intensités mises en jeu sont extrêmement faibles.

Deux appareils de ce genre ont été agréés par les décisions 13 E/7099 du 24-12-1947 et 13 E/7104 du 9-1-1948 de la Direction générale des Mines.

## D — RECHERCHES SUR L'INFLAMMATION DU GAZ TONNANT DANS LES LAMPES ELECTRIQUES PORTATIVES

(2<sup>de</sup> note).

### a) Rappel des recherches antérieures.

Nous avons signalé dans notre Rapport sur les travaux de 1946 (Annales des Mines de Belgique, tome XLVII, pages 74 et suivantes) les incidents motivant ces recherches.

Dans les lampisteries d'un charbonnage du Bassin de Charleroi, deux explosions se sont produites à 15 jours d'intervalle, dans une lampe portative à accumulateur alcalin au moment où l'on allumait l'ampoule par rotation du couvercle.

Une explosion de ce genre nécessite évidemment la réalisation de deux conditions :

1° formation d'un mélange tonnant à l'intérieur de la lampe;

2° production d'une étincelle électrique capable d'allumer ce mélange.

La première a fait l'objet en 1946 de recherches nombreuses d'où ressortent les constatations suivantes :

Si le régime de charge de l'accumulateur est maintenu au taux indiqué par le constructeur et si la lampe reste ouverte (tête séparée du pot) pendant un temps suffisamment long, disons 3 heures, après la fin de la décharge, il n'existe pas de mélange inflammable à l'intérieur de la tête au moment de l'allumage.

Ceci suppose évidemment que les soupapes placées sur l'enveloppe de l'accumulateur sont parfaitement libres de s'ouvrir pour assurer l'évacuation du gaz hydrogène libéré pendant la charge.

Il est d'usage de ne retirer ces soupapes que pour l'introduction de l'électrolyte, mais rien ne dispense les préposés

aux lampisteries d'en vérifier périodiquement le fonctionnement.

On n'observe, dans la tête de la lampe, la présence d'hydrogène en quantité appréciable qu'après un chargement exagéré, soit que la durée et l'intensité du courant de charge aient été notablement supérieures à celles indiquées par le fabricant, soit que le même accumulateur ait subi deux charges normales successives sans décharge intermédiaire.

En ce qui concerne la période de décharge, nous avons pu mettre en évidence le caractère explosif de l'atmosphère interne de la lampe, dans le cas d'une décharge poussée à l'extrême (ampoule à peine incandescente). Nous avons pu le faire également sur une lampe maintenue fermée longtemps après l'extinction de l'ampoule, 21 h. 30 dans un cas et 30 h. dans un autre.

En résumé, la présence d'un mélange explosif à l'intérieur d'une lampe électrique portative exige semble-t-il, des conditions d'utilisation et d'entretien tout à fait anormales. Dans celles-ci, il faut comprendre également l'emploi de batteries dont les plaques seraient appauvries en matières actives et incapables de ce fait, d'absorber et de retenir les gaz d'électrolyse.

Mais comme nous l'avons dit antérieurement, pour qu'il y ait explosion, il faut aussi l'intervention d'une étincelle ou d'un arc électrique. Si on exclut le contact franc entre les bornes de l'accumulateur ou entre les pièces constituant le circuit d'alimentation, il ne reste que les manœuvres d'allumage ou d'extinction comme source possible d'étincelles à l'intérieur de la lampe.

### b) Essais d'inflammation du gaz tonnant par les étincelles d'accumulateurs.

Lorsque la rupture du courant débité par un accumulateur se fait entre lames élastiques en laiton au sein même d'un

mélange d'hydrogène et d'oxygène, l'inflammation se produit pour des intensités relativement faibles, qui sont fonction de la composition du mélange et de la tension à circuit ouvert de la source.

En utilisant des batteries au plomb, nous avons observé jadis l'inflammation pour les intensités et tensions minimum indiquées ci-après :

0,7 ampère, 6 volts (3 éléments en série), mélange à 66,66 % d'hydrogène et 33,33 % d'oxygène  
et

1,85 ampère, 4 volts (2 éléments en série), mélange à 29,33 % d'hydrogène et 70,67 % d'oxygène.

Nous avons fait des expériences du même genre avec une batterie alcaline de lampe (2 éléments). Les intensités et tensions minimum allumant les mélanges tonnants ont été alors notées comme suit :

2,0 ampères, 2,6 volts, mélange 66,66 % d'hydrogène et 33,33 % d'oxygène,  
et

1,6 ampère, 2,6 volts, mélange 33,33 % d'hydrogène et 66,66 % d'oxygène.

Les valeurs minimum du débit ayant enflammé le gaz tonnant, soit 1,85 ampère (accumulateur acide) et 1,6 ampère (accumulateur alcalin) sont du même ordre que la consommation de certaines lampes portatives tandis que les tensions correspondantes 4 et 2,6 volts sont les maxima admis en Belgique.

Néanmoins, le dispositif utilisé (2 lames élastiques au sein du mélange) ne rappelle en rien les organes de rupture couramment utilisés pour l'allumage et l'extinction de l'ampoule.

Pour cette raison, il nous a paru intéressant de refaire des

essais d'inflammation dans des conditions identiques à celles de la réalité.

Nous avons utilisé d'abord une lampe portative à pot circulaire que nous avons modifiée de la manière suivante. L'ampoule et son globe de protection étaient enlevés; deux conducteurs reliés aux connexions intérieures de la lampe permettaient soit de charger, soit de décharger la batterie sans qu'il fut nécessaire de séparer le couvercle du pot.

L'expérience consistait à établir ou couper le courant par les manœuvres normales d'allumage et d'extinction de l'ampoule.

Les circuits étaient donc réalisés conformément au schéma de la figure 7.

L'accumulateur (A) placé dans le pot (P) avec tête ou couvercle (T) est connecté par les conducteurs (c) et (c') au

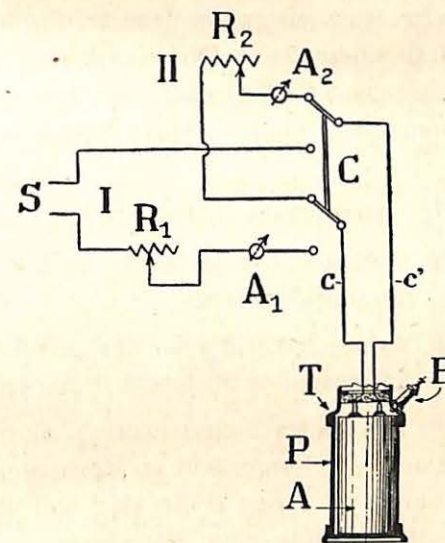


Fig. 7.

commutateur (C). Suivant la position de ce commutateur, l'accumulateur est en charge sur le circuit (I) comportant une source (S) de courant continu, une résistance ( $R_1$ ), un ampère-

remètre ( $A_1$ ) ou en décharge sur le circuit (II) composé d'une résistance ( $R_2$ ) et d'un ampèremètre ( $A_2$ ).

En faisant tourner le couvercle (T), on produit la rupture du courant dans le gaz libéré, soit pendant la charge, soit pendant la décharge.

En cas de non inflammation par cette étincelle, on vérifie à l'aide de la bougie (B) raccordée à une bobine d'induction à haute tension (non représentée au croquis), l'inflammabilité de l'atmosphère interne de la lampe.

La lampe soumise aux essais provenait de la Société belge d'Applications électriques. Cette lampe est pourvue d'un accumulateur alcalin de 15 ampères-heure. L'assemblage de la tête sur le pot se fait par un filetage de 2 1/2 filets.

L'interruption du courant se fait entre les bornes de l'accumulateur et des secteurs encastrés dans le disque d'ébonite formant le fond supérieur de la tête. Ces bornes et secteurs sont en acier; les surfaces de contact sont légèrement arrondies pour les premières, rigoureusement planes pour les seconds.

La capacité de chargement est de 22,5 Amp./heures.

Nous avons procédé à sept expériences, soit sept chargements alternant avec sept décharges.

L'intensité du courant a varié pour les premiers de 2 à 3,5 ampères, pour les secondes de 1,15 à 4 ampères.

Périodiquement (toutes les 2 ou 3 heures), alors que l'accumulateur était soit en charge, soit en décharge, ou interrompait le courant par rotation de la tête, soit chaque fois vingt ruptures alternant avec vingt fermetures.

Dans aucun cas, cette manœuvre n'a provoqué l'explosion du gaz stagnant dans la tête, au-dessus de l'accumulateur, mais il faut ajouter que ce gaz n'était pas toujours inflammable.

La vérification à la bougie (étincelle à haute tension) n'a donné en effet l'explosion que dans les cas suivants :

- 1) après 15 heures de chargement à 2 ampères;
- 2) après 11 h. 30 de chargement à 3 ampères;
- 3) après 4 heures de chargement à 3 ampères;
- 4) après 6 heures de chargement à 3 ampères;
- 5) après 8 h. 15 de chargement à 3,5 ampères;
- 6) après 3 h. 30 de chargement à 4 ampères;
- 7) après une longue décharge réglée d'abord à 1,25 ampère.

L'explosion a pu être allumée par la bougie 24 heures après le début de la décharge, alors que le courant débité était de 0,25 ampère. Un courant aussi faible ne pouvait pas allumer le gaz.

Nous avons noté cette expérience parce qu'elle confirme qu'une longue décharge jusqu'à épuisement de la batterie est favorable à l'accumulation de gaz inflammable dans la lampe.

- 8) après une décharge exagérée de 40 ampères/heure.

Il n'y a donc eu un mélange inflammable dans la lampe que pendant le chargement, ou après une décharge exagérée, mais même alors, avant l'essai d'inflammabilité par la bougie, il avait été impossible de réaliser l'allumage par rotation de la tête bien que dans la totalité des cas, le débit eût été au moins égal à celui d'une lampe portative.

Ces expériences nous autorisaient à conclure que les manœuvres d'allumage et d'extinction étaient inaptes à provoquer l'explosion interne.

Toutefois, on pouvait aussi se demander si ces résultats négatifs n'étaient pas dûs simplement au fait que la composition du mélange existant dans la lampe ne présentait pas l'aptitude maximum à l'inflammation par les étincelles d'accumulateur.

Cette composition, nous ne la connaissons pas et il n'était

pas question de la déterminer par analyse, car le prélèvement d'un échantillon par l'un ou l'autre procédé aurait été accompagné d'une rentrée d'air dans la lampe.

Nous avons été amenés ainsi à poursuivre nos recherches à l'aide de dispositifs d'interruption des lampes portatives, mais placés maintenant dans un mélange de composition bien connue.

Nous avons réalisé à cette fin les appareils représentés aux figures 8 et 9.

Dans le premier (figure 8), deux bornes (B) (une seule est visible sur le croquis), montées sur un disque ( $D_1$ ) en ébonite et réunies par une connexion métallique s'appuyent sur deux secteurs  $S_1$  et  $S_2$  noyés dans un disque  $D_2$  égale-

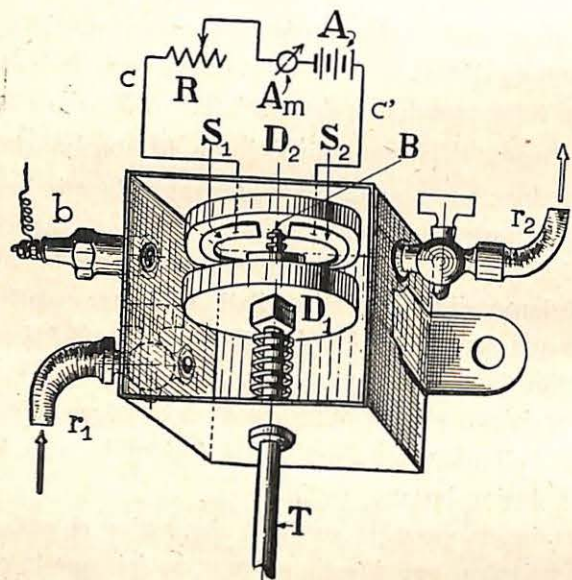


Fig. 8.

ment en ébonite. Ces organes proviennent d'une lampe portative à pot circulaire et font office d'interrupteur.

Aux deux secteurs sont connectés deux conducteurs  $c$  et  $c'$  formant circuit avec une batterie d'accumulateurs alcalins (A), un ampèremètre ( $A_m$ ) et une résistance de réglage (R).

Lorsqu'on fait tourner le disque ( $D_1$ ) par l'intermédiaire de la tige (T), le circuit est, suivant la position des bornes, ouvert ou fermé et il y a interruption ou établissement du débit de la batterie.

Tous ces organes sont enfermés dans une boîte métallique de forme cubique, fermée suivant l'une de ses parois par une feuille de papier. Sur la boîte sont placés deux robinets  $r_1$  et  $r_2$  pour la circulation du mélange gazeux et une bougie d'allumage (b) pour vérification de son inflammabilité par une étincelle à haute tension.

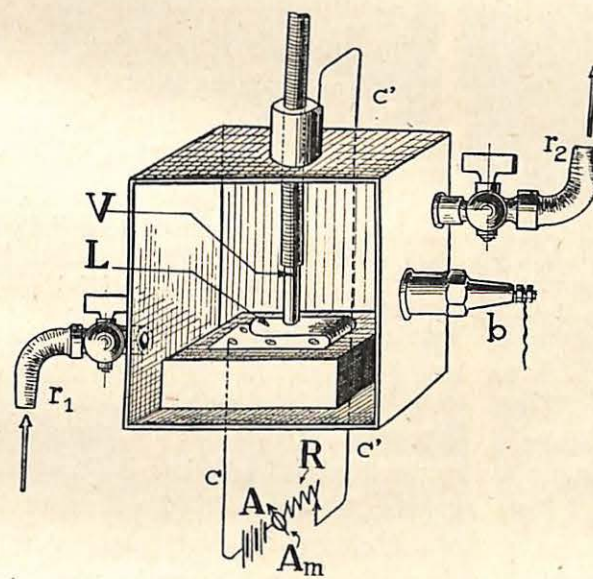


Fig. 9.

Le mélange à expérimenter composé d'hydrogène et d'oxygène est préparé dans un gazomètre à cloche.

Le second appareil (voir figure 9) est analogue au premier,

sauf que les pièces de contact sont une vis (V) et une lame élastique (L); par la rotation de la vis, on établit ou rompt le circuit. Ce dispositif est utilisé dans certaines lampes au chapeau; la vis traverse alors le couvercle rectangulaire placé sur le pot.

Nous avons expérimenté des gaz de compositions diverses, en faisant varier la tension et l'intensité du courant, la matière et l'état des organes de contact.

Nos observations sont affectées d'une forte dispersion; nous ne donnerons que les résultats extrêmes. Ceux-ci ressortent d'un grand nombre d'épreuves, chacune consistant en ouvertures et fermetures successives du circuit dans des mélanges dont l'inflammabilité était vérifiée après chaque épreuve négative par l'étincelle à haute tension de la bougie.

Pour chaque dispositif d'interruption et chaque mélange expérimenté, nous indiquons au tableau VII :

- la teneur en hydrogène, le pourcentage complémentaire représentant la teneur en oxygène;
- le courant maximum n'ayant pas allumé le mélange;
- le courant minimum ayant allumé le mélange;
- le nombre d'éléments alcalins connectés en série et constituant la source de courant.

Le dispositif (A) est utilisé dans les lampes alcalines à main, à pot circulaire; le dispositif (B) dans les lampes acides à main, à pot circulaire; le dispositif (C) dans les lampes alcalines au chapeau, l'interrupteur étant placé alors sur le couvercle de l'enveloppe rectangulaire renfermant l'accumulateur.

Pour les expériences où n'est indiquée que l'intensité maximum n'ayant pas enflammé, il faut comprendre que le courant minimum donnant l'inflammation n'a pas été déterminé.

TABLEAU VII

Nature et forme des organes d'interruption du débit	Teneur en hydrogène en %	Courant en ampères		éléments
		maximum n'ayant pas enflammé	minimum ayant enflammé	
A. Bornes d'acier s'appuyant contre des secteurs d'acier (dispositif figure 8)	66,0	7,0	1	10 éléments (1,5 volts)
	55,5	5,50	4,00	4 éléments (5,2 volts)
	51,7	2,60	1	5 éléments (5,9 volts)
	51,7	1	2,75	4 éléments
B. Bornes de laiton s'appuyant contre des secteurs de laiton (dispositif figure 8)	54,57	8,00	1	5 éléments (6,5 volts)
	61,7	6,00	7,00	4 éléments
C. Vis d'acier s'appuyant contre une lame d'acier élastique (dispositif figure 9)	55,0	7,5	1	6 éléments
	55,0	1	7,5	9 éléments
	53,25	6,00	7,0	4 éléments
D. Vis d'acier s'appuyant contre une lame de laiton (dispositif figure 9)	66,0	7,2	1	9 éléments
	52,5	7,0	1	4 éléments
E. Vis d'acier s'appuyant contre une lame d'acier nickelé (dispositif figure 9)	52,5	7,0	1	4 éléments



Comme on peut le constater à l'examen du tableau VII, tous les courants maxima n'ayant pas enflammé sont supérieurs aux intensités courantes de nos lampes portatives.

L'arrêté ministériel du 5 avril 1934 a limité en effet à 2 ampères et 4,5 volts, les maxima d'intensité et de tension des lampes dans lesquelles l'interruption du courant d'alimentation s'opère dans un espace accessible aux gaz de l'accumulateur.

Le courant le plus faible ayant enflammé soit 2,75 ampères a été enregistré avec le dispositif bornes d'acier s'appuyant sur des secteurs d'acier, celui adopté pour les lampes alcalines à pot circulaire. Celles-ci ne comportent cependant que deux éléments alors que l'expérience en question a été réalisée avec 4 éléments en série.

Jusqu'à plus ample information, il y avait donc lieu de conclure qu'il est impossible d'obtenir une explosion dans une lampe portative par la seule manœuvre de l'interrupteur, même lorsque le mélange stagnant dans la lampe est au maximum d'explosibilité (33 % d'hydrogène).

Mais toutes les expériences précédentes ont été réalisées avec des organes d'interruption normaux : bornes ou vis à tête arrondie s'appuyant contre des secteurs plans ou lames élastiques planes. Nous avons expérimenté ensuite les mêmes organes dont les surfaces de contact, uniformes et sans aspérité aucune pour les premières expériences, avaient été taillées de traits de scie ou coups de burin.

Nous avons recherché ce que devenaient dans ces conditions les courants provoquant l'explosion des mélanges tonnants.

Les résultats de nos observations sont reportés au tableau VIII.

TABLEAU VIII

Électrodes utilisées	Teneur en hydrogène en %	Courant en ampères		Observations
		maximum n'ayant pas enflammé	minimum ayant enflammé	
A	32,0	2,5	2,75	5 éléments alcalins
B	35,0	—	6,00	5 id.
	id.	5,0	—	4 id.
C	70,0	4,0	—	5 id.
	47,5	5,0	—	5 id.
	33,0	2,0	2,1	2 id.
	23,2	4,5	—	4 id.
D	66,0	—	5	9 id.
	33,0	5,55	6,25	9 id.
E	33,0	2,50	2,75	2 id.

N. B. — Aux lettres A...E correspondent les dispositifs spécifiés dans la première colonne du tableau VII.

Avec chaque dispositif, l'inflammation s'est produite sous des intensités plus faibles que celles figurant à la 4<sup>me</sup> colonne du tableau VII.

Le courant minimum ayant enflammé avec le dispositif C (vis d'acier s'appuyant contre une lame d'acier) est même devenu très voisin de l'intensité maximum admise pour les lampes portatives (2 ampères).

La présence d'aspérités aux points de contact facilite donc l'inflammation du gaz tonnant par l'étincelle; on pouvait le prévoir à partir des résultats que nous avons enregistrés jadis avec les lames élastiques.

Certains règlements étrangers imposent que la rupture du circuit d'alimentation des lampes électriques portatives se fasse au contact des surfaces plates ou de faible courbure. En réalité, il en est ainsi dans toutes les lampes électriques

agrées en Belgique, bien que ce ne soit pas exigé par notre règlement de l'éclairage.

Nous ne savons si les manœuvres d'allumage et d'extinction sont capables à la longue de causer des avaries analogues à celles que nous avons réalisées; il convient cependant d'attirer l'attention des usagers sur la nécessité de faire disparaître par rodage ou autre moyen, les traces de grippement qui apparaîtraient par l'usage sur les surfaces de contact livrant passage au courant de l'accumulateur.

Il semble donc bien qu'il ne faille pas exclure d'une manière absolue, l'éventualité d'une explosion intérieure dans une lampe portative lorsque se rencontrent simultanément ces deux conditions favorables : dégagement anormal de gaz tonnant et avaries aux surfaces de contact des organes de ruptures.

On écarterait cette éventualité soit en évacuant d'une manière continue le gaz explosif de la lampe, soit en supprimant la cause d'inflammation, l'étincelle électrique.

Le premier procédé nécessite l'aménagement d'évents assurant l'échappement du gaz hydrogène ou tout au moins sa dilution, facilitée d'ailleurs par son aptitude à la diffusion.

Il existe des événements de ce genre dans la lampe au chapeau type Oldham à accumulateur acide dont chacun des deux éléments communique avec l'extérieur par un canal de 95 mm. de longueur et 2 mm. de diamètre ménagé dans la paroi latérale du boîtier.

On pourrait imaginer une disposition analogue pour les lampes à main à pot circulaire, mais on hésite quelque peu à préconiser une telle solution qui aurait pour effet de permettre aux poussières de pénétrer à l'intérieur de la lampe.

En ce qui concerne la suppression de l'étincelle électrique dans le gaz explosif, la solution est aisée pour les lampes au chapeau; il suffit de reporter l'interrupteur près de l'ampoule même, c'est-à-dire, sur le projecteur.

Dans les lampes à main, le couvercle pourrait être immobilisé sur le pot et l'alimentation de l'ampoule être assurée d'une manière permanente dès la fermeture à la lampisterie.

Cette solution n'est cependant pas satisfaisante à tous points de vue.

Pour diverses raisons, le mineur doit pouvoir, par une manœuvre très simple, disposer à volonté de l'énergie lumineuse mise à sa disposition. De plus, en cas de rupture du verre de protection et de l'ampoule, il est souhaitable que le porteur soit à même d'éteindre immédiatement sa lampe pour parer au risque d'une inflammation de grisou au contact du filament incandescent.

#### c) Conclusions.

De cette longue étude, il ressort :

- 1° que l'inflammation d'un mélange tonnant dans une lampe portative par les manœuvres d'allumage et d'extinction nécessite le concours de conditions spéciales concernant les unes l'accumulation d'hydrogène (au-dessus de l'accumulateur), les autres l'état des organes de contact.
- 2° que la réalisation concomittante de ces conditions est peu probable dans le cas d'une utilisation rationnelle des lampes portatives.

Puisqu'il n'est pratiquement pas possible de rendre l'enveloppe de l'accumulateur étanche vis-à-vis d'une flamme de gaz tonnant, il faut tout mettre en œuvre pour écarter l'éventualité d'une explosion intérieure, soit :

- a) n'utiliser que des batteries en bon état, dont les plaques pourvues de l'entièreté de leurs matière active, soient capables d'une rétention maximum vis-à-vis des gaz d'électrolyse;

- b) veiller au libre fonctionnement des soupapes d'évacuation des gaz libérés par l'électrolyse;
- c) suivre es indications du constructeur quant au taux de charge des batteries;
- d) laisser la lampe démontée (tête séparée du pot) pendant le maximum de temps que le permet le service de la lampisterie. Ce temps ne devrait jamais être inférieur à trois heures;
- e) faire disparaître les traces de grippage qui apparaîtraient éventuellement sur les surfaces de contact des organes de rupture.

Comme nous l'avons dit précédemment, la lampe au chapeau avec interrupteur sur le projecteur est absolument indenne du risque d'explosion interne.

Nous pouvons donc indiquer comme mesure radicale, l'adoption généralisée des lampes de ce genre, remarquables d'ailleurs par leurs commodités d'emploi.

### E. — ETUDES DIVERSES.

#### a) Tuyaux pour air comprimé avec mise à la terre.

Nous avons examiné deux tuyaux dont le caoutchouc était rendu conducteur par incorporation de matières appropriées.

Soumis à une tension électrique relativement faible, ces tuyaux laissent passer un courant de débit réduit, suffisant néanmoins pour écouler au sol les charges qui apparaîtraient éventuellement sur les appareils atteints ou parcourus par les chasses d'air comprimé.

Cette solution est évidemment supérieure à celle consistant à noyer dans la gomme, des fils métalliques. Ceux-ci en effet

ne deviennent opérants que si l'on prend soin de les amener en contact avec toutes les parties métalliques de l'installation.

A titre documentaire, nous donnons ci-après les caractéristiques des tuyaux examinés :

Nom du fabricant	Longueur de l'échantillon	Courant débité sous tension appliquée de 220 volts	Résistance chimique suivant la longueur	Marque de fabrication
Usines Gheysen à Lembecq	5 m.	1,5 milli-ampères	200.000 ohms	Electro-ter U.G.
S. A. C. I. C. Anderlecht	15 m.	2,5 milli-ampères	86.000 ohms	Electro-mine

Pour vérifier l'efficacité d'un tuyau de ce genre, nous utilisons une machine électrostatique à influence (machine de Whimshurst).

Toute trace d'électrisation disparaît des pôles de la machine lorsqu'on les met à la terre par un tuyau de conductibilité suffisante.

Les deux types indiqués ci-avant ont satisfait à cette épreuve et leur emploi a été recommandé par les circulaires n<sup>os</sup> 13 E/7067 du 26 novembre 1947 et 13 E/7101 du 30 décembre 1947 de la Direction générale des Mines.

#### b) Locomotifs Diesel.

Nous avons examiné en 1947 deux locomotives Diesel, construites l'une par la Société des Anciens Etablissements Berry à Lille (30 CV), l'autre par la Société Anonyme des Moteurs Moës à Waremmé (90 CV).

La seconde, remarquable par sa puissance élevée, a été expérimentée en atmosphère grisouteuse.

Nous avons examiné en outre un dispositif de sécurité installé sur la locomotive des Ateliers de la Meuse (50 CV) agréée en 1946.

Ce dispositif a pour office de supprimer l'alimentation en combustible dans le cas de manque d'eau soit dans le circuit de réfrigération des cylindres, soit dans le dispositif de pulvérisation fonctionnant au sein des gaz d'échappement.

Nous avons vérifié l'efficacité de ce dispositif chez le constructeur.

#### F. — ETUDE DE MASQUES ANTIPOUSSIÈRES.

Au cours de l'année 1947, nous avons étudié six masques présentés soit par des constructeurs, soit par l'Inspection médicale du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale.

Les masques ont été mis à l'épreuve au sein d'atmosphère très fortement chargées de poussières.

Cette étude a fait l'objet d'une note annexée rédigée par Monsieur l'Ingénieur principal Brison (Annexe II).

Le matériel et la technique mis en œuvre ont été décrits in extenso dans l'annexe I du Rapport sur les Travaux de 1946 (Voir Annales des Mines de Belgique, tome XLVII, pages 120 et suivantes).

Dans le but de déterminer l'influence éventuelle de la teneur en poussières sur l'efficacité du masque, nous nous proposons, au cours du prochain exercice, de procéder à de nouvelles épreuves au sein d'atmosphères dont la concentration en poussières moins élevée sera de l'ordre de grandeur de celle rencontrée dans certains ateliers souterrains.

#### G. — Laboratoire des Recherches Scientifiques.

Comme nous l'avons indiqué dans notre Rapport sur les travaux de 1946, l'Institut National des Mines continue les recherches qu'il a entreprises à partir de 1938 sur la combustion du méthane.

Ce sujet est très vaste et encore loin d'être épuisé. Il figure au programme de toutes les stations étrangères et nous lui avons nous-mêmes consacré plusieurs publications (1).

Au cours de l'année 1947, nos recherches ont eu pour objet la combustion lente du méthane. Elles ont été réalisées à la fois dans nos laboratoires de Pâturages par M. Vanpée, docteur en sciences et à la Faculté des Sciences de Louvain, sous la direction de M. le Professeur Ad. Van Tiggelen, attaché précédemment à l'Institut National des Mines.

Étant donné le caractère scientifique de ces travaux, nous avons sollicité et obtenu l'aide pécuniaire de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

Nous nous faisons un devoir de remercier ici le Conseil d'Administration de cet organisme pour son intervention généreuse.

Les travaux réalisés à Pâturages et à Louvain font l'objet de deux notes annexes III et IV figurant à la fin de ce rapport. On trouvera ci-après un résumé de ces deux importants mémoires.

(1) On trouvera une nomenclature des publications de l'I. N. M. à la page 112 du Rapport sur les travaux de 1946 (Voir Annales des Mines, Tome XLVII, Année 1947-48).

La même question a été traitée par M. E. Audibert, Directeur Général du Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France, au dernier stage d'instruction pour ingénieurs, tenu à Montluçon, les 1<sup>er</sup> et 2 octobre 1947. (Voir note technique n° 47/1 du Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France).

## 1) La cinétique de la combustion lente du méthane.

(Recherches effectuées à Pâturages par M. Vanpée)

Jusqu'à présent, la combustion lente du méthane n'a fait l'objet que d'un nombre restreint de travaux expérimentaux et tous les chercheurs qui se sont attachés à cette étude insistent spécialement sur la non reproductibilité des résultats.

Ce défaut est incontestablement la raison pour laquelle plusieurs mécanismes ont été proposés pour interpréter l'allure de la réaction (hydroxylation, réactions en chaînes, etc.).

Il nous a paru intéressant de reprendre le problème en profitant toutefois de l'expérience acquise jusqu'à présent.

Les recherches faites par notre laboratoire répondaient à deux objectifs :

- a) analyser les produits de la combustion lente;
- b) établir la cinétique de cette réaction.

### a) Analyse des produits de la combustion lente.

La combustion se faisait dans une cellule en pyrex de 100 cm<sup>3</sup> introduite au centre d'un four électrique circulaire.

Le mélange soumis à l'expérience ne comportait que du méthane et de l'oxygène et la température du four était de l'ordre de 400°.

Toutes précautions avaient été prises pour réduire le plus possible le gradient de température suivant l'axe de la cellule.

Sur 20 cm. de part et d'autre du plan médian du four, la variation de température ne dépassait pas 1°.

Le courant de chauffage était réglé par un relai et la température au voisinage de la cellule se lisait au thermomètre à gaz.

On procédait à l'analyse des produits de la réaction par fractionnement à basse température.

Quand on compare les résultats de l'analyse, on est frappé de leur irrégularité. Dans des conditions tout à fait identiques, même traitement de la cellule, même pression de remplissage, même période de chauffage, on observe des écarts dans les concentrations finales qui peuvent aller jusqu'à 80 %. Il était par conséquent utopique de vouloir établir une cinétique en poursuivant pareille technique.

Un point cependant très important a retenu notre attention. Si tout paraît capricieux dans cette transformation, une grandeur reste toutefois constante, c'est le rapport CO (CO+CO<sub>2</sub>) correspondant à un même degré d'oxydation du méthane. Le fait que celui-ci est égal à l'unité au début de la réaction et tend vers zéro à la fin de celle-ci prouve incontestablement que le produit direct de la combustion envisagée est l'oxyde de carbone et que ce dernier s'oxyde ensuite pour donner naissance à l'anhydrique carbonique.

Nous sommes donc en présence de deux réactions successives dont la seconde, semble-t-il, doit être étroitement liée à la première car, aux températures expérimentées, les mélanges humides d'oxyde de carbone et d'oxygène sont parfaitement inertes. Il suffit cependant d'ajouter à ceux-ci une petite quantité de méthane pour voir se déclencher une combustion se poursuivant jusqu'à consommation totale des réactifs.

### b) Cinétique de la combustion lente.

Comme nous l'avons annoncé précédemment, nous nous sommes attachés aussi à rechercher les lois cinétiques de la combustion, c'est-à-dire, déterminer les facteurs dont dépend la vitesse de réaction et préciser quantitativement leur influence.

Les expériences antérieures aux nôtres montraient qu'il ne fallait guère espérer mettre ces lois en évidence en modi-

fiant, d'une combustion à l'autre, les conditions expérimentales, car la vitesse de réaction était alors soumise à des variations dépassant même parfois 20 %, montrant par là l'influence considérable de la nature des parois et de leur traitement. Celle-ci se manifestait même entre deux combustions successives de la même chambre de réaction. Si l'on voulait déterminer avec quelque précision, l'action des différentes concentrations sur la vitesse, il ne restait plus par conséquent qu'une seule méthode : celle de suivre chaque fois, du début jusqu'à la fin, la vitesse de réaction pour une seule et même combustion, mais sous des conditions extrêmes de concentration en réactif. A cette fin, nous avons mis au point une méthode permettant, à chaque instant, de déterminer la composition du mélange en évolution sans trop bouleverser, par ailleurs, la marche de la réaction.

Cette méthode consistait à noter au cours de l'expérience, la pression régnant dans la cellule, celle-ci se trouvant soit à la température du four (elle était de l'ordre de 400°), soit à la température de la glace fondante.

On pouvait alors déterminer les pressions partielles et par conséquent les concentrations des gaz restant dans la cellule : CH<sub>4</sub>, CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.

Nous avons procédé à vingt combustions de mélanges renfermant en proportions variables du méthane et de l'oxygène.

Dans chaque cas, nous avons constaté l'existence d'une période d'induction d'une durée comprise entre 1/2 et 1 heure. Cette période d'induction n'est pas la même d'une expérience à l'autre et c'est la raison principale pour laquelle la composition du mélange, pour un même temps de réaction, diffère assez bien au début de la réaction. Mais à cette cause d'irrégularité doivent s'ajouter d'autres dépendant des parois, car les vitesses de combustion correspondant à une même composition du mélange ne se reproduisent pas mieux qu'à 15 % près en passant d'une expérience à l'autre. Par contre,

comme le prouve suffisamment la régularité des courbes obtenues, le fait d'arrêter la réaction dans son cours, pour effectuer la mesure de pression à zéro degré, n'amène aucune perturbation dans cette vitesse.

Ce seul fait prouve que l'accélération progressive de la réaction observée après la période d'induction n'est pas due, conformément aux idées émises par Semenoff, au développement d'un processus en chaînes ramifiées. S'il en était ainsi, ce phénomène devrait se reproduire à chaque introduction nouvelle de la cellule dans le four. Or, nous sommes en présence d'un régime stationnaire (1) dont l'établissement doit être en tout cas plus rapide que les dix minutes nécessaires à réchauffer la cellule jusqu'à la température du four. Pour une expérience donnée, la vitesse de combustion apparaît ainsi comme étant uniquement fonction de la composition du mélange.

Après une consommation de 10 à 20 % des réactifs, la vitesse de combustion devient constante, puis passé les 50 %, elle décroît rapidement.

Nous avons pu démontrer que le catalyseur accélérant la combustion après la période d'induction n'était autre que l'eau formée.

En introduisant lors du remplissage de la cellule, des quantités croissantes d'eau, nous avons observé en effet des périodes d'induction de plus en plus réduites.

Enfin, en faisant varier les proportions initiales de méthane, d'oxygène et de vapeur d'eau, nous avons pu établir comme suit les vitesses de réaction :

Vitesse d'oxydation du méthane :

$$k_1 (\text{CH}_4)^{2,3} (\text{O}_2)^{0,4} (\text{H}_2\text{O}).$$

(1) On appelle « régime stationnaire » celui dans lequel le nombre de centres propagateurs de la réaction reste constant, par opposition au régime explosif caractérisé par le fait que le nombre des centres propagateurs croît avec le temps.

Vitesse d'oxydation de l'oxyde de carbone :

$$k_2 \cdot (\text{CO}) \cdot (\text{CH}_4)^{1,3} (\text{O}_2)^{0,4} (\text{H}_2\text{O})$$

les symboles  $(\text{CH}_4)$ ,  $(\text{O}_2)$ ,  $(\text{H}_2\text{O})$  et  $(\text{CO})$  représentant les concentrations moléculaires des constituants. Les énergies d'activation correspondant à ces deux réactions sont respectivement 93.500 et 82.000 calories.

Au cours de l'année 1948, les expériences vont être poursuivies dans une cellule de 300 cm<sup>3</sup> environ à laquelle correspond un rapport volume/paroi plus élevé que celui de la cellule de 100 cm<sup>3</sup>. Cette modification nous permettra d'établir dans quelle mesure intervient la paroi de la cellule de réaction.

Si l'influence de la paroi n'est pas dominante, en d'autres termes, si les chaînes peuvent se terminer en phase gazeuse, il y a lieu de penser que les résultats seront moins irréguliers dans une cellule de volume plus élevé.

Postérieurement, nous étudierons l'influence des gaz inertes, de la pression, de la température et des substances sensibilisatrices et inhibitrices (par exemple, les sels halogénés).

### L'échange hydrogène-deuterium

#### dans la réaction deuterium + méthane + oxygène (I).

(Recherches effectuées à la Faculté des sciences de l'Université de Louvain)

Ces recherches entreprises sous la direction de M. le Professeur Van Tiggelen ont fait l'objet d'une thèse de doctorat reproduite intégralement en annexe à ce rapport (Annexe III). En voici un résumé succinct.

La cinétique de la réaction lente entre le méthane et l'oxygène est soumise à un contrôle par la méthode générale des

(1) Le deuterium est un isotope de l'hydrogène, de poids atomique 2.

indicateurs isotopiques. Le but de la recherche est de décider de la nature de la réaction primaire de départ des chaînes et de confirmer par des recoupements les différents résultats publiés par Monsieur Van Tiggelen dans les rapports de l'Institut des années 1942 à 1946 (Voir Annales des Mines, T. XLIII, p. 117 - 1942; T. XLV, p. 41 - 1944; T. XLVI, p. 159-1946 et Bull. Soc. Chim. Belge 55, p. 202 - 1946).

Des mélanges de méthane et d'hydrogène à forte teneur en isotope lourd (deuterium > 50 %) en présence d'oxygène sont soumis à un chauffage à des températures voisines de 500° C. Le méthane et l'hydrogène sont partiellement transformés en CO<sub>2</sub>, CO et H<sub>2</sub>O et on constate en même temps une substitution partielle de l'hydrogène par du deuterium dans le méthane résiduel ainsi qu'une dilution du deuterium dans l'hydrogène résiduel.

Par l'application d'une méthode très précise de dosage spectrographique du deuterium, cet échange est suivi et étudié systématiquement en même temps que la réaction de combustion lente.

En ordre principal, les constatations suivantes se dégagent des données expérimentales :

- 1) A la température de 500°, les mélanges de méthane et de deuterium ne présentent en l'absence d'oxygène qu'une réaction d'échange très lente et à peine mesurable;
- 2) L'introduction d'une petite quantité d'oxygène exalte fortement cet échange tout en provoquant une combustion de l'hydrogène et du méthane. Pour des teneurs croissantes en oxygène, l'échange commence par croître, passe par un maximum, puis diminue;
- 3) Un fait très important est le suivant : l'énergie d'activation de la réaction d'échange est, aux erreurs expérimentales près, la même que celle de la réaction de combustion du méthane, soit 87 kcal. ± 10 %. Cette valeur concorde

avec celle trouvée par M. Van Pée (93 kcal.) l'écart est dû au fait que le domaine de température est ici de 500° alors qu'il était de 400° pour les expériences de M. Van Pée;

- 4) Dans nos expériences, la vitesse de combustion du méthane n'est pas fort différente de celle de l'hydrogène, ce qui permet de conclure à la similitude de mécanisme pour les deux réactions.

Ces constatations confirment en tout point les résultats antérieurs et permettent de tirer certaines conclusions relatives à la nature de la réaction primaire initiatrice des chaînes.

Le schéma réactionnel ci-dessous permet de rendre compte des résultats expérimentaux de façon satisfaisante :

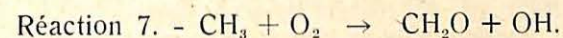
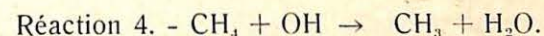
1.  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_2 + \text{H}_2$  - réaction primaire.
2.  $\text{CH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$  - recombinaison lorsque la teneur en oxygène est insuffisante.
3.  $\text{CH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{COH} + \text{OH}$  ou bien  $\text{CO} + \text{H} + \text{OH}$  - réaction génératrice de radicaux.
4.  $\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .
5.  $\text{H}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{O}$ .
6.  $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH}$  - (réaction résultante, mécanisme discuté).
7.  $\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{OH}$ .
8.  $\text{CH}_3 + \text{D}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{D} + \text{D}$  - réaction d'échange pour le méthane.
9.  $\text{D} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HD} + \text{CH}_3$  - réaction d'échange pour l'hydrogène.

10.  $\text{OH} \rightarrow$  disparition sur la paroi.
11.  $\text{CH}_3 \rightarrow$  disparition sur la paroi.
12.  $\text{H} \rightarrow$  disparition sur la paroi.

Ce mécanisme ne fait pas intervenir de réactions de disparition de radicaux par recombinaison bimoléculaire ou trimoléculaire en phase gazeuse; il est facile de se convaincre qu'il doit en être ainsi dans les conditions expérimentales réalisées puisque les radicaux n'auront en moyenne qu'une chance négligeable de rencontrer un second radical avant d'arriver à la paroi. Une considération analogue permet d'exclure les réactions de ramification intervenant lorsque la réaction prend une allure explosive.

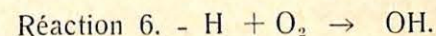
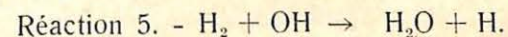
De l'ensemble de réactions énumérées ci-dessus, on peut isoler 3 groupes de réactions assurant la propagation de trois réactions en chaînes non ramifiées.

a) Chaîne pour la combustion du méthane.



Cette chaîne est actuellement admise par la plupart des auteurs; combinée avec la réaction primaire résultant des réactions 1, 2 et 3 elle conduit à une expression, pour la vitesse de combustion du  $\text{CH}_4$ , conforme à la plupart des résultats expérimentaux aussi bien pour les expériences décrites ici que pour celles d'autres auteurs.

b) Chaîne pour la combustion de l'hydrogène.



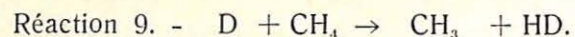
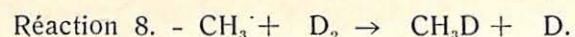
Cette chaîne doit être également combinée avec les réac-



tions 1, 2 et 3 et permet ainsi d'expliquer pourquoi la combustion lente d'hydrogène pur est une réaction d'énergie d'activation plus élevée que la réaction d'oxydation du même gaz sensibilisée par la présence du méthane. La différence étant uniquement due à la nature du processus primaire, le méthane donne plus facilement des radicaux que l'hydrogène.

Ceci ne concerne évidemment pas la réaction vive d'inflammation puisque dans ce cas, c'est la réaction de ramification qui réglera avant tout le comportement de divers gaz combustibles.

c) Chaîne pour la réaction d'échange.

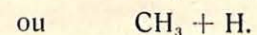
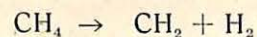


A ces deux réactions, il faut une fois de plus, ajouter les réactions 1, 2 et 3 dont l'ensemble constitue une réaction génératrice de radicaux actifs.

Le calcul cinétique aboutit à une expression, pour la vitesse d'échange, qui concorde admirablement avec les résultats. En particulier, elle prévoit qu'il existe une concentration optimale pour l'oxygène telle qu'elle a été trouvée. D'autres détails trouvent également une explication à la lumière de ce mécanisme.

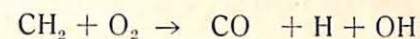
A la vitesse de combustion du méthane et à celle de la réaction doit correspondre une même énergie d'activation qu'on peut évaluer théoriquement à 88,5 kcal. Les résultats fournissent 87 kcal.  $\pm$  10 %, l'accord est donc excellent et milite fortement en faveur du mécanisme ci-dessus.

Les mesures permettent de conclure que la réaction primaire implique uniquement le méthane, dès lors deux possibilités existaient a priori :



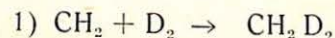
Le choix entre ces deux possibilités est imposé par les résultats. Dans la seconde hypothèse, des radicaux  $\text{CH}_3$  et  $\text{H}$  se trouveraient directement formés sans intervention de l'oxygène : ceci est absolument exclu puisque ces radicaux sont précisément les centres propagateurs de la chaîne d'échange et que la présence d'oxygène se montre indispensable du moins pour l'obtention d'une vitesse d'échange appréciable.

Dans la première hypothèse au contraire, le rôle de l'oxygène est obvié :

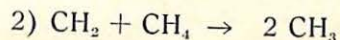


$\text{H}$  ou  $\text{COH}$  étant des radicaux capables de déclencher la chaîne pour l'échange.

En l'absence totale d'oxygène, un échange moins rapide reste possible et susceptible des deux interprétations suivantes :



réaction de recombinaison d'un radical  $\text{CH}_2$  avec une molécule  $\text{D}_2$  fournissant une molécule  $\text{CH}_2\text{D}_2$ .



cette réaction nécessiterait une énergie d'activation voisine de 40 k. calories. Cette valeur ajoutée à 80 kcal. pour l'énergie d'activation de la réaction primaire conduit à la valeur de 120 kcal. égale à l'énergie d'activation de la réaction en chaîne pour l'échange  $\text{H} - \text{D}$  en absence d'oxygène. En absence d'oxygène, l'énergie d'activation étant beaucoup plus élevée, la réaction doit être beaucoup plus lente.