

IX^e Conférence Internationale des Directeurs des Stations d'Essais

(Juin et juillet 1956)

Communications analysées et résumées

par H. CALLUT

Ingénieur principal divisionnaire des Mines
Attaché à l'Institut National des Mines

(Suite)

PROTECTION CONTRE LES EXPLOSIONS (Coupe-flamme - Organes de détente)

Protection d'une installation de captage de grisou

Ir. G. N. ITZ et Dr. W. MAAS (30)

Les auteurs décrivent le type d'installation adopté aux mines Emma et Hendrik avec ses dispositifs de mesures et de réglages, ainsi que ses organes de sécurité.

Ils distinguent dans l'installation trois parties essentielles :

1) les trous de sonde et le réseau de tuyauteries du fond alimentant la conduite de 300 mm de diamètre installée dans le puits ;

2) les extracteurs du type « Roots » au nombre de trois, installés en parallèle à la surface. Leur vitesse est réglable et leur débit maximum est de 30 m³/min. L'un d'entre eux reste en réserve ;

3) les utilisations, c'est-à-dire :

a) la consommation sur le carreau de la mine ;
b) l'alimentation d'une cokerie ou d'une centrale de production de vapeur ;

c) la mise à l'air libre en cas de consommation nulle ou de teneur en méthane proche de la limite supérieure d'inflammabilité.

Des mesures sont effectuées au fond et à la surface. Au fond, à chaque trou de sonde, la teneur

en méthane est contrôlée à l'interféromètre et éventuellement réglée au moyen d'un robinet.

Le débit de chaque sondage est enregistré à distance : le dispositif de mesure est une tuyère de Venturi. Un appareil permettant d'enregistrer la teneur en méthane a été construit spécialement pour l'étude des installations ; il ne sert pas au contrôle journalier.

A la surface (fig. 44), on enregistre le débit total F_1 venant du fond, la concentration en grisou M ,

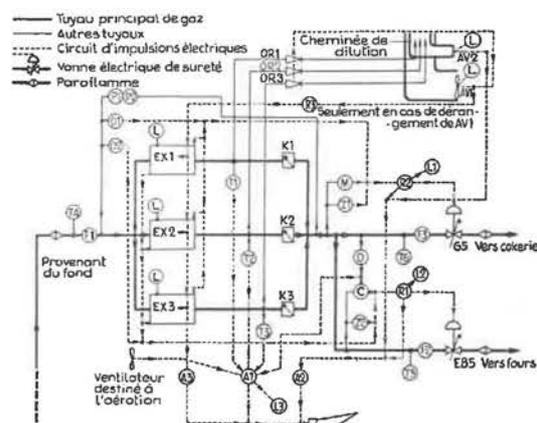


Fig. 44. — Captage de grisou : schéma de principe. Appareils de sûreté et d'alerte.

(30) Communication n° 9 de la Centraal Proefstation van de Staatsmijnen in Limburg, à Treebeek, Hollande.

la teneur en oxygène Z_1 , la température du gaz à l'entrée (T_4) et à la sortie (T_1, T_2, T_3) des extracteurs. La dépression P_1 à l'ouïe des surpresseurs et la surpression P_2 au refoulement sont indiquées en permanence.

On enregistre le débit (F_2), le pouvoir calorifique (C), la concentration en oxygène (Z_2) et la température (T_5) du gaz livré à la consommation locale. Le calorimètre permet à la rigueur le réglage du pouvoir calorifique à une valeur constante par dilution avec de l'air.

On enregistre également le débit (F_3), la densité (D) et la température (T_6) du gaz envoyé à la cokerie.

Le ventilateur AV_2 tourne continuellement pour évacuer les gaz des instruments de mesure et les fuites éventuelles des vannes de décharge (OR_1, OR_2, OR_3). Lorsque l'une de celles-ci s'ouvre, le ventilateur AV_1 se met automatiquement en marche de façon à diluer le gaz jusqu'à une concentration inférieure à 3 %.

La sécurité est assurée par des organes intervenant automatiquement et déclenchant un signal d'alarme lorsque les indications de certains enregistreurs dépassent certaines limites. Un certain nombre d'enregistrements, comme par exemple celui de la concentration, sont relevés en double. On est ainsi à l'abri de la déficience ou de la mise hors service momentanée d'un appareil de mesure.

Un brusque changement de la dépression ou de la surpression, qui peut se produire par une rupture de tuyauterie, actionne le signal d'alarme ($O_1 - O_2$).

Une avarie aux pompes ou une rupture de tuyau peut provoquer une circulation du gaz en sens inverse, d'où la présence sur les refoulements des soupapes de retenue K_1, K_2, K_3 .

Si la teneur en méthane du gaz aspiré tombe en dessous de 40 % ou que la teneur en oxygène s'élève au-dessus de 12 %, le gaz ne se prête plus à la consommation locale : le calorimètre (C) ou l'analyseur d'oxygène (Z_2) commande la fermeture de EB_5 par l'intermédiaire du relais R_1 .

Pour une concentration en méthane inférieure à 25 % ou une teneur en oxygène supérieure à 16 %, le gaz ne peut plus être envoyé à la cokerie, l'un des appareils M ou Z_1 , par l'intermédiaire du relais R_2 , commande la fermeture de G_5 .

Dans ces cas, les vannes de décharge OR_1, OR_2, OR_3 s'ouvrent et le ventilateur AV_2 se met en marche de manière à créer dans la cheminée un mélange d'air et de grisou à une teneur inférieure à 3 %.

La même manœuvre de sécurité peut être commandée par les thermomètres enregistreurs T_1, T_2, T_3 quand la température du gaz au refoulement dépasse 80° C.

Des pareflames sont installés dans les tuyauteries en amont et en aval des extracteurs.

Le matériel électrique de la salle des extracteurs est anti-grisouteux, bien que cette salle soit aérée par un ventilateur dont l'arrêt éventuel provoque le déclenchement du signal d'alarme.

La ventilation de la salle des appareils de mesure est plus puissante que celle de la salle des pompes et les appareils de mesure non antigrisouteux sont réunis dans un coffret fermé, ventilé à l'air comprimé.

Les vannes commandées électriquement sont du type normalement fermé.

L'alarme est toujours donnée par un signal sonore et par une ampoule rouge s'allumant sur un schéma et donnant ainsi directement le circuit déflectueux.

Essais et emploi de pareflames destinés à une installation de captage de grisou

Dr. W. MAAS et P. QUADEN ⁽³¹⁾

Lors de l'étude de la première installation de captage de grisou, on a considéré l'existence éventuelle d'un mélange inflammable dans les tuyauteries de transport, et envisagé d'arrêter la progression d'une flamme dans ce mélange au moyen de pareflames.

Les auteurs décrivent les essais et discutent l'utilité de l'emploi de ces appareils dans leur installation telle quelle est réalisée.

Le pareflamme se compose de deux rubans en maillechort de 0,08 mm d'épaisseur, l'un plan,

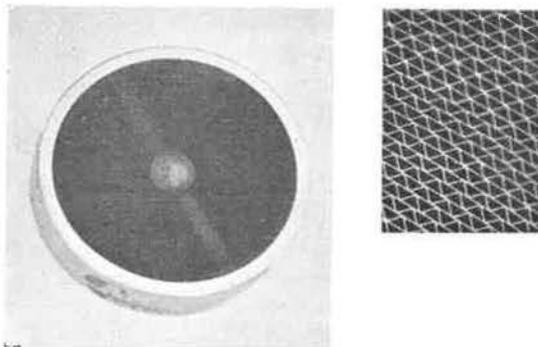


Fig. 45. — Pareflamme soumis aux essais avec une partie agrandie.

(31) Communication n° 10 de la « Centraal Proefstation van de Staatsmijnen in Limburg » à Treebeek, Hollande.

l'autre ondulé, enroulés ensemble en spires superposées de manière à former un disque (fig. 45).

Ce pareflamme de 67,65 mm de diamètre est disposé dans une douille montée elle-même dans un tuyau de 50 mm de diamètre. Dans ce dernier, on introduit ou on fait circuler un mélange inflammable d'air et de gaz d'éclairage ou de méthane qu'on allume au moyen d'une étincelle électrique.

Le méthane est ici un sous-produit de l'industrie chimique.

Les gaz utilisés répondent aux compositions détaillées au tableau L.

TABLEAU L.

	Gaz d'éclairage	Méthane
CO	2,0	—
CO ₂	5,0	4,0
OKW 94 % C ₂ H ₄ 6 % C ₃ H ₆	2,5	4,9
O ₂	0,3	0,4
H ₂	58,0	11,4
CH ₄	26,2	74,9
N ₂	6,0	4,4
Teneur aux essais	17 %	9,0 %

Les dispositifs d'essais sont représentés aux figures 46 et 47.

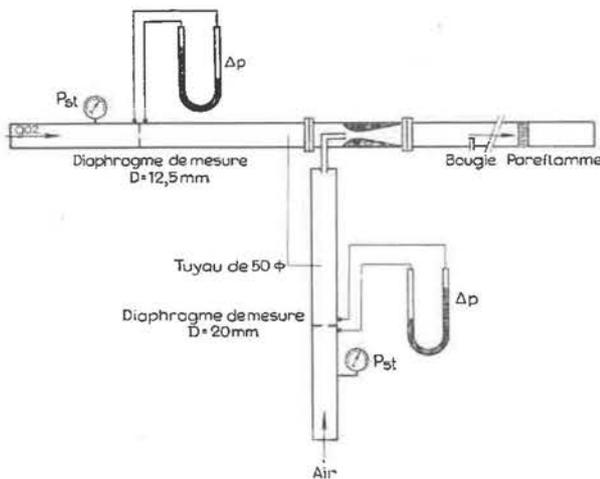


Fig. 46. — Dispositif de réalisation des mélanges inflammables.

Le pareflamme se montre suffisant en mélange stagnant de gaz d'éclairage et d'air que l'inflammation ait lieu en 1 ou en 2 (fig. 47 A).

Lorsque le mélange est en mouvement (vitesse de 10 m/sec) et qu'on allume en 1 (fig. 47 A et 47 B), le pareflamme subit un début de fusion avec oxydation et s'obstrue.

Si l'on allume le mélange en 2, (fig. 47 A), la flamme reste fixée sur le pareflamme. Elles s'en écarte et s'éteint pour une vitesse de l'ordre de

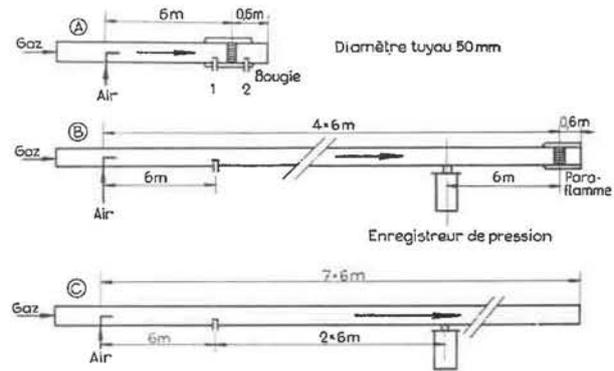


Fig. 47. — Dispositions diverses adoptées pour les essais.

14 m/sec. Quand le pareflamme est très chaud, la vitesse d'extinction est légèrement supérieure.

Quel que soit le sens de propagation de la flamme, celle-ci ne traverse pas l'empilage.

L'inflammation d'un faible volume de mélange de méthane et d'air au repos (fig. 47 A) ne traverse pas le pareflamme et laisse celui-ci intact. S'il s'agit d'un volume plus grand (fig. 47 B) le pareflamme est déformé, mais conserve sa propriété d'arrêter la flamme. Le maximum de pression relevé à l'enregistreur indiqué sur la figure 47 B est de 0,55 kg/cm².

Le mélange méthane-air circulant à faible vitesse, allumé en 2 (fig. 47 A), se comporte comme le mélange de gaz d'éclairage et d'air. Ici cependant, une vitesse de 3,5 m/sec suffit pour soufler la flamme.

En allumant en 1 (fig. 47 A et 47 B), le mélange se déplaçant à une vitesse supérieure 4 m/sec, on obtient une fusion partielle des tôles du pareflamme et, si la teneur est de 9,1 %, il se produit un phénomène dénommé « détonation » par les auteurs.

Une première « détonation » ne provoque pas une destruction du pareflamme telle que la flamme puisse le traverser, mais une seconde expulse hors du tuyau les rubans de tôle déchiquetés.

Des enregistreurs de pression, prévus pour 10 kg/cm² ou même 20 kg/cm² et placés comme indiqué à la figure 47 B, sont brisés par la « détonation ». Il en est de même si l'on supprime le pareflamme (fig. 47 C). Ce n'est qu'en travaillant, sans pareflamme, à la teneur de 11,2 % qu'on peut obtenir des diagrammes de pression. Ceux-ci représentent des ondes à front raide et montrent des maxima de 3,8 et 4,4 kg/cm². L'augmentation de pression au front d'onde est de 1,5 à 2 kg/cm² par msec ; pour le même gaz, elle est de 0,1 ou 0,5 kg/cm² par msec, respectivement dans les coffrets d'appareils électriques ou les moteurs en marche.

Il s'agit donc ici d'un phénomène particulier au tuyau de 50 mm de diamètre, dû vraisemblablement à la présence d'hydrogène en teneur assez élevée dans le gaz utilisé.

En conclusion, les auteurs estiment que le pareflamme étudié constitue une sécurité supplémentaire, que son état peut être contrôlé sur l'enre-

gistré de pression et que, de toute façon, un courant de gaz d'une vitesse supérieure à 4 m/sec empêche tout retour de flamme (32).

Ils discutent ensuite l'utilité de ces pareflammas dans les tuyauteries. Ils constatent qu'à l'expérience la surveillance de la concentration aux trous de sonde et des appareils enregistreurs à la surface suffit pour éviter la formation d'un mélange inflammable et que d'ailleurs il n'existe pas de cause d'inflammation dans les tuyaux. Dans les tuyauteries du fond, le pareflamme ne prend donc que le troisième rang dans les mesures de sécurité et ne se justifie donc pas. Par contre, les extracteurs et les appareils de mesure sont à considérer comme pouvant être à l'origine d'une inflammation. Il est donc

indiqué de disposer un pareflamme à l'amont et un autre à l'aval des extracteurs.

Quant aux instruments de mesure, ils sont alimentés en gaz à travers un pareflamme d'un type différent de celui examiné plus haut.

La tuyauterie installée dans le puits est à protéger spécialement. Le puits étant la voie de transport principale, une troisième mesure de sécurité n'est pas ici superflue.

Le pareflamme utilisé pour séparer les instruments de mesure des conduites de transport est composé d'une plaque de céramique poreuse logée dans une cage d'aluminium ou de laiton. Ce type de pareflamme a été essayé en utilisant des mélanges d'acétylène et d'oxygène stagnants ou en mouvement. Dans les deux cas, il arrête la flamme.

Protection d'une installation de séchage de fines

Quelques mesures effectuées sur des membranes de rupture et une soupape à ressorts

Dr. W. MAAS et P. QUADEN (33)

Le séchage des fines avant leur passage à la cokerie se fait à l'aide de gaz chauds provenant d'installations de combustion fonctionnant avec un grand excès d'air. La teneur en oxygène de ces gaz est de l'ordre de 19 %. Avec les poussières qu'ils mettent inévitablement en suspension dans les sécheurs, ces gaz peuvent constituer des atmosphères inflammables. Comme il n'est pas exclu que dans les dits appareils se trouvent à certains moments du charbon ou d'autres corps incandescents, des précautions doivent être prises pour atténuer les effets d'une inflammation.

Les expérimentateurs ont cherché à réduire les effets mécaniques de telles inflammations en ménageant, dans la paroi des cyclones, des orifices fermés par des membranes minces. Celles-ci se déchirent en cas d'inflammation et les poussières en combustion s'échappent par une tuyauterie débouchant à l'extérieur des bâtiments.

Les essais ont porté sur différentes membranes, ainsi que sur une soupape à ressorts qui, en pratique, présenterait l'avantage de ne nécessiter aucune intervention du personnel pour sa remise en place.

L'installation est représentée à la figure 48. Elle comporte une cuve cylindrique verticale de 1 m³ de capacité, munie de trois ouvertures (A, B, C) de 500 mm de diamètre avec bride pour la fixation

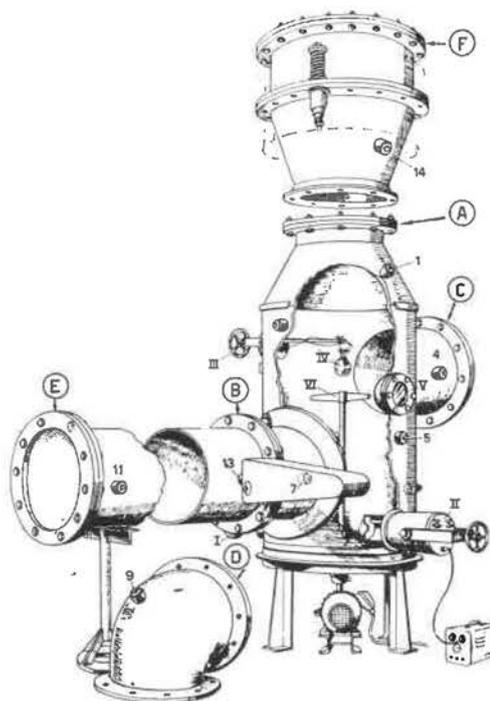


Fig. 48. — Cuve d'essais avec piétements, rallonges et soupapes à ressorts.

A/F — Brides de fixation des membranes de rupture.

I/II — Cuvettes d'inflammation.

1/14 — Prises pour manomètres enregistreurs.

(32) A remarquer cependant que les tuyauteries peuvent être occasionnellement (fermetures de vannes - arrêt des pompes) parcourues par des ondes de pression et de dépression, pouvant modifier fortement la vitesse établie en régime continu.

(33) Communication n° 35 de la « Centraal Proefstation van de Staatsmijnen in Limburg » à Treebeek, Hollande.

des membranes et de trois ouvertures plus petites (I, II et III) prévues les deux premières pour recevoir une cuvette contenant le mélange de méthane et d'air servant à l'inflammation et la troisième pour suspendre à l'intérieur de la cuve un sac de poussière (IV) contenant un détonateur. Sur la cuve et les piétements des ouvertures, existent de nombreux points 1, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 14 de prise de pression pour manomètre enregistreur, ainsi que deux regards (V).

Pour provoquer une inflammation de poussières, on met en marche le ventilateur VI et on provoque l'explosion du détonateur qui met en suspension les poussières du sac. Deux secondes plus tard, on enflamme le mélange de méthane et d'air préalablement introduit dans l'une des cuvettes.

On a utilisé, soit des poussières de charbon à 9 % de cendres et 27 - 28 % de matières volatiles, soit un mélange de poussières de charbon et de coke présentant des teneurs moyennes en cendres de 15 % et en matières volatiles de 35 %.

L'analyse granulométrique donnait pour les premières :

< 75 μ	60 %
75 à 105 μ	25 %
105 à 150 μ	15 %

et pour les secondes :

< 60 μ	38 %
60 à 210 μ	26 %
210 à 500 μ	25 %
> 500 μ	3 %

Essais des membranes.

La nature et les caractéristiques des différentes membranes utilisées sont indiquées au tableau LI.

Tableau LI.

Matière	Epaisseur en mm	Résistance à la traction suivant deux directions perpendiculaires	Elasticité en %
Papier	0,26	2,6 - 4,5	< 1
Laiton	0,14	59,9 - 61,7	4
idem	0,20	40,8 - 40,8	15
Aluminium	0,50	14,2	1

Ces membranes sont serrées entre deux joints annulaires logés dans un emboîtement.

Influence de la matière et de l'épaisseur.

La membrane est placée en B et le manomètre enregistreur au point 7.

Les résultats sont donnés au tableau LII.

TABLEAU LII.

Matière	Nombre de membranes	Epaisseur	Nombre d'essais	Surpression en kg/cm ²		
				minimum	maximum	moyenne
Papier	1	0,26	10	0,15	0,35	0,25
	2	2 × 0,26	10	0,30	0,60	0,45
	3	3 × 0,26	5	0,50	0,80	0,65
Laiton	1	0,14	2	2,40	2,40	2,40
	1	0,20	1	2,70	3,50	3,10

On voit que la pression augmente proportionnellement à l'épaisseur de la membrane.

Influence de la conduite d'évacuation des poussières enflammées vers l'extérieur.

Le tableau LIII donne les résultats des mesures

comparatives, la conduite d'évacuation assemblée en B étant constituée, soit d'un tuyau droit de 500 mm de diamètre et de 2,50 m de longueur, soit d'un tuyau de même diamètre coudé à 90° au rayon de 300 mm. Les membranes sont en papier.

TABLEAU LIII.

Conduite d'évacuation	Position de la membrane	Nombre d'essais	Pression en kg/cm ²		
			en 7	en 13	en 9
non placée	B	3	0,2 à 0,4	—	
tuyau droit	B et E	3	0,2 à 0,3	0,2 à 0,3	
non placée	B	6	0,2 à 0,25		
tuyau coudé	B et D	9	0,2 à 0,25		0,30 à 0,45

L'augmentation de la pression constatée dans le dernier cas est probablement due au fait que la prise de pression est à l'extérieur du coude.

Influence du diamètre et de la forme des ouvertures.

La membrane en papier est toujours montée en D. Les résultats sont présentés au tableau LIV.

TABLEAU LIV.

Ouverture	Dimensions en mm	Nombre d'essais	Pression en kg/cm ²		
			minimum	maximum	moyenne
circulaire	diam. 500	19	0,15	0,40	0,25
id.	288	7	0,60	0,80	0,70
id.	194	4	0,85	1,20	1,03
id.	160	6	0,90	1,80	1,35
carrée	255 × 255	3	0,35	0,40	
elliptique	400 × 204	3	0,35	0,40	

Pour des ouvertures circulaires, la relation théorique est

$$\frac{p}{r} = k \frac{e}{d}$$

dans laquelle on a :

- p : pression de rupture,
- r : résistance à la traction de la matière,
- e : épaisseur de la membrane,
- d : diamètre de l'ouverture,
- k : coefficient de proportionnalité.

En réalité, k n'est pas constant, mais augmente quand le diamètre décroît.

Pour les ouvertures carrées ou elliptiques considérées, la pression de rupture correspond à celle d'une ouverture circulaire de 400 mm de diamètre, alors que leur surface est égale à celle d'un cercle de 280 mm de diamètre.

Les expérimentateurs rapportent aussi quelques essais effectués sur une soupape à ressorts représentée en F sur la figure où un seul ressort est dessiné.

Les résultats sont rapportés au tableau LV. La tension des ressorts est exprimée par le serrage de l'écrou en mm ; la tension nulle est notée 0 et un desserrage de l'écrou de 5 mm à partir de ressorts non tendus — 5.

TABLEAU LV.

Matière inflammable	Tension des ressorts	Nombre d'essais	Pression en kg/cm ²		Observations
			minimum	maximum	
Charbon	— 5	6	0,20	0,40	La soupape vibre
Charbon	0	6	0,40	0,80	
Charbon	5	5	0,70	1,10	
Charbon et coke	0	2		0,40	La soupape vibre
Charbon et coke	20	1		0,80	La soupape souffle
Grisou	0	2	1,20	2,20	La soupape souffle peu de temps

La membrane de rupture en aluminium formant la paroi supérieure de la soupape se déforme dans les deux sens à chaque essai et finit par se déchirer parfois à 1,1 kg/cm², alors qu'à l'état neuf la même

membrane n'éclate que sous une pression de 2 à 2,5 kg/cm².

Les résultats montrent que la pression dépend de la tension des ressorts, mais aussi de la vivacité de l'inflammation.

Recherches sur l'aptitude des couches en matières granulées à empêcher la propagation de l'inflammation de mélanges gazeux explosifs

Dipl. Ing. F. HULSBERG (34)

Bien que l'on sache depuis longtemps que les matières pulvérulentes ou granulées possèdent la propriété d'arrêter une flamme de gaz, et que cette propriété a été utilisée en France pour la construction des transformateurs au quartz, aucune recherche systématique n'avait jusqu'à présent été entreprise en vue de préciser cette propriété. C'est dans le but de combler cette lacune que le présent travail a été entrepris.

On a envisagé le cas où la cause d'inflammation apparaît dans l'épaisseur même de la matière granulée et celui où le matériau est utilisé pour empêcher la flamme de passer d'un compartiment dans un autre.

Le rapport rend compte des résultats d'environ 3.000 essais.

Cause d'inflammation au sein de la masse de grains.

Le dispositif expérimental A est représenté à la figure 49. Le mélange est préparé dans le carter « b ». L'air y est d'abord introduit jusqu'à ce que le manomètre de précision indique la pression absolue de 3 kg/cm². Le gaz est ensuite admis jusqu'au moment où la pression s'est élevée de

$$P_x = \frac{3}{\frac{100}{Q} - 1}$$

Q étant la teneur (en %) désirée du gaz combustible dans le mélange gazeux à réaliser.

Cette méthode permet de préparer très rapidement les mélanges de gaz et d'air avec une erreur sur la concentration ne dépassant pas ± 0,2 % et de balayer facilement le carter « a » entre deux essais.

Les concentrations des mélanges gazeux utilisés sont les suivantes :

méthane :	9,2 %
propane :	4,0 %
gaz de ville :	19,0 %
hydrogène :	30,0 %

(34) Communication n° 2, de la « Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke » à Dortmund-Derne, Allemagne.

Le gaz de ville est analysé régulièrement au cours des essais et les variations de composition observées ne montrent aucune influence sensible.

Pour assurer la régularité de la disposition des grains et la reproductibilité des essais, on utilise des billes de verre d'un diamètre de 0,5 à 10 mm. Des mesures volumétriques montrent que le volume moyen des interstices rapporté à une seule bille est de 3 r³, r étant le rayon de la bille.

La couche de billes est renouvelée pour chaque essai. La tension utilisée pour produire les étincelles à l'éclateur est d'au moins 10.000 volts. Un deuxième éclateur monté en série à l'extérieur du carter « a » permet de contrôler le fonctionnement du premier.

Épaisseur de la couche de sécurité expérimentale.

L'épaisseur (hs) de la couche de sécurité expérimentale est l'épaisseur la plus faible qui ne donne aucune inflammation sur vingt essais.

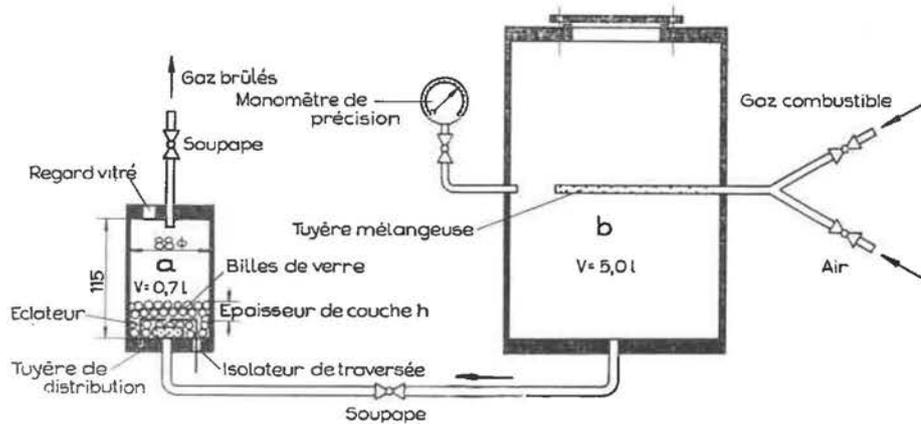


Fig. 49. — Dispositif expérimental A (schématique).

Le tableau LVI rassemble les valeurs de hs trouvées pour les quatre mélanges gazeux déjà cités et divers diamètres de billes.

Il est remarquable que, jusqu'à un certain diamètre de billes, une seule couche suffise pour empêcher l'inflammation du mélange. Ce fait s'est confirmé pour l'hydrogène au cours d'une série de 100 essais avec billes de 1 mm.

Il faut dès lors admettre ou bien que la section des interstices entre les billes voisines est trop réduite pour permettre la transmission d'une flamme ou bien que le volume emprisonné entre quatre

TABLEAU LVI.

Épaisseur *hs* de la couche de sécurité expérimentale.

Diamètre des billes en mm	hs en mm pour			
	Méthane-air à 9,2 %	Propane-air à 4 %	Gas de ville-air à 19 %	Hydrogène-air à 30 %
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1	1	1	1	1
2	2	2	2	10
3	3	3	4,5	
4	4	4	7,5	
5	5	5		
6	6	12		
7	13			
8	30			
9				

billes de la couche supérieure et la bille de la couche inférieure, tangente aux quatre premières, est trop petit pour assurer l'amorçage d'une combustion continue.

L'expérimentateur est amené à penser que le rapport entre le volume de gaz contenu dans un interstice et les surfaces de billes qui limitent cet interstice, exerce une influence prépondérante.

Les résultats font ressortir également qu'à partir d'un certain diamètre des billes, la flamme se propage toujours quelle que soit l'épaisseur de la couche. Ce fait est d'ailleurs connu depuis les essais sur les pots d'échappement des locomotives Diesel, c'est-à-dire depuis un quart de siècle.

Il est aussi curieux de constater que les maxima *Dm* des diamètres de billes empêchant la propagation de la flamme sont approximativement entre eux comme les valeurs limites des interstices (*I*) de sécurité des appareils antidéflagrants, comme l'indique le tableau LVII.

TABLEAU LVII.

	Hydrogène	Gas de ville	Propane	Méthane
<i>Dm</i>	2	4	6	8
<i>I</i>	0,28	0,64	0,96	1,17

Le dispositif expérimental de la figure 49 a servi également à une série d'essais comparatifs sur du

sable lavé et tamisé de différents calibres. Les résultats sont reportés au tableau LVIII.

TABLEAU LVIII.

Épaisseur *hs* de la couche de sable de sécurité expérimentale.

Granulométrie mm	Méthane	Propane	Gas de ville	Hydrogène
0,75 - 1	1	1	1	1
1 - 1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
1,5 - 2	2	2	2	5
2,5 - 3	3	3	3	40

Ici encore, on constate qu'en dessous d'un certain diamètre une seule couche suffit pour empêcher la propagation. De plus, l'irrégularité des grains de sable permet un tassement plus serré de telle sorte que les grains de 3 mm, en épaisseur de 40 mm, arrêtent encore la flamme d'hydrogène, résultat qu'il n'est plus possible d'obtenir au moyen de billes de ce diamètre.

Ayant en vue l'application de ces propriétés aux appareils électriques, l'auteur considérant que la couche de matière granulée doit présenter une bonne conductibilité thermique, n'a pas utilisé de sable de dimension supérieure à 3 mm. En effet, quand le calibre des grains augmente, la conductibilité thermique diminue. Il signale qu'il serait intéressant de reprendre ces essais en utilisant des billes métalliques.

Une série d'essais réalisés suivant cette méthode en utilisant un mélange d'hydrogène et d'air et des billes de 2 mm ou du sable de ce même calibre, en différentes épaisseurs de couche, a montré qu'entre les fréquences d'inflammation 0 % et 100 % s'étend un domaine de transition (tableaux LIX et LX). Le nombre d'essais a été jugé insuffisant pour pouvoir déterminer correctement la fonction statistique à utiliser pour le calcul des épaisseurs limites.

Utilisation de matières granulées pour empêcher le passage d'une flamme d'un compartiment dans un autre.

Une telle utilisation se conçoit, soit entre deux compartiments d'une même enveloppe, soit entre l'intérieur d'une enveloppe et l'atmosphère.

TABLEAU LIX.

Domaine de transition dans le sens de la statistique. Mélange-air hydrogène à 30 % d' H_2
Billes de verre de 2 mm de diamètre.

Épaisseur de la couche en mm	4	5	6	7	8	9	10
Nombre d'essais	20	20	20	20	20	20	20
Nombre de traversées	20	12	10	4	3	3	0
Fréquence des traversées	1	0,6	0,5	0,2	0,15	0,15	0

TABLEAU LX.

Domaine de transition dans le sens de la statistique. Mélange-air hydrogène à 30 % d'H₂
Sable de granulométrie : 1,5 à 2 mm.

Épaisseur de la couche en mm	1	2	3	4	5	6
Nombre d'essais	20	20	20	20	20	20
Nombre de traversées	14	10	2	2	1	0
Fréquence des traversées	0,7	0,5	0,1	0,1	0,05	0

Le dispositif B employé pour déterminer dans ces conditions l'efficacité des matières granulées est représenté à la figure 50.

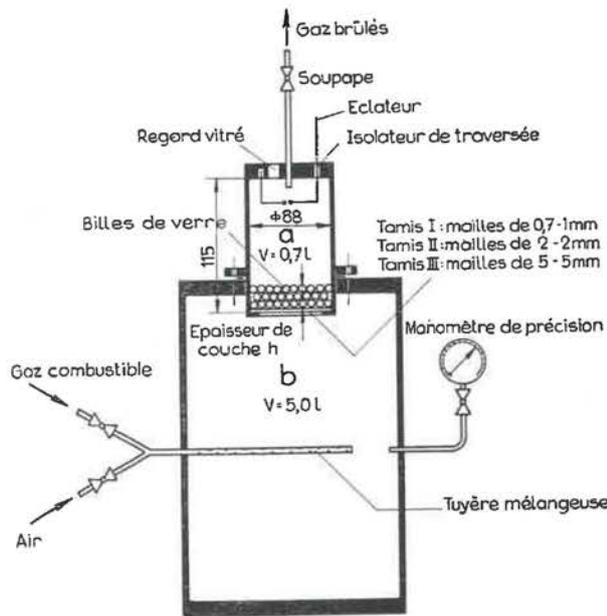


Fig. 50. — Dispositif expérimental B (schématique).

La couche de matériau en grains sépare les compartiments a et b. Elle est disposée sur un tamis en laiton placé sur un orifice circulaire de 75 mm de diamètre. Les tamis envisagés sont de trois types différents.

- Tamis I : mailles de 0,7 × 1 mm
- Tamis II : mailles de 2 × 2 mm
- Tamis III : mailles de 5 × 5 mm

L'éclateur se trouve dans l'espace libre du compartiment a ; sa hauteur est réglable.

Les mélanges de gaz utilisés sont les mêmes que précédemment et rien n'est changé au point de vue du mode de préparation.

Comme matière granulée, on utilise de nouveau des billes de verre ou du sable lavé et tamisé. Les couches sont tassées au mieux et renouvelées pour chaque essai.

Des essais préliminaires, sans couche de matière granulée, ont montré que les tamis n'avaient aucune influence dans le cas de l'hydrogène et du gaz d'éclairage, que leur influence était négligeable dans le cas du propane, mais qu'il n'en était pas ainsi lorsque le gaz combustible était du méthane.

Il a donc été nécessaire de déterminer au préalable l'influence du niveau de l'éclateur dans le carter « a » et de la concentration du mélange sur la transmission de la flamme.

Cette étude est résumée par les graphiques de la figure 51. Ces derniers révèlent une nette influence des tamis I et II sur le passage d'une flamme. Néanmoins, la traversée a toujours lieu pour la concentration choisie de 9,2 % et une distance de 10 mm au moins entre éclateur et tamis.

On constate en effet que le domaine où il y a propagation s'élargit quand l'écart de l'éclateur au tamis augmente, sauf évidemment pour le tamis III dont le domaine s'étend déjà jusqu'aux limites inférieure et supérieure d'inflammabilité quand cet écart est nul.

Il est à noter, en passant, que, dans les joints d'assemblage d'enveloppes antidéflagrantes, la flamme se propage au contraire d'autant plus facilement que l'origine de l'inflammation se trouve plus près de l'interstice.

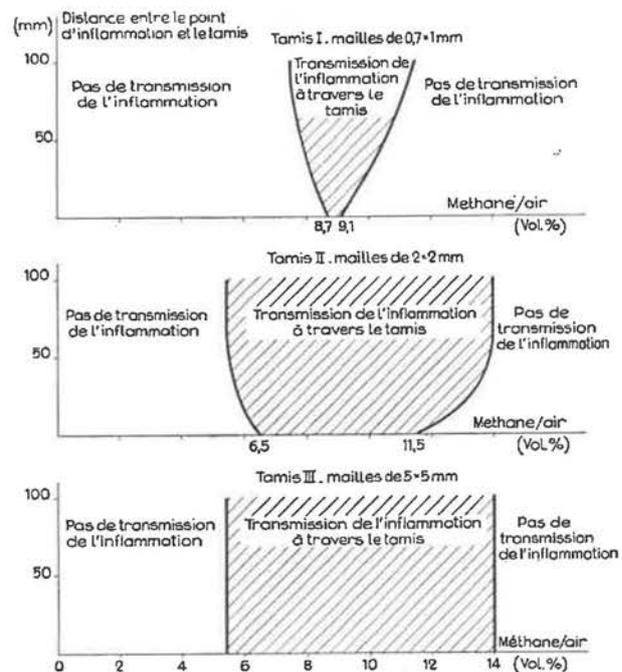


Fig. 51. — Dispositif expérimental B. Influence d'un tamis sur la transmission de la flamme.

Les tamis seuls n'empêchent donc pas la flamme de passer d'un compartiment à l'autre. Cela ne veut pas dire cependant que leur influence est nulle

lorsqu'ils sont recouverts d'une couche de matériau en grains.

Quant à l'influence de la position du point d'inflammation, on en a tenu compte dans les expériences ultérieures en réalisant chaque fois deux séries de 10 essais, le point d'inflammation se trouvant respectivement à 10 et à 100 mm du tamis.

Les résultats des essais de détermination de l'épaisseur de la couche de billes de verre de sécurité expérimentale sont rassemblés aux tableaux LXI et LXII.

TABLEAU LXI.

*Épaisseur h_s de la couche de billes de verre de sécurité expérimentale.
Tamis I, mailles de $0,7 \times 1$ mm.*

Diamètre des billes	Méthane	Propane	Gaz de ville	Hydrogène
1	1	1	1	30
2	2	2	5	—
3	3	3	5,5	—
4	4	8	12	—
5	5	12	—	—
6	12	12	—	—
7	13	20	—	—
8	16	30	—	—
9	45	—	—	—
10	50	—	—	—
12	—	—	—	—

TABLEAU LXII.

*Épaisseur h_s de la couche de billes de verre de sécurité expérimentale.
Tamis II, mailles de 2×2 mm.*

Diamètre des billes	Méthane	Propane	Gaz de ville
3	8	8	12
4	8	8	25
6	12	24	—
7	27	70	—
8	30	—	—
9	53	—	—
10	—	—	—

La comparaison de ces tableaux fait ressortir immédiatement l'influence des tamis, que l'on considère le maximum du diamètre des billes empêchant en couche unique la propagation de la flamme, ou l'épaisseur nécessaire à diamètres égaux, pour obtenir le même résultat.

Le sable n'a été utilisé que dans le cas de l'hydrogène. En calibre de 1,5 à 2 mm, il empêche le passage de la flamme si l'épaisseur de la couche

est de 55 mm au moins, tandis que les billes de verre de ce diamètre ne peuvent arrêter la flamme.

La conclusion tirée de la première série d'expériences se confirme donc ici ; à calibre égal, le sable est plus efficace parce qu'il se prête à un tassement plus serré.

L'existence d'un domaine de transition entre les fréquences de traversée de 0 et 100 % s'est également révélée dans deux séries spéciales de 6×10 essais où les conditions étaient les suivantes : mélange hydrogène-air, billes de verre de 1 mm de diamètre, première série : point d'allumage à 10 mm du tamis, deuxième série : point d'allumage à 70 mm du tamis.

Les résultats des deux séries sont rassemblés au tableau LXIII.

TABLEAU LXIII.

Épaisseur de la couche mm	1 ^{re} série		2 ^{me} série	
	Nombre d'essais	Nombre de traversées	Nombre d'essais	Nombre de traversées
17,5	10	10	10	10
20	10	10	10	10
22,5	10	8	10	4
25	10	6	10	1
27,5	10	2	10	0
30	10	0	10	0

On y retrouve la corrélation entre la position du point d'inflammation et la fréquence des traversées, connue pour les interstices des joints d'enveloppes antidéflagrantes.

Le mode de transmission de la flamme n'est cependant pas identique dans les deux cas. En effet, en opérant sur un mélange d'hydrogène et d'air à 30 % d'hydrogène, le délai qui s'écoule entre l'étincelle produite dans le compartiment « a » et l'apparition d'une surpression sensible dans le compartiment « b » est de 2 msec si la transmission de la flamme se produit par des interstices de 0,3 mm et de 50 msec si la flamme passe à travers une couche d'une épaisseur de 20 mm constituée de billes de verre de 1 mm de diamètre. Dans ce dernier cas, il ne s'agit pas d'un passage brusque, mais d'une combustion dont la progression est relativement lente.

Conclusion.

Le sable de rivières, dont les grains sont arrondis, se prêterait bien après lavage, séchage et calibrage à 1 - 2 mm, à la protection des appareils ne comportant pas d'éléments mobiles : transformateurs, bobines de réactance et d'aimants de levage, condensateurs, résistances et éléments de chauffe.

Ces éléments seraient noyés dans le matériau granulé, lui-même enfermé dans une enveloppe.

Celle-ci serait réalisée de façon à éviter l'écoulement et même, lors des manipulations, tout déplacement critique du sable. Toute possibilité d'inflammation à l'intérieur de l'enveloppe étant exclue, on pourrait en général éviter une construction spéciale assurant la résistance à la pression et l'étanchéité aux flammes.

Une construction antidéflagrante resterait cependant vraisemblablement nécessaire dans le cas d'appareils susceptibles de donner lieu à la formation d'arc de tension et d'énergie très élevées à la suite d'un court-circuit. Les connaissances actuelles sont encore insuffisantes pour déterminer les mesures à prendre en l'occurrence.

L'utilisation de couches de grains dans le but d'empêcher la flamme de passer d'un compartiment dans un autre ou de se communiquer à l'atmosphère extérieure n'est évidemment à envisager que s'il y a d'autres fonctions à assurer comme l'échange gazeux entre l'intérieur et l'extérieur. La perméabilité est alors à rechercher spécialement, ce qui conduit normalement à l'utilisation d'un matériau en éléments relativement gros. Il faudrait dès

lors donner la préférence aux billes et on pourrait penser à choisir des billes métalliques, car leur conductibilité thermique très supérieure doit normalement leur conférer une aptitude plus grande à arrêter les flammes.

Pour cette utilisation, le confinement mécanique des billes devra être assuré avec un soin tout particulier.

Pour terminer, l'auteur pose toute une série de questions auxquelles il est actuellement impossible de répondre et ouvre ainsi la voie à de nombreuses recherches : détermination de l'influence de la teneur du mélange, du volume du compartiment où se produit l'inflammation, de la position du point d'inflammation, de la conductibilité thermique du matériau granulé sur la propagation de la flamme ; détermination de la courbe statistique ; comportement des matières granulées en présence de mélanges gazeux en écoulement, de mélanges d'air et de vapeurs ; mesures de la résistance à l'écoulement ; mesures de la pression dans les enveloppes renfermant un matériau granulé quand il s'y produit des troubles électriques très graves, etc.

Communications analysées et résumées

par J. FRIPIAT

Directeur divisionnaire des Mines,
Administrateur-Directeur de l'Institut National des Mines.

(Suite) (*)

CAUSES SPECIALES D'INFLAMMATION DU GRISOU

Phénomènes électrostatiques dans les houillères

par Dr. E. WEHNER (35)

On connaît depuis longtemps les manifestations d'électrisation accompagnant les chasses d'air comprimé; celles-ci donnent lieu à des charges d'électricité qui, dans certaines conditions, allument le grisou.

Dans sa communication, l'auteur attire de nouveau l'attention sur ces phénomènes et cite des faits observés au laboratoire et dans l'industrie, notamment deux incidents : une inflammation de gaz et le départ inopiné d'explosif, tous imputables à des charges d'électricité statique.

Exemples de phénomènes électrostatiques.

a) Tube Cardox - L'anhydride carbonique qui s'échappe par les événements d'un tube Cardox produit une charge électrique qui porte à 4.000 volts la capacité 500 pF environ, formée par la terre d'une part et par le tube et les fils de tir d'autre part.

b) Les canars en matière plastique se chargent par le frottement des poussières. Pour cette raison, on recommande de les suspendre par des fils conducteurs aux parties métalliques du soutènement.

c) Les courroies transporteuses peuvent aussi donner des étincelles électriques; celles-ci se produisent au passage des agrafes métalliques sur les tambours.

(35) Communication n° 14 de la station de Dortmund-Derne.

Le fait a été observé en Angleterre alors que l'humidité relative était assez élevée (80 %).

Incidents dus aux charges électriques.

a) Un injecteur isolé s'électrise et donne des étincelles lorsqu'il entre en contact avec des objets mis à la terre.

Ce fut la cause d'un accident survenu à un gazomètre d'une cokerie où des fuites de gaz ont été enflammées pendant le fonctionnement d'une désableuse.

b) Une mine amorcée a explosé au moment où une chasse violente d'air comprimé, sortant d'une canalisation ouverte, soulevait un nuage épais de poussières de charbon. Les mines n'étaient pas encore connectées, ni entre elles, ni à la ligne de tir et les fils des détonateurs pendaient librement dans la galerie.

L'enquête montra que l'explosion devait être imputée à un phénomène d'électrostatique produit par le tourbillonnement des poussières. Quant au mode d'intervention de la charge d'électricité, l'auteur pense que l'allumage du détonateur est dû à une étincelle éclatant entre le tube de cuivre et le pont (fil fin noyé dans la pâte d'amorce). Cette étincelle décharge le condensateur formé par le tube de cuivre, le pont et les conducteurs. Ces derniers reçoivent leur charge électrique des poussières soulevées. (L'inflammation par échauffement du pont exigerait une charge bien supérieure à celle transportée par les poussières).

Cette explication, basée sur des expériences de laboratoire, justifie les restrictions en vigueur dans certains pays concernant l'emploi des bourreuses.

Dans les appareils de grand format, toutes les parties métalliques doivent être maintenues au même potentiel électrique par des connexions conductrices.

Sur les appareils de petit format, on n'a jamais observé de phénomène électrostatique du fait que l'ouvrier lui-même assure la mise à la terre.

L'emploi de tuyaux conducteurs pour l'amenée de l'air comprimé est de rigueur en Angleterre; il est recommandé en France.

Dans les mines de la Ruhr, les grandes bourreuses ne peuvent être utilisées que si l'humidité relative est de 70 % au moins.

Remarques :

a) Les manipulations normales des détonateurs électriques ne présentent pas de danger immédiat du fait des phénomènes électrostatiques. En Allemagne, on étudie néanmoins des détonateurs insensibles aux effets de l'électricité atmosphérique (orage).

b) Les chaussures à semelles bien isolées, les vêtements en matière plastique se prêtent bien à la production de charges d'électricité d'énergie suffisante pour allumer un mélange grisouteux.

c) Il faut prêter grande attention aux phénomènes électrostatiques qui peuvent se produire dans les chantiers très secs de la mine et examiner avec soin les risques que peuvent présenter les matériels nouveaux en matière synthétique. Sauf dans le cas de charges exceptionnellement élevées, une humidité relative de 70 % peut empêcher l'apparition de charges d'électricité, alors même que la résistance de fuite au sol atteindrait 10 megohms.

Les risques d'inflammation du grisou par le tir à l'air comprimé

par HANNA, ZABETAKIS, VAN DOLAH, DAMON (36)

Il s'agit ici du procédé Armstrong, variante de l'Airdox, dont nous avons donné jadis une description aux Annales des Mines (37).

Dans le fourneau, on introduit le tube de tir dont l'extrémité avant (c'est-à-dire du côté du fond du fourneau) porte la tête de décharge.

Celle-ci est perforée de huit trous répartis sur la périphérie. L'air ne peut s'échapper par ces trous qu'après éclatement d'un disque d'acier sous la pression de l'air. Celle-ci varie de 422 à 703 kg/cm² et l'épaisseur du disque de 1,3 à 2 mm.

Dans les premières installations, les compresseurs étaient installés à la surface; le succès du procédé

fut tel qu'on place maintenant le compresseur dans le fond.

Le but des essais était de savoir si l'utilisation d'un compresseur Armstrong et de ses accessoires dans une mine grisouteuse constituait ou non un risque d'explosion.

Les expérimentateurs ont donc examiné successivement le cas du compresseur et celui des engins de tir.

Sécurité de fonctionnement du compresseur.

L'installation pouvant dans certaines circonstances fonctionner en atmosphère inflammable, il était intéressant de connaître d'abord la limite d'inflammabilité et la température d'inflammation des mélanges d'air et de gaz naturel (méthane 94 %,

(36) Communication n° 22 du Bureau of Mines des Etats-Unis d'Amérique.

(37) Voir page 44 des Annales des Mines de janvier 1950.

éthane 5 %, azote 1%) pour les pressions et températures de régime du compresseur.

Limite d'inflammabilité.

On a utilisé une bombe à paroi épaisse pourvue d'un diaphragme de rupture et renfermant un fil de platine (ou un fil de platine entouré de coton nitré).

Le mélange d'air et de gaz naturel comprimé dans un compresseur Armstrong était introduit à haute pression dans la bombe; on vérifiait ensuite son inflammabilité en produisant par un courant électrique la fusion du fil de platine.

Après l'expérience, on déterminait le pourcentage de gaz qui avait participé à la réaction.

On a constaté que la limite inférieure d'inflammabilité pour la pression de 700 kg/cm² et la température de 26°C était de 2,5 %.

Température d'inflammation.

On a procédé de deux façons :

- 1) le mélange air + gaz sortant du compresseur pénétrait dans un réservoir et, de là, dans un récipient amené au préalable à une température déterminée;
- 2) dans le récipient chauffé, comme pour le premier procédé, on introduisait d'abord le gaz naturel, puis l'air comprimé venant du compresseur.

Pour chacun des procédés, l'inflammation se manifestait par une hausse rapide de la pression qu'on lisait au manomètre.

Pour la pression de 633 kg/cm², on a trouvé les températures indiquées au graphique figure 52, en fonction de la teneur en gaz naturel.

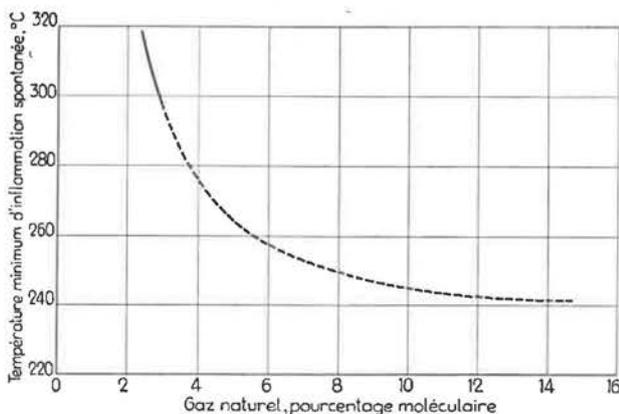


Fig. 52. — Gaz naturel, pourcentage moléculaire.

Essai du compresseur.

On a utilisé un compresseur d'une capacité de 2,5 m³/minute d'air aspiré à 6 étages (1,8 - 8,1 - 27 - 77 - 270 et 774 kg/cm²).

On a mesuré la température de l'air comprimé à la sortie des différents étages, et cela pour diverses pressions de marche allant de 280 à 703 kg/cm² (pressions finales de compression).

Les températures maxima relevées n'ont pas dépassé 105°.

On n'a pas observé de changement notable lorsqu'on a introduit à l'aspiration un mélange d'air et de gaz naturel (10 %).

Les températures sont donc restées bien inférieures à la température la plus basse figurant au graphique figure 52.

On n'a pas non plus constaté la présence d'oxyde de carbone dans l'air comprimé.

Conformément à ce qu'on attendait, il y avait absorption du gaz naturel par le lubrifiant.

Sécurité du tir.

1) Dans une galerie renfermant de l'air et 8 % de gaz naturel, on a fait fonctionner le tube sous la pression de 620 kg/cm² en y introduisant d'abord de l'air pur, puis des mélanges d'air et de gaz naturel à des teneurs croissantes, soit 3,5 et 8 %.

Pour la teneur de 8 % seulement, on obtint l'inflammation dans la galerie (trois inflammations sur quarante-trois essais).

Après avoir remplacé le disque d'acier par un disque de cuivre puis par un disque d'aluminium, on obtint respectivement 1 inflammation pour dix essais et 4 inflammations pour quinze essais. La teneur en gaz naturel du mélange contenu dans le tube de tir était de 8 %. Toutes ces inflammations se sont produites avec un retard variant de 6 à 15 secondes.

2) Utilisant une camera Fastax à grande vitesse, les expérimentateurs ont photographié la décharge du tube de tir.

Il n'y a de phénomène lumineux appréciable que si le tube renferme du mélange inflammable et les enregistrements ne sont guère différents, que la décharge se fasse dans l'air ou dans le mélange.

Les expérimentateurs estiment que la luminosité enregistrée est due au choc.

3) On a placé le tube de tir dans un tuyau d'acier, l'ensemble se trouvant encore dans une atmosphère inflammable.

On constata comme précédemment que, pour avoir l'inflammation dans la galerie, il fallait introduire dans le tube du mélange inflammable.

4) On a fermé par une plaque d'acier le tuyau renfermant le tube de tir, celui-ci se trouvant donc comme dans un fourneau de mine.

On a fait varier aussi les conditions d'essai et obtenu les fréquences d'inflammation (f) indiquées au tableau LXIV.

a. On a placé de l'argile humide dans le fond de la tête de décharge.

On avait remarqué en effet que le morceau du diaphragme cisailé par la pression de l'air comprimé était bleu foncé, comme s'il avait été fortement échauffé par le choc; on pouvait croire que c'était la cause de l'inflammation.

TABLEAU LXIV
Atmosphère ambiante 7,7 à 9,3 de gaz naturel
Dans le tube de tir 7,7 à 8,3 de gaz naturel

Serie d'essais	Conditions des essais	f
1	Pas d'argile dans la tête de décharge	5/11
2	Argile dans la tête de décharge	0/11
3	Pas d'argile dans la tête de décharge, charbon dans le tuyau	5/5
4	Argile dans la tête de décharge, charbon dans le tuyau	0/5
5	Disque cisailé	4/6
	Disque déchiré	1/6
6	Disque cisailé, pas de charbon dans le tuyau	2/5
	Disque cisailé, charbon dans le tuyau	1/5

L'argile humide devait réduire le contact du mélange avec le métal et refroidir celui-ci.

On peut voir par les essais, séries 1 et 2 du tableau LXIV, l'influence de l'argile sur la fréquence f.

- b. On a introduit 15 g de poussières charbonneuses dans le tuyau (voir séries 3 et 4 du même tableau).
- c. Lors des essais séries 1 à 4, le disque d'acier du tube de tir était rompu par cisaillement. En modifiant le mode de serrage de ce disque, on a pu obtenir sa rupture par déchirure; la fréquence n'est pas la même dans les deux cas (voir séries 5 et 6).

5) On a recherché l'influence de la teneur en gaz naturel de l'atmosphère ambiante. Le disque étant emporté par cisaillement, on a eu :

pour 8 % $f = 2/5$

pour 6 % $f = 0/5$

6) La photographie a enregistré les flammes les plus grandes lorsque le disque était cisailé. Quand celui-ci est déchiré, la luminosité enregistrée est à peu près la même que celle obtenue avec de l'air comprimé dans le tube de tir.

7) Examinant globalement les résultats de leurs essais, les expérimentateurs concluent que la probabilité d'inflammation n'est que très peu influencée par la présence de poussières de charbon.

8) On a fait fonctionner le tube de tir dans un appareil Crawshaw-Jones. Cet appareil est utilisé pour l'étude des explosifs solides; il consiste en un cylindre d'acier capable de supporter des explosions violentes et destiné à récolter les gaz de détonation.

Les expérimentateurs ont cherché à déterminer l'influence de l'argile placée dans la tête de décharge et celle du mode de rupture du disque.

Le cylindre de l'appareil Crawshaw renfermait de l'air, mais le tube de tir recevait du mélange comprimé d'air + gaz naturel (8,0 à 8,4 %). On a fait varier la nature et l'épaisseur du disque. Les essais sont résumés au tableau LXV.

A remarquer qu'on n'a pas obtenu l'inflammation lorsque le disque était déchiré.

On voit encore ici que l'argile est défavorable à l'inflammation.

9) Toujours avec le même appareil, on a fait des essais avec différents teneurs de gaz naturel à l'aspiration du compresseur (6,7 et 8 %).

TABLEAU LXV

Série	Tube de tir		f
	Pression kg/cm ²	Disque de rupture	
1	703 et 759	Aluminium 3 mm - cisailé - argile	0/2
2	759 et 773	Aluminium 3 mm - cisailé - pas d'argile	2/2
3	584 et 654	Acier 2,1 mm - cisailé - pas d'argile	2/2
4	584 et 598	Acier 2,1 mm - cisailé - pas d'argile	2/2
5	830 à 879	Acier 2,1 mm - déchiré - pas d'argile	0/4
6	401 à 415	Acier 1,3 mm - cisailé - pas d'argile	1/5

Le diaphragme étant en acier (2,1 mm d'épaisseur), on a obtenu les fréquences d'inflammation :

6 %	f = 0/10
7 %	f = 2/6
8 %	f = 4/6

Conclusions.

- 1) Le compresseur Armstrong peut sans danger aspirer de l'air renfermant jusqu'à 10 % de gaz naturel. On ne trouve pas d'oxyde de carbone dans l'air comprimé.
- 2) Il n'y a pas inflammation quand la décharge du tube de tir se produit dans une atmosphère

renfermant de 0 à 5 % de gaz naturel; il n'y a inflammation que si le mélange introduit dans le tube de tir renferme 8 % de gaz naturel.

- 3) Les explosions retardées, observées lors du tir direct en atmosphère grisouteuse, sont le fait des débris du disque de rupture.
- 4) L'utilisation du procédé Armstrong n'entraîne donc pas un risque spécial d'inflammation si le pourcentage de gaz naturel dans l'atmosphère de la mine ne dépasse pas la limite permise par le règlement, soit au maximum 1 %.

Recherches allemandes sur le risque d'inflammation par les étincelles d'aluminium

par H. SCHULTZE-RHONHOF (38)

Les recherches faisant l'objet de cette communication ont été entreprises à la suite de l'observation, faite à la Centraal Proefstation des Staatsmijnen du Limbourg néerlandais, que les étincelles produites par le coulisement des étançons Schwartz sont aptes à enflammer les mélanges grisouteux.

Essais sur étançons.

Pour les premiers essais (1948), l'éтанçon placé dans une atmosphère grisouteuse recevait le choc d'un mouton de 440 kg tombant d'une hauteur variable de 3 à 5 m.

On fit ainsi 186 essais sur des étançons coulissants :

- 100 sur des étançons Schwartz et Becorit avec plaquettes d'aluminium,
- 66 sur des étançons tout acier Gerlach et GHH.
- 20 sur des étançons Schwartz avec plaquettes faites d'un alliage de zinc.

Quatre inflammations furent observées avec les étançons Schwartz à plaquettes d'aluminium.

On essaya alors de les reproduire d'abord avec une presse horizontale, puis avec une presse verticale de 450 tonnes.

Le second procédé, seul, permit d'obtenir des inflammations avec les étançons Schwartz à plaquettes d'aluminium, mais il fallait, avant l'essai, répandre de la poussière de charbon sur les plaquettes de frottement.

Les premières étincelles se produisaient après un affaissement de 200 mm environ, à la vitesse de 30 à 70 mm par minute et sous une charge comprise entre 25 et 55 tonnes.

Des essais réalisés avec des étançons en aluminium munis d'un collier de serrage en acier ne donnèrent pas d'étincelles. Le glissement de l'acier sur l'aluminium semblait donc être différent du glissement de l'aluminium sur l'acier.

On arrivait ainsi à la conclusion que les étançons en aluminium ne donnaient pas d'étincelles lors de l'affaissement, ni au cours de la récupération et que les étançons avec plaquettes de friction en aluminium n'en produisaient que dans des conditions tout à fait particulières.

Deux inflammations se produisirent néanmoins en avril 1955 dans le même chantier d'une mine de la Ruhr, l'une à la récupération, l'autre au moment de l'affaissement d'éтанçons Becorit.

Les plaques de friction étaient faites d'alliages d'aluminium que des expériences antérieures avaient fait reconnaître comme dangereux.

Les étançons incriminés et d'autres identiques furent éprouvés par le premier dispositif expérimental; on n'enregistra que des résultats négatifs.

On fit ensuite 76 essais avec une masse tombante de 2.000 kg, puis 33 essais avec la presse verticale, les uns avec poussières de charbon aux points de friction, les autres sans poussières de charbon.

On observa bien la formation d'étincelles d'intensités diverses, mais jamais l'inflammation du grisou.

Cela semblait être dû au fait qu'on avait réduit la pression de contact. Pour le vérifier, on plaça les plaquettes Becorit sur un étançon Schwartz en acier. Celui-ci donna alors au premier essai une inflammation violente.

On refit ensuite des essais avec les étançons Becorit dont on avait réduit de moitié la surface de glissement et, par conséquent, augmenté la pression.

(38) Communication n° 27 de la station de Dortmund-Derne (Allemagne).

Ce ne fut qu'après avoir débarrassé les fûts intérieurs du dépôt d'aluminium formé au cours des expériences, les avoir bien nettoyés et les avoir fait rouiller en atmosphère humide qu'on obtint six inflammations sur trente-cinq essais; pour l'une d'elles, l'affaissement n'avait été que de 3 cm.

De ces essais, il résultait que l'inflammation était favorisée par la présence de rouille sur les fûts intérieurs et par la friction sous pression élevée.

On recommanda donc au constructeur de ne plus équiper les étançons coulissants de plaquettes de friction en aluminium et d'y substituer d'autres matériaux, tout en modifiant au besoin la construction des étançons.

Mais, alors qu'en Angleterre et en Hollande on a, après les expériences du S.M.R.E. (39), interdit l'emploi du soutènement en aluminium, celui-ci est toujours fort en vogue en Allemagne.

Dans les mines de la Ruhr, on n'a, il est vrai, observé jusqu'ici qu'une inflammation avec un étançon en aluminium, aucune ne s'est produite avec des rallonges ou autres éléments en aluminium.

Par contre, dans le Bassin d'Aix-la-Chapelle, on compte au total quatre inflammations qu'on a attribuées au choc d'un pic sur une rallonge en aluminium.

A la suite de l'inflammation causée en 1955 dans la Ruhr par un coup porté sur un étançon en aluminium, les autorités allemandes insistèrent pour que de nouvelles recherches soient exécutées à la station de Derne dans le but de vérifier les résultats anglais et de trouver des alliages dont l'aptitude à allumer le grisou soit aussi faible que possible.

Recherches sur divers alliages d'aluminium.

Les expérimentateurs de Derne adoptèrent le dispositif utilisé à Sheffield. Un mouton de 17 kg, portant sur sa face inférieure l'alliage à essayer, tombait d'une hauteur de 2,10 m à 2,80 m sur une tôle d'acier inclinée à 55°, dans une atmosphère à 6,4 % de méthane.

C'étaient là les conditions reconnues comme étant les plus dangereuses par les expérimentateurs anglais.

On observa d'abord que, si la plaque d'impact n'est pas absolument fixe mais cède légèrement sous le choc, il ne se produit pas d'inflammation.

On utilisa donc une plaque d'acier de 12 à 20 mm fixée sur un robuste châssis.

Voici en résumé les constatations auxquelles donnèrent lieu ces expériences.

Influence de la rouille et de son humidité. La fréquence d'inflammation varie avec l'état hygrométri-

que de l'air, dont dépend aussi la quantité d'humidité occluse dans la rouille couvrant la plaque d'acier.

En automne, on a parfois obtenu, pendant le brouillard du matin, 20 % d'inflammations de plus qu'à midi.

Des dépôts de rouille inégaux, accumulés localement, donnent plus d'inflammations qu'une couche fine et uniforme.

Pour éliminer autant que possible les influences nuisibles à la reproductibilité des résultats, on a effectué un grand nombre d'expériences et lorsqu'il s'est agi de comparer différents alliages, ceux-ci ont été essayés non en groupes, mais successivement, donc dans des conditions restées apparemment très voisines (même quantité de rouille sur la plaque de choc, même degré hygrométrique).

Influence de la composition de l'alliage léger. Vingt alliages ont été soumis aux essais.

Ils renfermaient de l'aluminium (93 % au moins), du fer (0,23 à 0,55 %), du manganèse (0,22 à 0,85 %), du silicium (0,10 à 0,86 %), du chrome (traces à 0,23 %), ainsi que du cuivre (Cu), du magnésium (Mg), du zinc (Zn) et du béryllium (Be) aux teneurs indiquées au tableau LXVI.

Dans la dernière colonne de ce tableau figurent les fréquences d'inflammation enregistrées (nombre d'inflammations/nombre d'essais).

L'alliage 20 (dureté Brinell 115) a donné des inflammations, alors que l'alliage 10 (dureté Brinell 120), qui en diffère par la présence de béryllium, s'est montré très sûr.

Les alliages 29 et 30 (dureté 118) ont eu une fréquence d'inflammation très élevée, alors que les alliages 37 et 38 au béryllium (dureté voisine de 100) étaient peu aptes à enflammer.

Avec les alliages n^{os} 12 et 13 (dureté 150 à 159), on est parvenu, par l'incorporation de certaines substances, à réduire l'influence de la teneur élevée en magnésium (6/40 et 7/40).

Par les alliages 21, 22, 23, 24, 31 et 32, on voit comment la dureté varie avec la teneur en magnésium.

Plus la teneur en magnésium est faible, plus grande est l'influence des autres constituants et de la dureté sur la fréquence d'inflammation.

On voit que les alliages, dont la dureté n'est pas de beaucoup supérieure à 100, ont montré l'aptitude la plus faible à allumer le grisou.

Dans un avenir prochain, les rallonges et autres objets en aluminium seront fabriqués en alliage aluminium + magnésium + silicium à 0,005-0,05 de béryllium.

Pour les étançons, on ne peut utiliser ces alliages sans modifier la construction parce qu'il leur faut une dureté plus grande.

(39) On trouvera dans le fascicule de janvier 1955 des Annales des Mines de Belgique, page 114 et suivantes, un compte rendu des expériences du Safety in Mines Research Establishment.

TABLEAU LXVI
Fréquences d'inflammation (f) des alliages étudiés

N°	Désignation d'usine	Cu	Mg	Zn	Be	Dureté Brinell	f
10	Al Cu Mg	3,8	0,76	0,41	0,004	115	0/100
12	Al Zn Cu Mg	1,26	2,11	5,20	id.	157	6/40
13	Idem	1,40	2,21	5,58	0,04	155	7/40
20	1	3,86	0,7	0,56	traces	120	8/97
21	2	traces	2,44	5,31	id.	144	10/40
22	3	id.	1,40	5,15	id.	117	7/40
23	A	0,03	1,50	5,28		121	8/40
24	B	id.	id.	id.		id.	12/40
27	E	3,40	0,80	0,33	0,01	120	8/40
28	F	id.	id.	id.	id.	id.	7/40
29	G	0,08	0,84	0,12		118	10/40
30	H	0,48	id.	id.		id.	12/40
31	K	1,02	2,88	4,30		150	16/40
32	L	id.	id.	id.		id.	13/40
33	A	3,36	0,77	0,23		121	2/29
34	B	3,44	0,71	0,08	0,005	id.	4/29
35	C	3,40	id.	0,10	0,058	118	3/29
36	D	0,03	0,84	0,09		95	3/29
37	F	id.	0,55	0,07	0,004	97,2	1/29
38	G	0,05	0,64	0,10	0,055	102	0/29

Recherches complémentaires.

a) Modifications susceptibles de réduire le risque d'inflammation. L'inflammation de grisou survenue en 1955 avec un étançon en aluminium a été imputée au fait qu'un ouvrier a frappé un rivet d'acier avec un marteau couvert d'un dépôt d'aluminium.

On a donc, dans l'étançon incriminé, remplacé le rivet d'acier par un rivet en aluminium.

Dans les rallonges Schloms, les clavettes d'acier sont introduites dans des œillets faits partie en aluminium, partie en acier.

Pour éviter que la clavette se recouvre d'aluminium, on a demandé au constructeur de modifier les rallonges en revêtant l'intérieur des œillets d'un anneau d'acier, de telle sorte que les clavettes soient guidées uniquement par de l'acier.

b) Dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, les inflammations ont été produites par le choc d'un pic sur des rallonges en aluminium. Celles-ci sont de forme telle qu'on imagine facilement que la pointe de l'outil frappe successivement ou simultanément de l'acier et de l'aluminium.

Or, les expériences montrent que les coups les plus dangereux sont les chocs rasants qui glissent le long de la rallonge et du boulon.

Pour confirmer une fois de plus le danger du choc d'un outil en acier sur une surface d'acier enduite d'un mince dépôt d'aluminium ou d'un outil d'acier dont la surface de frappe est recouverte d'aluminium, sur une surface d'acier propre, on a effectué

des essais systématiques avec le dispositif de la figure 53. Le marteau (ou le pic) est fixé élastiquement sur un manche de 30 cm et glisse sur la surface de l'objet sans s'arrêter.

On a utilisé successivement :

- 1) étançon de fer enduit d'aluminium et marteau
440 coups 6 inflammations
- 2) rallonge en métal léger et pic
1000 coups 3 inflammations.

Lorsque le choc n'était pas rasant, mais frappait la rallonge perpendiculairement, il n'y avait pas production d'étincelles.

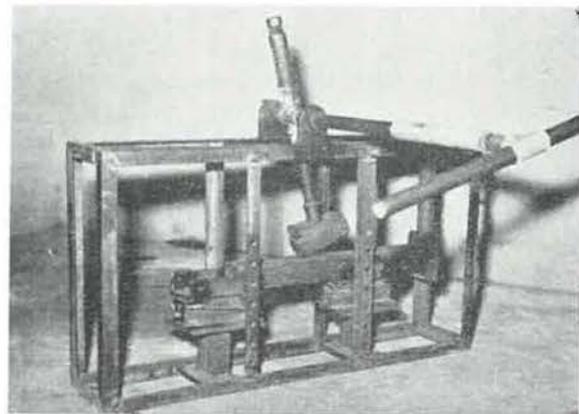


Fig. 53. — Dispositif expérimental. Coups de marteau sur l'acier enduit d'aluminium.

Autres essais sur les métaux légers.

a) Des essais de choc rasant ont été réalisés à l'air libre à la Station de Derne, avec un pic au rocher et avec une masse frappant des étançons ou des rallonges en aluminium; ils ont produit des étincelles plus ou moins abondantes.

On n'a rien observé avec les chocs perpendiculaires.

b) Le choc d'une masse d'acier tombant sur une plaque d'aluminium inclinée à 55° n'a pas non plus produit d'étincelles.

c) Par contre, on a observé des inflammations du grisou en laissant tomber sur l'arête d'une rallonge en aluminium une masse d'acier ou une masse de grès provenant du toit de la couche « Präsident ».

d) Les « Vereinigte Leichtmetallwerke » de Bonn sont arrivés à des résultats identiques avec un dispositif expérimental légèrement différent.

Mais là, on a obtenu en plus trois inflammations du grisou par la chute d'une masse sur une plaque (énergie de choc : 40 kgm).

La masse et la plaque étaient toutes deux en acier très dur.

Mécanisme de l'inflammation.

Des essais effectués sur du matériel en aluminium non corrodé, il résulte que l'inflammation du grisou nécessite le concours de la rouille.

L'inflammation est due non pas tant à la chaleur de frottement, mais plutôt aux petites particules produites dans les essais avec plaquettes de friction, par l'affaissement brusque de l'étauçon et, dans les essais de choc et de chute, par l'impact d'un corps sur l'autre.

Comme la rouille donne des formes diverses à la surface (couche fine et uniforme ou marques épaisses et locales), la pression par unité de surface des plaquettes de friction calculée théoriquement ne donne pas une mesure certaine du risque associé à telle ou telle construction d'étauçon, bien qu'en principe le risque diminue généralement avec l'accroissement de la surface de contact.

Lorsqu'un corps d'acier tombe sur une surface plane en aluminium, il n'y a généralement pas inflammation parce que l'aluminium, moins dur, cède élastiquement sous le choc sans qu'il se détache de fines particules. Si, par contre, un choc rasant est donné par un pic le long d'une rallonge en aluminium ou qu'un choc vienne frapper perpendiculairement une arête vive d'une rallonge en aluminium, les conditions nécessaires à la production de poussières d'aluminium et, par là, à l'inflammation du grisou, se trouvent réalisées.

Le risque est particulièrement élevé si une surface d'acier dure et rugueuse est enduite d'un mince dépôt d'aluminium et que celui-ci est frappé par un outil d'acier.

L'aptitude des différents alliages à allumer le grisou est fonction de la dureté de leur surface; de ce caractère dépend la production plus ou moins grande de particules d'aluminium en combustion.

Par là, on comprend le rôle néfaste du magnésium et du silicium qui ont pour effet d'accroître la dureté de l'alliage.

Des essais plus récents exécutés à Derne et aux « Vereinigte Leichtmetallwerke » de Bonn montrent cependant qu'en dessous d'une certaine limite, relativement basse, l'influence ne joue que dans les limites de la dureté Brinell des corps en aluminium, de sorte qu'un alliage d'aluminium, de magnésium et de silicium de dureté 100 et renfermant une addition de béryllium s'est montré peu apte à enflammer le grisou.

On a photographié sur film en mouvement rapide ce qui se passe lors de l'impact.

Dans tous les cas de non-inflammation du grisou, on n'a obtenu aucune impression lumineuse sur les films, bien que les expérimentateurs aient discerné des étincelles.

La luminosité de ces étincelles inaptes à enflammer n'est donc pas suffisante pour laisser une impression sur le film.

Par contre, lors des essais donnant l'inflammation, le film enregistre les phénomènes lumineux suivants :

D'abord une lueur d'une durée de 15 à 20 milli-secondes, accompagnée d'étincelles, ensuite un nuage de poussières en combustion,

Vingt millisecondes après, quelques particules d'aluminium plus grosses se détachent sous forme d'étincelles du nuage de poussières.

Comme la flamme du grisou n'est pas suffisamment actinique, il n'est pas possible de déterminer à quel moment et à quel endroit elle prend naissance.

Conclusions.

1) L'inflammation ne peut se produire que si la surface et la structure du matériau sont telles que, sous le choc, il s'en détache des poussières très fines.

2) Lors de l'impact d'aluminium ou de magnésium sur de l'acier ou vice-versa, la présence de rouille, ayant absorbé de l'humidité, est nécessaire pour que s'amorce une inflammation de grisou.

3) La tendance à former des poussières est probablement augmentée par la corrosion de la surface de l'alliage léger; des essais doivent encore être réalisés à ce sujet.

4) L'énergie de choc spécifique, c'est-à-dire l'énergie par rapport à la surface frappée, doit être au moins suffisante pour qu'il y ait destruction du

matériau au point d'impact et que la chaleur développée soit assez élevée pour allumer les particules détachées.

Les expériences de chute de Derne ont été réalisées avec une énergie de 51 kgm ($17 \text{ kg} \times 3 \text{ m}$), mais il n'est pas possible de déterminer l'énergie spécifique de choc vu qu'on ne peut dire quelle est la surface de contact au moment de l'amorçage de l'inflammation.

5) Les auteurs finissent par cette conclusion pratique : « Par le choix d'alliages convenables d'aluminium et par la construction appropriée des étançons et des rallonges, il sera possible de maintenir le risque d'inflammation du grisou par étincelles d'aluminium dans des limites telles qu'il paraît justifié, en considération des autres avantages qu'il offre, de continuer à employer du matériel de soutènement en aluminium ».

Recherches relatives à la sécurité des lampes électriques portatives

par J. FRIPIAT et L. RUY (40)

Introduction.

Les recherches rapportées dans cette communication visent une forme particulière du risque d'inflammation du grisou par les lampes électriques portatives; elles mettent en cause non pas le filament, mais bien les électrodes-soutiens de ce filament.

A deux reprises, dans une mine grisouteuse du Bassin de Charleroi, une lampe est remontée du fond gravement avariée; le verre de protection, l'ampoule et son filament étaient brisés, les deux électrodes étaient en contact. Il s'agissait chaque fois d'une lampe à pot cylindrique avec accumulateur au plomb de 2 volts, du type représenté à la figure 54.

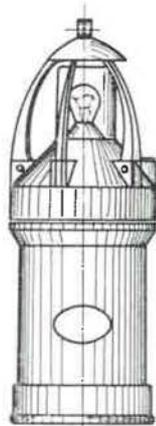


Fig. 54.

Une des lampes avariées a pu être examinée.

Le cylindre de verre avait disparu complètement sur la moitié de sa périphérie; de l'autre moitié, il ne restait que 30 mm environ de hauteur (la hauteur normale du cylindre est de 60 mm). Du verre

de l'ampoule, il ne subsistait qu'une calotte correspondant au quart de l'hémisphère inférieur. Le filament était brisé et les deux électrodes se touchaient près de leurs extrémités.

Lorsque la lampe est arrivée de la mine, on l'a introduite dans un mélange grisouteux à 8,75 % de méthane après avoir effectué la manœuvre d'allumage. Les électrodes étaient faiblement incandescentes; le courant, d'abord de 14 A, tombait rapidement à 10 A.

On a fait deux fois l'expérience sans obtenir l'inflammation.

On a donné ensuite à la batterie une charge de 27 Ah; cette fois, l'inflammation s'est produite sans délai, c'est-à-dire dès l'introduction de la lampe dans le mélange à 9 % de méthane.

Les électrodes se trouvaient alors à une température apparemment plus élevée que lors des premières expériences; à la fermeture du circuit, le courant atteignait d'ailleurs 20 A.

(Ces intensités ne sont évidemment qu'approximatives car pour les mesurer il fallait, après démontage de la lampe, appliquer des conducteurs, choisis aussi courts que possible, sur les bornes de l'accumulateur et sur les pièces de contact de la tête de lampe. Les indications de l'ampèremètre étaient vraisemblablement influencées par les contacts imparfaits du circuit de mesure).

Le bris simultané du verre de protection et de l'ampoule d'une lampe électrique portative entraîne donc un risque double d'inflammation; le grisou peut s'allumer au contact, soit du filament, soit des électrodes ou tiges-soutiens si celles-ci viennent à se toucher. Il y a lieu cependant d'observer que le filament incandescent est très fragile et qu'il brûle rapidement au contact de l'air; les électrodes, elles, sont plus résistantes, tant au choc qu'à l'oxydation.

L'action du filament incandescent sur un mélange grisouteux doit donc être différente de celle du court-circuit entre les électrodes.

(40) Communication n° 45 de l'Institut National des Mines de Belgique.

Les auteurs ont cherché à comparer les risques afférents, l'un à la mise à nu du filament, l'autre à la mise en contact des électrodes.

Le second peut être diminué par certaines dispositions, mais celles-ci agissent défavorablement sur le rendement lumineux des ampoules.

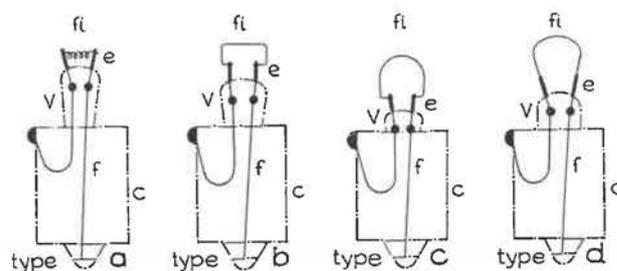
AMPOULES UTILISEES

Les ampoules utilisées provenaient des firmes CEAG, Luxor, Osram et Philips; elles seront désignées dorénavant par les lettres : C : C.E.A.G. -

L : Luxor - Os : Osram - P : Philips, suivies des caractéristiques figurant sur le culot de l'ampoule : tension (V) en volts, intensité (A) en ampères.

Suivant la longueur des électrodes, les auteurs les ont classées en deux catégories, soit :

- 1) en ampoules à électrodes courtes, c'est-à-dire d'une longueur du même ordre que leur écartement (fig. 55);



fl = filament e = électrodes v = verre
f = fils d'amenée du courant c = culot

Fig. 55.

- 2) en ampoules à électrodes longues, c'est-à-dire d'une longueur double au moins de leur écartement à la base (fig. 56).

Au tableau LXVII sont indiquées, pour chaque type d'ampoule, la disposition et les dimensions des électrodes, la section des fils amenant le courant aux électrodes.

TABLEAU LXVII

Désignation de l'ampoule	Disposition des filaments et électrodes	Electrodes		Fils d'amenée du courant aux électrodes diamètre (en mm)
		Ecartement (en mm)	Longueurs développées (en mm)	
P 2,6 V - 0,5 A	b	4	5	2 × 0,38
L 2 V - 0,85 A	b	3,5	3	2 × 0,38
Os 2 V - 0,9 A	b	4,5	3	2 × 0,28
P 2 V - 0,85 A	c	3,5	3,5	2 × 0,36
L 2 V - 1,25 A	d	3,5	3	2 × 0,38
L 2,5 V - 1,75 A	a	4,5	3	2 × 0,38
P 2,5 V - 2 A	d	3,5	3,5	2 × 0,32
P 2 V - 1 A	e	3,5	7	0,15 et 0,37
C 2,6 V - 1,75 A	e	5	9	2 × 0,35
C 2,5 V - 0,7 A	f	1,5 et 4,5	7 et 16	2 × 0,32
C 2,6 V - 1,2 A	f	»	»	2 × 0,30
alimentation par socket				
C 2,6 V - 1,2 A	f	»	»	2 × 0,46
alimentation par fils soudés au culot				
C 2,6 V - 1,5 A	f	»	»	2 × 0,32
alimentation par socket				
C 2,6 V - 1,5 A	f	»	»	2 × 0,46
alimentation par fils soudés au culot				
C 2,6 V - 1,75 A	f	»	»	2 × 0,32
P 2,6 V - 0,7 A	f	2 et 5	6 et 16	0,16 et 0,38
P 2,6 V - 0,9 A	f	»	»	»
P 2,6 V - 1,2 A	f	»	»	»
P 2,5 V - 1,25 A	f	»	»	»
P 2,6 V - 1,35 A	f	»	»	2 × 0,48
P 2,5 V - 1,5 A	f	»	»	0,16 et 0,38
P 2,5 V - 1,75 A	f	»	»	2 × 0,38

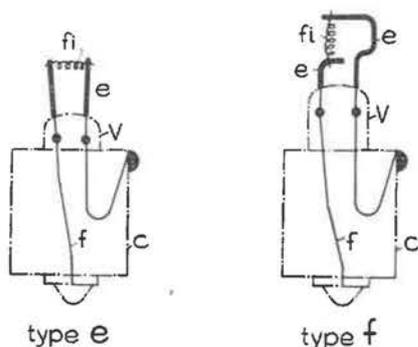


Fig. 56.

Dans certaines ampoules, ces fils ont des diamètres différents. Il y a ainsi, dans le circuit d'alimentation, une résistance supplémentaire qui limite le courant et peut parfois jouer le rôle d'un fusible de sûreté.

Pour les types C 2,6 V - 1,2 A et C 2,6 V - 1,5 A, il y a deux systèmes d'alimentation : l'ampoule reçoit le courant, soit directement par le socket, soit par des fils soudés au culot.

La seconde disposition est exécutée à la demande d'une firme belge dans le but d'éliminer les contacts imparfaits et de réduire ainsi la résistance totale du circuit.

INFLAMMATION PAR LE FILAMENT

Les essais ont été effectués avec le dispositif représenté à la figure 57.

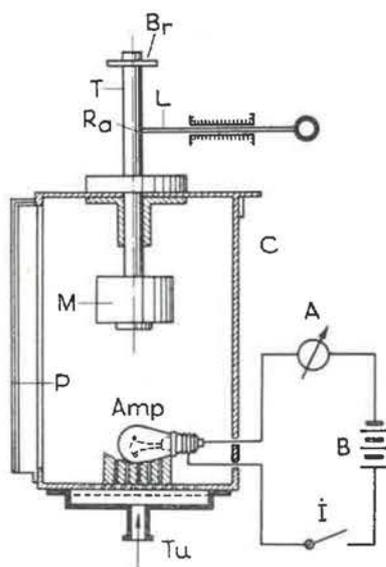


Fig. 57.

L'ampoule (Amp) est placée dans la cuve métallique (C) d'une capacité de 10 litres environ, recevant le mélange d'air et de grisou à 8,5-9,25 % de méthane par le tuyau (Tu).

Le courant est fourni par la batterie (B) et contrôlé par l'ampèremètre (A); le circuit comporte en outre un interrupteur (I).

La paroi antérieure de la cuve est constituée par une glace et la paroi latérale gauche par une feuille de papier (P).

Le bris du verre de l'ampoule est causé par le choc du mouton (M) guidé par la tige (T). Celui-ci est maintenu dans sa position supérieure par une lame (L) pénétrant dans une rainure (Ra) pratiquée dans la tige (T).

Après prélèvement du mélange pour analyse, on retire à la main la lame (L), le mouton (M) tombe, brise le verre, mais laisse le filament intact; une broche (Br) limite en effet la chute du mouton.

Pour tous les essais, on a pris soin d'utiliser une batterie fraîchement chargée présentant les caractéristiques de tension et de capacité appropriées à l'utilisation normale de l'ampoule.

Les résultats sont reportés au tableau LXVIII, dans lequel les types sont rangés dans l'ordre croissant des énergies consommées, celles-ci étant évaluées d'après les tensions et intensités figurant sur les culots des ampoules.

L'aptitude du filament à allumer le grisou est donnée en fréquence d'inflammation ou rapport du nombre d'inflammations au nombre d'ampoules brisées.

TABLEAU LXVIII

Ampoule	Fréquence d'inflammation
P 2,6 V - 0,5 A	3/8
L 2 V - 0,85 A	2/9
P 2 V - 0,85 A	1/5
C 2,5 V - 0,7 A	0/7
P 2,6 V - 0,7 A	0/9
O _s 2 V - 0,9 A	4/10
P 2 V - 1,0 A	1/9
P 2,6 V - 0,9 A	1/12
L 2 V - 1,25 A	1/7
C 2,6 V - 1,2 A	19/31
P 2,6 V - 1,2 A	2/10
P 2,5 V - 1,25 A	8/8
P 2,6 V - 1,35 A	2/9
P 2,5 V - 1,50 A	7/8
C 2,5 V - 1,5 A	7/8
C 2,6 V - 1,5 A	
alimentation par socket	7/7
alimentation par fils	10/10
C 2,6 V - 1,75 A	9/11

Ce tableau n'apprend rien de ce qui ne soit connu; il montre combien est grand le risque d'inflammation par le filament incandescent, surtout lorsque l'intensité du courant atteint ou dépasse 1,25 A.

INFLAMMATION PAR CONTACT DES ELECTRODES

Sur l'ampoule brisée, à l'aide d'une pince, on rapproche les deux électrodes jusqu'à les mettre en contact.

La position des électrodes varie évidemment avec leur longueur. Avec les électrodes courtes, on ne peut obtenir que le contact aux extrémités comme indiqué à la figure 58.



Fig. 58.

Le contact est relativement proche des points d'insertion des électrodes dans le verre (représenté en pointillé), ce qui est certainement favorable à la dissipation de la chaleur.

Aussi, aucun des essais effectués avec les électrodes courtes n'a donné lieu à inflammation du grisou.

Avec les électrodes longues, on a effectué le contact de façons diverses schématisées à la figure 59, soit :

- a. contact aux extrémités (schéma a);
- b. contact à mi-longueur de la grande électrode (schéma b);
- c. contact à la base de la petite électrode (schéma c);
- d. contact à la base de la grande électrode (schéma d);
- e. contact double (schéma e) ;
- f. contact par torsion des extrémités (schéma f).

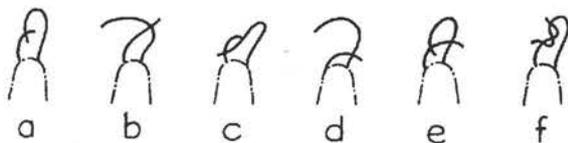


Fig. 59.

(On ne peut imaginer que les électrodes se rejoignent par torsion, si ce n'est pas le fait d'une volonté bien arrêtée de provoquer un court-circuit. Si nous avons procédé ainsi, c'était dans le but d'atteindre l'intensité maximum du courant de court-circuit).

L'ampoule ainsi préparée est introduite dans la cuve figure 57, puis raccordée au circuit d'alimentation. La cuve pourvue de la feuille de papier est alors remplie du mélange grisouteux.

Après réglage de la teneur en méthane, on ferme l'interrupteur.

Le courant atteint d'abord une valeur maximum qui dépend de la résistance ohmique du circuit et

de la résistance des contacts; il diminue ensuite du fait de l'accroissement de résistance causé par l'échauffement des électrodes et des conducteurs.

Si l'intensité du courant est suffisante, les électrodes sont portées à l'incandescence, celle-ci pouvant aller du rouge sombre au rouge blanc.

Le métal s'oxyde et peut même entrer en fusion aux points de contact; il en résulte, soit la suppression, soit la réduction du courant. Il arrive aussi que la fusion, améliorant le contact des électrodes, donne lieu à une augmentation passagère du courant.

Il est remarquable que la diminution de l'incandescence du métal et la réduction du courant ne sont pas toujours concomitantes.

Les électrodes, portées d'abord au rouge par un courant déterminé, peuvent rester telles avec un courant plus faible grâce à l'apport de chaleur résultant de l'oxydation locale du mélange grisouteux.

On verra que l'inflammation peut se produire à des époques différentes de l'expérience: lorsque les électrodes atteignent le maximum de température ou bien lors de la fusion ou de l'oxydation du métal.

C'est pour cette raison qu'on a prolongé chaque expérience jusqu'au moment où, par suite de l'épuisement de la batterie, l'incandescence des électrodes avait cessé ou était fortement réduite.

On utilisait toujours une batterie de capacité appropriée à l'utilisation normale de l'ampoule.

Dans le compte rendu des essais, les ampoules sont désignées par leurs caractéristiques; celles-ci sont suivies de la capacité en Ah de la batterie utilisée et du nombre d'essais effectués.

I_m est le courant de court-circuit lu à l'ampèremètre dès que l'aiguille atteint sa position d'équilibre; comme ce courant maximum varie pour les ampoules d'un même groupe d'essais, les auteurs en ont indiqué les valeurs extrêmes.

Ne sont mentionnées que les constatations dignes d'intérêt; sauf indication contraire, il faut comprendre que les essais n'ont pas donné lieu à inflammation du grisou.

1^{re} SERIE D'ESSAIS

On dispose de deux accumulateurs de chaque type; l'un est en charge pendant que l'autre est utilisé successivement pour l'essai d'inflammation par le filament et pour l'essai d'inflammation par contact des électrodes.

Le second accumulateur retourne ensuite au banc de chargement pendant que le premier est mis en service, et ainsi de suite.

Ampoules à électrodes courtes.

P 2,6 V - 0,5 A - 10 Ah (10 essais).

$I_m = 6$ à 9 A.

Les électrodes ne rougissent pas.

L 2 V - 0,85 A - 12 Ah (7 essais).

$I_m = 6$ à 12,5 A.

Pour un essai seulement, les électrodes ont atteint le rouge sombre; le courant était alors de 11 A. Une des ampoules a été alimentée ensuite par une batterie de 2,6 V. Cette fois, les électrodes ont été portées au rouge vif; le courant était alors de 18 A.

O_s 2 V - 0,9 A - 12 Ah (12 essais).

Les électrodes sont :

- rouge sombre au point de contact pour $I_m = 6,2$ A (2 essais);
- rouge sombre sur toute leur longueur pour $I_m = 6,5$ à 10,5 A (3 essais);
- rouges sur toute leur longueur pour $I_m = 10$ A (2 essais).

P 2 V - 0,85 A - 12 Ah (5 essais).

$I_m = 5,2$ à 7,6 A.

Pour deux essais seulement, les électrodes ont été portées à l'incandescence, soit :

- rouges au point de contact pour un courant décroissant de 7,6 à 5,4 A en 1 m;
- rouge sombre sur toute leur longueur alors que le courant décroît de 7,5 à 5,7 A.

L 2 V - 1,25 A - 12 Ah (7 essais).

$I_m = 10$ à 11,4 A.

Les électrodes sont rouge sombre sur toute leur longueur dans les cas suivants :

- courant décroissant de 11,4 à 8 A en 1 min.
- » » de 9,5 à 8 A en 30 sec.
- » » de 10,5 à 7,5 A en 30 sec.

Ampoules à électrodes longues.

P 2 V - 1 A - 12 Ah (9 essais).

1) Contact aux extrémités (fig. 59-a).

$I_m = 4,5$ à 7 A (7 essais).

Pour deux essais seulement, les électrodes sont incandescentes :

- rouges sur 3 mm près du point de contact, alors que le courant décroît de 7 à 5,2 A;
- rouge blanc au point de contact ($I_m = 5$ A).

2) Contact par torsion (fig. 59-f).

$I_m = 6,7$ A (1 essai).

Les électrodes sont rouge sombre.

C 2,5 V - 0,7 A - 10 et 16 Ah (8 essais).

1) Contact aux extrémités (fig. 59-a) (5 essais).

Cinq essais avec la batterie de 10 Ah.

$I_m = 7,3$ à 8,5 A.

Les électrodes sont rouge sombre sur toute leur longueur.

2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (fig. 59-b) (3 essais), soit :

2 essais avec la batterie de 16 Ah

($I_m = 9,3$ et 10 A);

1 essai avec la batterie de 10 Ah

($I_m = 9,3$ A).

Pour chaque essai, les électrodes sont rouge sombre.

C 2,6 V - 1,2 A - 16 Ah. Alimentation par socket.

1) Contact aux extrémités (6 essais).

$I_m = 10$ à 13 A.

Le courant décroît jusqu'à 7 A en 3 ou 4 min.

Les électrodes sont rouges.

2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (8 essais).

$I_m = 9,7$ à 12 A.

Les électrodes rougissent.

3) Les électrodes sont jointes par torsion (7 essais).

$I_m = 4,8$ à 15 A.

Les électrodes sont rouges (6 essais).

Pour un essai, elles ont atteint le rouge blanc et il y a eu inflammation 5 min 30 s après la fermeture du circuit, alors que le courant avait diminué lentement de 10,5 à 8 A.

C 2,6 V - 1,2 A - 16 Ah. Alimentation par fils soudés au culot (9 essais).

1) Contact aux extrémités (fig. 59-a) (4 essais).

$I_m = 12,4$ à 16,2 A.

Les électrodes sont rouge vif.

Pour deux ampoules, l'une des électrodes a été coupée par fusion ($I_m = 14,7$ et 14,4 A).

L'un de ces essais a causé l'inflammation du grisou ($I_m = 14,7$ A); celle-ci s'est produite quelques secondes après la fermeture du circuit.

La batterie venait du banc de charge et avait servi uniquement à faire l'essai d'inflammation par le filament.

2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (fig. 59-b) (2 essais) ($I_m = 14,5$ A).

Pour chaque essai, il y a fusion d'une des électrodes près du point de contact.

3) Contact de la grande électrode au point d'insertion de la petite électrode (fig. 59-c) (3 essais) ($I_m = 15$ A).

Les électrodes rougissent.

Pour une des ampoules, l'une des électrodes fond près du verre après 2 min 30 s.

C 2,6 V - 1,5 A - 20 Ah. Alimentation par socket (7 essais).

1) contact aux extrémités (1 essai).

$I_m = 8,5$ A.

Les électrodes rougissent.

2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (3 essais).

$I_m = 8,5$ à 9 A.

Pour deux essais, les électrodes rougissent.

3) Contact double près du verre (fig. 59-e) (3 essais) ($I_m = 13$ à 20 A).

Les électrodes sont rouge vif.

Pour un essai, il y a eu fusion de la grande électrode alors que le courant avait décré de 13 à 8 A.

C 2,6 V - 1,5 A - 20 Ah. Alimentation par fils soudés au culot (10 essais).

1) Contact aux extrémités (9 essais).

$I_m = 11$ à 15 A.

Les électrodes sont rouges.

Pour deux essais ($I_m = 13$ et 15 A), il y a eu fusion de la grande électrode toute de suite après la fermeture du circuit.

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (1 essai) ($I_m = 15$ A).

Les électrodes rougissent et l'une d'elles est coupée par fusion 30 s après la fermeture du circuit.

C 2,6 V - 1,75 A - 25 Ah (15 essais).

- 1) Contact aux extrémités (7 essais).

$I_m = 8$ à $12,4$ A.

Les électrodes sont rouge vif.

Un de ces essais a produit l'inflammation dès la fermeture du circuit; il n'a pas été possible de faire la lecture à l'ampèremètre.

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (2 essais) ($I_m = 8,4$ et $11,4$ A).

Les électrodes rougissent.

- 3) Contact double (fig. 59-e) (5 essais).

$I_m = 10$ à 13 A.

Les électrodes rougissent.

- 4) Contact par torsion (1 essai).

$I_m = 12,6$ A.

Les électrodes sont rouge blanc.

C 2,6 V - 0,7 A - 10 et 16 Ah (9 essais).

- 1) Contact aux extrémités (10 et 16 Ah) (4 essais)
 $I_m = 7,5$ à $9,2$ A.

Pour un essai seulement, les électrodes rougissent au point de contact ($I_m = 7,5$ A - 10 Ah).

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (10 Ah) (2 essais).

$I_m = 6,9$ et $7,5$ A.

Les électrodes ne rougissent pas.

- 3) Contact par torsion 16 Ah (3 essais).

$I_m = 6,2$ à $8,4$ A.

Les électrodes ne rougissent pas.

P 2,6 V - 0,9 A - 10 ou 16 Ah.

- 1) Contact aux extrémités 10 ou 16 Ah (4 essais).
 $I_m = 8$ à $9,5$ A.

Pour un essai seulement, les électrodes rougissent au point de contact ($I_m = 7,5$ A).

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (6 essais) ($I_m = 8,5$ à $11,8$ A).

Pour deux essais seulement, les électrodes rougissent.

Des quatre autres essais, il en est deux pour lesquels il y a eu interruption immédiate du courant par fusion du fil fin du culot.

P 2,6 V - 1,2 A - 16 Ah.

- 1) Contact aux extrémités (8 essais).

$I_m = 6,5$ à 9 A.

Pour deux essais seulement, les électrodes ont rougi.

Des six autres essais, il en est quatre pour lesquels il y a eu interruption immédiate du courant par fusion du fil fin du culot.

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (2 essais).

Pour l'un des essais, les électrodes rougissent ($I_m = 8,5$ A).

Pour le second essai, le courant est interrompu par la fusion d'un fil du culot; l'ampèremètre a indiqué 6,5 A, mais il y a lieu de croire que l'aiguille n'avait pas atteint sa position d'équilibre.

P 2,6 V - 1,25 A - 16 Ah.

- 1) Contact aux extrémités (3 essais).

$I_m = 7$ à 10 A.

Les électrodes n'ont pas rougi, mais pour un des essais il y a, dès la fermeture du circuit, fusion du fil fin du culot.

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (1 essai) ($I_m = 7$ A).

Les électrodes rougissent.

P 2,6 V - 1,35 A - 20 Ah.

- 1) Contact aux extrémités (5 essais).

$I_m = 7,5$ à $14,5$ A.

Les électrodes rougissent près du point de contact pour $I_m = 7,2$ à $11,5$ A (2 essais), sur toute leur longueur pour $I_m = 14,5$ A (1 essai).

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (4 essais).

Les électrodes rougissent près du contact pour $I_m = 9,8$ et $10,8$ A, sur toute leur longueur pour $I_m = 10$ A.

P 2,5 V - 1,5 A - 20 Ah.

- 1) Contact aux extrémités (6 essais).

$I_m = 7,2$ à $14,5$ A.

Les électrodes sont :

— rouges sur toute leur longueur pour $I_m = 9$ à $10,4$ A (3 essais);

— rouge blanc au point de contact pour $I_m = 8,8$ A (1 essai).

— rouge sombre pour $I_m = 7,7$ et $8,1$ A (2 essais).

- 2) Contact à mi-longueur de la grande électrode (2 essais) ($I_m = 9,5$ et 10 A).

Les électrodes sont rouges pour $I_m = 9,5$ A.

Pour $I_m = 10$ A, il y a rupture d'une des électrodes près du verre.

On a donc observé trois inflammations; elles ont été produites, l'une par des électrodes jointes par torsion, les deux autres par des électrodes se touchant en un point voisin des extrémités et il s'agissait alors des types :

C 2,6 V - 1,2 A

C 2,6 V - 1,75 A.

Il est remarquable que les ampoules Philips à longues électrodes n'ont pas allumé.

Pour certaines, il faut voir en cela l'influence du fil fin du culot (0,16 mm) qui atténue l'échauffement des électrodes; ce fil limite en effet, soit l'intensité, soit la durée du courant de court-circuit.

C'est le cas des types suivants :

- P 2,6 V - 0,7 A
- P 2 V - 1 A
- P 2,6 V - 0,9 A
- P 2,6 V - 1,2 A
- P 2,5 V - 1,25 A
- P 2,5 V - 1,5 A.

2^e SERIE D'ESSAIS

On dispose de cinq accumulateurs de 2,6 volts 25 Ah et de deux accumulateurs de 2 volts 12 Ah.

En dehors de l'essai de court-circuit des électrodes, qui lui absorbe un courant assez élevé, ces accumulateurs fonctionnent comme en service normal, c'est-à-dire subissent des charges et décharges alternées en rapport avec leur capacité, les décharges se faisant sur une ampoule appropriée.

L'essai d'inflammation par contact des électrodes est effectué après le chargement, avant toute décharge de l'accumulateur.

La teneur en méthane des mélanges grisouteux varie de 7 à 7,5 %.

Ampoules à électrodes courtes.

Comme précédemment, on fait le contact des électrodes près de leurs extrémités, le seul possible.

L 2 V - 0,85 A - 12 Ah (5 essais).

$I_m = 11$ à 14,5 A.

Pour trois ampoules seulement, les électrodes atteignent le rouge sombre.

L 2,5 V - 1,75 A - 25 Ah (6 essais).

$I_m = 12$ à 15,6 A.

Les électrodes sont rouges.

Le courant se maintient à sa valeur maximum pendant 2 ou 3 secondes, puis le circuit est interrompu par fusion d'un des fils d'amenée du courant. (Le diamètre de ce fil est de 0,38 mm).

P 2,5 V - 2 A - 25 Ah (5 essais).

$I_m = 11,8$ à 12 A.

Le courant se maintient à sa valeur maximum pendant 2 à 3 s et les électrodes sont rouges.

Il y a interruption du courant : deux fois par fusion d'une des électrodes et trois fois par oxydation du métal. (Rappelons que le diamètre des électrodes est de 0,32 mm).

Ampoules à électrodes longues.

P 2,5 V - 1,25 A - 25 Ah (4 essais).

Contact des électrodes aux extrémités.

Chaque fois, il y a fusion instantanée du fil fin du culot, d'où impossibilité de lire le courant maximum (I_m).

C 2,6 V - 1,2 A 25 Ah. Alimentation par socket (3 essais).

Contact aux extrémités. $I_m = 13,6$ à 14 A.

Pour chaque essai, il y a fusion de la grande électrode et *inflammation du grisou*. Celle-ci se produit de 2 à 3 s après la fermeture du circuit.

C 2,6 V - 1,2 A - 25 Ah. Alimentation par fils soudés au culot (3 essais).

Contact au milieu de la grande électrode.

Pour les trois ampoules, il y a fusion d'une des électrodes.

Un essai donne lieu à *inflammation du grisou* le courant est alors de 16 A.

C 2,6 V - 1,75 A (électrodes figure 56, type e), 25 Ah (5 essais).

1) Contact aux extrémités (4 essais).

$I_m = 11,8$ à 18 A.

Les électrodes sont rouges.

Pour deux ampoules, il y a eu fusion d'une des électrodes et *l'une de ces ampoules a allumé le grisou*.

2) Contact par torsion (1 ampoule) ($I_m = 18$ A).

Les électrodes sont rouge blanc et *allument le grisou* après 2 s ; le courant est alors de 16 A.

P 2,5 V - 1,75 A - 25 Ah (44 essais).

(Ainsi qu'il est indiqué au tableau LXVII, les deux fils du culot sont de même diamètre : 0,38 mm).

On brise 44 ampoules et on met les électrodes en contact à leurs extrémités.

1) Trois essais sont effectués avec un accumulateur ayant reçu une charge inférieure à la charge normale.

Les électrodes sont rouge sombre.

On maintient le circuit fermé pendant 1 min 30 s.

2) Quarante et un essais sont effectués avec des accumulateurs normalement chargés.

Le courant maximum de court-circuit (I_m) varie de 17 à 24 A.

Les électrodes sont rouge vif sur toute leur longueur, rouge blanc même aux points de contact.

a) Un de ces essais donne lieu à *l'inflammation du grisou*; celle-ci se produit 3 s après la fermeture du circuit, alors que le courant est de 18 A. (La teneur en méthane est de 7,25 %). La tension à vide de l'accumulateur avant l'essai était de 2,95 V et à la fermeture du circuit l'intensité atteignait 20 A.

b) Pour quarante essais, il y a interruption du courant après un délai de 10 s à 1 min 10 s, alors que le courant est compris entre 15 et 17 A.

Cette interruption est causée, soit par la déformation des électrodes (5 essais), soit par la rupture d'une des électrodes près du verre, au point de soudure avec le fil d'amenée du courant (35 essais).

Ainsi qu'il a été observé lors des essais de la première série, les ampoules Philips avec fil fin dans le culot (P 2,5 V - 1,25 A) n'ont pas allumé. Les ampoules P 2,5 V - 1,75 A n'ont donné qu'une

inflammation sur quarante-quatre essais malgré l'intensité élevée du courant de court-circuit.

Ces résultats favorables sont dus sans aucun doute à la fusion, soit du fil fin du culot, soit de la soudure des électrodes.

3^e SERIE D'ESSAIS

Pour cette série, on a utilisé uniquement des ampoules C 2,6 V - 1,5 A, alimentation par socket et cinq accumulateurs de 2,6 V - 25 Ah.

On procède comme pour les essais de la deuxième série, sauf que l'essai d'inflammation par les électrodes est effectué avec une batterie partiellement déchargée sur une ampoule de 1,75 A.

Pour chaque essai, les électrodes sont mises en contact à leurs extrémités.

- 1) La batterie est déchargée pendant une heure (donc décharge 1,75 Ah).

Vingt-six essais : $I_m = 7,8$ à 15 A.

Les électrodes sont rouge vif sur toute leur longueur, rouge blanc aux points de contact. Pour trois essais, il y a eu fusion de la grande électrode. Douze essais ont donné lieu à inflammation; celle-ci s'est produite de 3 à 5 s après la fermeture du circuit. Une des inflammations a coïncidé avec la fusion de l'électrode.

- 2) La batterie est déchargée pendant deux heures (décharge de 3,5 Ah).

Neuf essais : $I_m = 7,8$ à 14 A.

Les électrodes rougissent comme pour les essais de la série précédente.

Pour trois essais, il y a eu fusion de la grande électrode. Quatre essais ont donné lieu à inflammation du grisou et celle-ci s'est produite

de 3 à 6 s après la fermeture du circuit.

L'une des inflammations a coïncidé avec la fusion (deux fusions n'ont donc pas causé l'inflammation).

CONSIDERATIONS SUR LES ESSAIS D'INFLAMMATION

Le risque d'inflammation par le filament croît comme l'intensité du courant nominal de l'ampoule; on voit en effet que les fréquences d'inflammation les plus grandes figurent au bas du tableau LXVIII et correspondent aux consommations atteignant ou dépassant 1,25 A.

Sur les dix-sept types d'ampoules soumis à l'essai de rupture en atmosphère grisouteuse, deux seulement n'ont pas produit l'inflammation; ce sont les types :

C 2,5 V - 0,7 A
P 2,6 V - 0,7 A

de consommation relativement réduite et dont sept et neuf spécimens seulement ont été essayés.

Si l'on considère maintenant l'essai d'inflammation par contact des électrodes, on constate d'abord qu'il n'y a pas inflammation par les électrodes courtes, quelle que soit l'origine de l'ampoule, ce qui est dû sans aucun doute à l'évacuation des calories, d'autant plus active que le point de contact est proche du socle de verre.

Avec les ampoules à électrodes longues, on a enregistré vingt-quatre inflammations.

Au tableau LXIX, les fréquences d'inflammation sont indiquées pour chaque type d'ampoule et pour les différents modes de contact. (Ces derniers sont notés 59a, 59b... et correspondent aux schémas de la figure 59).

TABLEAU LXIX

Fréquences d'inflammation pour différents modes de contact

Ampoule	Mise en contact			
	59-a	59-b	59-c	59-e
<i>Première série</i>				
C 2,6 C - 1,2 A - 16 Ah	1/10	0/10	0/3	
C 2,6 V - 1,5 A - 20 Ah	0/10	0/4		0/3
C 2,6 V - 1,75 A - 25 Ah	1/7	0/2		0/5
<i>Deuxième série</i>				
C 2,6 V - 1,2 A - 25 Ah	3/5	1/3		
C 2,6 V - 1,75 A - 25 Ah	1/4			
P 2,5 V - 1,75 A - 25 Ah	1/44			
<i>Troisième série</i>				
C 2,6 V - 1,5 A - 25 Ah	16/35			

Si l'on compare ces résultats à ceux obtenus lors des essais de rupture d'ampoules en atmosphère grisouteuse, on doit conclure que le danger des lampes électriques portatives réside pour la plus grande part dans la mise à l'air libre du filament incandescent.

Dans des conditions identiques d'alimentation, la fréquence d'inflammation par le filament est de loin supérieure à celle causée par les électrodes incandescentes; de plus, il faut des circonstances tout à fait spéciales pour qu'après la destruction simultanée du cylindre (en verre), de l'ampoule et de son filament, les deux électrodes entrent en contact.

A ce propos, on n'a pu expliquer comment cette mise en contact s'était produite sur les deux lampes saisies au charbonnage, incident signalé au début de cette note.

Les essais effectués sur la lampe avariée venue du charbonnage semblaient montrer que l'inflammation par les électrodes n'était possible qu'avec une batterie fraîchement chargée; des essais de la troisième série, il ressort que le risque d'inflammation subsiste après des décharges modérées de 1,75 et 3,5 Ah.

Mais parmi les lampes à longues électrodes, il en est qui n'ont pas allumé, c'est le cas des ampoules Philips déjà énumérées à la suite des essais de la première série.

Avec les ampoules P 2,5 V - 1,75 A, c'est la fusion à la soudure des électrodes qui diminue la fréquence d'inflammation (une inflammation pour quarante-quatre essais).

C'est ici que les expérimentateurs se sont demandé si cette amélioration de la sécurité contre le risque d'inflammation par les électrodes n'allait pas de pair avec un affaiblissement du rendement lumineux de l'ampoule; là est la raison des mesures photométriques rapportées au chapitre suivant.

MESURES PHOTOMETRIQUES

Pour la détermination de l'énergie lumineuse, on a employé une sphère photométrique de 7,5 cm de rayon de la Société Philips.

Dans cette sphère se trouvent l'ampoule à expérimenter et une cellule photométrique, la première au centre et la seconde dans la paroi même de la sphère. La cellule, soustraite par un écran au rayonnement direct de l'ampoule, débite un courant qui est fonction de l'énergie lumineuse totale émise par le filament et diffusée uniformément dans la sphère.

Les circuits électriques de mesure sont représentés au schéma figure 60.

L'ampoule a est alimentée par une batterie B₁ dont le débit est réglé par la résistance R₁. La cellule C (protégée par l'écran E) est connectée à un galvanomètre G shunté pendant le réglage par

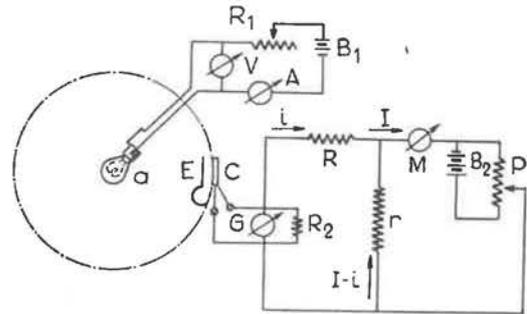


Fig. 60.

une résistance d'amortissement R₂. Ce circuit est shunté lui-même par un autre plus compliqué comportant des résistances R, r, un milliampèremètre M, une batterie B₂ et un potentiomètre P.

Lorsque l'ampoule est alimentée, on règle le potentiomètre jusqu'à suppression du courant dans le galvanomètre. La cellule débite alors, en court-circuit, un courant qui est directement proportionnel à l'énergie lumineuse reçue. Les courants I et i figurés sur le schéma par des flèches et représentant respectivement le débit de la cellule et l'intensité indiquée par le milliampèremètre, obéissent alors à la relation :

$$iR - (I - i) r = 0$$

$$\text{ou } I = i [(R + r)/r]$$

soit, dans le cas du schéma : I = 101 i.

On réalise donc ainsi une amplification importante du courant débité par la cellule, le courant amplifié I étant lu au milliampèremètre M.

La tension et l'intensité du courant de l'ampoule sont mesurées par le voltmètre V et l'ampèremètre A.

L'appareil a été étalonné à l'aide d'ampoules types photométrées par les soins de la Société Philips. Les résultats d'étalonnage mis en graphique montrent que le courant lu au milliampèremètre croît linéairement avec l'énergie lumineuse; à 5 décalumens correspond un courant de 9,75 milliampères.

Les résultats des mesures sont indiqués au tableau LXX, dans lequel sont classées séparément les ampoules à électrodes courtes et celles à électrodes longues.

TABLEAU LXX

Désignation	Type d'ampoule		Nombre d'ampoules essayées	Rendement moyen en lumens par watt
	électrode et filament	remplissage		
<i>Ampoules à électrodes courtes</i>				
P 2,6 V - 0,5 A	b	vide	3	5,80
O 2 V - 0,9 A	b	id.	6	5,08
L 2,6 V - 1,75 A	a	id.	5	6,23
<i>Ampoules à électrodes longues</i>				
C 2,5 V - 0,7 A	f	gaz	3	6,65
C 2,6 V - 1,2 A				
alimentation par socket	f	id.	3	9,35
alimentation par fil	f	id.	3	9,77
C 2,6 V - 1,5 A				
alimentation par socket	f	id.	3	9,70
alimentation par fil	f	id.	2	9,76
P 2,6 V - 0,7 A	f	id.	3	6,65
P 2,6 V - 0,9 A	f	id.	5	7,01
P 2,6 V - 1,2 A	f	id.	3	6,95
P 2,5 V - 1,25 A	f	id.	3	7,20
P 2,5 V - 1,35 A	f	vide	3	6,83
P 2,6 V - 1,5 A	f	gaz	3	7,80
P 2,5 V - 1,75 A	f	id.	9	8,39

Toutes les ampoules, sauf celles P 2,5 V - 1,75 A (les dernières du tableau), ont été essayées sous la tension nominale (tension indiquée sur le culot de l'ampoule).

Les ampoules P 2,5 - 1,75 A ont été alimentées sous 2,6 V (tension nominale 2,5 V).

On voit que le rendement lumineux des ampoules à électrodes longues est supérieur à celui des ampoules à électrodes courtes.

Parmi les premières, celles qui ont le rendement le plus élevé sont les ampoules C.E.A.G. de tous types et les ampoules Philips 2,5 V - 1,75 A.

Lors des essais d'inflammation par les électrodes incandescentes, les premières ont allumé le grisou 23 fois sur 99 essais, les secondes 1 fois sur 44 essais.

Au cours des mêmes essais, on n'a pas enregistré d'inflammation avec les ampoules Philips P 2,6 V - 0,7 A - 0,9 A - 1 A - 1,2 A - 1,25 A - 1,35 A - 1,5 A, dont le rendement lumineux est inférieur à celui des ampoules C.E.A.G. Toutes ces ampoules, sauf le type à 1,35 A, renferment un fil fin dans le culot.

RESUME

Le bris d'une ampoule de lampe portative en atmosphère grisouteuse peut conduire aux faits suivants :

- 1) Le filament reste intact et incandescent, donnant lieu ainsi à un risque d'inflammation généralement élevé mais variable avec le courant consommé par l'ampoule.
- 2) Les électrodes sont rapprochées l'une de l'autre jusqu'à entrer en contact.

Il est alors indifférent que le filament soit brisé ou non; celui-ci en effet ne reste pas incandescent puisque le courant est ou bien interrompu ou bien réduit par suite du contact des électrodes.

Celles-ci atteignent une température plus ou moins élevée qui dépend de leurs dimensions et de la capacité de la batterie.

Les électrodes courtes n'allument pas le grisou; par contre, les électrodes longues produisent l'inflammation à une fréquence relativement élevée.

L'insertion d'un fil fin, faisant office soit de fusible soit de résistance additionnelle dans le circuit d'alimentation de l'ampoule, élimine le risque d'inflammation par les électrodes longues, mais cette disposition occasionne une réduction du rendement lumineux.

Néanmoins, il n'est pas exclu qu'on ne puisse imaginer certains artifices qui améliorent la sécurité sans affecter beaucoup le rendement lumineux : les ampoules Philips 2,5 V - 1,75 A semblent le démontrer (1 inflammation sur 44 essais - 8,39 lumens par watt).