

Recherches sur l'inflammation du grisou par le filament des lampes électriques portatives

Note de M. Joseph FRIPIAT,
Ingénieur principal des Mines,
Attaché à l'Institut National des Mines à Pâturages.

Introduction.

Les lampes électriques portatives jouissent actuellement vis-à-vis des lampes à flamme d'une prédominance qui se justifie par de nombreux avantages : flux lumineux nettement supérieur, possibilité de concentration de ce flux dans un cône étroit par des réflecteurs appropriés, insensibilité complète dans les courants d'air grisouteux de grande vitesse, facilités d'entretien et de rallumage, même en milieu grisouteux.

Si maintenant on se place au point de vue de la vulnérabilité des organes, on constate que les deux systèmes d'éclairage sont équivalents. Ils présentent tous deux, en effet, l'inconvénient d'un organe fragile : le verre protégeant soit la flamme, soit l'ampoule lumineuse.

Dans une lampe à huile ou à benzine, le bris du verre permet l'accès direct de l'atmosphère ambiante sur la flamme, ce qui crée un danger immédiat si l'air renferme du grisou.

Pour une lampe électrique, le risque d'inflammation dépend de la réalisation simultanée de trois conditions, à savoir : bris du verre de protection, bris de l'ampoule, non destruction du filament.

Cette concomitance est possible, mais on conçoit aisément qu'elle doit être d'une réalisation hasardeuse dans la pratique, ce qui constitue certainement un appoint sérieux en faveur de la sécurité des lampes électriques.

Il reste alors à savoir si le contact du filament incandescent avec une atmosphère grisouteuse sera toujours suivi d'inflammation.

Cette question fut âprement controversée jadis et les recherches s'y rapportant conduisirent à des résultats qu'il nous paraît intéressant de rappeler.

Mais avant d'aborder les travaux relatifs à l'inflammation par les filaments des lampes électriques, parlons d'abord des essais effectués sur les fils incandescents.

Inflammation du grisou par les fils incandescents.

Les recherches sur l'inflammation du grisou par les fils incandescents sont intéressantes parce qu'elles permettent, comme nous le rappellerons plus tard, de départager l'influence des facteurs intervenant dans l'inflammation par le filament des lampes électriques.

En examinant les résultats déconcertants auxquels ces recherches ont conduit, on verra comment des constatations apparemment bien établies peuvent être mises en doute après modification du procédé expérimental.

Davy (1), l'inventeur de la première lampe de sûreté, avait déjà constaté qu'un fil de fer de 0,63 mm. de diamètre, porté au rouge cerise, enflammait un jet d'hydrogène, mais que sa température devait atteindre le rouge blanc pour qu'il y ait inflammation du grisou; qu'un fil de fer de 0,05 mm. devait être porté au rouge blanc pour enflammer l'hydrogène.

Les constatations de l'illustre physicien anglais montrent que l'inflammation d'un gaz exige une température d'autant plus élevée que le diamètre du fil incandescent est plus petit.

Ultérieurement, soit vers 1885, des recherches analogues furent entreprises par deux professeurs allemands, Wüllner et Lehmann (2).

Ces expérimentateurs faisaient circuler le mélange inflammable au contact du fil porté au préalable à une température déterminée et réglable à volonté. Leurs constatations peuvent se résumer comme suit :

- 1°) La température nécessaire pour l'inflammation est d'autant moins élevée que le diamètre du fil est plus grand;
- 2°) Les mélanges grisouteux ne sont pas enflammés par les fils d'argent même portés à leur point de fusion, mais bien par les fils de cuivre au moment de leur rupture par fusion;

(1) WURTZ. Dictionnaire de Chimie — combustion.

(2) Anlagen Zum Haupt-Berichte der Preussischen Schlagwetter-Commission. Volume III. Année 1886. Editeur Ernst et Korn, à Berlin.

3°) Les fils de platine de 0,15 mm. de diamètre peuvent fondre dans un mélange renfermant plus de 9 % de méthane sans qu'il y ait inflammation; celle-ci, au contraire, se produit dans les mélanges renfermant 8,5 % ou moins de méthane;

4°) Les fils de platine de 0,5 mm. de diamètre enflamment plus facilement le mélange à 7 % que celui à 10 % de méthane; en d'autres termes, la température du fil ne doit être que de 1.480° dans le premier cas et atteindre 1.700° dans le second;

5°) Les fils de platine de 0,95 mm. de diamètre enflamment le mélange à 7 % de méthane lorsque sa température est de 1.170°, c'est-à-dire légèrement supérieure à la température de fusion du cuivre;

6°) Les fils de fer de 0,75 mm. de diamètre enflamment les mélanges grisouteux plus difficilement que le platine, c'est-à-dire à des températures plus élevées.

Ces expériences font ressortir clairement l'influence de la nature du métal (le platine enflamme plus facilement que le fer), celle du diamètre du fil (le fil de platine de 0,95 mm. enflamme à une température plus basse que celui de 0,5 mm.) et celle de la teneur du mélange (inflammation plus aisée des mélanges renfermant moins de 8,5 % de méthane).

La possibilité d'inflammation des mélanges grisouteux par les fils incandescents était donc bien établie, quand deux expérimentateurs français, Couriot et Meunier, contestèrent le fait dans une communication présentée au Congrès des Mines tenu à Liège du 25 juin au 1^{er} juillet 1905.

Le procédé expérimental de Couriot et Meunier consistait à rendre incandescent, par le courant électrique, un fil métallique placé au sein d'un atmosphère grisouteuse à 9,5 % de méthane. Le mélange gazeux se trouvait dans une éprouvette renversée sur une cuve à eau.

Ultérieurement, Hauser (1), Professeur à l'École des Mines de Madrid, qui avait procédé à des expériences analogues, expliqua les constatations négatives de Couriot et Meunier par la teneur en méthane du mélange utilisé.

(1) HAUSER. Leçons sur le grisou, 1908. — M. Denoël, Professeur émérite du Cours d'exploitation des Mines à l'Université de Liège publia un compte rendu des expériences d'Hauser dans le tome XII (Année 1907), pages 1984 et suivantes des *Ann. des Mines de Belgique*.

Dans un mélange à 9,5 % de méthane, l'oxydation superficielle du métal fait baisser la teneur en oxygène et le mélange devient ainsi ininflammable au voisinage même du fil.

Les mélanges moins riches en méthane et par conséquent plus riches en oxygène, restent au contraire inflammables, malgré leur désoxygénation partielle.

Au cours de leur communication, Couriot et Meunier contestèrent même la possibilité de l'inflammation du grisou par les filaments des ampoules électriques.

Leur procédé expérimental était le suivant : le mélange à 9,5 % de méthane était amené au contact du filament par un tube de verre soudé à la pointe de l'ampoule.

Les expériences furent réalisées sur des ampoules de 10 bougies fonctionnant aux tensions de 15, 30, 60, 80 et 110 volts. Une fois seulement, il y eut inflammation du mélange, et encore, ce fut dans une lampe dont le filament était coupé et dans laquelle des étincelles jaillissaient au point de rupture.

Mais avant de continuer notre exposé, rappelons que parmi les facteurs intervenant dans l'inflammation du grisou par les fils incandescents figure la température du métal; celle-ci est conditionnée par trois phénomènes :

- a) L'effet Joule ou échauffement du conducteur dû au passage du courant;
- b) La combustion locale du mélange au contact du fil;
- c) L'oxydation du métal au dépens de l'oxygène présent dans le mélange.

Dans le but de départager les rôles des deux premiers phénomènes et du troisième, les expérimentateurs du Safety in Mines Research Board étudièrent successivement l'inflammation par les fils de platine, puis l'inflammation par les fils de tungstène.

Dans l'air chaud, le platine ne s'oxyde que très lentement, le tungstène beaucoup plus rapidement.

Les expériences anglaises sont relatées dans le Bulletin 36 (année 1927) du S. M. R. B. : « The ignition of gases by hot wires ».

Le procédé expérimental adopté était le suivant :

Le fil était tendu suivant l'axe d'un cylindre de verre d'une capacité de 1.100 cm³, dont les extrémités étaient fermées par des bouchons de caoutchouc livrant passage aux connexions et aux tubulures d'amenée et d'évacuation du mélange.

Après introduction du mélange, on lançait brusquement dans le fil le courant d'une batterie d'accumulateurs, dont le débit avait été réglé au préalable par une résistance non inductive.

On observait s'il y avait ou non inflammation.

Par tâtonnements, on déterminait le courant minimum (igniting current) donnant l'inflammation.

Dans ce qui suit, nous résumons les résultats obtenus ainsi que les déductions que les expérimentateurs en ont tirées.

A. — Fils de platine.

a) Fil de 0,1 mm. de diamètre (ce fil fond dans l'air sous un courant de 1,95 ampère).

Tous les mélanges renfermant de 4,55 à 7,5 % de méthane s'enflamment pour un courant de 1,65 ampère.

L'inflammation du mélange à 8,1 % nécessite un courant de 1,7 ampère. Les mélanges renfermant 8,25 % et plus de méthane ne sont pas enflammés.

Dans ces mélanges, il y a fusion du fil pour un courant de 1,65 ampère;

b) Fil de 0,2 mm. (fond dans l'air sous un courant de 5 ampères).

Tous les mélanges renfermant de 4,55 à 14,40 % de méthane s'enflamment pour un courant de 4,2 ampères sans qu'il y ait fusion du fil.

Le mélange à 14,65 % de méthane ne s'enflamme pas;

c) Fil de 0,3 mm. (fond dans l'air sous un courant de 8,1 ampères).

Les mélanges renfermant de 4,5 à 15,20 % de méthane s'enflamment pour un courant de 6,6 ampères.

On remarque que le fil de 0,1 mm. de diamètre enflamme une gamme de mélanges moins étendue que celles correspondant aux fils de 0,2 et 0,3 mm. On voit aussi que l'écart entre le courant amenant la fusion dans l'air et celui donnant l'inflammation des mélanges est moindre pour le fil de 0,1 que pour les deux autres (1,95-1,65 pour le fil de 0,1 mm., 5-4,2 pour le fil de 0,2 mm.).

Les expérimentateurs en ont conclu qu'un fil d'un diamètre légèrement inférieur à 0,1 mm. pourrait ne pas enflammer le grisou.

Mais si la température régnant au voisinage du fil est un facteur positif, il y a aussi des facteurs négatifs à envisager : ce sont la convection et le retard à l'inflammation.

Si les mouvements de convection se produisant au sein de la masse gazeuse sont tels que la durée de contact du gaz avec le métal incandescent est inférieure au retard à l'inflammation, le fil n'allumera pas le mélange et pourra même se rompre par fusion sans qu'il y ait inflammation.

C'est pour contrecarrer l'effet de la convection que les expérimentateurs ont adopté ce procédé expérimental consistant à lancer le courant brusquement sur le fil placé au sein même du mélange.

L'influence de la convection et par conséquent celle de la durée de contact ressortent des expériences comparatives effectuées avec un fil incandescent disposé tantôt horizontalement, tantôt verticalement. Pour un fil de 0,2 mm., l'intensité du courant donnant l'inflammation est 4,2 ampères pour la position horizontale, 3,9 ampères pour la position verticale.

La durée du contact des molécules gazeuses avec le fil est évidemment plus grande lorsque celui-ci est placé verticalement.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, le fil de 0,1 mm. n'a pas enflammé les mélanges renfermant plus de 8,25 % de méthane.

Les expérimentateurs anglais expliquent cette singularité par les considérations suivantes :

La chaleur dégagée par la combustion initiale du mélange au contact du fil incandescent est maximum pour la teneur de 9,45 % de méthane (cette teneur répond en effet aux proportions relatives d'air et de méthane de la combustion théorique).

A cette teneur correspond également le maximum de température au voisinage du fil incandescent. Donc, pour les mélanges de teneur inférieure ou supérieure à 9,45 %, la température du fil est moins élevée et les mouvements de convection sont moins prononcés.

Par contre, le retard à l'inflammation et la température de réaction (température à partir de laquelle le mélange entre en combustion) sont sans cesse croissants avec la teneur.

Les mélanges à faible teneur, c'est-à-dire ceux renfermant moins de 8,25 %, s'enflamment donc au contact du fil de 0,1 mm. parce que le retard à l'inflammation et la température de réaction sont relativement réduits et par conséquent favorables à l'inflammation malgré la déficience de température du fil. Les mélanges riches en méthane, au contraire, ne s'enflamment pas parce que le retard à l'inflammation et la température de réaction sont plus élevés qu'aux

faibles teneurs; l'influence de ces deux facteurs défavorable à l'inflammation est déjà prépondérante dès la teneur de 9,45 %, à laquelle correspond cependant le maximum de température du fil.

Quoi qu'il en soit, le fait le plus saillant mis en lumière par les expériences anglaises est que les fils de platine incandescents enflamment une gamme de mélanges grisouteux d'autant plus réduite que leur diamètre est plus faible; un fil ayant moins de 0,1 mm de diamètre pourrait donc ne plus enflammer le grisou.

B. — Fils de tungstène.

Par le fait de l'oxydation, un fil incandescent de tungstène dégage plus de chaleur qu'un fil de platine.

Les courants minima donnant l'inflammation par les fils de tungstène sont indiqués dans le tableau I.

TABLEAU I.

Fils de 0,1 mm.		Fils de 0,065 mm.	
Teneur en méthane en %	Intensité du courant en amp.	Teneur en méthane en %	Intensité du courant en amp.
6,00	1,68	6,25	1,07
7,05	1,60	6,95	1,05
8,40	1,56	7,90	1,04
9,45	1,58	9,70	1,06
10,65	1,64	11,05	1,11
11,35	1,80	12,30	1,18
13,50	> 2,00	13,60	1,28

On voit que les fils de tungstène enflamment toute la gamme des mélanges renfermant de 6 à 13,5 % de méthane et que le courant donnant l'inflammation passe par un minimum lorsque la teneur est voisine de 8 %.

Lorsqu'on fait circuler un courant de 1,85 ampère dans un fil de tungstène de 0,1 mm. de diamètre, placé dans l'air pur, la surface du métal s'oxyde et sa section diminue progressivement; de ce fait, la résistance au passage du courant augmente et la température du fil s'élève jusqu'à ce que finalement le métal brûle avec flamme.

Cette flamme, quoique étant de courte durée (1 milliseconde environ), peut enflammer les mélanges grisouteux à cause de sa température élevée.

L'oxydation du tungstène incandescent consomme une partie de l'oxygène de l'atmosphère ambiante. C'est pourquoi les mélanges renfermant 8 % environ de méthane, c'est-à-dire plus riches en oxygène que ne l'exige la combustion théorique (celle-ci correspond à 9,45 % de méthane), sont ceux dont l'inflammation exige le courant minimum.

Les expérimentateurs anglais estiment que la cause véritable d'inflammation par les filaments de tungstène n'est pas l'incandescence du fil, mais la flamme du métal en combustion.

En modifiant leur procédé expérimental, c'est-à-dire en lançant dans le fil un courant relativement élevé et non plus, comme nous l'avons indiqué précédemment, le courant strictement nécessaire pour l'inflammation, ils ont obtenu l'inflammation du grisou avant que n'apparaisse la flamme de tungstène.

A la suite de leurs recherches, les expérimentateurs anglais conclurent en ces termes :

Si, comme il a été constaté pour les fils de platine, l'inflammation se produisait pour une gamme de teneurs en méthane relativement limitée, il serait possible de calibrer les filaments des ampoules électriques de telle façon qu'ils soient coupés par fusion avant d'enflammer le grisou.

Mais l'utilisation du tungstène s'oppose à la réalisation de cette condition, car la flamme du métal est suffisamment chaude pour produire l'inflammation.

Recherches de l'Institut National des Mines sur l'inflammation du grisou par les filaments incandescents.

Nous avons procédé à une vérification expérimentale de la conclusion des expérimentateurs anglais relative à l'action sur les mélanges grisouteux des fils de platine ayant un diamètre inférieur à 0,1 mm., mais vu les difficultés actuelles d'approvisionnement, nous avons été forcés de limiter nos recherches aux fils de 0,035 et 0,040 mm. utilisés pour la fabrication des détonateurs électriques.

Ces fils présentaient les caractéristiques suivantes :

a) Fil de platine iridié à 20 % d'iridium, diamètre 0,035 mm.;

b) Fil de platine-tungstène (15 à 20 % de tungstène), diamètre 0,040 mm.

Ils nous ont été offerts gracieusement par la Société Anonyme des Explosifs d'Havrè et soudés par les soins de cette firme en longueur de 4 à 6 mm. sur conducteurs en cuivre.

Le procédé expérimental était le suivant :

Le courant fourni par une batterie d'accumulateurs était lancé brusquement dans le fil placé au sein d'une atmosphère grisouteuse inflammable. L'intensité et la durée du courant étaient enregistrées à l'oscillographe.

Tous les enregistrements présentent la même allure : le courant, après avoir atteint sa valeur maximum, diminue lentement jusqu'au moment de la fusion du fil.

Dans le tableau II, nous avons indiqué, pour chaque essai, les valeurs maximum et minimum du courant, sa durée ainsi que le résultat de l'essai.

TABLEAU II.

N° de l'essai	Intensité du courant en ampère		Durée du courant en millisecondes	Résultats : + inflamm. O non infl.
	maximum	minimum		
<i>(Fils de platine iridié.)</i>				
1	0,90	0,56	50	O
2	0,68	0,48	84	O
3	0,76	0,52	67	O
4	0,60	0,48	96	O
5	0,60	0,44	142	O
<i>(Fils de platine-tungstène.)</i>				
6	0,88	0,52	61	+
7	0,76	0,56	59	O
8	0,96	0,64	40	O
9	0,70	0,48	129	O
10	0,68	0,58	340	O

Sur dix essais, il n'y a donc eu qu'une seule inflammation du grisou et elle a été produite par un fil de platine-tungstène, ce qui fait bien ressortir l'influence de la présence du tungstène, favorable à l'inflammation.

Recherches sur l'inflammation du grisou par le filament incandescent des lampes électriques.

Les premiers essais systématiques d'inflammation du grisou par les filaments des lampes électriques ont été effectués en 1910 par MM. Bolle et Lemaire, Ingénieurs du Corps des Mines, tous deux attachés au Siège d'expériences de l'Etat à Frameries.

On en trouvera le compte-rendu détaillé dans le tome XVI, année 1911, pages 321 et suivantes, des « Annales des Mines de Belgique ».

Ces essais ont porté sur 15 types d'ampoules pour lampes électriques portatives; cinq types étaient à filament de charbon, les dix autres à filament métallique.

La tension d'alimentation de ces ampoules était soit de 2, soit de 4 volts et la gamme des intensités allait de 0,4 à 1,5 ampère.

Les essais furent réalisés dans des mélanges d'air et de grisou renfermant de 8 à 10 % de méthane et animés d'une vitesse variant au cours des essais de 1 à 10 m. par seconde.

La plupart des ampoules furent brisées au sein même de l'atmosphère inflammable alors que le filament avait atteint sa température de régime.

D'autres furent brisées avant d'être introduites dans l'appareil d'essai. On lançait alors le courant dans le filament après réglage de la teneur et de la vitesse du mélange.

Les essais de Frameries peuvent se classer comme suit (voir tableau III).

TABLEAU III

	Ampoules à filament de charbon	Ampoules à filament métallique
Essais aux tensions et intensités normales, suivis d'inflammation	46	68
Essais aux tensions et intensités normales, non suivis d'inflammation	25	22
Essais non suivis d'inflammation parce que bris simultané du verre et du filament.	22	31
Essais n'ayant donné l'inflammation qu'après survoltage de la lampe	24	13
Totaux	117	134

Si on néglige les essais anormaux, c'est-à-dire ceux pour lesquels le bris du verre a provoqué la rupture du filament et ceux qui n'ont donné inflammation qu'après survoltage de la lampe, on voit qu'un nombre relativement élevé d'ampoules (25 sur 71 ampoules à filament de charbon, 22 sur 90 ampoules à filament métallique) n'ont pas enflammé le grisou.

Des recherches analogues à celles exécutées à Frameries furent entreprises dans la suite par différentes stations étrangères.

En Angleterre, le Home Office expérimenta en 1912 des ampoules 2 volts sans obtenir de résultats probants.

Par contre, les expériences effectuées en 1916 par le Bureau of Mines des Etats-Unis d'Amérique sur des lampes électriques fonctionnant sous la tension de 2 volts confirmèrent ce qui avait été constaté à Frameries. On objecta cependant le haut degré d'inflammabilité du gaz employé. Celui-ci était composé en effet de 85 % de méthane et 15 % d'hydrocarbures supérieurs (éthane, propane, butane) et l'on sait que ces derniers ont un retard à l'inflammation et une température d'inflammation inférieurs à ceux du méthane.

La question fut alors reprise en 1926 par le S. M. R. B. (Angleterre). Les expériences auxquelles ont procédé MM. Wheeler et Shepherd font l'objet du Paper 36 du S. M. R. B. dont nous avons extrait les résultats essentiels.

Les ampoules étudiées par le Safety in Mines Research Board provenaient de quatre fabrications différentes, dont chacune était représentée par quatre types consommant respectivement, sous la tension de 2 volts, 0,65, 0,85, 0,95 et 1 ampère. Dans toutes ces ampoules, le filament était constitué par un fil de tungstène courbé en forme d'un demi-cercle.

L'appareil d'essai était un cylindre en laiton (diamètre 8 cm., hauteur 20 cm.) pourvu d'un regard avec glace et de deux tubulures pour la circulation du mélange grisouteux.

L'ampoule était placée dans le haut du cylindre entre deux vis diamétralement opposées et commandées extérieurement par deux boutons molletés. A l'aide de ces deux vis, on exerçait une pression sur le verre de l'ampoule jusqu'à provoquer sa rupture.

La quasi totalité des ampoules brisées en atmosphère grisouteuse enflammèrent le mélange. Les seuls cas de non inflammation furent ceux pour lesquels il y avait eu simultanément bris de l'ampoule et rupture du filament. Des mélanges grisouteux de diverses teneurs furent utilisées pour ces essais, mais ne purent être enflammés que ceux dont la teneur en méthane était inférieure à 12 %.

Les expérimentateurs anglais décrivent comme suit les phénomènes observés après la rupture de l'ampoule :

Dès que le verre est brisé, l'irruption soudaine du mélange ambiant dans l'ampoule primitivement vidé d'air, refroidit le filament et diminue momentanément sa brillance.

Puis celle-ci se rétablit rapidement grâce à la chaleur dégagée par l'oxydation du filament.

Ce phénomène d'oxydation entraîne en outre une réduction progressive de la section du filament, un accroissement de sa résistance ohmique et de nouveau une élévation de la température du métal.

Finalement, le filament se rompt avec production de flamme.

Trois secondes environ s'écoulent entre le bris du verre et la rupture du filament.

L'inflammation du mélange ne se produit que lorsque le filament a repris sa brillance normale.

Dans certaines expériences, le mélange fut allumé par la flamme de tungstène accompagnant la rupture du filament; dans d'autres, l'inflammation se produisit alors que le filament était encore intact.

Dispositif de sûreté des lampes électriques portatives.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer dans l'introduction, le risque d'inflammation par la lampe électrique serait supprimé si on pouvait réaliser un dispositif capable d'interrompre l'alimentation de l'ampoule lumineuse dès que le verre de protection présente un défaut d'étanchéité.

En France, un dispositif de l'espèce est obligatoire; en Belgique, notre règlement sur l'éclairage des mines ne l'impose pas.

L'Institut National des Mines a cependant proposé à l'agrément de la Direction Générale des Mines trois lampes électriques pourvues d'un dispositif de sécurité. Ce sont la lampe type A 2,6 volts des Ateliers Mécaniques de Mariemont-Hayettes (décision 15C/5152 du 10-1-1931), la lampe 2,6 volts 0,6 ampère de la S. A. d'Éclairage des Mines et d'Outillage Industriel à Loncin (décision 15C/5172 du 6-9-1932), la lampe grisométrique Léon-Montluçon agréée au nom du Comité des Houillères de France (décision 15C/6150 du 29-1-1934).

En principe, ce dispositif est le même dans les trois lampes agréées: l'ampoule est serrée entre deux ressorts, l'un prend appui sur le fond du globe de protection, l'autre est constitué par le pôle central élastique amenant le courant à la pièce polaire centrale de l'ampoule.

En cas de choc brisant le globe, le pôle central élastique pousse l'ampoule vers le haut et la fait sortir de la douille du socket, d'où interruption de l'alimentation du filament.

Les figures 12 et 13 représentent le dispositif de sûreté des Ateliers Mécaniques de Mariemont-Hayettes.

Lorsque le globe est intact (fig. 12), l'ampoule A est serrée entre les ressorts R_1 et R_2 , la pression du premier étant suffisante pour maintenir l'ampoule dans la douille D.

Le courant est amené à l'ampoule par la douille D et par le pôle central élastique comportant le ressort R_2 et trois disques superposés: les disques d_1 et d_3 en bronze, le disque d_2 en ébonite.

La liaison entre les deux disques d_1 et d_2 est réalisée par un fil fusible F traversant le disque d_2 .

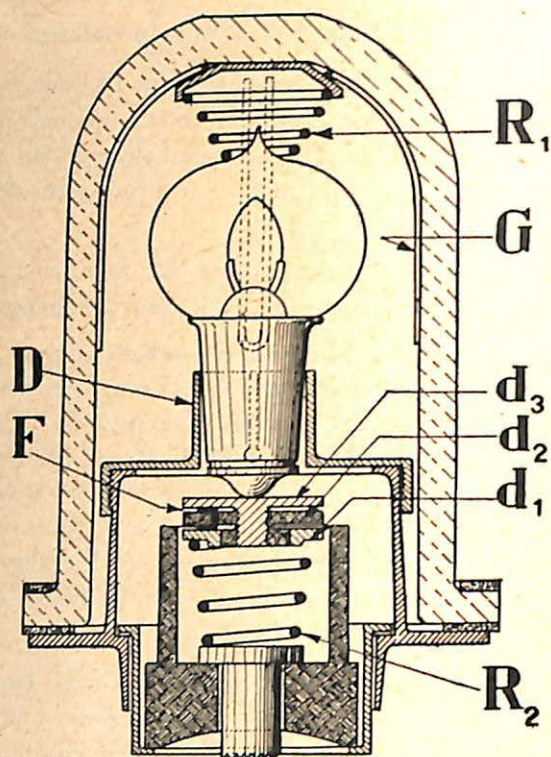


Figure 12.

Dispositif de sûreté d'une lampe électrique portable (globe intact).

Lorsque le globe est brisé (fig. 13), les griffes G en écartent les morceaux, le ressort R_1 cesse d'exercer sa pression sur l'ampoule, qui est poussée vers le haut par le ressort R_2 du pôle central.

L'alimentation du filament est ainsi supprimée.

Simultanément, le pôle central vient s'appuyer contre la douille D par l'intermédiaire des trois disques d_1 , d_2 , d_3 . L'accumulateur se trouve ainsi mis en court-circuit par le fil F qui fond immédiatement.

Le circuit d'alimentation de la lampe étant interrompu, il est impossible alors de remettre la lampe en service quand bien même on serait parvenu à replacer l'ampoule dans sa douille et à l'y maintenir.

Le fil fusible, d'un diamètre de 0,3 mm., est fait d'un alliage de plomb et d'étain fondant entre 120 et 150°.

Lors des essais d'agrégation de la lampe de Mariemont-Hayettes, nous avons constaté que ce fil, placé au sein même d'une atmosphère grisouteuse, pouvait être fondu par le courant de court-circuit de l'accumulateur (deux éléments alcalins, tension 2,6 volts) sans qu'il y ait inflammation du mélange.

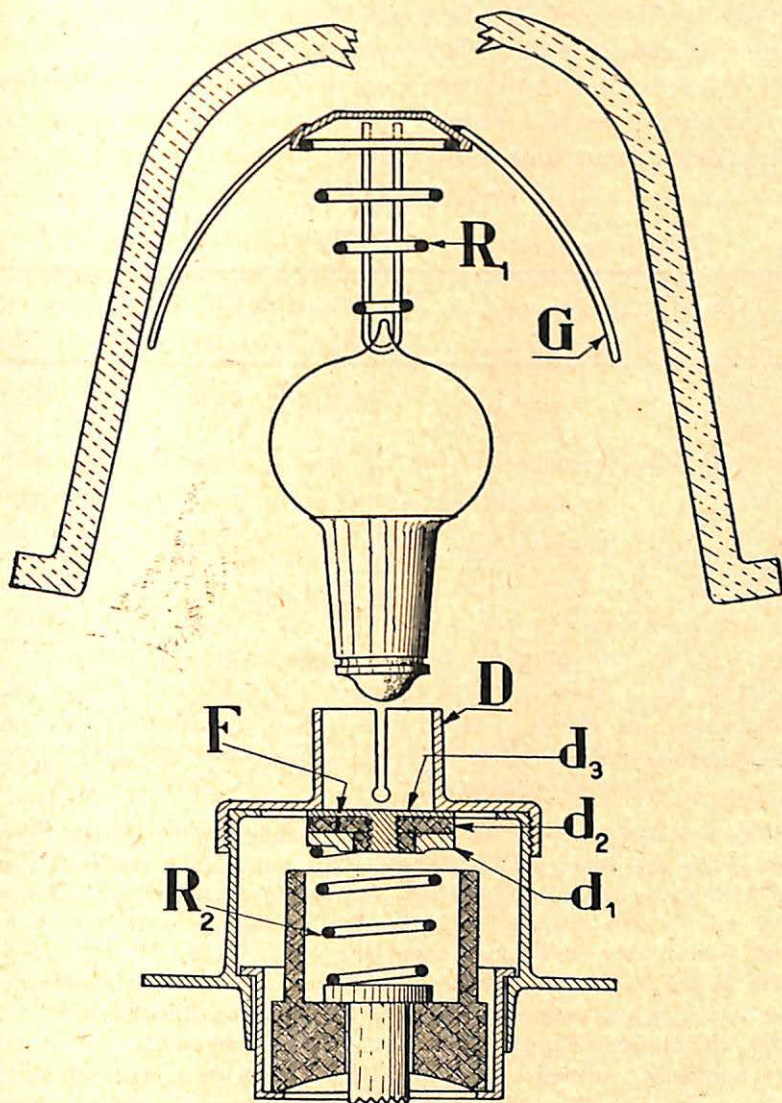


Figure 13.

Dispositif de sûreté d'une lampe électrique portable (globe brisé).

La question de savoir s'il était opportun ou non de prévoir un dispositif de sûreté dans les lampes électriques portatives fut étudiée jadis par le S. M. R. B. (1).

Les expérimentateurs anglais mesurèrent le temps s'écoulant entre la rupture d'une ampoule allumée et l'interruption du courant passant par le filament. Suivant l'importance de ce retard, il y avait ou non inflammation du mélange grisouteux ambiant.

Les temps minima enregistrés pour lesquels il y eu inflammation sont indiqués dans le tableau IV. (Ces minima sont désignés par les expérimentateurs sous le nom de « Minimum delay ».)

TABLEAU IV.

Délai minimum donnant l'inflammation du grisou.

Type d'ampoule	Tension en volts	Intensité en amp.	Délai min. en sec.
A vide	2	1,00	0,05
Idem	4	0,75	0,02
A remplissage gazeux . .	4	0,75	0,07
Idem	4	1,00	0,09
Idem	6	0,75	0,12
Idem	6	1,00	0,08
Idem	12	3,00	0,12

Donc, pour une ampoule à vide consommant 0,75 ampère sous la tension de 4 volts (second exemple du tableau), il y a encore inflammation du grisou, alors même que le courant n'a été coupé que 2 centièmes de seconde après la rupture de l'ampoule.

(1) Voir Bulletin n° 80 du S.M.R.B. (Année 1933). The ignition of firedamp by the filaments of electric lamp bulbs (Allsopp et Thomas).

En 1937 (voir *Annales des Mines de Belgique*, tome XXXIX, pages 161 et suiv.), nous avons procédé sur des lampes à incandescence à 110 et 130 volts à des expériences rappelant celles du S. M. R. B.

Dans le cas le plus défavorable, nous avons constaté que l'alimentation de la lampe pouvait, sans qu'il y ait inflammation du grisou, être supprimée 58 millisecondes après la rupture de l'ampoule.

Les ampoules examinées devaient être utilisées dans une armature de protection pourvue d'un dispositif de sûreté coupant le courant 8 millisecondes au maximum après la rupture du globe de protection. La marge de sécurité étant donc de 30 millisecondes au moins.

Ce temps est très court et on est en droit de se demander si un dispositif mécanique aussi sommaire que celui pouvant être logé dans une lampe portative serait capable de couper le courant en un temps aussi court.

Mais si un tel dispositif ne possède qu'une efficacité aléatoire, il présente en outre l'inconvénient d'augmenter le nombre de contacts dans le circuit d'alimentation de l'ampoule dont il réduit la puissance lumineuse.

Ces considérations ont amené les Ateliers Mécaniques de Mariemont-Hayettes à envisager la suppression du dispositif de sûreté dont l'opportunité paraissait douteuse.

Cependant, avant d'adopter le point de vue du constructeur, l'Institut National des Mines jugea nécessaire d'examiner à nouveau la question de l'inflammation du grisou par les filaments des lampes à incandescence.

Recherches de l'Institut National des Mines sur l'inflammation du grisou par les filaments de lampes électriques.

Nos essais ont consisté à briser en atmosphère grisouteuse inflammable des ampoules dont le filament était rendu incandescent par le passage d'un courant fourni par une batterie d'accumulateurs.

L'ampoule était brisée lorsque le filament avait atteint la température de régime correspondant à une intensité déterminée et réglable.

Après la rupture de l'ampoule, la batterie continuait à alimenter le filament jusqu'au moment où se produisait sa fusion.

On lisait à l'ampèremètre le courant passant par le filament avant et après rupture du verre, on observait s'il y avait inflammation ou non du mélange et on notait au chronomètre le moment de la fusion du filament.

Certaines de nos expériences (67 sur 147) ont fait l'objet d'un contrôle à l'oscillographe. Nous avons utilisé à cette fin un oscillographe à trois boucles Siemens qui enregistrait à la fois le courant passant par l'ampoule et la tension qui lui était appliquée, le bris de l'ampoule, l'inflammation du grisou et la fusion du filament.

Les appareils étaient installés comme l'indique le schéma figure 14.

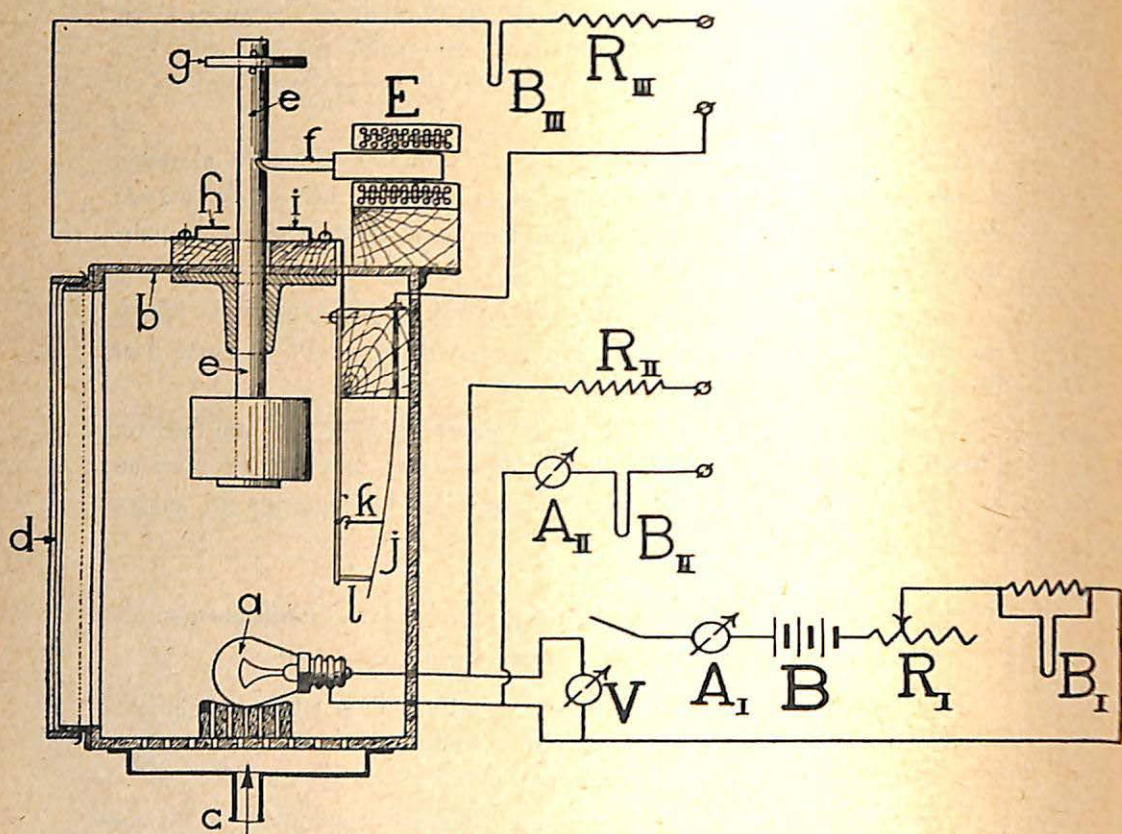


Figure 14. Dispositif d'essai des ampoules et circuits d'enregistrement.

L'ampoule *a* est placée dans une caisse métallique *b* mesurant $190 \times 190 \times 290$ mm. et recevant le mélange grisouteux par la tubulure *c*.

La caisse est fermée suivant sa paroi verticale antérieure (plan de la figure) par un châssis vitré et suivant sa paroi verticale gauche par une feuille de papier *d*.

L'organe provoquant la rupture de l'ampoule est une tige *e* alourdie par un disque (poids total 2.200 grs) tombant de 80 mm.

L'alimentation de l'ampoule est assurée par une batterie *B* dont le débit est réglé par la résistance R_I et mesuré par un ampèremètre A_I et par une boucle shuntée B_I de l'oscillographe.

La tension appliquée à l'ampoule est mesurée à la fois par le

voltmètre V et par une seconde boucle BII de l'oscillographe, celle-ci consommant un courant réglé par la résistance RII et indiqué par l'ampèremètre AII.

(Le courant réellement absorbé par l'ampoule est égal à la différence des lectures faites aux ampèremètres AI et AII.)

Au début de l'essai, l'organe de rupture *e* est maintenu au point supérieur de sa course par une lame métallique *f*, solidaire du noyau mobile d'un électro-aimant E.

L'excitation de cet électro-aimant déclenche au moment opportun la chute de la tige.

Lorsque la tige a atteint le point inférieur de sa chute et que l'ampoule est brisée, la broche *g*, en s'appuyant sur deux lames élastiques *h* et *i*, ferme un circuit auxiliaire, s'alimentant au réseau à courant alternatif (50 périodes/sec.) et comportant la troisième boucle BIII de l'oscillographe, une résistance de réglage RIII et un interrupteur placé à l'intérieur de la caisse renfermant le mélange grisouteux.

Cet interrupteur est constitué par une lame élastique *j* amenée par une boucle de coton nitré *k* contre une tige métallique *l*.

Dans le cas d'inflammation du mélange grisouteux, le coton nitré brûle avec vivacité, libère la lame élastique *j* qui s'écarte de la tige de contact *l*.

L'enregistrement de la sinusoïde du réseau, sinusoïde servant d'échelle du temps, commence donc dès la rupture de l'ampoule, mais cet enregistrement est interrompu par l'ouverture du circuit auxiliaire lorsqu'il y a inflammation du mélange.

En réalité, l'ouverture du circuit auxiliaire est postérieure à l'inflammation du grisou par le filament de la lampe, car la propagation de la flamme de grisou jusqu'au coton nitré, la combustion de ce coton et la mise en marche de la lame élastique *j* nécessitent un certain temps.

Un étalonnage préalable s'imposait donc; il a été effectué comme suit :

A l'endroit même occupé par l'ampoule était placé un interrupteur dont la manœuvre entraînait l'ouverture d'un circuit inductif (électro-aimant excité par courant continu).

L'étincelle de rupture donnait l'inflammation du mélange et celle-ci provoquait l'ouverture du circuit auxiliaire.

A l'aide de l'oscillographe, on enregistrait à la fois l'interruption du circuit inductif et celle du circuit auxiliaire; l'écart entre les deux représentait le retard à l'enregistrement de l'inflammation du mélange.

Ce retard étant fonction de la teneur du mélange, nous avons pris soin de faire varier cette teneur au cours des essais d'étalonnage. Nous avons obtenu ainsi les moyennes indiquées au tableau V.

TABLEAU V.

Teneur en méthane du mélange	Retard à l'enregistrement de l'inflammation
en %	en millisecondes
7,00	250
7,50	235
8,00	215
8,50	190
9,00	170
9,50	150
10,00	145

Sur l'oscillogramme, l'instant de l'inflammation du grisou est donc antérieur à l'interruption de l'enregistrement de la sinusoïde et cela d'un intervalle de temps variable avec la teneur, suivant les indications du tableau.

Le schéma de montage décrit ci-avant et représenté à la figure 14 n'a été utilisé sous cette forme que pour les premiers essais seulement.

Dans la suite, nous n'avons plus utilisé de l'oscillographe que les boucles BI et BIII enregistrant l'intensité du courant, la rupture de l'ampoule et éventuellement l'inflammation du grisou.

C'est le cas des deux oscillogrammes représentés aux figures 15 et 16.

L'oscillogramme 81 (fig. 15) se rapporte à un essai qui n'a pas donné l'inflammation.

Le courant passant par le filament est de 0,86 ampère avant rupture de l'ampoule, 1,22 ampère après rupture. La fusion du filament se produit 1,86 seconde après la rupture de l'ampoule.

L'enregistrement de la sinusoïde se poursuit jusqu'après fusion du filament, ce qui indique qu'il n'y a pas eu inflammation.

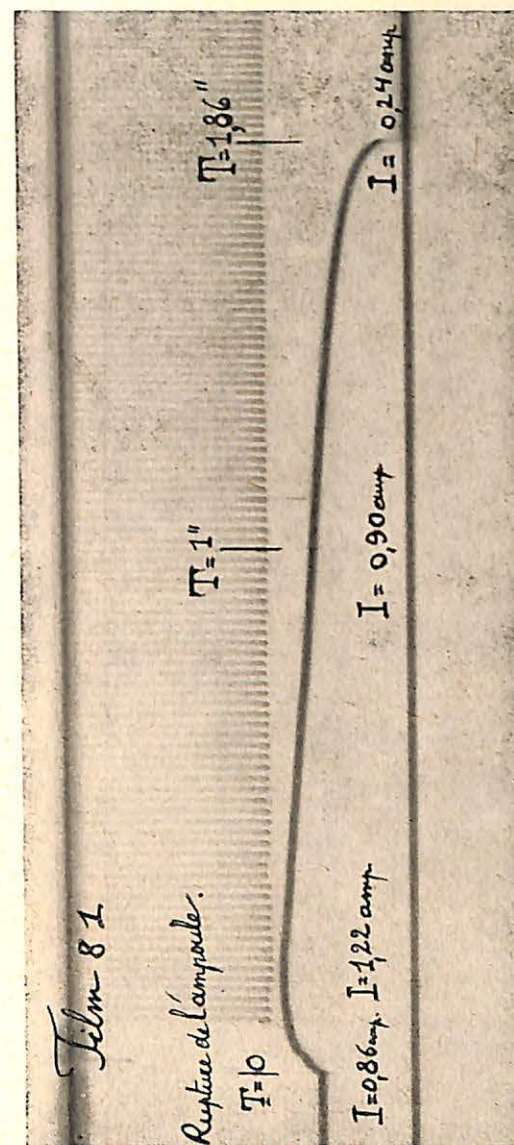


Figure 15.
Oscillogramme 81.

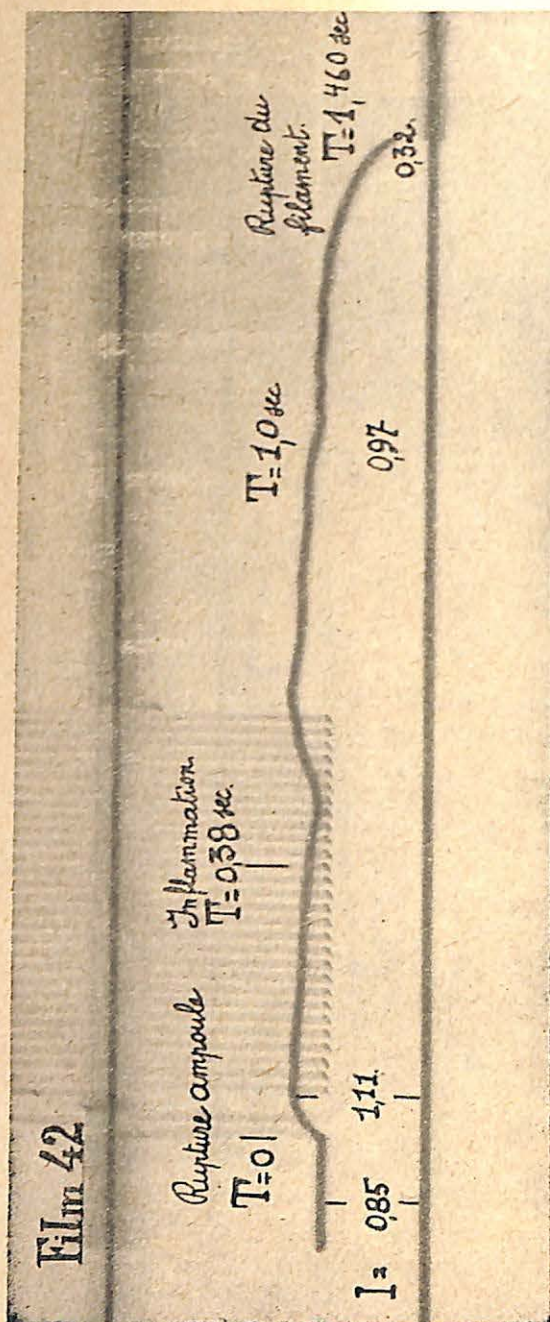


Figure 16.
Oscillogramme 42.

L'oscillogramme 42 (fig. 16) se rapporte au contraire à un essai suivi d'inflammation. Celle-ci se produit 0,58 seconde après la rupture de l'ampoule. L'accroissement momentané de la résistance du filament dû à l'échauffement par la flamme de grisou a pour effet de réduire passagèrement le débit du courant. La fusion du filament se produit 1,46 seconde après la rupture de l'ampoule.

On constate par là l'utilité de l'oscillographe pour saisir les différentes phases de l'expérience, surtout lorsque l'inflammation du grisou et la fusion du filament suivent de près la rupture de l'ampoule, l'inertie de l'ampèremètre empêchant alors la lecture exacte du courant.

L'emploi de l'oscillographe pour l'enregistrement du courant entraîne cependant, par suite de la présence du shunt placé en dérivation sur la bouche BI, une chute de tension qui modifie légèrement les conditions d'alimentation du filament après la rupture de l'ampoule.

On aura remarqué, en effet, par l'examen des oscillogrammes, que le courant augmente dès après la rupture de l'ampoule.

Le refroidissement dû à la brusque irruption de l'atmosphère ambiante réduit, en effet, la résistance ohmique du filament, qui reçoit dès lors un courant supérieur à celui réglé avant rupture de l'ampoule.

Mais l'effet de cette augmentation de débit est atténué par le shunt, qui crée une chute ohmique venant en défalcation de la tension fournie par l'accumulateur.

Le filament reçoit donc après rupture de l'ampoule un courant inférieur à celui qui le traverserait s'il n'y avait pas de shunt.

La présence de la résistance de réglage entraîne évidemment une modification plus importante encore que celle occasionnée par le shunt.

Cette modification ressort clairement de l'examen des courbes de courant pour l'ampoule intacte et pour l'ampoule brisée (voir fig. 17).

Les courbes OA et OB représentent, en fonction de la tension, le courant absorbé par l'ampoule normale et par l'ampoule brisée.

Supposons que la tension de fonctionnement normal de l'ampoule soit 2 volts (représentés par l'abscisse OC). Lorsque l'ampoule est alimentée directement par l'accumulateur (c'est-à-dire sans interpo-

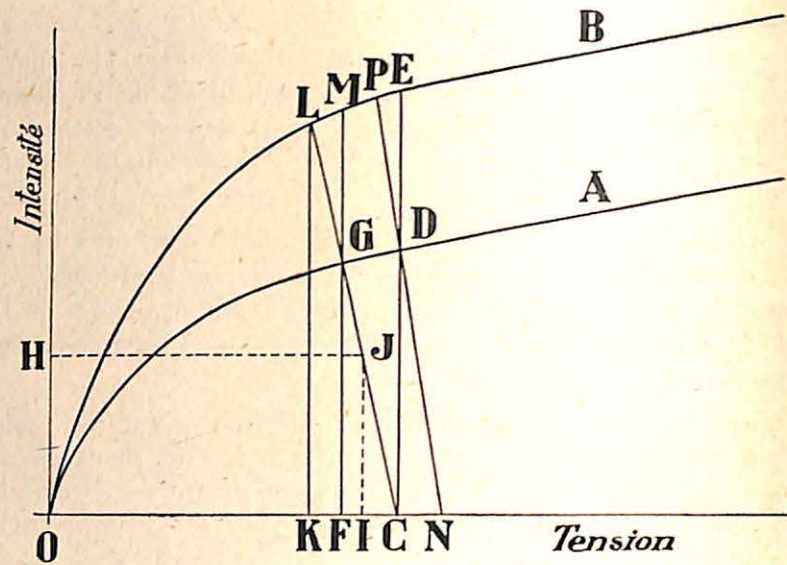


Figure 17.

Courbes d'alimentation d'une ampoule avant et après rupture du verre.

sition de shunt), les courants avant et après rupture de l'ampoule sont représentés respectivement par les ordonnées CD et CE.

Lorsque le shunt de l'oscillographe est introduit dans le circuit d'alimentation, la tension appliquée à l'ampoule est réduite d'une valeur égale à $R \times I$ (R : résistance du shunt; I : intensité du courant).

Supposons que la tension appliquée ne soit plus alors que de 1,7 volt, soit OF l'abscisse correspondante, CF étant égal à $R \times I$.

Le courant passant par le filament avant rupture de l'ampoule est alors FG. Traçons la ligne CG.

Remarquons que la chute de tension dans le shunt pour un courant $I = OH$ est donnée par la distance CI, projection du segment CJ sur l'axe des abscisses.

Par conséquent, dans le cas de la présence du shunt dans le circuit d'alimentation, le courant passant dans le filament après rupture sera KL, L étant le point d'intersection de la droite CG avec la courbe de débit OB, et la chute de tension dans le shunt sera CK.

La différence entre les ordonnées KL et FM (ces ordonnées représentant le courant passant dans le filament après rupture de l'ampoule, la première dans le cas où il y a un shunt et un accu de 2 volts dans le circuit, la seconde dans le cas où l'ampoule est alimentée sans shunt par un accu de 1,7 volt) est très faible et c'est par souci d'exactitude que nous avons attiré l'attention du lecteur sur ce détail.

Si maintenant on alimente le filament par un accumulateur de tension ON, supérieure à la valeur normale OC, on est obligé d'introduire, outre le shunt, une résistance dans le circuit, ces deux appareils provoquant une chute de tension NC.

Dans ce cas, le courant passant dans le filament après rupture de l'ampoule sera représenté par l'ordonnée du point P et non par CE.

Ces considérations montrent que la comparaison des essais réalisés sans oscillographe ni résistance avec ceux pour lesquels on a utilisé l'oscillographe avec ou sans résistance supplémentaire, n'est pertinente que si on confronte des essais ayant donné lieu au même courant après rupture de l'ampoule.

Examen des résultats d'essais.

Nous avons expérimenté tout spécialement des ampoules de fabrication belge, c'est-à-dire celles provenant de la Société « Luxor », dont le Directeur, M. Dumont, Ingénieur civil des Mines A.I.Lg., s'était offert à nous fournir les ampoules nécessaires à la réussite de nos expériences.

Nous avons pu disposer également de la collaboration de M. J. Vorobeitchick, Ingénieur électro-mécanicien et Docteur en sciences physiques, chef de fabrication à la même Société.

Cinq types d'ampoules Luxor ont été étudiés. Nous indiquons dans le tableau VI leurs caractéristiques de tension et d'intensité ainsi que le diamètre des filaments.

TABLEAU VI.

Volts	Type	Ampère	Diamètre du filament en mm.
2,0		0,85	0,065
2,6		0,50	0,049
2,6		1,00	0,073
2,6		1,20	0,081
2,6		1,50	0,093

Dans tous ces types, le filament de tungstène est rectiligne (c'est-à-dire non spiralé) et présente la forme schématisée à la figure 18.

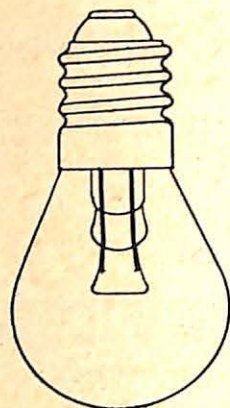


Figure 18. Dessin schématique des ampoules étudiées.

Mais avant de les expérimenter, nous avons procédé à des essais préliminaires (32 essais) sur des ampoules de provenances diverses dans le but de mettre au point notre dispositif expérimental.

Ces essais nous ont montré que les mélanges grisouteux renfermant 8 % et moins de méthane sont les plus faciles à s'enflammer, c'est-à-dire que leur inflammation exige les intensités de courant les plus basses.

Cette constatation nous a amenés dès après l'essai 50 (numéro d'ordre général) à régler en dessous de 8 % la teneur en méthane des mélanges grisouteux.

Mais avant de donner d'une façon détaillée les résultats de nos essais, indiquons d'abord les constatations qui se sont répétées d'une façon constante au cours de notre étude.

L'observation de l'ampoule montre que, immédiatement après la rupture du verre, le filament devient d'abord moins incandescent; il prend alors un régime de température ou plus exactement de brillance, qui se maintient pendant un temps plus ou moins long; puis il devient de plus en plus brillant et se rompt ensuite par fusion.

Si on observe l'ampèremètre inséré dans le circuit d'alimentation, on constate après la rupture de l'ampoule d'abord un accroissement rapide de l'intensité du courant passant par le filament, puis une diminution lente de ce courant jusqu'à la suppression totale du débit qui coïncide avec la fusion.

Ces variations dans les indications de l'ampèremètre, confirmées d'ailleurs par les enregistrements oscillographiques, s'expliquent par deux faits qui se succèdent dans le temps : d'abord l'irruption brusque du mélange grisouteux dans l'ampoule brisée, puis l'oxydation lente du filament au contact du mélange air + méthane.

Le premier refroidit le filament et diminue sa résistance ohmique; le second, au contraire, élève sa température et réduit sa section, d'où augmentation de sa résistance au passage du courant.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, l'inflammation du mélange grisouteux provoque une augmentation passagère de la résistance ohmique du filament et par conséquent une diminution momentanée du courant.

Cette diminution, dont la durée est de 0,2 seconde au maximum, n'est visible évidemment que sur les oscillogrammes; à l'ampèremètre, elle ne se manifeste que d'une façon imperceptible à cause de l'inertie de l'appareil.

Les résultats de nos essais sont reportés dans cinq tableaux qu'on trouvera ci-après. Ces tableaux comportent onze colonnes dans lesquelles figurent respectivement les numéros d'ordre des essais (numéro spécial, numéro général), la source de courant, la tension aux bornes de l'accumulateur, celle appliquée à l'ampoule, l'intensité du courant avant et après rupture de l'ampoule, la teneur en méthane, le résultat de l'essai (inflammation : +; non inflammation : O), les temps s'écoulant depuis le bris de l'ampoule jusqu'à l'inflammation et la rupture du filament.

La source de courant était soit un élément acide ou au plomb, soit deux ou trois éléments alcalins ou au fer-nickel. Ces sources sont notées aux tableaux par el. ac. ou el. alc.

Dans ces tableaux, les essais sont classés en deux catégories suivant qu'ils ont été réalisés sans oscillographe ou avec oscillographe.

Nous n'y avons pas reporté ceux pour lesquels il y a eu rupture instantanée de l'ampoule et du filament. Ces essais, au nombre de huit, n'ont pas donné l'inflammation.

Essais sur les ampoules Luxor 2 volts 0,85 ampère.

Les résultats sont reportés au tableau VII.

Sur vingt-neuf essais, six ont donné l'inflammation du grisou, mais pour chacun de ceux-ci, la tension appliquée à l'ampoule était supérieure à celle correspondant à l'alimentation normale par un seul élément d'accumulateur au plomb.

La tension de fonctionnement (tension appliquée à l'ampoule) la plus faible qui ait donné l'inflammation est 2,025 volts (essai n° 20) et des relevés effectués sur une lampe portative alimentée par un élément au plomb montrent que la tension aux bornes d'un accumulateur de ce genre tombe généralement en dessous de 2 volts après 4 ou 5 minutes seulement de fonctionnement.

Toutefois, lors de l'essai n° 20, le courant était celui prévu par le fabricant, soit 0,85 ampère.

Si on examine minutieusement les résultats des essais effectués avec l'oscillographe, on voit qu'il n'est pas possible de départager dans les régimes de fonctionnement ceux qui sont favorables à l'inflammation de ceux qui lui sont défavorables.

En d'autres termes, nos résultats d'essais sont affectés d'une dispersion importante. L'essai 20 par exemple, auquel correspond un courant avant rupture de 0,85 ampère, a donné l'inflammation alors que l'essai 28 (courant avant rupture 0,92) ne l'a pas donnée.

Les autres essais réalisés avec l'oscillographe ont conduit à des anomalies du même genre.

Il y a lieu de se demander si ces anomalies ne sont pas dues au fait que ce type d'ampoules fonctionne dans des conditions voisines de celles qui assureraient la sécurité en cas de rupture, la moindre variation dans le procédé expérimental ou dans la fabrication de

l'ampoule agissant alors dans un sens, tantôt favorable, tantôt défavorable à l'inflammation.

On est donc porté à croire qu'une légère modification dans la fabrication (dans le calibrage du filament par exemple) pourrait rendre sûre l'ampoule type 2 volts 0,85 ampère.

Si maintenant on examine sur les oscillogrammes la succession des différentes phases d'un essai, on constate que l'inflammation se produit peu de temps après la rupture de l'ampoule, au maximum 1,56 seconde (essai n° 20), et toujours avant la fusion du filament, c'est-à-dire pendant la chute lente du courant.

Essais sur les ampoules Luxor 2,6 volts 0,5 ampère.

Les résultats d'essais sont indiqués au tableau VIII.

Sur douze essais réalisés sans oscillographe, un seul a donné l'inflammation (essai 12) alors que le courant (0,515 amp.) dépassait légèrement la valeur normale prévue par le fabricant; la tension appliquée à l'ampoule (2,45 volts) n'était cependant pas exagérée.

Les essais 10 et 11 réalisés dans les mêmes conditions de tension et de courant n'ont cependant pas été suivis d'inflammation.

Sur les trois inflammations qui se sont produites au cours des essais, l'une d'elles (essai 14) est certainement antérieure à la fusion du filament; pour les deux autres (essais 12 et 17), il y a doute, car elles n'ont pas été enregistrées à l'oscillographe.

Pour ce type d'ampoules, notre conclusion est la même que pour le précédent : une légère modification du calibrage du filament pourrait donner à l'ampoule la sécurité désirable en cas de rupture.

TABLEAU VII.

Ampoules Luxor 2 volts 0,85 ampère. — Diamètre du filament : 0,065 mm.

Numéro d'ordre		Source de courant	Tension en volts		Intensité en ampère			Teneur en méthane en %	Résultat : + inflamm. O non inflamm.	Temps en sec.	
spécial	général		à l'accum.	à l'ampoule	avant rupture de l'ampoule	après rupture de l'ampoule	de l'inflamm.			de la rupture du filament	
SANS OSCILLOGRAPHE											
1	15 ^{ter}	5 él. alc.	3,80	2,55	0,955	1	10,00	O	1	5	
2	15 ^{bis}	id.	id.	2,88	1,010	1	id.	+	2	2	
3	84	2 él. alc.	2,65	1,96	0,855	1,250	9,00	O	1	4	
4	85	id.	id.	1,96	0,850	1,250	8,75	O	1	15	
5	156	1 él. ac.	2,07	1,98	0,840	1,240	8,25	O	1	19	
6	69	id.	2,05	1,90	0,825	1,250	7,25	O	1	20	
7	71	id.	id.	id.	0,850	id.	id.	O	1	20	
8	83	2 él. alc.	2,65	1,96	id.	1,250	id.	O	1	14	
9	135	1 él. ac.	2,05	id.	id.	1,220	8,00	O	1	15	
10	134	id.	id.	id.	0,855	1,260	7,25	O	1	19	
11	82	2 él. alc.	2,65	1,98	0,850	1,250	7,50	O	1	19	
12	133	1 él. ac.	2,10	2,01	id.	1,000	7,00	O	1	2	

AVEC OSCILLOGRAPHE

13	4	2 él. alc.	2,50	—	0,818	1,200	10,50	O	1	20
14	7	id.	id.	2,17	0,882	1,405	10,25	O	1	4,78
15	15	id.	id.	2,15	0,847	1,268	10,00	O	1	14
16	11	id.	id.	id.	0,867	1,350	id.	O	1	10
17	44	id.	id.	1,95	0,855	1,190	7,25	O	1	20
18	77	id.	2,65	2,00	0,840	1,200	7,50	O	1	15
19	74	id.	id.	id.	id.	1,240	id.	O	1	18
20	45	id.	2,50	2,025	0,850	1,190	7,25	+	1,56	2,56
21	45	id.	2,65	2,00	0,855	1,210	7,25	O	1	20
22	22	id.	2,50	2,14	0,860	1,209	8,00	O	1	30
23	42	id.	id.	2,10	id.	1,110	7,25	+	0,38	1,46
24	81	id.	2,65	—	id.	1,220	7,25	O	1	1,86
25	78	id.	id.	2,14	0,880	1,180	id.	O	1	1,74
26	25	3 él. alc.	3,80	2,40	0,905	id.	7,75	+	1,20	2
27	80	2 él. alc.	2,65	2,39	0,910	1,200	7,25	+	0,28	1,755
28	79	id.	id.	2,38	0,920	1,540	7,50	O	1	4,92
29	41	id.	id.	2,40	0,950	1,250	7,25	+	0,58	1,915

TABLEAU VIII.
Ampoules Luxor 2,6 volts 0,5 ampère. — Diamètre du filament : 0,049 mm.

Numéro d'ordre		Source de courant	Tension en volts		Intensité en ampère		Teneur en méthane en %	Résultat : + inflamm. O non inflamm.	Temps en sec.	
spécial	général		à l'accum.	à l'ampoule	avant rupture de l'ampoule	après rupture de l'ampoule			de l'inflamm.	de la rupture du filament
SANS OSCILLOGRAPHE										
1	55	2 él. alc.	2,70	2,12	0,480	—	8,75	O	1	27
2	54	id.	id.	2,28	0,500	0,760	id.	O	1	12
3	51	id.	id.	1,87	0,450	0,690	7,25	O	1	37
4	52	id.	id.	id.	id.	id.	id.	O	1	71
5	55	id.	id.	2,50	0,500	0,840	id.	O	1	20
6	55 ^{bis}	id.	id.	id.	id.	—	id.	O	1	12
7	150	id.	id.	2,45	0,510	0,800	8,25	O	1	15
8	151	id.	id.	2,24	id.	0,810	8,00	O	1	16
9	152	id.	id.	id.	id.	0,820	7,00	O	1	11
10	56	id.	id.	2,45	0,515	—	7,25	O	1	3
11	57	id.	id.	id.	id.	0,800	id.	O	1	10
12	50	id.	id.	id.	id.	0,700	id.	+	1	1
AVEC OSCILLOGRAPHE										
13	72	2 él. alc.	2,65	2,42	0,500	0,840	7,50	O	—	50
14	75	id.	2,70	2,62	0,520	0,880	7,25	+	3,56	>4
15	76	id.	id.	id.	id.	0,800	id.	O	—	10
16	73	3 él. alc.	3,92	2,64	0,540	0,840	7,50	O	—	50
17	144	id.	3,80	2,80	id.	0,940	7,25	+	13	13

TABLEAU IX.
Ampoules Luxor 2,6 volts 1 ampère. — Diamètre du filament : 0,073 mm.

Numéro d'ordre		Source de courant	Tension en volts		Intensité en ampère		Teneur en méthane en %	Résultat : + inflamm. O non inflamm.	Temps en sec.	
spécial	général		à l'accum.	à l'ampoule	avant rupture de l'ampoule	après rupture de l'ampoule			de l'inflamm.	de la rupture du filament
SANS OSCILLOGRAPHE										
1	129	2 él. alc.	2,68	2,18	0,950	1,540	8,25	O	1	21
2	128	id.	2,69	2,20	id.	1,590	id.	O	1	22
3	127	id.	2,74	2,24	0,940	1,580	7,25	O	1	38
4	126	id.	2,62	2,58	0,950	1,560	id.	O	1	6
5	125	id.	2,55	2,40	0,970	1,250	7,00	+	0	2
6	68	id.	2,70	id.	0,975	1,450	7,25	+	4	5
7	66	id.	id.	id.	0,980	1,500	id.	O	1	2
8	67	id.	id.	2,58	id.	1,400	7,25	O	1	9
9	124	id.	2,51	2,48	0,985	1,550	id.	+	0	2
10	121	id.	2,60	2,50	0,990	1,250	7,25	+	0	1
11	120	id.	2,62	2,51	id.	1,540	id.	+	0	2
12	118	id.	2,64	2,61	1,000	1,520	id.	O	1	10
15	125	id.	2,69	2,59	1,010	1,550	id.	+	0	2
AVEC OSCILLOGRAPHE										
14	158	2 él. alc.	2,56	2,24	0,940	1,540	7,25	O	—	2,7
15	159	id.	2,58	2,26	id.	1,420	id.	O	—	25
16	157	id.	2,57	2,25	id.	1,520	id.	+	16	16
17	140	3 él. alc.	5,75	2,44	0,980	1,560	id.	O	—	18
18	141	id.	3,75	2,56	1,000	1,520	id.	O	—	21
19	122	id.	4,00	2,68	1,025	1,550	id.	+	1,62	1,7

TABLEAU X.

Ampoules Luxor 2,6 volts 1,2 ampère. — Diamètre du filament : 0,081 mm.

Numéro d'ordre		Source de courant	Tension en volts		Intensité en ampère		Teneur en méthane en %	Résultat : + inflamm. O non inflamm.	Temps en sec.	
spécial	général		à l'accu	à l'ampoule	avant rupture de l'ampoule	après rupture de l'ampoule			de l'inflamm.	de la rupture du filament

SANS OSCILLOGRAPHE

1	87	2 él. alc.	2,45	2,07	1,075	> 1,500	8,25	O	1	20
2	103	id.	2,59	2,04	1,080	1,520	7,50	O	1	16
3	104	id.	id.	id.	id.	id.	id.	O	1	29
4	105	id.	id.	id.	id.	> 1,550	7,25	O	1	40
5	106	id.	2,58	2,06	id.	> 1,550	id.	O	1	31
6	102	id.	id.	id.	1,085	1,530	id.	O	1	21
7	98	id.	2,60	2,14	1,100	1,350	id.	O	1	3
8	101	id.	2,59	2,16	1,105	> 1,550	id.	+	3	3
9	100	id.	2,60	2,21	1,110	1,360	7,50	+	0	1
10	99	id.	id.	2,22	1,120	> 1,550	id.	+	5	5,5

11	97	id.	id.	2,30	1,140	1,400	id.	+	0	1 à 2
12	89	id.	2,45	2,34	1,150	1,550	7,25	+	1	2
15	96	id.	2,60	2,40	1,160	1,400	7,50	+	0	1
14	95	id.	2,616	id.	id.	> 1,500	7,25	O	1	3
15	94	id.	2,63	2,41	1,173	1,450	id.	+	0	1
16	90	id.	2,72	2,48	1,180	1,500	id.	O	1	2,5
17	88	3 él. alc.	3,70	3,60	1,200	id.	id.	+	1	1
18	92	2 él. alc.	2,646	2,62	1,210	1,400	7,50	O	1	2,5
19	91	id.	2,65	id.	id.	1,550	7,25	+	0	2
20	93	id.	2,64	2,61	id.	1,400	7,50	+	0	1

AVEC OSCILLOGRAPHE

21	31	2 él. alc.	2,60	2,00	1,082	1,460	8,00	O	1	30
22	30	3 él. alc.	3,90	2,625	1,220	1,450	8,25	+	0,20	1,34
23	32	2 él. alc.	2,60	2,22	1,230	1	id.	+	0,68	1,95

TABLEAU XI.

Ampoules Luxor 2,6 volts 1,5 ampère. — Diamètre du filament : 0,093 mm.

Numéro d'ordre		Source de courant	Tension en volts		Intensité en ampère		Teneur en méthane en %	Résultat : + inflamm. O non inflamm.	Temps en sec.	
spécial	général		à l'accu	à l'ampoule	avant rupture de l'ampoule	après rupture de l'ampoule			de l'inflamm.	de la rupture du filament

SANS OSCILLOGRAPHE

1	61	2 él. alc.	2,60	—	1,200	1,675	7,25	O	—	57
2	60	id.	id.	—	1,500	1,750	id.	+	5	7
5	62	id.	id.	—	id.	1,800	id.	O	—	17
4	64	id.	id.	—	id.	1,825	id.	O	—	56
5	113	id.	2,46	2,25	1,550	1,900	id.	O	—	5
6	112	id.	2,47	2,37	id.	2,000	id.	O	—	12
7	59	id.	2,60	—	1,585	1,950	id.	+	1	3
8	63	id.	id.	—	1,400	1,700	id.	+	1	3
9	65	id.	id.	—	1,400	1,800	id.	+	1	3
10	58	id.	id.	—	id.	1,850	id.	+	1	—

11	111	id.	2,48	2,45	id.	1,900	id.	+	0	3
12	109	id.	id.	2,46	1,425	1,700	id.	+	0	2
15	108	id.	2,49	id.	id.	1,950	id.	O	—	3
14	110	id.	2,50	2,47	id.	2,950	id.	+	0	2
15	86	id.	2,70	2,60	1,500	1,650	8,50	O	—	3,50

AVEC OSCILLOGRAPHE

16	117	2 él. alc.	2,60	2,24	1,550	2,100	7,25	+	0	3 à 4
17	116	id.	2,62	2,21	1,560	1,900	id.	O	—	5,52
18	115	id.	2,63	2,22	id.	2,050	id.	+	12	12
19	114	id.	2,66	2,38	1,580	1,925	id.	+	0	1

Essais sur les ampoules Luxor 2,6 volts 1 ampère.

Les résultats d'essais sont indiqués au tableau IX.

Ce type d'ampoules a donné des inflammations alors que le courant était nettement inférieur au courant normal prévu par le fabricant. L'essai 16 a été suivi d'inflammation bien que l'intensité avant rupture de l'ampoule ne fut que 0,94 ampère.

Contrairement à ce qui a été dit à propos des deux premiers types, les ampoules Luxor 2,6 volts 1 ampère sont loin d'être de sécurité.

Essais sur les ampoules Luxor 2,6 volts, 1,2 ampère.

Les résultats sont indiqués au tableau X.

Le courant le plus faible (courant avant rupture) qui ait donné l'inflammation est de 1,105 ampère seulement, courant nettement inférieur au courant normal prévu par le fabricant (voir essai 8).

Ce type, comme le précédent, fonctionne dans des conditions assez éloignées de celles qui assureraient la sécurité désirable.

Essais sur les ampoules Luxor 2,6 volts 1,5 ampère.

Les résultats sont indiqués au tableau XI.

Le courant minimum (courant avant rupture) ayant donné l'inflammation est 1,3 ampère (essai 2).

Ce type, est donc loin d'être de sécurité.

Conclusions générales.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, les cinq séries d'essais sont affectées d'une dispersion importante; on enregistre, en effet, des inflammations pour des courants notablement inférieurs à d'autres qui n'ont pas provoqué l'allumage du grisou.

Ces anomalies sont particulièrement marquantes pour le type 2 volts 0,85 ampère.

Dans le tableau XII ci-dessous, nous indiquons pour chaque type le courant le plus élevé n'ayant pas donné l'inflammation et le courant le plus bas l'ayant donnée, les courants étant ceux enregistrés avant rupture de l'ampoule.

TABLEAU XII

Volts	Type Ampère	Courant max.	Courant minimum
		parmi ceux n'ayant pas donné l'inflamm.	parmi ceux ayant donné l'inflamm.
2,0	0,85	0,84	0,850
2,6	0,50	0,51	0,515
2,6	1,00	0,95	0,940
2,6	1,20	1,10	1,105
2,6	1,50	1,20	1,300

De ce tableau, il résulte clairement que les deux premiers types sont les plus sûrs et que les trois autres, au contraire, sont assez loin de la sécurité.

On peut se demander ce qui conditionne l'inflammation : le courant consommé par l'ampoule avant sa rupture ou le courant passant par le filament dès qu'il est au contact avec le mélange grisouteux.

Il paraît logique d'accorder une influence dominante au second et cependant, l'examen des résultats d'essais montre que plus le courant avant rupture de l'ampoule est élevé, plus grande est la probabilité d'inflammation.

On remarque également que le courant après rupture de l'ampoule n'est pas en relation bien définie avec le courant avant rupture.

On est même tenté d'accorder l'influence dominante à l'un ou l'autre de ces courants d'après le moment auquel l'inflammation se produit. A trois exceptions près, elle survient peu de temps après la rupture de l'ampoule, paraissant ainsi dépendre plutôt de la température du filament avant rupture du verre.

De l'examen des oscillogrammes, on retient également cette constatation importante que l'inflammation est le plus souvent provoquée par l'incandescence du filament et non par sa fusion, remarquable cependant par sa température élevée (3.370°).

Ces considérations font ressortir la complexité du phénomène d'inflammation d'un mélange grisouteux par le filament incandescent d'une ampoule et nous incitent à penser que le problème de la réalisation d'une ampoule de sûreté absolue en présence du grisou est loin d'être résolu, du moins en ce qui concerne les ampoules absorbant un courant d'intensité de 1 ampère et plus.

Les recherches faisant l'objet de cette note ne constituent donc qu'un travail préliminaire dont les résultats serviront de base à une étude plus approfondie de la question.

J. FRIPIAT.

