

# Inflammations d'huile provoquées par la blessure des câbles électriques

J. LECLERCQ

Ingénieur principal divisionnaire des Mines

avec la collaboration de

V. FIEVEZ

Délégué à l'Inspection des Mines.

O. DEGEYTER

Délégué à l'Inspection des Mines.

(2<sup>e</sup> Partie) \*

SOMMAIRE : II. — Essais effectués en 1958	175
A. — Expériences sur les conditions de division de l'huile	175
B. — Expériences sur émulsions d'huile	180
C. — Essais sur câbles de fabrication nouvelle, belge et étrangère	181
D. — Ampleur d'un incendie d'huile	186
E. — Essai d'extinction d'un incendie d'huile avec des lances de pompier	192

## II. — Essais effectués en 1958

En mai 1958, nous avons recommencé une nouvelle série comportant 150 essais, consignés dans les tableaux XVII et XVIII.

Les quatre premiers essais (58/1 à 4) furent effectués dans les conditions décrites dans la 1<sup>re</sup> série 1957, c'est-à-dire choc orthogonal par une cornière solidaire de la poutrelle sur un câble  $3 \times 35 \text{ mm}^2$ , au papier imprégné, disposé sur un claveau en béton. Deux de ces essais ont donné lieu à inflammation, deux autres n'ont pas donné d'inflammation ; pour l'une de ces non-inflammations, la tôle écran n'était pas placée ; pour l'autre, le jet n'était plus dirigé sur le point d'impact parce que le claveau s'était dérobé.

Nous avons donc remplacé ce claveau par une poutrelle solidaire du châssis du mouton, afin de réaliser des chocs dans des conditions aussi semblables que possible.

### A. — Expériences sur les conditions de division de l'huile.

Les 60 premiers essais ont eu pour but de rechercher les conditions de division de l'huile et de débit pour lesquelles il y a inflammation et maintien de la flamme.

Le débit et la division de l'huile dépendent de la température de l'huile, de la section et de la forme de l'orifice de sortie, et de la pression dans le ré-

servoir d'huile. Les essais ont été effectués avec une pression d'environ  $6 \text{ kg/cm}^2$  ; nous comptons cependant, pour tenir compte des hautes pressions en usage dans les fluides hydrauliques, utiliser des pressions plus élevées dans des essais futurs.

La température a varié de  $10$  à  $20^\circ$ , elle est parfois notée dans les tableaux XVII et XVIII, cette température étant d'une mesure difficile avec le dispositif employé.

Pour les sections de projection d'huile, on a utilisé, soit des orifices circulaires, dont le diamètre a varié de  $0,5$  à  $17 \text{ mm}$ , soit des orifices rectangulaires déjà employés en 1957.

Les débits sont consignés dans le tableau XVII ; ils ont été mesurés, à environ  $10 \%$  près, à la température de  $18^\circ$ , pour une pression de  $6 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLEAU XVII.

Orifice de sortie	Débit pour
Trou circulaire de $0,5 \text{ mm } \varnothing$	0,26 l/m
» » de $1 \text{ mm } \varnothing$	2,72 l/m
» » de $2 \text{ mm } \varnothing$	7 l/m
» » de $3,5 \text{ mm } \varnothing$	13,6 l/m
» » de $8 \text{ mm } \varnothing$	30 l/m
» » de $10 \text{ mm } \varnothing$	33 l/m
» » de $17 \text{ mm } \varnothing$	36 l/m
Fente rectangulaire de $8 \times 0,8 \text{ mm}$	6,6 l/m
» » de $13 \times 0,8 \text{ mm}$	18 l/m
Fente $0,8 \times 8 \text{ mm}$ + trou $3,5 \text{ mm}$	21 l/m
Pistolet graphiteur	0,36 l/m

\* La première partie a paru dans la 1<sup>re</sup> livraison de janvier 1959.

TABLEAU XIX.  
Orifice circulaire de 3,5 mm  $\varnothing$  — Débit 13,6 litres/min

Numéros	Hauteur	Mode de choc	Réglage des déclencheurs	Déclenchement	Non-Inflammation	Flamme fugace	Inflammation	T° huile	Date 1958	Distance de l'orifice du jet au point impact		Observation
										d = portée du jet	h = hauteur du jet	
58/1	1 m	Cornière et claveau béton incliné	CCI 5 $\times$ IN 90 A 3 sec	inst.	PI				10/5	d = 0,70 h = 0,30	Pas d'écran	
2	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.	id.	
3	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.	id.	
4	0,80 m	id.	id.	id.	PI				id.	id.	id.	
5	0,80 m	Cornière et poutrelle	id.	id.	PI				12/5	0,60 $\times$ 0,30	Ecran	
6	0,80 m	id.	id.	id.	PI				id.	id.	Fumées	
7	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	0,95 $\times$ 0,09	Jet horizontal	
8	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		
9	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.	L'huile n'arrive pas sur la tôle écran	
10	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.	id.	
11	1 m	id.	id.	id.			I		id.	0,95 $\times$ 0,42	Le jet est plongeant	
12	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		
13	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		
23	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		
62	1 m	id.	CCR 90 A 3 sec	3 sec.			I		4/6	id.	Câble troué	
63	1 m	id.	id.	3 sec.			I		id.	id.		
64	1 m	id.	CCI 6 $\times$ IN 90 A 3 sec	inst.			I	19°	id.	2 m $\times$ 0,42		
65	0,60 m	id.	id.	2 sec.			I		id.	id.	Disjoncteur déclenché après 2"	
66	0,80 m	id.	id.	inst.	PI				id.	id.	Pas d'étincelles extérieures	
67	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	0,95 $\times$ 0,42		
<b>Trou circulaire de 8 mm <math>\varnothing</math> — Débit 30 litres/min</b>												
34	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 $\times$ IN 90 A 3 sec	inst.			I		14/5	0,95 $\times$ 0,42		
109	0,80 m	id.	id.	id.			I		20/9	id.		
<b>Trou circulaire de 10 mm <math>\varnothing</math> — Débit 33 litres/min</b>												
47	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 $\times$ IN 90 A 3 sec	inst.	PI			18°	16/5	0,70 $\times$ 0,30		
48	1 m	id.	id.	id.			I	18°	id.	id.		

49	1 m	id.	id.	id.			I	18°½	id.	id.	
50	1 m	id.	id.	id.	PI			13°½	19/5	id.	
51	1 m	id.	id.	id.	PI			14°	id.	id.	
52	1 m	id.	id.	id.	PI			14°	id.	id.	
53	1 m	id.	id.	id.	PI			14°	id.	id.	
54	1 m	id.	id.	id.	PI			14°	id.	id.	
55	1 m	id.	CCR 90 A 3 sec	3 sec.	PI			14°	id.	id.	Arcs non continus
56	1 m	id.	id.	3 sec.			I	15°½	id.	id.	Gros arcs
57	1 m	id.	id.	3 sec.				16°½	id.	id.	Câble troué. Gros arcs
58	1 m	id.	id.	3 sec.		FF		17°	id.	id.	id.
59	0,80 m	id.	id.	3 sec.		FF		19°	id.	id.	id.
<b>Trou circulaire de 17 mm Ø — Débit 36 litres/min</b>											
60	0,80 m	Cornière et poutrelle	CCR 90 A 3 sec	3 sec.		FF		17°½	19/5	0,70 × 0,30	Câble troué. Gros arcs
61	0,80 m	id.	id.	3 sec.	PI			18°	id.	id.	Câble troué. Gros arcs
<b>Trou circulaire de 1 mm Ø — Débit 2,72 litres/min</b>											
14	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.			I		12/5	0,95 × 0,42	
35	1 m	id.	id.	id.	PI				14/5	id.	Réservoir vide ?
<b>Trou circulaire de 0,5 mm Ø — Débit 0,26 litre/min</b>											
42	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.	PI				16/5	0,95 × 0,42	
43	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	0,70 × 0,30	
44	1 m	id.	id.	id.	PI				id.	id.	
45	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.	
46	1 m	id.	id.	id.	PI				id.	id.	
<b>Essais spéciaux — Pistolet graphiteur — Débit 0,36 litre/min</b>											
22	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 2 sec	inst.	PI				13/5	0,60 × 0,30	Dispositif d'huile
31	1 m	id.	id.	id.	PI				14/5	id.	Pistolet graphiteur
32	1 m	id.	id.	id.			I		id.	0,95 × 0,42	id.
33	1 m	id.	id.	id.	PI				id.	0,60 × 0,30	Pistolet graphiteur + jet de 3,5 mm de Ø. Inflammation très grosse et explosion
<b>Fente de 13 × 0,8 mm — Débit 18 litres/min</b>											
15	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.			I		12/5	0,95 × 0,42	
16	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.	

Numéros	Hauteur	Mode de choc	Réglage des déclencheurs	Déclenchement	Non-Inflammation	Flamme fugace	Inflammation	T° huile	Date 1958	Distance de l'orifice du jet J au point impact I		Observation								
										h = hauteur du jet	d = portée du jet									
<b>Fente de 13 × 0,8 mm — Débit 18 litres/min (suite)</b>																				
17	0,80 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.		FF			13/5	d	h									
										0,95	× 0,42									
18	0,80 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.										
19	0,80 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.										
20	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.										
21	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.										
<b>Fente de 8 × 0,8 mm — Débit 6,6 litres/min</b>																				
26	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.		FF			14/5	0,72	× 0,48	Pas de tôle écran. Mur en claveau à 0,90 m du point d'impact								
27	1 m	id.	id.	id.		FF			id.	id.		id.								
28	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		On a placé une tôle écran								
29	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.										
73	0,80 m	id.	CCI 6 × IN 90 A 3 sec	id.		FF			5/6	id.										
<b>Fente de 8 × 0,8 mm + jet circulaire — Débit</b>																				
<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="font-size: 2em;">{</td> <td style="padding: 0 10px;">Fente</td> <td style="padding: 0 10px;">6,6 litres/min</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 0 10px;">3,5 mm Ø</td> <td style="padding: 0 10px;">13,6 litres/min</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 0 10px;">1 mm Ø</td> <td style="padding: 0 10px;">2,72 litres/min</td> </tr> </table>												{	Fente	6,6 litres/min		3,5 mm Ø	13,6 litres/min		1 mm Ø	2,72 litres/min
{	Fente	6,6 litres/min																		
	3,5 mm Ø	13,6 litres/min																		
	1 mm Ø	2,72 litres/min																		
24	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.			I		13/5	} 0,95 × 0,42 0,72 × 0,48		Jet de 3,5 mm de Ø								
25	1 m	id.	id.	id.			I		id.			Fente 8 × 0,8								
30	1 m	id.	id.	id.			I		14/5	id.		id.								
36	1 m	id.	id.	id.		PI		12°	id.	id.		Jet de 1 mm de Ø + Fente de 8 × 0,8								
37	1 m	id.	id.	id.		PI		id.	id.	id.		id.								
38	1 m	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.		PI		12°	14/5	} 0,95 × 0,42 0,72 × 0,48		Jet de 1 mm de Ø + Fente 8 × 0,8								
39	1 m	id.	id.	id.		FF			id.		id.		Jet de 3,5 mm de Ø Fente de 8 × 0,8							
40	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
41	1 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
68	0,80 m	id.	CCI 6 × IN 90 A 3 sec	id.			I		5/6	id.		id.								
69	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
71	0,80 m	id.	id.	id.		PI			id.	id.		id.								
72	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
74	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id. Eau + air comprimé								
100	1 m	id.	CCR	3 sec.			I		3/9	id.		id. Eau								
106	1,20 m	id.	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	inst.			I	23°	13/9	id.		id.								
107	0,80 m	id.	id.	id.		PI			20/9	id.		id. (jet mal dirigé)								
108	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
112	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								
113	0,80 m	id.	id.	id.			I		id.	id.		id.								

Quant à l'énergie de choc, elle a été calculée en 1957. Le tableau XVIII donne les énergies correspondant aux différentes hauteurs de choc.

En fait, dans cette première série destinée à étudier les conditions de division de l'huile, nous avons utilisé une seule énergie de choc, soit 120 kgm ; pour quelques essais, nous avons ramené cette énergie à 94 kgm.

TABLEAU XVIII.

Hauteur de chute	Energie de choc
0,40 m	42 kgm
0,45 m	48 kgm
0,50 m	59 kgm
0,60 m	68 kgm
0,80 m	94 kgm
1 m	120 kgm
1,20 m	146 kgm
1,40 m	172 kgm
1,50 m	185 kgm
1,70 m	211 kgm

Pour la plupart de nos essais, les 3 relais du disjoncteur étaient réglés dans la position CCI  $5 \times IN$ , c'est-à-dire  $5 \times 75 A = 375 A$ . Ils devaient donc fonctionner en « instantané » lorsque l'intensité du courant qui les parcourait était égale ou supérieure à  $375 A \pm 10 \%$ . Lorsque le courant qui parcourait ces relais était compris entre 90 et 375 A, le disjoncteur devait déclencher en 2 ou 3 sec, temps pour lequel ces relais étaient réglés.

En fait, avec l'énergie de choc employée et le câble au papier imprégné utilisé, nous avons pu observer que la disjonction était pratiquement instantanée. Nous ne disposions plus, à ce moment, de l'oscillographe utilisé en 1957.

C'est en observant le disjoncteur que nous pouvons dire que la disjonction a été instantanée dans la plupart des essais.

Rappelons que les temps de coupure mesurés en 1957 pour les disjonctions « instantanées » ont été trouvés égaux à 80 à 100 msec.

Lors des 10 premiers essais, nous avons constaté que nous n'obtenions pas d'inflammation, soit à cause de l'absence d'écran, soit parce que la distance entre l'orifice et le point d'impact était trop courte, soit parce que la projection du jet était trop horizontale, ce qui empêchait l'huile enflammée de se fixer sur l'écran. C'est pour ces raisons inhérentes au dispositif employé que nous avons, à partir de l'essai 11, porté cette distance à 0,95 m en horizontale tout en remontant l'orifice d'huile à 0,42 m au-dessus du plan horizontal passant par le point d'impact.

Nous avons, dans quelques essais, porté cette distance à 2 m et nous avons l'intention d'expé-

menter, dans un but d'investigation, des longueurs de jet beaucoup plus grandes et des pressions plus élevées.

Le tableau XIX (voir en page 176) donne les résultats obtenus pour les différents orifices débitant l'huile.

#### Orifice de 3,5 mm de diamètre.

Les résultats des dix premiers essais sont déjà annoncés ci-dessus.

Pour les dix essais suivants pour lesquels les jets étaient plus plongeants, nous avons obtenu 9 inflammations. Trois de ces essais, avec une projection d'huile distante de 2 m, nous ont donné deux inflammations et une non-inflammation. Mais pour ce dernier essai, nous n'avons pas observé d'étincelles extérieures.

#### Orifice circulaire de 8 mm de diamètre.

Les deux essais ont donné lieu à inflammation.

#### Orifice de 10 mm de diamètre.

Les huit premiers essais avec cet orifice n'ont donné lieu qu'à deux inflammations. Remarquons que la température de l'huile était de  $18^\circ$  lors de ces deux inflammations.

Pour cinq autres essais, elle était comprise entre  $13^\circ$  et  $14^\circ$ .

Cinq essais ont été effectués avec réglage CCR 3 sec. Malgré les gros arcs obtenus se manifestant d'ailleurs par des trous dans les câbles, nous n'avons obtenu qu'une inflammation. Le jet obtenu avec cet orifice est très compact et un peu parabolique. Nous avons en conséquence réglé ce jet de façon qu'il touche le point d'impact. Les éclaboussures préalables sur la tôle écran paraissent donner une flamme fugace pour les trois derniers essais, mais le jet compact d'huile éteint les arcs qui se manifestent pendant 3 sec.

Il semble bien qu'avec le jet de 10 mm de diamètre, nous voisinons un seuil supérieur dans la division de l'huile qui ne provoque plus d'inflammation même avec des arcs durant plusieurs secondes.

#### Trou circulaire de 17 mm de diamètre.

Les deux essais effectués avec cet orifice confirment cette impression puisqu'ils n'ont donné lieu à aucune inflammation malgré de gros arcs se répétant pendant 3 sec et une température de l'huile d'environ  $18^\circ$ .

Nous avons ensuite recherché le seuil inférieur, c'est-à-dire les débits minima d'huile très divisée qui ne s'enflamment plus.

#### Trou circulaire de 1 mm de diamètre.

Sur deux essais, nous avons obtenu une inflammation.

#### Trou circulaire de 0,5 mm de diamètre.

Cinq essais n'ont donné lieu à aucune inflammation.

Il semble donc qu'un débit aussi faible d'huile provoque, au contact des arcs, un mélange d'huile très divisée et d'air qui ne s'enflamme pas parce que trop pauvre en combustible. Pour ces débits, l'huile est encore cependant divisée en fines gouttelettes.

#### Pistolet graphiteur.

Dans ces essais, nous avons utilisé un pistolet graphiteur d'usage courant dans les garages. L'huile est pulvérisée en brouillard qui est dirigé sur le point d'impact en ramenant la distance à 0,60 m.

Trois essais ne donnent pas lieu à inflammation, mais seulement à un peu de fumées bleues.

L'essai 32 a allumé un jet passant par un orifice de 3,5 mm de diamètre. Dans la flamme obtenue, on a dirigé le jet du pistolet graphiteur ; il s'est produit une petite explosion et une flamme d'une violence inouïe.

Contrairement à ce qui se passe dans un brûleur à mazout où l'huile est également pulvérisée en brouillard, nous n'obtenons plus d'inflammation.

Dans ces expériences, les étincelles sont de courte durée et provoquées à une certaine distance de la sortie de l'huile, tandis que, dans un brûleur à mazout, on provoque des arcs d'une longueur suffisante pendant un temps assez long, environ 6 sec, et en un endroit bien choisi situé au voisinage immédiat de la sortie du jet.

#### Fente rectangulaire de $15 \times 0,8$ mm.

Deux essais du 12 mai 1958 provoquent une inflammation. Cinq essais effectués le lendemain, soit le 13 mai 1958, ne donnent que des flammes fugaces.

Ces essais ont pourtant été effectués dans les mêmes conditions de choc et de direction de jet. Seule a pu changer la température de l'huile, température que nous n'avons pas mesurée à cette date.

Rappelons que c'est avec cet orifice que la majorité de nos essais de 1957 ont été faits et avaient donné inflammation.

#### Fente rectangulaire de $8 \times 0,8$ mm.

Les deux essais 26 et 27 n'ont donné lieu qu'à une flamme fugace de quelque 3 sec de durée ; la tôle écran n'était pas placée ; le jet, après avoir passé sur le point d'impact, s'écrasait contre le mur en claveau.

Pour les essais 28 et 29, on a dirigé le jet pour éclabousser la tôle écran et ils ont donné lieu à des inflammations durables.

#### Fente rectangulaire de $8 \times 0,8$ mm plus jet circulaire de 3,5 mm ou de 1 mm.

Les orifices de sortie de l'huile sont disposés de part et d'autre du point d'impact (fig. 18).

L'orifice circulaire est distant de 0,95 m en horizontale du point d'impact et se situe à 0,42 m au-dessus du plan horizontal passant par ce point d'impact.

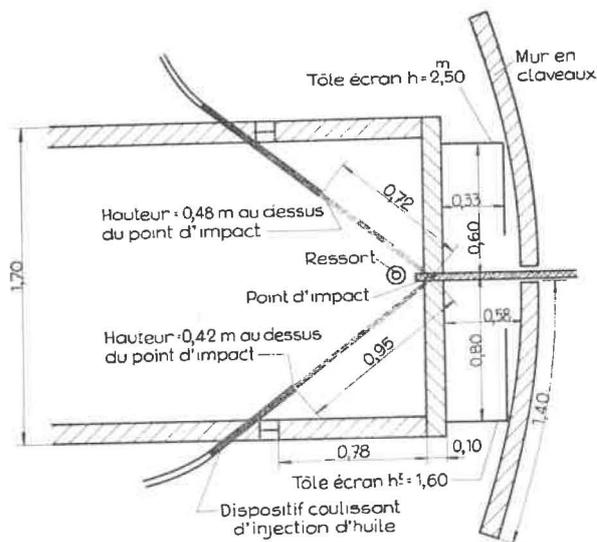


Fig. 18.

Ces distances sont respectivement 0,72 m et 0,48 m pour l'orifice rectangulaire.

Sur 20 essais effectués avec ce dispositif, nous avons obtenu 14 inflammations. Lors de trois essais n'ayant pas donné lieu à inflammation, la température de l'huile n'était que de 12° et le jet circulaire était produit par un orifice de 1 mm de diamètre.

Les flammes ont une ampleur effrayante.

#### B. — Expériences sur émulsion d'huile.

Nos essais tant de 1957 que de 1958 nous ont montré que, lorsque la température de l'huile est inférieure à 14°, elle s'enflamme difficilement. Pour cette température, la viscosité de l'huile est sensiblement augmentée.

Or si, pour des températures élevées soit 80 à 100°, les viscosités des différentes huiles minérales sont très voisines l'une de l'autre, elles divergent par contre très fort aux basses températures.

Nous avons essayé, les 5 et 6 octobre 1958, une émulsion d'huile employée comme fluide hydraulique dans un charbonnage de la région. Cette émulsion contient 25 % d'eau. A la température de 17°, elle se présente en un liquide semi-pâteux s'écoulant lentement à la pression atmosphérique.

Une première série d'essais a été effectuée à cette température ; comme pour les expériences précédentes, l'huile était contenue dans un réservoir sous la pression de 6 kg/cm<sup>2</sup> et amenée aux orifices de sortie par des boyaux de marteau-pic de 15 m de longueur.

Dans ces conditions :

- 1) à la sortie de la fente  $15 \times 0,8$ , l'huile bave sans donner lieu à projection en nappe ;
- 2) par l'orifice rond de 8 mm, le jet est parabolique d'une portée de 30 cm et n'est pas divisé ;
- 3) par l'orifice de 3,5 mm, le jet est également parabolique d'une portée d'environ 1 m sans division apparente.

### 1. Au contact d'arcs électriques.

Avec cet orifice de 3,5 mm de diamètre, deux essais ont été faits avec disjonction retardée respectivement à 3 et 5 sec. Ils n'ont pas donné lieu à inflammation malgré la présence de gros arcs extérieurs.

Nous avons alors diminué la longueur des flexibles à 2,50 m de façon à diminuer la perte de charge dans ce flexible et à augmenter ainsi la pression effective à la sortie de l'orifice. D'autre part, nous avons réchauffé l'huile et porté sa température à 21°, 37° et même 60°, pour tenir compte des conditions des températures rencontrées en pratique, l'huile s'échauffant jusqu'à 50 et 60° par le travail qu'elle fournit.

Pour quatre essais, la disjonction était retardée à 3 sec :

1) huile à 37°, jet de 3,5 mm de diamètre, distance 0,70 m : de petites flammes apparaissent au cours de l'essai mais ne durent pas après extinction des arcs ;

2) mêmes conditions, mais distance portée à 1 m pour que le jet tombe plus divisé sur l'arc. Il y a des flammes de 0,40 m de hauteur pendant l'essai, mais elles ne durent pas après extinction des arcs ;

3) température 21°, jet de 2 mm de diamètre, distance 1 m : même résultat qu'en 2) ;

4) huile à 60°, jet de 2 mm de diamètre, distance 1 m : même résultat qu'en 2) et 3) ;

5) disjonction instantanée, jet de 2 mm, distance 1 m : il n'y a que peu d'étincelles et pas d'inflammation même fugace.

Ces essais sont évidemment trop peu nombreux pour qu'on puisse en tirer une conclusion formelle. Ils seront poursuivis. On peut néanmoins dire qu'il semble que, dans ces conditions de durée d'arcs et de division d'huile, il n'y ait pas d'inflammation durable. Il se produit cependant une inflammation fugace.

### 2. Au contact d'autres sources de chaleur.

Les essais suivants ont eu pour but de se rendre compte si une telle huile pouvait alimenter un incendie.

On utilise des bacs en tôle de 0,30 × 0,40 × 0,05 m.

1) Dans un de ces bacs, on verse 1/4 de litre d'huile légère essayée précédemment ; dans l'autre également, 1/4 de litre d'émulsion d'huile. On obtient ainsi une lamelle très mince d'huile sur le fond du bac. On laisse tomber dans ces deux bacs des tisons de charbon allumé provenant d'un brasero. L'huile légère brûle immédiatement sur toute la surface du bac avec fumées noires très abondantes et des flammes de 0,60 m à 0,70 m de hauteur. La combustion dure 7 minutes. L'émulsion d'huile s'enflamme plus difficilement, avec des flammes

plus localisées de 0,10 m de hauteur. Les fumées grises au début deviennent noires par la suite. La combustion dure 25 min.

2) Dans un bac de mêmes dimensions, on verse 1/2 litre d'huile émulsionnée et on allume encore avec des braises rougies provenant du brasero. On souffle sur le foyer un peu d'air comprimé : les flammes sont très chaudes, blanches comme celles d'un chalumeau. La fumée est grise et la combustion dure 10 min.

3) On trempe un torchon dans l'émulsion et on le place sur le brasero. L'huile brûle immédiatement avec de hautes flammes. On place ce torchon dans le bac contenant 1/2 litre d'huile émulsionnée ; on souffle un peu d'air comprimé ; la combustion dure 30 min.

4) On dispose un peu d'huile émulsionnée sur une spatule et on verse alors cette huile dans le brasero ; l'huile s'enflamme ; la flamme gagne la spatule et s'y maintient.

En conclusion, cette huile, très visqueuse aux températures ambiantes, s'enflamme plus difficilement que l'huile légère ; cependant, divisée par porosité dans un torchon qui joue le rôle d'une mèche, elle s'enflamme facilement. D'autre part, répandue en mince pellicule sur une tôle, elle brûle au contact d'une braise rouge ; on observe que la braise, qui émerge de la pellicule, aspire immédiatement l'huile comme le ferait une mèche et produit une flamme d'une certaine hauteur. On peut alors s'imaginer que la tôle s'échauffe autour de cette braise, ce qui provoque l'évaporation de l'eau (fumées grises). Le point éclair de cette huile est alors atteint et toute la surface s'enflamme progressivement.

De telles huiles pourraient donc alimenter un incendie.

### C. — Essais sur câbles de fabrication nouvelles, belge et étrangère.

#### 1. Câble 3 × 35 mm<sup>2</sup> isolé au papier avec gaine extérieure en P.V.C.

Le 2 mars 1957, on nous a présenté un câble armé de mine ; ce câble a quatre conducteurs, dont un de terre, avec isolement au papier imprégné, mais

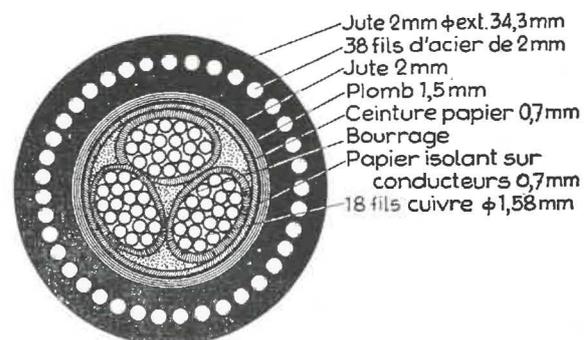


Fig. 19.

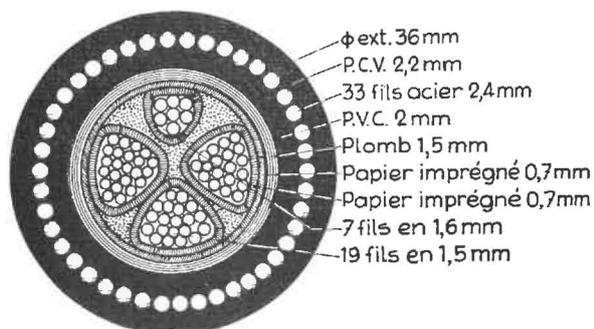


Fig. 20.

on a remplacé le jute des câbles classiques par deux couches de P.V.C. (fig. 20). Ce câble, d'un diamètre extérieur de 36 mm, a une section totale de 1018 mm<sup>2</sup> pour une section de conducteurs 3 × 35 mm<sup>2</sup> et 14 mm<sup>2</sup>, soit 119 mm<sup>2</sup>, soit encore un rapport de sections d'environ 9.

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau XX.

TABLEAU XX.

Essais sur câble nouvelle fabrication belge 1957 — 700 V.

N°	Hauteur	Mode de choc	Déclencheurs	Déclenchement	Pas Infl.	Inflammation	T° huile	Date	Observation
57/97	0,80	Cornière sur claveau incliné	CCI 5 × IN 90 A 3 sec.	non	PI			2/3/57	Expér. devant fabricant câble
98	1,20	id.	id.	inst.	PI			id.	id.
99	1,70	id.	id.	id.		I		id.	id.
111	0,60	id.	id.	non	PI			4/3/57	
112	0,50	id.	id.	non		I		id.	
113	0,50	id.	id.	½ sec.		I		id.	
114	0,45	id.	id.	non	PI			id.	
115	0,45	id.	id.	retardé	PI			id.	
116	0,40	id.	id.	non	PI		18°	5/3/57	
117	0,50	id.	id.	inst.	PI		id.	id.	
118	0,50	id.	id.	id.	PI		id.	id.	
119	1 m	plat poutrelle sur coup. rail	id.	id.	PI			id.	
120	1 m	id.	id.	id.	PI			id.	

Le disjoncteur, muni de ses trois relais électromagnétiques, était réglé en CCI, 5 × IN ou 375 A 3 sec, surcharge 90 A.

Le choc était à l'époque produit par la chute de la poutrelle munie de la cornière sur claveau incliné ; pour les deux derniers essais, il était produit par la chute du plat de l'aile de la poutrelle sur le câble disposé à plat sur un coupon de rail. La distance entre l'orifice et le point d'impact était de 0,60 m à 0,92 m.

Pour 13 essais, nous avons obtenu trois inflammations, l'une pour une hauteur de chute de 1,70 m (211 kgm), les deux autres pour une hauteur de chute de 0,50 m (59 kgm).

Quant à l'énergie de choc, on ne peut tirer aucune conclusion formelle au point de vue inflammation.

Douze de ces essais ont été enregistrés sur oscillogrammes.

L'oscillogramme 97 montre l'apparition d'un courant très faible (60 A) dans chacune des phases, les tensions restant pratiquement invariables. Au galvanoscope, on n'a pas décelé de défaut entre phases, mais un défaut entre une phase et la terre ; précisons que le conducteur neutre était raccordé à la terre.

Les oscillogrammes 114 et 116 (hauteur de chute 0,40 à 0,45 m) ne montrent pas de court-circuit.

Les oscillogrammes 99 (h = 1,70 m), 117 (h = 0,50 m) montrent des court-circuits comme ceux décrits précédemment, avec intensité de 450 à 517 A et déclenchement en 91 ou 100 ms.

Les autres oscillogrammes montrent des courts-circuits généralement biphasés, du moins pendant la majeure partie du phénomène.

Parmi ces oscillogrammes, le n° 112 (h = 0,50 m) qui comporte 25 périodes (520 ms) montre un court-circuit biphasé. Le disjoncteur n'avait pas déclenché au bout de 10 sec ; l'intensité maximum relevée des courants de défaut est de 400 A dans la phase 3. Cet essai a donné lieu à inflammation.

L'examen du câble montre une fente légère dans la gaine extérieure en P.V.C. ; la gaine intérieure et celle de plomb sont intactes. Les deux conducteurs qui étaient situés dans l'axe vertical de la chute du mouton, ont été en contact franc ; le papier isolant est brûlé ; des fils de cuivre sont sectionnés et perlés, ces perles se remarquent sur environ 2 cm ; le papier est brûlé jusqu'à l'extrémité libre du câble, distante de 15 cm ; les étincelles

n'ont donc pu sortir que par cette extrémité libre.

Le n° 111 ( $h = 0,60$  m) montre un court-circuit biphasé entre 1 et 3, avec une intensité maximum de 400 A : il n'y a pas eu déclenchement.

Le n° 115 ( $h = 0,45$  m) montre un court-circuit biphasé entre 1 et 3, avec intensité maximum de 390 A, décrochement nombreux dans les courbes des intensités 1 et 3, mais peu de variation dans les tensions correspondantes ; le court-circuit devient ensuite triphasé pendant 5 périodes, avec une intensité de 420 A, et il y a déclenchement, soit avec un retard de 1 sec.

Les n° 118 et 119 ( $h = 0,50$  m et 1 m) montrent des courts-circuits biphasés avec intensités de 470 et 415 A et déclenchement au bout de 104 et 95 ms.

En conclusion, le déclenchement du disjoncteur est irrégulier ; il peut être retardé, l'intensité étant alors voisine de celle de 375 A  $\pm 10\%$ , qui doit provoquer une disjonction instantanée ; la disjonction n'a pas eu lieu dans certains cas, alors que les courants sont nettement supérieurs à 90 A.

Il semble que les couches de P.V.C. jouent le rôle d'un matelas amortisseur, réduisant l'énergie du choc à l'intérieur du câble ; le nombre de courts-circuits biphasés augmente, ce qui n'avait été obtenu, pour les câbles enveloppés de jute, qu'avec de faibles énergies de choc.

Il faut aussi noter les courts-circuits entre phase et neutre (soit terre).

En 1958, nous avons expérimenté des câbles de fabrication française et belge. Les résultats sont donnés au tableau XXI.

## 2. Câble d'éclairage $4 \times 3$ mm<sup>2</sup>.

Ce câble est constitué (fig. 21) de quatre conducteurs entourés de gaines de caoutchouc toilées, noyés dans une enveloppe de caoutchouc incombustible toilée, et entourés d'une armature en fils d'acier, de 1,6 mm de diamètre, enrobée dans une gaine de P.V.C.

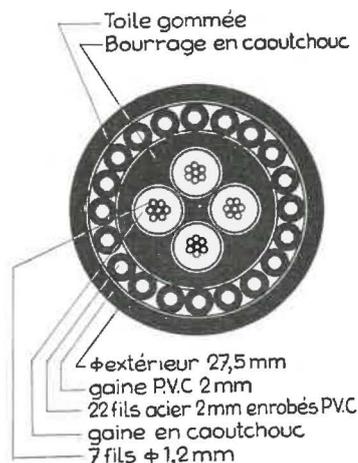


Fig. 21.

Le diamètre extérieur de ce petit câble est de 27,5 mm, ce qui donne une section totale de 594 mm<sup>2</sup> pour une section de conducteurs de 12 mm<sup>2</sup>, soit un rapport de sections d'environ 50.

Les essais ont été effectués dans les conditions de l'année 1958, décrites au début de ce chapitre.

Les résultats sont rapportés au tableau XXI, sous les n°s 75 à 80 de l'année 1958.

On remarque que, pour une hauteur inférieure ou égale à 1 m (énergie de 120 kgm), il n'y a ni inflammation, ni étincelle ou arc extérieur ; il semble qu'il faut porter l'énergie à 146 kgm (hauteur 1,2 m) pour obtenir une inflammation. Notons que cette inflammation ne se propage pas sur le câble.

Pour l'essai 77, le disjoncteur fonctionne avec retard ; pour les autres essais, le disjoncteur ne déclenche pas et nous coupons au bout de 10 sec.

Les blessures occasionnées lors de l'essai 76 ( $h = 1,20$  m) ont été relevées en détail. La gaine extérieure éclate en une boutonnière de 2 cm de longueur. Six fils d'armature ont leur petite gaine de protection déchirée, et fondue sur 10 mm au contact seulement des conducteurs, ce qui indique des arcs entre ces deux conducteurs et l'armature.

La gaine extérieure est lacérée, déchirée en lamelles noircies.

Les isolants des conducteurs eux-mêmes ont éclaté, mais n'ont pas fondu ; dans ces conducteurs eux-mêmes, il y a du cuivre manquant, sur 1/2 cm, avec perles de soudure sur les fils.

Pour une hauteur de chute de 0,80 m (essai 78), les isolants des conducteurs ne sont pas détruits, sauf pour l'un d'eux.

Pour une hauteur de chute de 1 m (essai 79), les isolants sont percés vers l'extérieur, soit vers l'armature.

## 3. Câble de mine semi-souple de fabrication française $4 \times 50$ mm<sup>2</sup> + $4 \times 4$ mm<sup>2</sup> — 1 kV.

Essais n°s 58/81 à 83.

Description (fig. 22).

C'est un câble de diamètre extérieur 46,7 mm, donc d'une section de 1712 mm<sup>2</sup>, pour une section de cuivre de 216 mm<sup>2</sup>, soit un rapport de sections d'environ 8.

Les isolements des conducteurs sont en caoutchouc incombustible ; la gaine extérieure est en néoprène.

Trois essais avec des énergies de 146 et 172 kgm ( $h = 1,20$  et 1,4 m) n'ont donné lieu ni à inflammation ni à disjonction. Il y a eu des étincelles extérieures, mais pas d'arc.

L'examen intérieur des câbles blessés montre qu'à l'endroit de l'impact, la gaine extérieure a éclaté dans le sens longitudinal. Les fils pilotes sont intacts, sauf l'un d'eux. Les isolants des conducteurs portent une ouverture également en boutonnière.

TABLEAU XXI.

N°	Hauteur	Mode de choc	Réglage des déclencheurs	Déclenchement	Inflammation	Débit huile	Date	Distance jet point impact	Type de câble	Observation
58/75	0,80	Cornière et poutrelle	CCI 5 × IN 90 A 3 sec	non	—	non	5/6/58		Eclairage français 4 × 3 mm <sup>2</sup>	Gros arcs apparents
76	1,20	id.	id.	non	—	non	id.		id.	
77	1,20	id.	id.	retardé	oui	3,5 mm Ø Fente 0,8-8 mm	id.	0,95 × 0,42 0,72 × 0,48	id.	
78	0,80	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	Pas d'arc
79	1 m	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	Pas d'arc
80	1,20	id.	id.	non	oui	id.	id.	id.	id.	La flamme ne se propage pas sur le câble
81	1,40	id.	id.	non	—	non	6/6/58		Câble 4 × 50 mm <sup>2</sup> 4 pilotes	On coupe après 10 sec. Étincelles sans arc
82	1,20	id.	id.	non	non	3,5 mm Ø Fente 0,8-8 mm	id.	0,95 × 0,42 0,72 × 0,48	id.	id.
83	1,40	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	id.
85	1,40	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	Câble 10 kV 3 × 50 mm <sup>2</sup>	Pas d'étincelle
86	1,40	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
87	1,40	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
88	0,80	id.	id.	non	oui	id.	id.	id.	Câble VFVB 1 kV	
89	0,60	id.	id.	oui	non	id.	id.	id.	id.	
90	0,60	id.	id.	non	oui	id.	id.	id.	id.	
101	1,50	id.	id.	non	non	id.	3/9/58	id.	Câble 6,6 kV 3 × 16 mm <sup>2</sup>	
102	1,50	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
103	1,00	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
104	1,50	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
105	1,50	id.	id.	non	non	id.	id.	id.	id.	
114	1,50	id.	id.	non	non	id.	20/9/58	id.	id.	

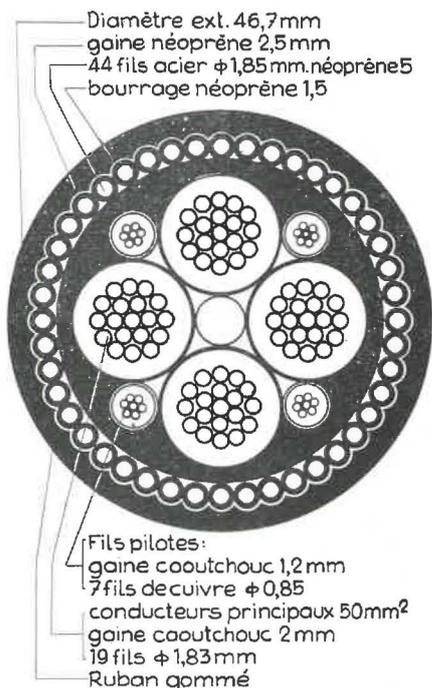


Fig. 22.

Les conducteurs montrent du cuivre perlé vers l'extérieur, à l'endroit où l'isolant est percé. Entre les conducteurs eux-mêmes, on ne voit pas de traces de coups de feu.

**4. Câble de fabrication belge 3 × 50 mm<sup>2</sup> — 10 kV.**

Essais 58/85 à 87.

Ce câble (fig. 23) comporte trois conducteurs, enveloppés d'une gaine de P.V.C. de 5 mm d'épaisseur, noyés dans un bourrage en matières plastiques et entourés d'une gaine de plomb.

Il y a un diamètre extérieur de 50,7 mm soit une section totale de 2019 mm<sup>2</sup>, pour une section de

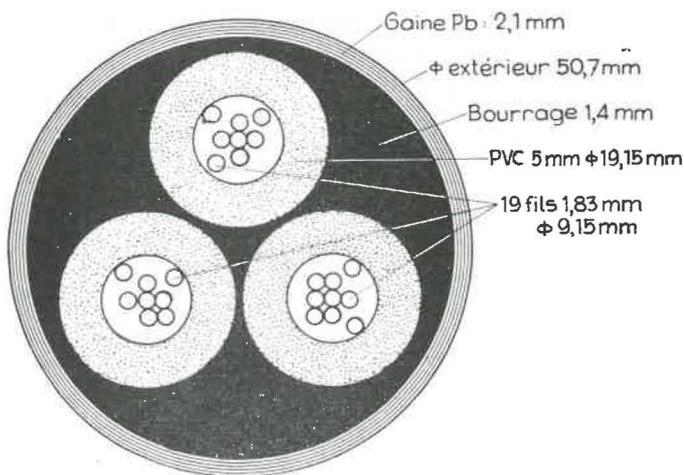


Fig. 23.

conducteurs de 150 mm<sup>2</sup>, soit encore un rapport de section de 13,4.

Trois essais avec une énergie de choc de 172 kgm (h = 1,4 m) ne donnent ni étincelle extérieure ni inflammation ni disjonction au bout de 10 sec.

Ces chocs sont pourtant sévères ; ils produisent dans la gaine en plomb une entaille de la largeur de la cornière, soit 10 mm, réduisant l'épaisseur du câble à 26,5 mm, soit environ de moitié, et l'aplatissant pour atteindre une largeur de 79 mm. Dans ces entailles, on remarque des petits trous ; cependant, l'examen intérieur du câble montre que les conducteurs, bien que pliés, restent torsadés et que leur gaine isolante en P.V.C. est intacte. Il n'y a donc pas eu de court-circuits.

**5. Câble de fabrication belge 3 × 15 mm<sup>2</sup> — 1 kV.**

Essais 58/88 à 90.

Ce câble (fig. 24) est constitué de trois conducteurs de sept fils de 1,65 mm enveloppés d'une gaine en P.V.C. Ces trois conducteurs sont noyés dans un bourrage en matières synthétiques, enveloppé de 18 fils méplats dont 16 sont en acier et 2 en cuivre. La gaine extérieure est constituée d'une enveloppe de P.V.C. de 1,5 mm d'épaisseur.

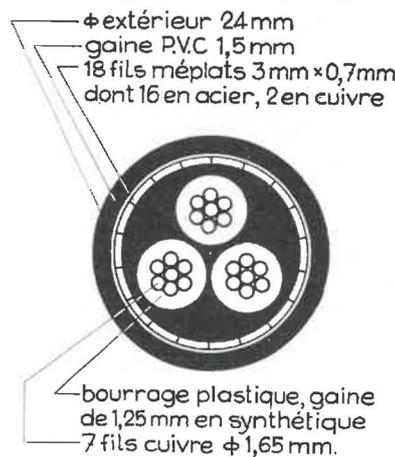


Fig. 24.

D'un diamètre extérieur de 24 mm, il a une section totale de 452 mm<sup>2</sup>, pour une section de cuivre de 45 mm<sup>2</sup>, soit un rapport de sections de 10.

Trois essais ont été effectués sur ce câble, avec des énergies de choc de 68 kgm et de 94 kgm (hauteur de choc 0,80 et 0,60 m).

Deux de ces essais ont donné lieu à inflammation sans qu'il y ait eu disjonction. Par contre, le 3<sup>me</sup> essai n'a pas donné lieu à inflammation mais à disjonction rapide.

Les blessures occasionnées au câble montrent l'éclatement des isolants dans le sens longitudinal et un contact entre deux conducteurs avec perlage

de l'un ou des conducteurs sur 3 à 4 mm de longueur.

La gaine extérieure en P.V.C. a éclaté en boutonnière à l'endroit de l'impact, laissant apercevoir le cuivre de l'un ou des conducteurs.

#### 6. Câble de fabrication belge $3 \times 16 \text{ mm}^2$ 6,6 kV pour pose horizontale.

Essais 58/101 à 105 et 114.

Ce câble (fig. 25) est constitué de trois conducteurs de  $16 \text{ mm}^2$ , composés de sept fils en cuivre de 1,7 mm de  $\varnothing$ .

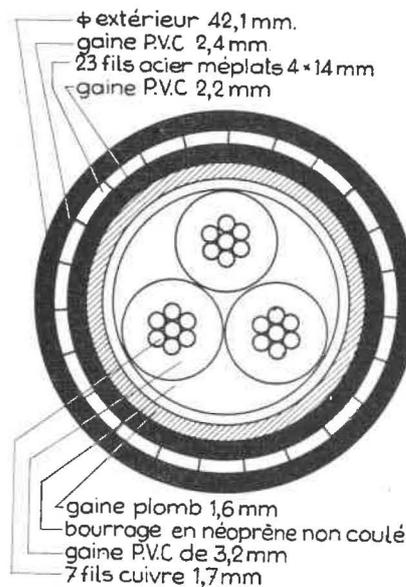


Fig. 25.

Ces conducteurs sont entourés d'une gaine isolante en P.V.C. de 3,2 mm d'épaisseur. Ils sont noyés dans un bourrage en néoprène non vulcanisé et enveloppés d'une gaine en plomb de 1,6 mm d'épaisseur et d'une gaine de P.V.C. ignifuge de 2,2 mm. L'armature comprend 23 fils d'acier galvanisé méplats de  $4 \times 1,4$  et un feuillard contre spirale de  $2 \times 0,2$  mm, enveloppés d'une gaine extérieure en P.V.C. ignifuge de 2,4 mm. Le diamètre extérieur du câble est égal à 42,1 mm, soit  $1496 \text{ mm}^2$  pour une section de cuivre de  $3 \times 16 = 48 \text{ mm}^2$ , soit un rapport de section de 30 environ.

Aucun des chocs ne donne lieu ni à étincelle ni à arc ni à déclenchement du disjoncteur, qui est coupé volontairement après 10 à 20 sec.

#### Examen intérieur du câble.

Le câble est écrasé d'une façon sévère sur la largeur de la cornière couperet pour un choc de 197 kgm : le diamètre du câble est, au droit du choc, réduit à 27 mm, ce qui représente 64 % de sa valeur initiale.

La gaine extérieure en P.V.C. est marquée de l'empreinte de la cornière, mais n'est pas trouée, ce qui indique que, même s'il s'était produit un court-circuit, les particules de cuivre incandescentes n'auraient pu s'échapper du câble.

Les fils de l'armature sont pliés mais non cassés, ce qui est un élément favorable, un fil cassé risquant de trouer la gaine extérieure.

La gaine intérieure en P.V.C. est par contre trouée par les fils en méplat.

La gaine en plomb est écrasée jusqu'à une épaisseur de 12,5 mm pour un choc de 197 kgm, soit jusqu'à 41 % de sa valeur initiale, et jusqu'à une épaisseur de 16,5 mm pour un choc de 120 kgm, soit jusqu'à 55 % de sa valeur initiale. Cette gaine est trouée lors des chocs de 197 kgm : ces trous se situent à l'aplomb des trois conducteurs qui sont ramenés dans un même plan. Elle n'est pas trouée pour le choc de 120 kgm.

La gaine bourrage en néoprène est trouée au droit des conducteurs pour les chocs de 197 kgm, elle n'est pas trouée pour le choc de 120 kgm.

Les gaines isolantes en P.V.C. entourant chaque conducteur, sont intactes, sauf lors d'un essai avec une énergie de 197 kgm, où la gaine d'un seul conducteur est griffée légèrement.

Un essai de claquage du bout de ce conducteur, dans l'huile, a été poussé à 45.000 V sans résultat.

Les câbles avec isolants et gaines en P.V.C. résistent beaucoup mieux au choc que ceux avec isolants en papier et gaine en jute.

Avec un choc déjà sévère au point de vue pression unitaire et d'une énergie déjà grande: 200 kgm, la souplesse des gaines protège les conducteurs dont les gaines isolantes restent intactes : il ne se produit donc pas de court-circuit et le même résultat encourageant eut été atteint si le câble avait été choqué alors qu'il était sous une tension de 6,6 kV, tension pour laquelle il est construit.

On peut estimer que les chocs d'essais reproduisent des chocs moyens et fréquents dans la mine : déraillement d'un wagonnet, chute d'un cadre métallique, d'une grosse pierre.

On mesure le progrès accompli dans la résistance mécanique des câbles des mines, en se rappelant le premier essai, au cours duquel la chute d'un clavier de 38 kg d'une hauteur de 60 cm sur un câble armé de puits de mine, avec isolement au papier, provoquait un court-circuit avec projections importantes de matières incandescentes.

#### D. — Ampleur d'un incendie d'huile.

Le 14 octobre 1958, nous avons procédé à des essais d'un genre nouveau. En allumant de l'huile dans un espace confiné, nous avons voulu voir jusqu'à quelle distance pouvait s'étendre la flamme.

### 1. Expériences dans une conduite de buses de 400 mm de diamètre.

#### Essai n° 1.

Conditions : buse de 2,50 m de longueur, posée horizontalement sur le sol.

Point chaud : quelques braises disposées à une extrémité de la buse.

Projection d'huile : orifice de 2 mm de diamètre (débit 7 litres/min), sous une pression de 6 kg/cm<sup>2</sup> ; projection sur le point incandescent.

Résultat : petite flamme.

On souffle avec un jet d'air comprimé sur cette flamme qui sort alors par l'orifice opposé.

#### Essai n° 2.

On retourne la buse dans le sens du vent.

Conditions : On remplace les braises par une torche enflammée qui est maintenue dans le jet d'huile à l'aide d'une perche.

On remplace l'orifice de 2 mm de diamètre par la fente de 8 × 0,8 mm (débit 6,6 litres/min).

Résultat : Flamme sortant par l'autre orifice sur une longueur de 2 m à 2,50 m.

On souffle alors avec un boyau d'air comprimé et il se produit un retour de flamme vers l'arrivée d'air comprimé.

#### Essai n° 3.

Longueur de buses : 11 m.

Les autres conditions sont inchangées.

Résultat : une flamme énorme sort par l'autre extrémité de la buse.

On souffle alors de l'air comprimé. La flamme reste la même.

Après avoir arrêté l'alimentation en huile, la flamme disparaît, mais des fumées noires opaques continuent à s'échapper de la buse. On effectue alors une prise d'échantillon de ces fumées dont l'analyse donne :

CO <sub>2</sub>	5,7 %
O <sub>2</sub>	17 %
CO	0,35 %
CH <sub>4</sub>	0,45 %
N <sub>2</sub>	76 %
Kz	4,8

#### Essai n° 4.

Mêmes conditions mais la longueur de buses est portée à 17 m.

On mesure les débits de courants d'air :

1) sans air comprimé	V = 1,15 m/sec
	Q = 0,145 m <sup>3</sup> /sec

2) avec air comprimé	V = 6,08 m/sec
	Q = 0,763 m <sup>3</sup> /sec

Résultat : Sans air comprimé, la flamme sort de la conduite avec une fumée opaque et grise.

Avec air comprimé, la flamme s'allonge et il y a des retours de flammes vers l'arrivée d'air comprimé.

Après arrêt de l'alimentation en huile et de l'air comprimé, il sort une fumée noire dont l'analyse donne :

CO <sub>2</sub>	6,4 %
O <sub>2</sub>	10,57 %
CO	0,74 %
CH <sub>4</sub>	0
N <sub>2</sub>	82,29 %
Kz	6,58

#### Essai n° 5.

Mêmes conditions, mais la longueur des buses est portée à 23 m.

Les résultats sont identiques à ceux de l'essai n° 4.

Une analyse faite dans les mêmes conditions qu'en 4 donne les résultats suivants :

CO <sub>2</sub>	2,6 %
O <sub>2</sub>	16,87 %
CO	0,082 %
CH <sub>4</sub>	0,318 %
N <sub>2</sub>	80,13 %
Kz	1,8

Pour ces essais 4 et 5, les flammes sortaient de la conduite avec une longueur de 6 à 7 m, accompagnées d'une fumée noire et opaque. Cette fumée fut emportée par le vent vers une rue voisine et resta opaque sur environ 150 m. Nous n'avions dû pourtant brûler que 3 à 4 litres d'huile.

A cause de l'ampleur du nuage de fumées, qui gênait le voisinage, nous avons dû transporter notre dispositif dans un endroit plus désert.

Le 17 octobre 1958.

#### Essai n° 6.

Conditions. Longueur des buses horizontales : 36 m.

A ce nouvel emplacement, la direction du vent par rapport à la conduite ne provoque plus un courant d'air soufflant vers l'extrémité des buses. Par contre, la pression d'air comprimé ayant été augmentée, on obtient un débit de :

V = 9,68 m/sec
Q = 1,21 m <sup>3</sup> /sec.

Par ailleurs, les autres conditions restent inchangées ; projection d'huile par la fente 8 × 0,8 mm (débit de 6,6 litres/min) et allumage par une torche enflammée.

*Résultats.* La flamme occupe toute la longueur des buses et sort à l'extérieur sur une longueur de 1 à 2 m. Il y a un retour de flammes pulsatoires au brûleur et la flamme sort par les joints d'assemblage des buses.

*Essai n° 7.*

Mêmes conditions.

La flamme sort et s'épanouit sur 5 à 6 m.

*Essai n° 8.*

Mêmes conditions.

La flamme ne sort pas des buses, mais une fumée abondante empêche toute autre observation.

*Essai n° 9.*

Mêmes conditions.

Une flamme apparaît à l'extrémité des buses, mais ne dure pas.

*Essai n° 10.*

Mêmes conditions, mais on remplace la fente par le trou de 2 mm.

La flamme ne sort pas de la conduite.

*Essai n° 11.*

Mêmes conditions, mais on remplace l'orifice de 2 mm par la fente.

A 1 m de l'extrémité des buses, on dispose verticalement un panneau en bois constitué de deux planches jointives de 30 cm de largeur, 2 cm d'épaisseur et de 1,60 m de hauteur.

Après allumage, une flamme sort de la conduite mais ne dure que quelques secondes. La fumée noire continue à sortir et s'écrase contre le panneau. L'essai dure 1 min. Nous remarquons alors un trou embrasé dans le panneau au joint des deux planches.

Le 21 octobre 1958.

*Essai n° 12.*

Nous recommençons ce même essai, mais en utilisant 12 m de buses.

La mesure du débit d'air comprimé donne :

$$V = 21,12 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q = 2,64 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Le même panneau est disposé à 1,20 m de la sortie des buses.

La flamme sort des buses et s'écrase contre la porte. L'essai dure 75 sec, mais la porte ne s'enflamme pas. Elle était restée exposée à la pluie pendant 4 jours.

*Essai n° 13.*

Mêmes conditions.

Un panneau semblable au précédent, mais en bois plus sec, ne s'enflamme pas. L'essai a duré 30 sec, mais le panneau ne fut exposé aux flammes que pendant très peu de temps. Une fumée extraordinairement opaque sortait de la conduite et s'écrasait contre le panneau.

Une analyse des fumées après arrêt de l'alimentation en huile, mais alors que l'on soufflait de l'air comprimé, a donné les résultats suivants :

CO <sub>2</sub>	2	%
O <sub>2</sub>	17,6	%
CO	0,21	%
CH <sub>4</sub>	0	
H <sub>2</sub>	0,19	%
N <sub>2</sub>	80	%
Kz	6	

*Remarques générales.*

Lors de ces expériences quels que soient le débit d'huile utilisé et le débit d'air comprimé, nous remarquons une quantité importante d'huile qui ne brûle pas et qui stagne après les essais dans la partie inférieure de la conduite, et cela sur 15 à 20 m de longueur à partir du brûleur. Nous n'avons pu apprécier la quantité d'huile qui échappe ainsi à la combustion.

Cette huile stagnante continue à brûler en petits foyers localisés et en dégageant une fumée noire dont les analyses sont rapportées ci-dessus. En soufflant de l'air comprimé en débits variables avec le maximum de 2,64 m<sup>3</sup>/sec ci-dessus, on ne parvient ni à étendre ces foyers ni à les éteindre ; ils continuent à brûler en une ou plusieurs petites flammes localisées. Nous avons dû les éteindre en envoyant dans les buses un jet de neige carbonique accompagné d'une chasse d'air comprimé.

Répétons donc que de l'huile échappe en quantité notable à la combustion et que les fumées sont extraordinairement opaques parce que chargées de suies ; elles contiennent donc beaucoup d'imbrûlés. Pourtant, il faut théoriquement environ 10 m<sup>3</sup> d'air strictement nécessaire à la combustion complète de 1 litre d'huile. Le débit d'huile était de 6,6 litres/min, soit 0,11 litres/sec. Le débit d'air strictement nécessaire était donc de 1,1 m<sup>3</sup>/sec ; il était largement dépassé, parfois doublé au cours de nos expériences.

C'est la division grossière de l'huile, empêchant un mélange intime d'huile et d'une quantité suffisante d'air, qui provoque ces imbrûlés, contrairement à ce qui se passe dans un brûleur à mazout. Dans ces brûleurs, on a, par empirisme, réalisé un mélange intime de mazout pulvérisé, et non pas divisé, avec la quantité nécessaire d'air.

**2. Expériences dans la galerie d'essais des explosifs de l'Institut National des Mines, à Pâturages, en novembre 1958.**

Nous aurions voulu nous rendre compte de l'importance possible de la flamme d'un feu d'huile dans une galerie de travaux souterrains ; c'est-à-dire nous aurions voulu extrapoler les résultats obtenus dans la conduite de 400 mm de diamètre à une section notablement plus grande. Nous n'avons pu trouver dans les installations superficielles des charbonnages environnants une galerie ouverte se prêtant sans danger à ces essais. Aussi, nous avons demandé à l'Institut National des Mines l'utilisation de sa galerie d'essais des explosifs, qui a une section de 2 m<sup>2</sup>.

Nous remercions Mr. Fripiat, Administrateur de l'I.N.M., de nous avoir mis la galerie à notre disposition et nous remercions également Mr. Callut, Ingénieur principal divisionnaire à l'Institut, ainsi que ses collaborateurs, pour l'aide qu'ils nous ont aimablement apportée dans la réalisation de ces essais. Certains de ces essais ont d'ailleurs été réalisés entièrement par l'I.N.M.

Nous remercions également Mr. Dutilleul, Directeur des travaux à la S.A. des Charbonnages du Levant et des Produits de Flénu, qui nous a prêté un ventilateur de 15 ch, ce qui a permis la réalisation d'une partie des essais.

La galerie d'essais est composée d'éléments cylindriques en acier, boulonnés les uns aux autres, d'une longueur totale de 40 m, de 1,6 m de diamètre, soit d'une section de 2 m<sup>2</sup>.

Des hublots en plexiglas, disposés tous les 3 m, permettent de suivre la progression de la flamme dans la galerie (fig. 26).

A une de ses extrémités, la galerie comporte une chambre d'explosion ; lors des essais d'explosifs au grisou, cette chambre est délimitée par une paroi en papier, et le mortier vient boucher un orifice circulaire de 55 cm de diamètre, pratiqué dans la paroi transversale.

Pour nos essais, nous n'avons pas utilisé la paroi en papier et un ventilateur a été placé devant l'orifice circulaire.

La galerie est ouverte à l'autre extrémité.

*Les 29, 30 et 31 octobre 1958.*

Le dispositif de division d'huile (fig. 26) est à l'emplacement de la chambre d'explosion. Il est constitué :

1) par l'orifice circulaire de 2 mm de diamètre, avec pression de 6 kg/cm<sup>2</sup> (débit 7 litres/min), dont le jet conique frappe une petite tôle écran, de 35 × 27 cm, disposée perpendiculairement à 55 cm à l'est de l'orifice ;

2) une fente 13 × 0,8 mm (18 litres/min) débitant une nappe frappant le sommet de la galerie.

L'allumage est réalisé par l'explosion de 50 g de poudre noire, mise à feu par un inflammateur ; cette charge est suspendue dans la trajectoire du jet conique.

L'air soufflé par l'orifice ouest est fourni par un ventilateur à air comprimé, donnant un débit de 2,6 m<sup>3</sup>/sec, soit une vitesse de 1,3 m/sec.

*Essai n° 1.*

Le régime de ventilation étant établi, on allume la charge de poudre noire au moment où l'on projette l'huile. Il se produit une flamme fugace de 7,5 m de longueur.

*Essai n° 2.*

Mêmes conditions, mais le jet conique est fourni par l'orifice circulaire de 3,5 mm de diamètre (débit 13,6 litres/min).

Il se produit une flamme fugace de 12 m de longueur.

*Essai n° 3.*

Mêmes conditions que pour l'essai n° 2, mais on descend la charge de P.N. de façon qu'elle n'intercepte plus le jet conique d'huile.

La flamme atteint une longueur de 27 m, puis revient vers ouest dans la « chambre » d'explosion où elle se stabilise.

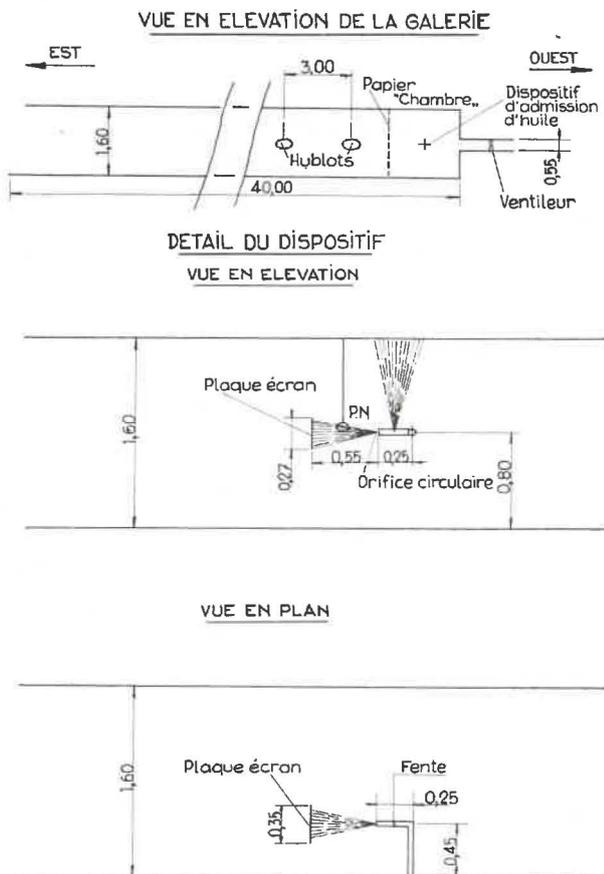


Fig. 26.

Durée de l'aller et retour de la flamme : 30 sec.  
Ces essais ont été réalisés par l'I.N.M.

Le 4 novembre 1958.

Essais effectués en collaboration avec l'I.N.M.

#### Essai n° 4.

Le même dispositif (fente de  $13 \times 0,8$  mm et trou de 5,5 mm) est disposé à 11 m de la sortie libre de la galerie (fig. 27).

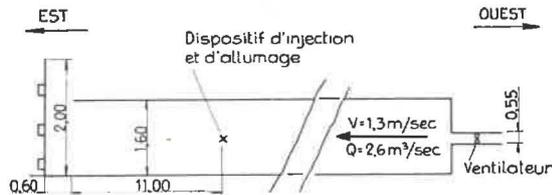


Fig. 27.

Une porte en bois est plantée verticalement à l'extérieur, à 0,60 m de la sortie.

Cette porte, de 2 m de hauteur et 1,5 m de largeur, est constituée de planches sèches de 12 à 15 mm d'épaisseur.

On provoque l'allumage de la flamme par un brandon d'étaupe enduite d'huile, disposé sous le jet inférieur.

La flamme sort de l'orifice et se maintient, avec des fumées très abondantes et noires.

La porte rougit au contact de la flamme, qui se maintient pendant l'essai d'une durée de 80 sec. Elle ne flambe pas pendant qu'elle reste exposée aux fumées abondantes, mais dès que ces fumées se dissipent, elle flambe.

#### Essai n° 5.

Mêmes conditions, mais on supprime la nappe d'huile supérieure : on n'obtient qu'une flamme fugace.

Le 5 novembre 1958.

Les essais suivants ont été effectués en collaboration avec l'I.N.M.

Nous avons remplacé le ventilateur à air comprimé par un ventilateur électrique de 15 ch, donnant un débit de 375 m³/min sous dépression nulle.

Le débit mesuré dans la galerie est de 6,2 m³/sec, avec une vitesse de 3,10 m/sec.

Le dispositif d'allumage d'huile est, comme dans les essais 4 et 5, à 11 m de l'orifice libre de la galerie.

#### Essai n° 1 (fig. 28).

Jet en nappe horizontale, de  $13 \times 0,8$  mm (18 litres/min) frappant un petit écran métallique.

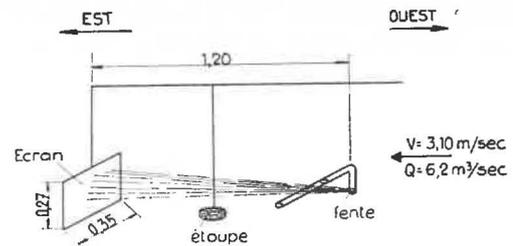


Fig. 28.

L'allumage se fait comme dans les essais 4 et 5 par un brandon d'étaupe, imbibée de pétrole et d'huile, allumé préalablement et pendu dans la trajectoire de la nappe.

On souffle l'air, on injecte.

La flamme est très fugace et ne sort pas par l'orifice.

#### Essai n° 2.

Mêmes conditions et résultats.

La pression d'air comprimé sur la cuve était tombée à 3 kg/cm².

Une flamme se maintient sur l'aire de la galerie (huile non brûlée).

On réinjecte de l'huile sur ce feu : il n'y a pas de flamme sortant par l'orifice, mais seulement une abondante fumée noire. Il a été remarqué que la combustion est très incomplète malgré le débit de 6 m³/sec ; environ plus du double du débit strictement nécessaire.

#### Essai n° 3.

On dispose le jet transversalement à la galerie pour qu'il s'écrase contre la paroi ; le brandon enflammé est dans la trajectoire du jet. Après injection, la flamme sort de la galerie et enflamme la porte en 1/2 min. La flamme se maintient et la fumée noire est abondante.

Il est à noter que, dans ce cas, l'huile était projetée contre la paroi de la galerie, qui constituait un écran plus efficace que la petite tôle.

#### Essai n° 4.

Jet conique de 2 mm Ø (débit 7 litres/min) disposé comme en 3) transversalement à la galerie.

Résultat : la flamme se localise au jet, mais ne se propage pas. Fumée grise.

Après arrêt de l'injection, le brandon continue à brûler ainsi qu'une tache d'huile à l'aire de la galerie, mais il n'y a pas de propagation du feu, malgré l'air soufflant.

#### Essai n° 5.

Jet conique de 3,5 mm Ø (débit 14 litres/min) disposé transversalement à la galerie, même disposition du brandon enflammé.

**Résultat :** la flamme reste dans la section intéressée par la projection d'huile, ainsi qu'au sol ; elle remonte vers le courant d'air, au sol sur 6 m. Un quart d'heure après cessation de la projection, l'huile brûle toujours au sol, ainsi que le brandon.

On projette de nouveau l'huile, mais la flamme reste localisée dans la section, en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, ainsi qu'il a été observé à travers le ventilateur de l'extrémité ouest.

**Essai n° 6.**

On utilise une lance d'arrosage, donnant un jet très éparpillé d'huile finement divisée, de 2 m de portée, de 14,5 litres/min.

Le jet est transversal à la galerie et le brandon est placé dans la trajectoire du jet (fig. 29).

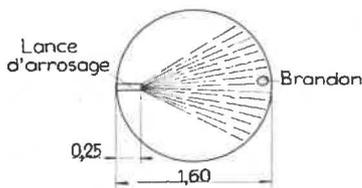


Fig. 29.

**Résultat :** Courte flamme localisée.

**Essai n° 7 (fig. 30).**

Jet de 3,5 mm Ø, disposé longitudinalement à la galerie.

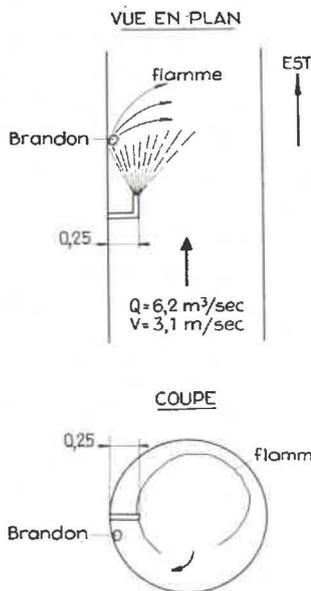


Fig. 30.

Brandon de coton vers la paroi de la galerie et sous le jet.

**Résultat :** Flamme de 2 à 3 m de longueur, tournant dans le sens des aiguilles d'une montre quand on l'observe à travers le ventilateur.

**Essai n° 8.**

Même disposition qu'au 7, mais le jet est concentré sur le brandon enflammé.

**Résultat :** Ce brandon a tendance à s'éteindre.

**Essai n° 9.**

Double jet (fig. 31), le jet supérieur étant produit par la lance d'arrosage, le jet inférieur, par le trou de 3,5 mm Ø ; ce dernier s'écrase sur un petit écran de 27 cm de hauteur et 35 cm de largeur, la lance projette son jet au-dessus de l'écran. Brandon enflammé sous le jet inférieur.

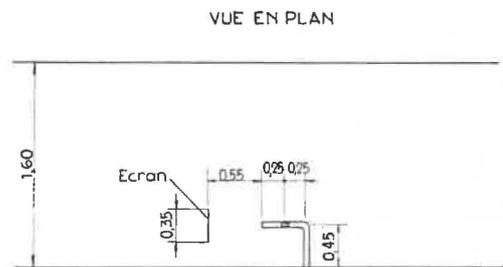
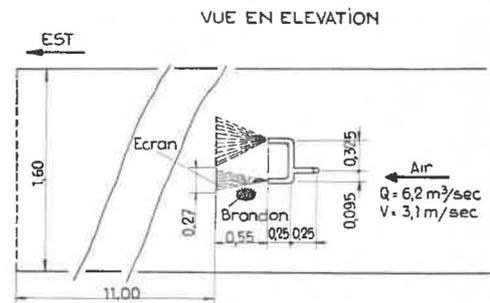


Fig. 31.

**Résultat :** En deux secondes, la flamme parcourt les 11 m, s'épanouit en dehors de la galerie sur 7 à 8 m de hauteur et fait flamber les branches des arbres environnants.

Le 7 novembre 1958.

**Essai n° 10.**

Mêmes conditions et résultat qu'à l'essai n° 9 ; la fumée noire est très abondante.

**Essai n° 11.**

Le dispositif précédent (jet de 3,5 mm et lance d'arrosage) est reculé à 26 m de l'orifice de la galerie.

**Résultat :** par les hublots, on observe une flamme d'au moins 12 m, qui se maintient ; les deux hublots suivants sont fêlés et opaques.

*Essai n° 12.*

Mêmes conditions qu'en 11.

La flamme progresse rapidement sur 15 m de longueur, elle tarde de 15 à 18 m et gagne enfin la sortie en 40 sec. Elle se maintient à l'orifice, avec beaucoup de fumées noires.

*Essai n° 13.*

Pour tenter de réaliser une combustion plus complète, on remplace le jet inférieur de 3,5 mm de diamètre par un jet de 2 mm de diamètre.

La flamme hésite d'abord, atteint une longueur de 12 m en 30", et le bout de la galerie en 60".

La flamme disparaît et réapparaît plusieurs fois à l'orifice dans un nuage de fumées noires encore plus abondant que lors de l'essai précédent, bien que l'excès d'air soit plus grand.

*Essai n° 14.*

Le jet inférieur est une nappe passant par la fente  $17 \times 0,8$  mm, disposé horizontalement. Une partie de cette nappe frappe le petit écran.

*Résultat* : Une flamme de 6 m de longueur se maintient dans la partie nord de la galerie occupée par l'écran. Fumées grises.

Nous aurions voulu poursuivre ces essais, en particulier en augmentant la surface de la tôle écran. Mais nous les avons arrêtés parce que plusieurs hublots en glace de 2 à 3 cm d'épaisseur, avaient été endommagés par la chaleur, ainsi que les joints d'assemblage des éléments de la galerie. Nous comptons pouvoir les poursuivre dans la nouvelle galerie d'essais des matériaux à l'inflammation, que l'I.N.M. est occupé à construire.

*En résumé,*

Nous avons obtenu une flamme de 2 m<sup>2</sup> de section et d'au moins 26 m de longueur en divisant un débit de 21 à 28 litres/min d'huile sous 6 kg/cm<sup>2</sup> de pression par deux orifices ; dont l'un est une lance d'arrosage, l'autre un trou circulaire de 2 ou 3,5 mm de  $\varnothing$  ; ce dernier jet frappe une petite tôle écran ; le débit d'air est de 6,2 m<sup>3</sup>/sec.

Comme pour les essais dans les buses de 400 mm de diamètre, nous remarquons des dépôts d'huile imbrûlée au sol et des fumées noires, contenant encore beaucoup d'imbrûlés. Ces dépôts d'huile continuent à brûler en petits foyers qui ne s'activent et ne s'étendent pas sous le courant d'air de 2,6 m<sup>3</sup>/sec ou 6,2 m<sup>3</sup>/sec. La flamme est très localisée dans certains essais où l'huile n'est pas assez divisée ou ne rencontre pas un écran approprié.

Une porte de bois située à la sortie de la galerie s'enflamme et brûle en un temps très court.

**E. — Essai d'extinction d'un incendie, alimenté par de l'huile, avec des lances de pompiers.**

Cet essai a été effectué le 12 septembre 1958.

Un tronçon de puits a été monté dans un endroit écarté, afin de pouvoir y réaliser sans danger des incendies d'huile très violents.

Le tronçon de puits est en claveaux : il a 3,2 m de diamètre et 2,3 de hauteur, il est ouvert sur un quart de la circonférence pour constituer un « regard ». Des ouvertures sont ménagées à la base du tronçon, dans le 2<sup>me</sup> tas de claveaux, pour permettre une arrivée d'air sur le foyer.

L'huile s'échappe par un orifice de 3,5 mm de diamètre (débit 14 litres/min) et une fente  $0,8 \times 8$  mm (6,6 litres/min) sous une pression de 6 kg/cm<sup>2</sup>. Le cône et la nappe d'huile divisée s'écrasent sur une tôle placée verticalement, sur une hauteur de 0,50 m dans le milieu du puits.

Le débit d'huile est d'environ 20 litres/min.

L'huile divisée est projetée sur un feu de paille et les flammes montent bientôt à une hauteur de 7 à 8 m.

Un premier essai d'extinction a lieu avec une lance de 14 mm de diamètre, munie d'un pulvérisateur à finesse variable, alimentée sous 5 kg/cm<sup>2</sup> de pression.

L'eau divisée remplit toute la section du tronçon de puits, sans résultat apparent.

Le feu étant limité à la section du tronçon de puits, les pompiers approchent alors du foyer et visent particulièrement la sortie de l'huile par les orifices : il n'y a pas de résultat apparent. L'essai dure 3 min, temps de vidange du réservoir contenant l'huile.

Un second essai, d'une même durée, a lieu avec une lance de 24 mm d'orifice de sortie, également sous 5 kg/cm<sup>2</sup>. Le débit d'eau est de 848 litres/min et le jet est compact et brutal. Les pompiers peuvent s'approcher du tronçon de puits et d'une distance de 3 m viser les orifices d'arrivée d'huile. Ils ne parviennent pas à éteindre l'incendie pendant les trois minutes nécessaires à la vidange du réservoir d'huile.

Nous comptons continuer ces expériences dont le sujet est loin d'être épuisé, en faisant varier les facteurs qui les conditionnent, notamment la pression de l'huile et la tension d'alimentation du câble.

Il nous a toutefois paru utile de donner dès à présent connaissance de ces premières études aux personnes intéressées par la question de l'utilisation de l'huile comme fluide hydraulique et la sécurité au choc des câbles électriques dans la mine.