

L'ÉLECTRICITÉ DANS LES MINES

Essais effectués dans la galerie d'expériences
de Gelsenkirchen-Bismarck sur la sécurité des machines et
appareils électriques dans les atmosphères
explosibles des mines

PAR

M. LE BERGASSESSOR BEYLING

(Suite et fin) (1)

B. CUIRASSES MUNIES DE TOILES MÉTALLIQUES.

Essais sur l'efficacité des toiles. -- L'emploi de la toile métallique pour isoler, de l'atmosphère extérieure, des milieux où une explosion peut se produire, est le moyen de protection le plus connu. Tous les appareils protégés par des enveloppes munies de toiles métalliques, expérimentés en 1903, avaient donné de mauvais résultats; c'est pourquoi il convenait d'examiner si la toile métallique devait être rejetée définitivement.

Les essais furent exécutés seulement avec la toile adoptée pour les lampes de sûreté qui comporte 144 mailles au centimètre carré et dont le diamètre du fil oscille entre 0.3 et 0.4 mm; le métal était de l'acier, du laiton ou du bronze. On peut faire remarquer, dès à présent, que la nature du métal joue un rôle très peu important dans la sécurité. Le problème le plus intéressant à résoudre tout d'abord était celui-ci : quel rapport doit exister entre la

(1) Voir *Ann. des Mines de Belg.*, 1906, t. XI, 3^{me} liv., p. 629, 4^e liv. p. 984.

surface protectrice de toile métallique et le volume à protéger ?

Des essais préalables furent faits au moyen d'un cylindre et d'une calotte en toile métallique; ils permirent de constater la sécurité relative de ces appareils, mais surtout d'observer le phénomène de la « post-combustion » dont il sera parlé plus loin.

Les essais importants furent ensuite exécutés au moyen de la « bombe » dont il a été parlé plus haut.

Un des fonds de cet appareil fut enlevé et, comme la figure 17 l'indique, on lui substitua pour les essais, une paroi constituée d'une ou plusieurs toiles métalliques; pour pouvoir régler à volonté la surface de toile métallique, on adaptait sur la toile même une plaque en tôle ainsi que

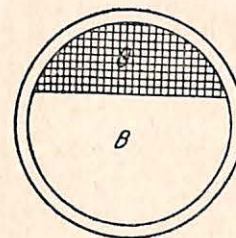


FIG. 16

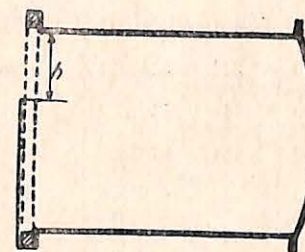


FIG. 17.

l'indiquent les figures 16 et 17; il suffisait alors de mesurer la hauteur h pour connaître la surface de toile protectrice.

L'allumage fut fait au moyen de l'inflammeur à étincelle ou à incandescence, le point d'inflammation était sensiblement au milieu de la bombe; les essais furent faits la bombe ayant son grand axe vertical ou horizontal.

Le tableau ci-après donne les résultats des essais :

N° d'ordre	Position de la bombe	Nombre de toiles	H en m/m	G en cm ²	F en cm ²	RÉSULTAT	ÉTAT DES TOILES MÉTALLIQUES à la Sortie du gaz	PHÉNOMÈNES de Post-combustion	OBSERVATIONS
1	<i>h</i>	1	375	1,104	1,104	<i>KD</i>	faiblement incandescent	fort	Couvercle en toile pas enlevé comme fig. 18.
2	<i>v</i>	1	375	1,104	1,104	<i>DK</i>	id.	modéré	
3	<i>h</i>	1	185	546	546	<i>KD</i>	<i>n. b.</i>	id.	
4	<i>h</i>	1	180	528	528	<i>KD</i>	<i>n. b.</i>	id.	—
5	<i>h</i>	1	170	491	491	<i>KD</i>	<i>n. b.</i>	id.	—
6	<i>h</i>	1	160	455	455	<i>KD</i>	<i>n. b.</i>	—	—
7	<i>h</i>	1	155	437	437	<i>D</i>	incandescent au rouge	—	—
8	<i>v</i>	1	155	437	437	<i>D</i>	<i>n. b.</i>	—	—
9	<i>h</i>	1	145	401	401	<i>D</i>	<i>n. b.</i>	—	—
10	<i>v</i>	1	145	401	401	<i>D</i>	<i>n. b.</i>	—	—
11	<i>h</i>	1	130	344	344	<i>D</i>	incandescent clair	—	—
12	<i>h</i>	1	60	116	116	<i>D</i>	au blanc	—	—
13	<i>v</i>	2	150	437	874	<i>KD</i>	<i>N</i> intérieur incandescent	assez-fort	—
14	<i>v</i>	2	100	240	480	<i>KD</i>	les 2 <i>N</i> incandescents	id.	<i>D</i> à travers le <i>N</i> intérieur.
15	<i>h</i>	2	95	225	450	<i>KD</i>	<i>n. b.</i>	id.	id.
16	<i>v</i>	2	95	225	450	<i>KD</i>	les 2 <i>N</i> incandescents	id.	id.
17	<i>v</i>	2	80	176	352	<i>KD</i>	id.	modéré	id.
18	<i>h</i>	2	75	160	320	<i>D</i>	<i>n. b.</i>	—	—
19	<i>h</i>	2	60	116	232	<i>D</i>	<i>n. b.</i>	—	—
20	<i>v</i>	2	60	116	232	<i>D</i>	les 2 <i>N</i> incandesc. clair	—	—
21	<i>h</i>	3	30	41	123	<i>KD</i>	<i>N</i> intérieur et moyen fondus. <i>N</i> extérieur fortement incandesc.	assez fort	Flammes en dard, sortant en sifflant violemment.

Dans ce tableau, on désigne par :

- h* ou *v*, dans la colonne 2, la position horizontale ou verticale;
H, la hauteur, en millimètres, du segment de toile;
D, la sortie des flammes de l'explosion;
N, le réseau de « toile métallique »;
G, la surface en toile métallique;
F, la surface totale de la toile métallique;
KD indique qu'il n'y a pas eu sortie des flammes de l'explosion;
n. b. : « n'a été observé ».

On put mettre en lumière les résultats suivants de ces expériences :

En employant une seule toile, la surface de 455 centimètres carrés fut *au moins* nécessaire pour éviter l'explosion extérieure; on voit, en effet, que pour 437 centimètres carrés, l'explosion se transmit. La capacité de la bombe étant de 42 litres, la surface de toile nécessaire était donc de 10.8 centimètres carrés par litre.

Avec double toile, les résultats furent plus favorables et la surface limite descendit à 352 centimètres carrés, soit 8.4 centimètres carrés par litre de capacité.

Enfin avec trois toiles métalliques, la surface limite fut ramenée à 123 centimètres carrés, correspondant ainsi à 3 centimètres carrés par litre et à un passage libre de 0.33 centimètre carré par litre.

Il ressort de ces essais que la toile simple pour réaliser le même degré de sécurité que les toiles multiples, doit avoir une surface plus grande. Dans ce résultat expérimental, on reconnaît les effets de l'action dite de l'expansion et de la vitesse de sortie des gaz chauds; ces deux facteurs ont d'autant plus d'influence que la surface de la capacité, garnie de toiles est plus petite. Cependant si cette surface devient trop faible, les gaz sortent insuffisamment refroidis et peuvent mettre le feu à l'extérieur (cas des essais nos 18 et 20).

Dans la majeure partie des essais, il fut constaté que les toiles étaient fortement chauffées, parfois même jusqu'au rouge, voire même à la fusion.

D'autre part, dans presque tous les essais qui ne donnèrent lieu à aucune explosion, le phénomène de la post-combustion fut constaté; par suite du vide succédant immédiatement dans la bombe à l'explosion, l'atmosphère explosible de l'extérieur rentrait dans la bombe et venait s'enflammer au contact des gaz qui achevaient de s'y brûler.

Les résultats de ces essais furent vérifiés et confirmés en employant un récipient de moindre volume et d'une capacité de 11 litres.

Effets de la position du point d'inflammation. — Le degré d'efficacité des protections en toiles métalliques étant établi, il fut recherché, l'influence de la position du point d'inflammation sur la sécurité de ce genre d'enveloppe. Dans les essais ci-dessus relatés, l'inflammation avait lieu vers le milieu de la bombe, soit en *a*, figure 18.

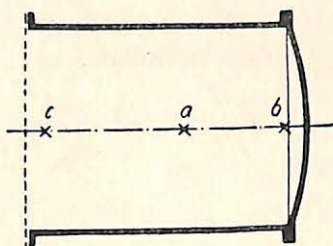


FIG. 18.

L'inflammation étant provoquée en *b*, c'est-à-dire en un point aussi éloigné que possible de la paroi en toile, des explosions extérieures se produisirent régulièrement alors même que tout le fond de la bombe fut entièrement recouvert d'une toile; par litre d'espace protégé, la toile métallique simple était de 26 centimètres carrés. Cette surface était, il est vrai, près de suffire, car dès l'instant où le point d'inflammation était rapproché de quelques centimètres ou bien, si le mélange devenait quelque peu plus riche ou plus pauvre, l'explosion n'était plus transmise.

Ce résultat s'explique par le phénomène étudié précédemment quand il s'agissait d'enveloppes hermétiques.

En effet, l'inflammation se produisant en *b*, il en résulte que l'explosion des gaz se trouve précédée d'une zone de compression dont le degré s'accroît jusqu'à proximité de la toile; c'est donc près de celle-ci que brûlent les gaz les plus

comprimés et donnant par conséquent une grande quantité de chaleur instantanée.

D'autre part, lorsque le point d'inflammation fut rapproché de la paroi protectrice, placé en *c* par exemple, le phénomène inverse fut constaté, et dans ces conditions, pour une surface protectrice donnée, le degré de sécurité était augmenté.

Il est à noter que la plus haute pression observée pendant ces essais dans la bombe, ne dépassait que faiblement la pression atmosphérique (1).

Influence de la division de l'espace protégé. — De même que pour les cuirasses hermétiques, des essais furent entrepris pour déterminer l'influence de la division des espaces protégés.

A cet effet, on disposa dans la bombe trois cylindres de plomb, réduisant de plus de 9 litres la capacité de celle-ci

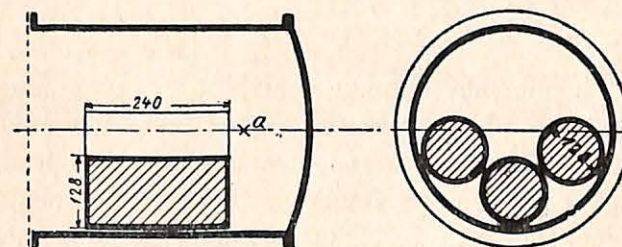


FIG. 19.

(fig. 19). L'efficacité de la protection fut diminuée dans de grandes proportions: avec une surface de toile simple de 1,104 centimètres carrés, la transmission de l'explosion à l'extérieur de l'enveloppe, pour la position *a* de l'inflamma-

(1) L'auteur expose complètement comment les phénomènes physiques de l'explosion et de sa transmission se produisent dans les différents cas dont il est question.

teur se produisit régulièrement; avec double réseau, d'une surface totale de $2 \times 309 = 618$ centimètres carrés, le même fait se produisit encore, contrairement à ce qui avait été constaté avec la bombe vide. Une toile double, de $2 \times 419 = 838$ centimètres carrés fut trouvée suffisante.

La bombe fut ensuite partagée en deux parties par une paroi en bois, indiquée *LL* sur la figure 20; l'un de ces compartiments était clos par un fond plein, l'autre, *B*, portait la paroi munie de toile métallique; l'inflammation se faisait au point *c*.

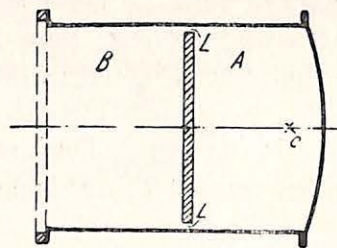


FIG. 20.

Les phénomènes furent semblables à ceux qui ont été rapportés pour les enveloppes hermétiques; les gaz furent d'abord comprimés dans le compartiment *B*, puis avant que l'effet de cette compression fut atténué, l'inflammation s'y produisit et la rapidité d'explosion étant ainsi augmentée, les gaz chauds traversèrent la paroi de toile sans y abandonner assez de chaleur pour être rendus inoffensifs. Deux réseaux protecteurs, mesurant ensemble 2,208 centimètres carrés, ne suffirent plus pour assurer la sécurité; le réseau triple, de 3,312 centimètres carrés, correspondant à 80 centimètres carrés par litre d'espace cuirassé, put être considéré comme limite de la sécurité. Il convient de signaler que la pression dans le compartiment *B* fut seulement trouvée dépasser la pression extérieure de 0,009 d'atmosphère.

Ces essais ne peuvent préciser quelle orifice de toile

minimum doit présenter une enveloppe protectrice; en effet, il faut compter, quand des appareils électriques se trouvent dans les enveloppes, avec la division de l'espace protégé et avec la pression que détermine la rotation à la périphérie de la cuirasse. En tenant compte de ces éléments, il a été admis qu'une surface de toile de 150 centimètres carrés environ par litre et répartie en plusieurs réseaux serait suffisante.

Accessoirement, il convient de rapporter que l'influence de l'écartement des toiles sur l'efficacité de l'enveloppe n'a pu être précisé, il paraît convenable de fixer cet écartement de 5 à 20 m/m.

Influence des afflux de gaz chauds et des poussières. — Au moyen d'une sorte d'entonnoir convenablement disposé dans la bombe de manière à projeter sur la paroi protectrice, un jet de gaz chauds produits par l'explosion, il fut vérifié que deux toiles métalliques empêchaient déjà, malgré ces circonstances défavorables, l'explosion de se propager à l'extérieur.

De même, l'efficacité de la protection par toiles métalliques fut vérifiée, en ce qui concerne les projections de poussières incandescentes pouvant se trouver dans l'espace protégé ou sur les toiles elles-mêmes; enfin les toiles furent enduites d'huile et de poussières de charbon sans que leur efficacité fut compromise.

Influence des défauts ou des petites ouvertures. — Les essais démontrèrent que de petites ouvertures dans la cuirasse munie de toile métallique doivent être considérées comme très dangereuses; le fait se comprend parfaitement si l'on tient compte de ce que l'efficacité de la protection par toile repose sur le refroidissement que les gaz chauds subissent en traversant les tissus métalliques et que le phénomène « d'expansion » ci-dessus défini n'entre pas en

jeu, la pression intérieure étant toujours très faible d'ailleurs. Des détériorations peu importantes en apparence, par exemple la réunion de quatre mailles en une seule, rendirent la protection absolument illusoire; de même des inétanchéités, telles que des joints (couvercles, paliers, passages d'arbres, etc.) doivent être considérées comme très dangereuses. A ce point de vue, on peut signaler que les essais ont permis de constater que de minces fentes entre deux parois *métalliques* et mesurant 0.5 m/m d'épaisseur sur 50 m/m de longueur se sont montrées sans danger; au dessus de 0.5 m/m , l'efficacité de la protection fut compromise: pour 1 m/m par exemple, l'explosion se propagea à l'extérieur.

Il résulte de ces expériences, que toutes ouvertures des cuirasses munies de toiles métalliques doivent être tenues en suspicion; or, ces ouvertures ou joints existent toujours, attendu que la cuirasse « hermétique », au sens absolu du mot, n'existe pas.

Post-combustion. — Dans un grand nombre d'essais exécutés avec la cuirasse en toile métallique, on observa que l'explosion interne achevée, les gaz combustibles étaient aspirés dans l'espace protégé et au contact des flammes existant encore, s'enflammaient; ce phénomène de « post-combustion » ne provoqua pas l'explosion dans le milieu extérieur. Cependant il fut étudié spécialement pour le danger qu'il pouvait présenter. En général, la post-combustion fut d'autant plus vive que la surface de toile métallique extérieure était plus grande, ce qui se conçoit; d'autre part, quand les surfaces protectrices de toile étaient disposées l'une vers le haut, l'autre vers le bas de l'espace protégé, de manière à créer un courant régulier de gaz chaud du bas vers le haut et alimenter ainsi la post-combustion par l'afflux de gaz nouveaux, la durée du phénomène se prolongea pendant plusieurs minutes et, dans un cas, atteignit même vingt minutes.

Cette post-combustion déterminait un échauffement considérable des toiles et parfois même leur affaissement partiel. Cependant l'explosion de l'atmosphère extérieure ne se produisit pas au cours de ces essais; on enregistra une explosion due à la fusion du soufre de l'inflammateur situé à l'intérieur du récipient d'essai; le soufre fondu et enflammé passa à travers des toiles et vint apporter la flamme dans l'atmosphère de la galerie. Ce phénomène pouvait se produire dans le cas de l'application des protecteurs en toile aux moteurs; en effet, les isolants peuvent fondre comme le soufre et transmettre la flamme à l'extérieur. Quelques expériences furent faites pour déterminer les dispositions à prendre afin d'éviter ou d'atténuer cette post-combustion; on put en conclure que c'est par la diminution de la surface de toile qui sert à la sortie des gaz brûlés (surface supérieure) qu'on put dans une certaine mesure atténuer la post-combustion. Cependant, il convient d'ajouter que ce moyen ne put être employé quand les cuirasses sont disposées pour ventiler les appareils qu'elles renferment; alors, en effet, on annihile la ventilation.

On peut résumer comme suit les résultats acquis par les essais exécutés sur les cuirasses munies de toiles métalliques :

I. *La protection par toiles métalliques est d'autant plus efficace que la surface est plus grande par rapport à la capacité de l'espace cuirassé, que le point d'inflammation est plus près de la toile, enfin que le mélange de grisou est moins explosible.*

La surface à protéger par toile est d'autant plus petite que le nombre des toiles superposées est plus grand; ces toiles peuvent être distantes de 5 à 20 m/m; dans les conditions normales, si l'on n'a pas affaire à des subdivisions de l'espace à protéger, une surface de toile de 150 centimètres carrés par décimètre cube de capacité paraît suffisante.

Les toiles à fils plus minces que ceux de la toile normale (144 mailles par centimètre carré) sont dangereux à cause de la facilité de fusion des fils.

Les joints dans les cuirasses munies de toiles métalliques doivent être considérés comme très dangereux sauf lorsqu'ils constituent de minces fentes de 0.5 m/m de largeur sur 50 m/m de longueur minimum.

II. La post-combustion n'offre en général pas de danger quand la protection comprend plusieurs toiles métalliques bien disposées pour éviter un échauffement anormal par ce phénomène. Cependant le danger doit être considéré comme existant si la ventilation de l'espace protégé est obtenue mécaniquement; il en est de même si des corps isolants peuvent être fondus et enflammés par la post-combustion des gaz.

A la suite des essais fondamentaux ci-dessus rapportés sur les cuirasses munies de toiles métalliques, ce mode de protection fut expérimenté sur un certain nombre de moteurs électriques.

1. Moteur triphasé de 30 H.P., 950 tours, induit avec résistance de démarrage et mise automatique en court-circuit. — L'appareil de mise en court-circuit était enveloppé par une boîte en tôle munie d'une toile métallique double normale; à la fermeture du court-circuit, le gaz qui avait spontanément pénétré dans l'appareil s'enflamma sans provoquer l'explosion à l'extérieur; mais le phénomène de post-combustion occasionna une sortie de flammes qui mit le feu à l'atmosphère extérieure grâce à la fusion du tissu métallique; les soudures de la toile avaient aussi fondu.

2. Moteur triphasé de 30 H.P., 500 volts, 960 tours, avec bagues de démarrage et dispositif automatique de mise en court-circuit et de relevage des balais. — Les

balais, bagues et l'appareil de mise en court-circuit étaient enfermés dans une cuirasse circulaire avec triple et double

toile comme l'indique le croquis en *a*, *b*, *c* (fig. 21). L'expérience montra, ici encore, que le phénomène de post-combustion fondant la soudure des parois de toiles permit la propagation de l'explosion à l'extérieur.

Cependant, en rendant étanches les parois *a* et *b*, de manière à ne laisser subsister pour le refroidissement que la protection en toile annulaire *c*, la post-combustion cessa au bout de quatre secondes et l'enveloppe se montra efficace.

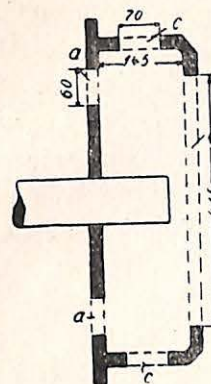


FIG. 21.

Moteur à courant continu, 23 ou 11 HP., 500 volts, 950 tours. — Le moteur était complètement fermé, à l'intérieur de cette enveloppe le collecteur était pourvu d'une cuirasse spéciale en toile métallique normale double; cette enveloppe laissait passer les balais. Les résultats des essais ne furent pas favorables et la protection fut reconnue inefficace.

4. Moteur à courant continu de 6.5 H. P., 500 volts, 400 tours. — Enveloppé par une cuirasse dans laquelle se trouvaient ménagées des fenêtres recouvertes de quatre toiles métalliques, les trous de graissage et rainures de joints étant soigneusement bouchés. L'enveloppe se montra de sécurité. Avec trois toiles seulement, l'explosion se communiqua à l'extérieur; pour être de sécurité, la cuirasse devait avoir 43 centimètres carrés de toile par décimètre cube de contenance. La ventilation du moteur muni de cette cuirasse était presque nulle.

5. Moteur triphasé de 25 H.P., 500 volts, 760 tours,

avec bagues de démarrage. — Le moteur proprement dit était entouré d'une enveloppe portant 7 fenêtres munies de toile métallique; la capacité libre était environ de 55 à 60 décimètres cubes. L'explosion de l'atmosphère extérieure ne put être évitée que par l'application de toile quadruple sur chacune de ces fenêtres; il y avait alors, par décimètre cube de capacité, environ 30 centimètres carrés de toile. Les bagues se trouvaient placées dans une cuirasse spéciale protégée par une double toile métallique fixée à la face antérieure; pour la capacité de 20 décimètres cubes, ce mode de protection était efficace.

Malgré la réussite des principaux essais pratiques qui viennent d'être rapportés, il ressort de l'ensemble des expériences que la protection au moyen de toile métallique, si remarquable pour les lampes, ne peut, appliquée aux appareils électriques, donner une sécurité absolue surtout lorsque les appareils à protéger doivent être ventilés.

C. CUIRASSE EN LABYRINTHE.

En principe, ce mode de protection, construit par les expérimentateurs, était constitué par des tôles plus ou moins rapprochées formant chicanes, de manière à forcer les gaz chauds à cheminer à travers les canaux ainsi formés et à perdre leur chaleur au contact du métal. La figure 22 représente cette protection en labyrinthe adaptée à la bombe d'essais.

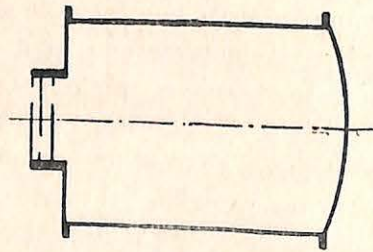


FIG. 22.

Aux essais, l'action refroidissante du labyrinthe se montra très faible; d'autre part, avec toutes les protections

de l'espèce, l'inflammation ayant eu lieu près du « labyrinthe », l'explosion se propagea à l'extérieur; la post-combustion, ce qui était à prévoir, ne fut jamais observée.

La cuirasse en labyrinthe, qui ne permet pas au surplus la ventilation, ne semble point, d'après tous les essais effectués, appropriée à la protection des moteurs et du matériel électriques. Elle fut abandonnée.

D. CUIRASSE A TUBES.

Un autre moyen pour provoquer le refroidissement des gaz en combinant le phénomène de l'expansion et le



FIG. 23

contact avec des parois métalliques fut expérimenté. Il consiste à munir la cuirasse ou enveloppe protectrice d'une paroi en communication avec l'extérieur par des tubes en fer de 500 m/m de longueur, d'un diamètre intérieur de 12 m/m. La figure 23 montre la bombe d'essai munie de cette protection. Cette disposition fut reconnue de sécurité

quand le point d'inflammation se trouvait suffisamment éloigné de la paroi portant les tubes. L'application de tubes plus étroits et plus longs ne parut pas pratique, d'autant plus que ce système empêchait toute ventilation des appareils protégés.

La cuirasse à tubes doit donc être considérée comme inapplicable aux appareils électriques industriels.

CUIRASSE A COLLET.

Ce mode de protection dérivait des essais antérieurs; il consistait à ménager des joints convenables aux couvercles de la cuirasse; par ces joints ou fentes minces, les gaz chauds devaient se détendre et, par ce phénomène caractérisé précédemment sous le nom d'expansion, se refroidir

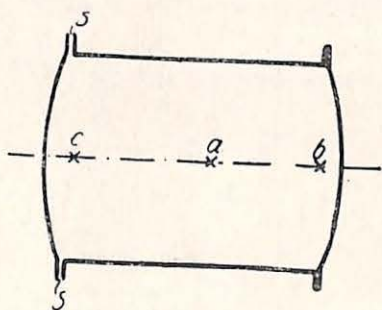


FIG. 24.

suffisamment pour devenir inoffensifs. La bombe fut pourvue, aux fins d'expérimenter ce système, d'un couvercle à collet, ne s'appliquant pas exactement, de manière à laisser un joint *S* (fig. 24), de 1.2 m/m de largeur sur 50 m/m de longueur; dans ces conditions, l'orifice de dégagement correspondant au diamètre de 335 m/m, était de 1,250 m/m carrés. Les essais eurent lieu avec des mélanges de différentes teneur en grisou. Pour la teneur de 8 à 9 %, les pressions furent enregistrées suivant les courbes de la

figure 25, qui montrent l'effet du déplacement du point de l'inflammation en *b*, *a* et *c*.

La protection se montra efficace.

Cependant, pour un joint de 2.4 m/m, l'explosion se transmet à l'extérieur.

On put conclure de ces essais qu'il n'y a pas lieu de garnir les joints des cuirasses au moyen d'amiante et de caoutchouc comme on le croyait précédemment, à condition toutefois que les joints ne dépassent pas 0.5 millimètres d'épaisseur pour 50 millimètres de longueur (voir plus haut). Il y a une difficulté très sérieuse à prévoir le degré de danger que présenteront les joints qui peuvent exister dans

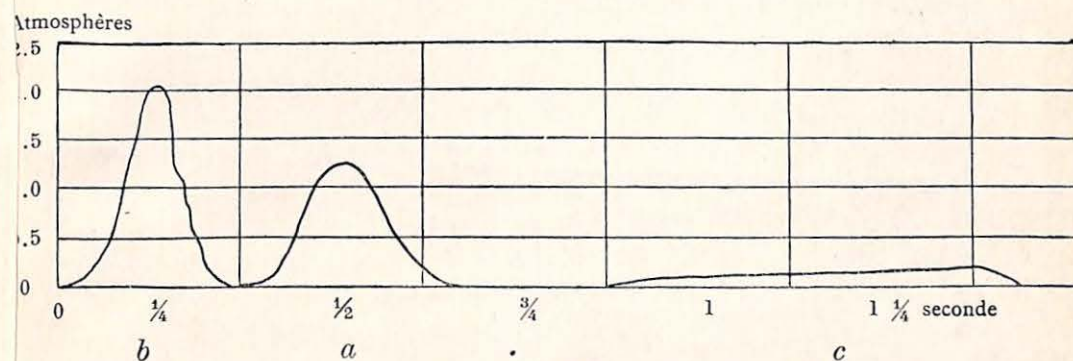


FIG. 25.

une enveloppe, notamment aux passages des arbres, etc.; si l'on ajoute que ce mode de protection ne permet pas la ventilation du matériel protégé, on conçoit que la cuirasse à collet ne peut être appliquée pratiquement.

CUIRASSE A PLAQUES SUPERPOSÉES. — L'impossibilité de réaliser la ventilation par un seul joint pouvait disparaître si l'on en créait une série par juxtaposition de plaques ménageant entre-elles de minces ouvertures. Une sorte de tubulure portant un paquet de tôles minces superposées (1),

(1) Tôles d'induit.

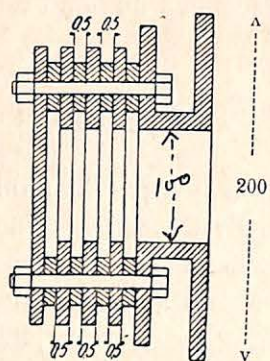


FIG 26

écartées l'une de l'autre de 0.5 millimètre (fig. 26), pouvait s'appliquer sur le collet de la bombe d'essais; la dernière de ces tôles était pleine de manière à obturer la tubulure comme la figure l'indique.

Les essais furent commencés avec 50 plaques; l'orifice total correspondant aux minces fentes ménagées entre ces plaques, atteignait 7,850 millimètres carrés (fig. 27). Les gaz de l'explosion se dégagèrent donc par ces fentes en minces lames, et en se détendant, cédaient de la chaleur aux parois métalliques, entre lesquelles ils

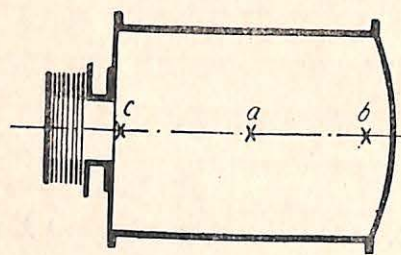


FIG. 27.

devaient cheminer. Cette protection fut reconnue efficace quelle que fut la position du point d'inflammation *a*, *b* ou *c*. Les phénomènes généraux de l'explosion intérieure confirmèrent les résultats expérimentaux antérieurs. Les courbes ci-dessous montrent (fig. 28) les variations successives de la pression d'explosion pour l'inflammation provoquée en *b* ou en *c*.

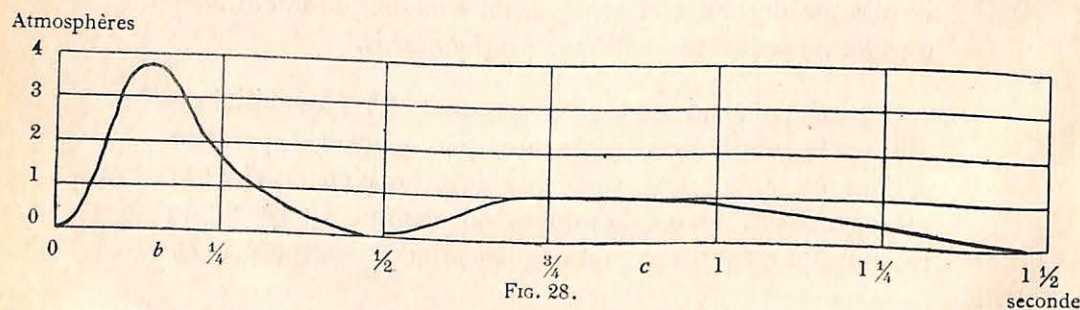


FIG. 28.

Quand le point d'inflammation était en *c*, très rapproché des orifices de sortie, la sécurité était principalement due à l'action refroidissante des tôles, alors que pour la position *b* elle était due à l'action de l'expansion des gaz chauds sollicités par la pression intérieure à sortir de la bombe.

Dans la suite des essais, le nombre des plaques fut diminué et successivement ramené à 25, 15, 10, 5 et finalement 3; pour ce dernier l'orifice total de dégagement n'atteignait plus que 417 millimètres carrés; dans ces conditions la pression atteignit 3,75 atmosphères (courbes de la fig. 28), pour la position *b* du point d'inflammation.

La protection constituée pour ces trois plaques seulement se montra efficace.

D'autre part, les deux fonds de la bombe furent garnis de tubulures identiques, portant chacune 50 plaques écartées de 0.5 millimètre; l'orifice total de sortie atteignant ainsi 15,700 millimètres carrés. L'expérience prouva que, dans ce cas, la sécurité était encore assurée: l'efficacité de la protection était alors due uniquement à l'effet refroidissant des contacts entre gaz chauds et plaques.

Les essais furent répétés avec des mélanges moins riches et plus riches en grisou; ils établissent l'efficacité de la protection par plaques, et il est nécessaire de faire ressortir que cette efficacité étant due à deux effets concordants, l'un d'expansion et l'autre de refroidissement, on pouvait modifier le nombre des plaques protectrices sans nuire à la sécurité, attendu que si le phénomène d'expansion en était, par exemple, amoindri, l'autre, celui du refroidissement devenait plus important, de sorte qu'en fin de compte la sécurité de la protection n'était pas diminuée.

Il fut établi ensuite que l'écartement des plaques devait se limiter à 0.5 millimètre; pour 1 millimètre, l'explosion put se communiquer à l'extérieur; la forme des plaques fut reconnue être sans influence sur la sécurité de la cuirasse;

enfin, les essais montrèrent de même que l'épaisseur de 0.5 millimètre était suffisante pour les tôles et que la longueur des canaux qu'elles devaient ménager entre elles devait atteindre au moins 50 millimètres.

Rarement le phénomène de la post-combustion fut observé; dans tous les cas, il ne durait que quelques secondes et cessait de lui-même. On parvint à le prolonger au moyen d'une ventilation artificielle énergique, mais toujours il se montra sans danger. La cuirasse avec plaques rend, il est vrai, la ventilation plus difficile qu'avec les toiles métalliques; cependant on peut remédier à cet inconvénient en multipliant les plaques, ce qui rend l'appareil plus coûteux; pour les moteurs, la question est moins importante, vu qu'on peut réaliser mécaniquement leur ventilation.

La cuirasse à plaques fut essayée pratiquement sur un seul appareil industriel, un démarreur de moteur triphasé. Cet appareil muni de quarante plaques se montra d'une sécurité parfaite.

On peut résumer comme suit les conclusions des expériences faites avec la cuirasse munie de plaques superposées :

La cuirasse à plaques offre une sécurité absolue quand les plaques sont écartées de 0.5^{m/m} au plus, leur largeur utile étant au moins de 50^{m/m} et leur épaisseur de 0.5^{m/m} et que toutes les parties de l'enveloppe sont construites pour résister aux pressions internes qui pourraient s'y développer par suite de l'explosion.

La sécurité est indépendante de la capacité de l'enveloppe, de la grandeur de la section libre entre les plaques, de la position du point d'inflammation et de la teneur en grisou de l'atmosphère ambiante.

Les joints dans l'enveloppe ayant des dimensions plus grandes que les passages entre tôles sont très dangereux.

On peut considérer le problème de la protection des appareils électriques dans des atmosphères explosibles comme résolu par la cuirasse à plaques.

CUIRASSE A HUILE. — La protection par bain d'huile préconisée surtout pour les interrupteurs, fusibles et rhéostats fut aussi expérimentée dans l'atmosphère explosive de la galerie d'essai. Le danger dans ces appareils à huile peut apparaître si la couche d'huile est insuffisante pour empêcher les étincelles de parvenir dans l'atmosphère ou bien encore si l'huile est décomposée, gazéifiée ou projetée par le fonctionnement des appareils eux-mêmes (interrupteurs) et ne recouvre plus convenablement les points dangereux. Les essais de 1903 avaient montré que ces accidents se produisent.

Par suite du manque de matériel et aussi eu égard à ce que la question sortait quelque peu du cadre des études projetées, les essais avec cuirasse à bain d'huile furent assez sommaires.

Des « sûretés » de 20 ampères fondant sous un courant de 40 à 50 ampères ne déterminèrent aucune explosion de grisou sous une épaisseur d'huile de 5^{m/m}; d'autres « sûretés » de 40 ampères, dont l'une fondit sous 200 ampères, se montrèrent sans danger sous 5^{m/m} et 10^{m/m} d'huile les flammes sortirent du bain, mais ne mirent pas le feu au mélange explosible.

Quelques essais furent faits ensuite avec des interrupteurs, deux rhéostats de démarrage et un moteur triphasé à bagues, dont les balais étaient noyés dans l'huile. Dans tous ces appareils, le bain d'huile se montra parfaitement efficace.

III. — Essais de 1905.

Ces essais furent exécutés sur des moteurs protégés d'après les résultats acquis par les expériences exécutées pendant l'année 1904.

On se borna à expérimenter les moteurs, attendu que les cuirasses pour l'appareillage sont en général plus simples que pour les machines, qu'il ne s'y produit pas de ventilation artificielle et qu'il y existe moins de divisions de la capacité de l'enveloppe; on considéra donc, avec raison, que les faits mis en lumière par les essais fondamentaux étaient suffisants pour servir de base certaine à la construction des protections pour l'appareillage.

Les conditions étant différentes pour les moteurs, il parut nécessaire de procéder aux essais de moteurs protégés d'après les principes ci-dessus établis; deux firmes, ayant participé aux recherches, construisirent chacune une machine qui fut expérimentée dans la galerie.

A) *Moteur triphasé, 35 H. P., 500 volts, 750 tours, muni de bagues avec dispositif de relevage des balais.* — Le moteur et ses bagues étaient complètement enveloppés

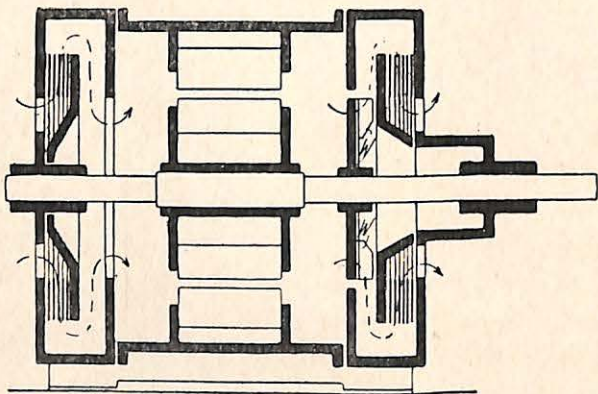


FIG. 29.

par une cuirasse munie sur ses deux faces de paquets de tôle minces, écartées de 0.5 millimètre, comme le croquis n° 29 le montre. Chacun des paquets comportait 42 plaques,

de 690 millimètres de diamètre intérieur pour 790 millimètres de diamètre extérieur.

Il n'y avait pas de joint; l'arbre et les pièces de raccordement étaient entourés de pièces à collets à grande surface; enfin, les conducteurs arrivaient aux balais par des boîtes à bourrages.

Des ailettes *w* déterminaient une ventilation artificielle de la machine, de sorte que le courant d'air parcourait l'enveloppe dans le sens des flèches indiquées au croquis.

Ce moteur fut expérimenté dans les conditions les plus variées: le point d'inflammation fut déplacé, la nature du mélange grisouteux modifiée, des poussières mises en suspension, il fut essayé après plusieurs heures de marche, etc.... Dans tous les cas, la protection se montra efficace.

Malgré la ventilation énergique, une seule fois le phénomène de post-combustion fut observé, sans aucun danger pour l'appareil.

B) *Moteur de 35 H. P., 500 volts, 1970 tours, muni de bagues.* — Cette machine fut munie de l'enveloppe protectrice à plaques: seulement pour simplifier et éviter les rondelles d'espacement dans le paquet, les constructeurs utilisèrent des plaques à nervures embouties, qui par simple juxtaposition devaient ménager entre elles les canaux constituant la protection.

Malheureusement, les nervures ne furent pas bien calibrées et les espaces ménagés entre tôles voisines dépassèrent 0.5 millimètre, de sorte que l'enveloppe fut reconnue inefficace.

TROISIÈME PARTIE : CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Parmi les divers systèmes de protection essayés pour les moteurs et appareils électriques, les cuirasses à labyrinthe, à tubes et à collet se sont montrées impropres ou insuffisantes; par contre :

- Les cuirasses hermétiques,
- Celles à toiles métalliques,
- Celles à plaques et
- Celles à bain d'huile

ont été reconnues efficaces.

La *cuirasse hermétique* n'est applicable qu'aux appareils peu sujets à s'échauffer en service et pour lesquels, par suite, la ventilation de l'espace clos n'est pas nécessaire. Cette cuirasse devant être très résistante est très lourde; par contre, elle offre l'avantage d'être plus réfractaire aux causes extérieures de détérioration. Pour qu'elle ne devienne pas dangereuse à la longue, par l'infiltration lente de grisou, il faut que tous les joints soient absolument étanches (soudure).

La *toile métallique* permet une bonne ventilation; elle est peu coûteuse et légère. Sa résistance mécanique est néanmoins très faible. La post-combustion est dangereuse, lorsqu'on réalise la ventilation artificielle.

Les *plaques superposées* permettent aussi la ventilation des organes protégés; toutefois, la ventilation naturelle ne peut être assurée que par une très grande dimension de la protection, ce qui rend le système beaucoup plus coûteux que la cuirasse à toile métallique.

Leur résistance mécanique est considérable et leur

sécurité n'est nullement mise en échec par la combustion subséquente.

Le *bain d'huile* ne permet pas au grisou d'atteindre les organes émettant des étincelles. Il offre donc la protection la meilleure; malheureusement ses applications sont restreintes.

Les observations essentielles dont il y a lieu de tenir compte pour la construction des moteurs et appareils de sécurité contre le grisou sont les suivantes :

A) POUR TOUS LES TYPES DE CUIRASSE (1)

Il faut éviter la subdivision de la capacité protégée, en grands compartiments, en particulier, en plusieurs grands espaces communiquant par d'étroits orifices. En outre, il faut veiller à ce que de semblables communications ne puissent s'établir par les réservoirs à huile des paliers du moteur.

Les surfaces de contact des différentes pièces assemblées, les surfaces d'appui des couvercles, portes et clapets doivent former de larges brides bien dressées.

En ces points, il ne faut pas employer de bourrages tels que caoutchouc, amiante et autres matières peu résistantes. Si l'on emploie cependant des garnitures étanches, il faut les disposer de telle façon qu'elles ne puissent en aucun cas être refoulées extérieurement par une pression intérieure accidentelle.

Les arbres et axes de commande doivent traverser la cuirasse par des fourrures métalliques (d'au moins 50 millimètres) solidement fixées à l'enveloppe.

Il en est de même pour les câbles conducteurs dont les passages doivent être garnis d'isolants. Les boîtes d'ébonite sont à éviter.

(1) Sauf pour le bain d'huile.

Les arbres creux seront remplis d'isolant.

Toutes les vis doivent être assurées de façon à ne pas se desserrer en service et à ne pouvoir créer ainsi de défauts d'étanchéité.

B) PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES A CHACUN DES SYSTÈMES DE PROTECTION.

a) *Cuirasses hermétiques.*

Toutes les parties de la cuirasse doivent pouvoir supporter une pression de 8 atmosphères.

Il faut éviter de ménager des trous pour réduire la pression.

b) *Cuirasses à toiles métalliques.*

Employer de préférence la toile métallique normale pour lampes de sûreté, de 144 mailles au centimètre carré et de 0.35 m/m d'épaisseur de fil. Éviter la toile plus fine ou plus grosse.

Choisir des toiles de bronze ou d'acier galvanisé.

La toile doit être travaillée uniformément, être lisse et exempte de défauts.

La surface totale de toile protectrice doit être de 150 centimètres carrés au moins par décimètre cube d'air contenu dans l'enveloppe.

Employer au moins deux épaisseurs de toiles.

La distance des toiles entre elles ne doit pas être inférieure à 5 millimètres ni supérieure à 20 millimètres.

Les grandes surfaces de toiles doivent être renforcées par des nervures.

Les toiles doivent être appliquées sous forme de couvercles permettant une facile surveillance et un remplacement commode.

Tous les défauts d'étanchéité de l'enveloppe doivent être soigneusement évités.

Les surfaces de toiles doivent être placées de façon que

les flammes de la post-combustion ne puissent les lécher et que des corps en combustion ne viennent tomber sur elles.

Les toiles ne doivent pas être soudées, mais tendues sur des cadres solides, ou vissées.

Les toiles métalliques doivent être protégées contre les détériorations extérieures par une tôle perforée ou tout autre moyen.

c) *Protection par plaques.*

Employer des plaques métalliques (anneaux en tôle) ayant une largeur de 50 millimètres, une épaisseur de 0.5 millimètre et les disposer de manière à obtenir, au moyen de cales intermédiaires, un espacement de 0.5 millimètre au plus.

Le paquet de tôles doit être fait soigneusement. Aucune fente entre deux plaques ne doit avoir plus de 0.5 millimètre de largeur.

Employer, comme métal, le bronze, le laiton, l'acier étamé ou galvanisé.

Éviter tous les défauts d'étanchéité. L'intérieur de la cuirasse ne doit être en communication avec l'air extérieur que par les fentes laissées entre les tôles.

Pour éviter une forte pression, il faut prendre le plus grand nombre de plaques possible et leur donner le plus grand diamètre intérieur possible.

Si la section totale des orifices est faible par rapport à la contenance d'air du blindage, il faut renforcer suffisamment toutes les parties de ce dernier pour leur permettre de résister à une pression de plusieurs atmosphères.

Les paquets de tôles doivent être fixés sur des couvercles démontables, de manière à faciliter l'examen et le remplacement des tôles.

Les paquets de tôles seront protégés par une enveloppe contre les détériorations extérieures.

d) *Bain d'huile.*

Le niveau de l'huile doit être calculé de façon que les étincelles ne puissent sortir du bain.

La hauteur nécessaire à cet effet doit être déterminée dans chaque cas par les constructeurs, au moyen d'essais pratiques et être indiquée par un repère.

La hauteur de l'huile doit être visible sans qu'on ait besoin d'ouvrir l'enveloppe.

Les contacts ou autres points de passage du courant sous l'huile doivent être disposés de façon que le passage du courant, l'ouverture et la fermeture du circuit ne provoquent pas une projection ou une vaporisation abondante d'huile.

Le blindage aura une forme telle que les parties émettant des étincelles ne soient jamais mises à nu par un mouvement violent de l'huile.

Si l'on ne peut éviter sûrement la sortie des étincelles du bain d'huile, il faut enfermer le bain en se conformant aux principes de la cuirasse hermétique.

Outre les dispositifs de sécurité précédents, il existe une foule de moyens permettant d'augmenter la sécurité. Tels sont, par exemple, les verrouillages qu'on ne peut ouvrir avant que les organes dangereux aient été mis hors circuit, les plombages de sûreté. On évitera les fils ou bornes à nu. On construira solidement les boîtes ou cuirasses pour qu'elles ne soient pas détériorées par la chute de roches.

Les enveloppes d'organes électriques ne doivent pas être de dimensions trop exigües. Cela n'augmenterait pas la sécurité et rendrait plus difficile l'entretien des appareils. On disposera dans les parois des glaces épaisses et à joints étanches, pour la surveillance de ceux-ci.

En service, il faudra veiller au bon état des cuirasses,

notamment des toiles métalliques, qui doivent être saines et souvent vérifiées. Le niveau de l'huile des bains sera régulièrement contrôlé. Les plaques de protection seront maintenues exemptes de poussière et d'humidité.

En ce qui concerne le choix du mode de protection le mieux approprié à un appareil électrique déterminé, on peut formuler les appréciations ci-après :

Les moteurs de faible puissance, tels que ceux des perforatrices et petites haveuses, seront protégés par une simple enveloppe hermétique. Pour les gros moteurs placés vers les puits, par exemple ceux pour la commande des ventilateurs, fortes haveuses, compresseurs d'air, pompes auxiliaires et machines d'extraction, il convient de protéger séparément les enroulements et les organes émettant des étincelles. Ceux-ci sont plus faciles à protéger parce qu'ils n'ont pas besoin de ventilation; jusqu'à certaines dimensions, la cuirasse hermétique leur conviendra mieux; dans tous les cas, on donnera la préférence aux toiles métalliques ou aux tôles superposées qui sont peu lourdes. Les tôles sont préférables pour la sécurité des enroulements.

Dans l'exploitation proprement dite, où on n'emploiera, en général, que des moteurs et des appareils de 30 chevaux au maximum, il faut que leur protection soit reconnue absolument efficace aux essais; néanmoins, on peut appliquer les mêmes dispositifs de sécurité jusqu'à la puissance de 50 chevaux.

Il est inutile de protéger contre le grisou les moteurs plus puissants des machines d'exhaure, des puissants ventilateurs et compresseurs installés sur les puits d'extraction; si on le jugeait indispensable, il suffirait de protéger, par toiles métalliques ou plaques, les organes émettant des étincelles.

Pour les appareils n'ayant pas besoin d'être ventilés, tels

qu'interrupteurs et fusibles, la cuirasse hermétique et le bain d'huile conviennent. Les contacts des rhéostats de démarrage et de réglage doivent, de préférence, être enfermés dans une cuirasse hermétique. Les résistances proprement dites, qui demandent à être refroidies, peuvent généralement être placées dans un bain d'huile; celles de démarrage, qui ont besoin d'une meilleure ventilation, dans une enveloppe à toile métallique, ou à tôles superposées.

Le bain d'huile suffit généralement aux transformateurs.

RAPPORTS ADMINISTRATIFS

EXTRAIT D'UN RAPPORT

DE

M. O. LEDOUBLE

Ingénieur en chef Directeur du 4^e arrondissement des mines, à Charleroi.

SUR LES TRAVAUX DU 1^{er} SEMESTRE 1906.

Charbonnage de Forte-Taille; puits Avenir : Sondage intérieur.

Un sondage a été foré en reconnaissance au fond d'un puits intérieur, à partir de la côte 416^m26 sous l'orifice du puits.

Ce sondage est, je pense, le premier à grande profondeur qui ait été exécuté souterrainement en Belgique; il ne présente rien de particulièrement intéressant et a été entrepris avec un matériel déjà utilisé dans des sondages à la surface.

L'entreprise est faite par la Société générale de sondages et de travaux miniers qui s'est engagée à atteindre une profondeur minimum de 250 mètres.

Le système utilisé est le sondage à rodage avec couronne de diamant et à courant d'eau amené par l'intérieur des tiges.

Le croquis ci-joint, qui m'a été fourni par M. l'Ingénieur Dandois, donne la disposition générale de l'installation qui, par suite du peu de place dont on disposait au fond, a dû être placée à la tête du deuxième burquin de reconnaissance. Il a fallu créer à la tête de ce burquin, pour permettre les manœuvres des tiges, une excavation de 12 mètres de hauteur et d'une section de 1^m75 à 1^m30 × 3^m80.

On a commencé par placer sur toute la hauteur du deuxième burquin, soit sur 65 mètres, un tubage d'un diamètre intérieur de 140 millimètres; lorsque ce tubage reposa sur le fond du burquin, on fraisa dans l'aplomb un trou de 0^m50 de profondeur mais on ne put faire pénétrer le tubage que de deux centimètres dans l'excavation; on commença alors le sondage au diamant, mais le courant d'eau au lieu de remonter à la partie supérieure du tube passait