

Revue des expériences sur l'inflammation du grisou par les étincelles de friction

par H. TITMAN, B. Sc., Ph. D.

(Institut de Recherches sur la Sécurité des Mines Buxton)

Traduction de « Transactions of the Institution of Mining Engineers », avril 1956

par L. DENOEL

Professeur émérite de l'Université de Liège.

SAMENVATTING

Overzicht van de proeven uitgevoerd in het verleden — De aard der proeven werd tot nu toe steeds bepaald door de ongevallen die zich hadden voorgedaan. — De moderne ontginningsmethoden hebben nieuwe oorzaken van gevaar doen blijken, hetgeen de hervatting van proefnemingen heeft uitgelokt, voornamelijk op gebied van de wrijvingsgensters metaal op metaal.

Deze gensters nemen verschillende vormen aan en verscheidene ontvlammingsmechanismen zijn mogelijk — Het gevaar van lichte legeringen vindt b.v. zijn voornaamste oorzaak in de snelle verbranding van het metaal — Verschillende beproevingsmethoden zijn dus noodzakelijk om de waarschijnlijkheid van ongevallen toe te schrijven aan de verschillende materialen te beoordelen. Verschillende typen van van proefnemingen en hun resultaten worden beschreven.

Er zijn weinig statistische gegevens voorhanden over de ontsteking door de gensters steen op steen en op het huidig ogenblik is het niet mogelijk besluiten te trekken voortgaande op de petrografische samenstelling van het gesteente. — Er werd vastgesteld dat een breuk van metaal in sommige gevallen waterstof kan ontsteken, maar er werden tot nu toe geen proeven in voldoende aantal uitgevoerd.

RESUME

Rappel des recherches faites dans le passé. La nature des expériences a toujours été dictée par les accidents survenus le plus fréquemment à l'époque. Les méthodes modernes d'exploitation ont fait apparaître de nouvelles causes de danger et ceci a suggéré la reprise des expériences, spécialement au sujet des étincelles de friction de métal sur métal.

Les étincelles de friction prennent différentes formes et plusieurs mécanismes d'inflammation sont possibles, par exemple le danger des alliages légers est surtout dû à la rapide combustion du métal. Plusieurs modes d'expérimentation sont donc nécessaires pour bien apprécier la probabilité des accidents attribuables à divers matériaux. On décrit quelques types d'essais et leurs résultats.

Il y a peu d'informations statistiques sur l'inflammabilité par les étincelles de roche sur roche, et il n'est pas possible actuellement de tirer des conclusions de la composition pétrographique des roches. Une rupture de métal peut dans certaines conditions enflammer un mélange d'hydrogène, mais on n'a pas fait d'essais assez nombreux.

I. — INTRODUCTION

Le danger des étincelles d'acier sur roches siliceuses a été dénoncé par Volta en 1777. L'explosion de Wallsend en 1785 a été attribuée à cette cause. En France, des expériences ont été faites par Devillaine, Mallard et le Chatelier, Chesnau, à partir de 1880 par Edwards, Stirling, Cadman et Mayer (Autriche) en 1896.

À partir de 1923, le Comité d'Etudes du Safety in Mines s'est occupé à plusieurs reprises de la question des étincelles. Les pics de haveuses et les pics à main donnent des étincelles de choc contre les roches et les pyrites. La catastrophe de Easington serait due à cette cause. Dans ces deux dernières années, on a eu trois inflammations de grisou par les métaux légers, y compris les chapeaux de soutènement. En Amérique, 4 inflammations par les pics du Continuous Miner frappant sur du grès ou de la pyrite.

Des étincelles se produisent inévitablement en beaucoup d'occasions : dérapage de roues calées, frottement des câbles traînants, chutes de pierres ou de marteaux-pics, projections de mines, remblayage pneumatique. Si le changement d'énergie qui accompagne tous ces frottements est suffisamment rapide, il se forme des étincelles ou des surfaces chaudes. Cependant, toutes les étincelles ne sont pas également susceptibles d'enflammer les mélanges d'air et de méthane et il a fallu beaucoup de recherches pour démontrer le danger des étincelles produites dans différentes conditions. Mais la nature nocive de l'étincelle ne suffit pas pour apprécier le degré de danger qu'elle présente dans les mines, il faut encore considérer la probabilité qu'elle puisse venir en contact avec le gaz explosible. Ainsi une étincelle spécifiquement très dangereuse, mais qui a peu de chances de se produire dans la mine, ou qui ne se produit qu'au mur des galeries ou dans les voies d'entrée d'air, causera moins d'accidents qu'une autre qui se présente fréquemment et près du toit au front du foudroyage. Néanmoins, toutes les étincelles doivent être évitées parce qu'elles indiquent une usure excessive du matériel mécanique.

Une complication provient de la diversité du mécanisme de l'inflammation du gaz. Un couple de matériaux, qui paraît très dangereux dans certains essais, se trouve au contraire parfaitement résistant dans d'autres, d'où résulte la nécessité de différentes méthodes d'épreuves.

II. — ETINCELLES DE CHOC OU DE FRICTION DE ROCHE SUR ROCHE

L'emploi de remblayeurs mécaniques à grande vitesse a rendu nécessaire la vérification de cette cause de danger. Bien qu'un remblai complet écarte la probabilité d'un gisement de grisou dans

les vides de l'exploitation, il peut y avoir des éboulements et des fissurations du toit et le nombre de chocs pendant le soufflage est immense. On ne peut se baser sur les résultats d'essais de friction de pierre sur pierre et un appareil a dû être conçu pour étudier l'effet du choc.

Les essais de friction ont été faits par Burgess et Wheeler (1928) au moyen d'une meule tournant à 7 m/s dans une enceinte grisouteuse et d'un caillou pointu de la même roche, maintenu en contact sous des pressions variables correspondant à des poids agissant sur un levier. Un dynamomètre permettait de mesurer l'énergie dépensée pendant l'essai.

On a essayé trois sortes de grès et on a obtenu facilement des inflammations avec des énergies peu considérables. Les mélanges à faible teneur en CH_4 s'allument plus aisément que les mélanges riches. La cause de cette inflammation se trouve dans la haute température atteinte par la pointe du caillou fixe; des éclats de celui-ci projetés en vitesse dans l'atmosphère peuvent aussi enflammer le gaz.

L'inflammation est favorisée par les grandes vitesses de rotation et les fortes pressions. Ainsi, on a pu réaliser une inflammation en 0,2 s avec un grès du puits Maindy, avec une pression correspondant au poids de 45 kg et une énergie de 27,6 kgm. Ceci peut être réalisé par une pierre pointue tombant d'une hauteur de 1,30 m à 2,70 m. On a pu aussi obtenir des inflammations avec un caillou de pyrite agissant sur la meule de grès, mais c'est plus difficile. On suppose que l'inflammation se produit, soit par la surface, soit indirectement par des particules chaudes quand la température atteint un certain degré, alors le temps de contact requis pour chaque roche est en raison inverse de la vitesse d'échauffement de la surface. Ainsi à un accroissement de puissance doit correspondre une diminution du temps. La vitesse avec laquelle

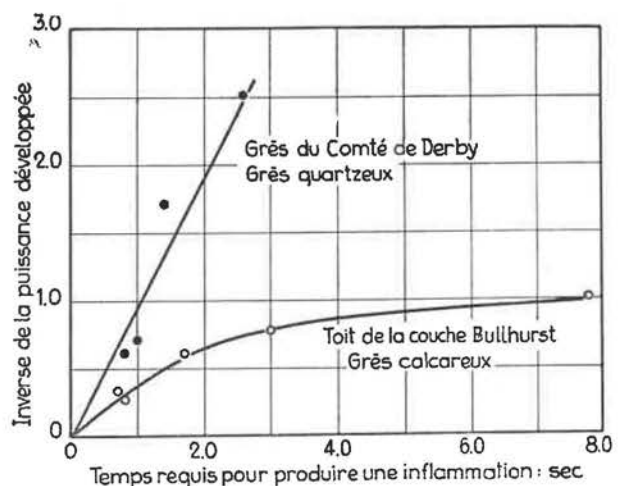


Fig. 1. — Relation entre la puissance développée et le temps requis pour produire une inflammation.

la puissance agit au contact dépendra du frottement et des propriétés mécaniques de la roche, telles que la résistance à la compression et au cisaillement. La figure 1 représente les courbes de Burgess et Wheeler pour deux sortes de grès. Dans chaque cas, la vitesse de la meule restant constante, la puissance consommée a augmenté et le temps a diminué. Pour la même charge, le grès calcaireux demande deux fois plus de travail que le quartzite et on pourrait s'attendre à ce que le temps soit plus court. On voit cependant qu'à faible charge le temps est beaucoup plus long pour le grès calcaireux, tandis que les temps se rapprochent aux fortes charges.

La température d'équilibre et la vitesse d'échauffement dépendent donc de différents facteurs, y compris la conductibilité thermique. On n'a pas fait d'expérience pour vérifier l'importance relative de ces facteurs et aucun calcul ne peut être fait en se basant simplement sur les caractères pétrographiques.

III. — ETINCELLES DE CHOC ET FRICTION DE METAL SUR ROCHE

a) Acier sur roche, friction.

Burgess et Wheeler ont fait des expériences en pressant des blocs d'acier de 5 cm de largeur contre une meule en carborundum, 30 cm de diamètre et 5 cm de largeur, tournant à différentes vitesses. Quatre types d'acier ont été choisis comme représentant des pics de haveuse alors en usage. La charge entre le bloc et la roue était de 45 kg et les vitesses 750, 350 et 250 tours/min. Des étincelles très lumineuses étaient produites, mais jamais on n'a enflammé des mélanges de 6,5 à 9 % de CH_4 , même en projetant les étincelles sur un écran d'asbeste pour prolonger le contact.

Les étincelles ont aussi été projetées dans des vapeurs à plus basse température d'inflammation que le CH_4 , sulfure de carbone, éther, pentane, acétone, alcool éthylique et benzine. Le sulfure de carbone seul a pu être enflammé, et aussi bien par les étincelles d'acier doux que d'acier dur.

Burgess et Wheeler ont fait aussi des expériences avec un outil pointu et une meule en quartzite de Maindy Pit. Vitesse 7,20 m/s, pression variable de 21 à 45 kg. Quatre sortes d'acier ont été éprouvées. Bien que les étincelles diffèrent très fortement d'aspect, elles ont toutes donné des inflammations et on n'a pu établir aucune différence entre les quatre sortes d'acier. La puissance dépensée dans ces essais a été à peu près la même que dans les essais décrits ci-dessus, mais le temps requis pour l'inflammation a été beaucoup plus long. On pouvait s'y attendre puisque le bloc d'acier en repos élimine par conductibilité beaucoup plus de chaleur qu'un caillou.

Les mêmes aciers ont été aussi essayés sur des meules en grès du Derbyshire et en carborundum, mais il n'y a pas eu d'inflammation de CH_4 , pas plus que dans les essais de friction roche sur roche de même provenance.

Dans d'autres essais, Burgess et Wheeler se sont servis d'un disque en acier de 3 mm d'épaisseur, biseauté à la périphérie et creusant une rainure dans un bloc de roche. Le silex, le quartzite de Maindy Pit et le grès du Derbyshire n'ont donné aucune inflammation de grisou. Ce mode d'essai a été repris plus tard par le Comité du Safety in Mines. L'échantillon de roche était maintenu contre la machine par une griffe portée sur une vis à main et on n'a fait aucune mesure de pression ni de travail. On a fait tourner le disque à différentes vitesses et on a toujours trouvé que l'inflammation se produisait plus facilement aux grandes vitesses. Avec toutes les roches, toutes siliceuses, on a eu quelques rares inflammations du CH_4 à 8 %, à la vitesse de 230 m/min, et aucune à 135 m/min. Ce mélange s'allume plus aisément avec la pyrite et on a eu une inflammation à 38 m/min avec une pyrite des charbonnages de Manchester. Cette expérience prouve que l'inflammation n'est pas due à l'échauffement de friction, mais à la combustion de la pyrite qui débute à 240° C.

D'autres mélanges ont été allumés facilement : air et H_2 21 % — air et sulfure de carbone 7,5 %, avec tous les matériaux, graviers, calcaire, granit, basalt et béton de pavage. Les mélanges à 3 % de pentane ont été allumés par les cailloux de gravier, mais pas par les autres substances.

Avec la même méthode, on a recherché l'effet de l'humidité. Un disque en acier doux tournant aux vitesses de 135 à 150 m/min a été alimenté en pyrite à la vitesse de 3,5 mm/min. Un mélange à 8 % de CH_4 a toujours été allumé en moins de trois minutes. Un jet de liquide refroidissant était dirigé, soit sur le contact à la sortie, soit sur celui de l'entrée dans la roue. Le liquide était une solution à 5 % d'huile soluble dans l'eau, comme on en emploie pour le graissage des machines-outils à raison de 50 litres/heure. Cette solution a été choisie de préférence à l'eau pure parce qu'elle ne rouille pas le métal.

Avec le jet dirigé sur le point où la roue quitte l'échantillon, il y a eu un cas d'inflammation sur cinq essais, avec le jet dirigé sur le point où la roue attaque l'échantillon, il y a eu deux inflammations sur quatre essais. Le jet a donc diminué le risque, mais ne l'a pas supprimé.

b) Métal sur roche, friction ou choc.

Des essais sont en cours pour étudier l'effet d'un poids de 20 kg en métal tombant d'une hauteur de plusieurs pieds sur la roche, ainsi que sur

le danger de fragments de roche ou de métal butant sur des cibles en roche à des vitesses allant jusqu'à 30 m/s.

Jusqu'à présent, la plupart des essais systématiques ont été faits avec de petites sphères en métal projetées avec des vitesses de 152 à 915 m/s contre la roche. La figure 2 représente l'appareillage.

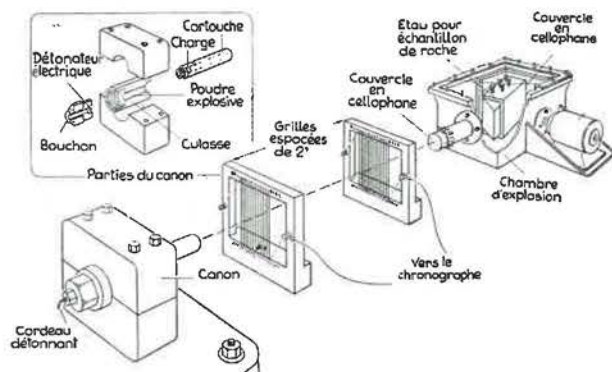


Fig. 2. — Appareillage pour l'étude des étincelles de chocs de métal sur métal.

Une balle de 1 g est lancée par un canon court et lisse avec une charge propulsive. A sa sortie, la balle traverse deux grilles de graphite assez près l'une de l'autre pour être sûr qu'au moins un barreau sera brisé dans chacune. Quand le premier barreau est brisé, un enregistreur électronique calibré en milliseconde entre en jeu et agit tant que le deuxième barreau n'est pas brisé. Le temps de passage de la balle entre les deux grilles est ainsi enregistré et on peut calculer la vitesse. La balle passe ensuite à travers une fenêtre en cellophane dans une chambre d'explosion à atmosphère déterminée et vient frapper une face plane de l'objectif. L'angle de la ligne de tir avec cette surface peut être modifié à volonté.

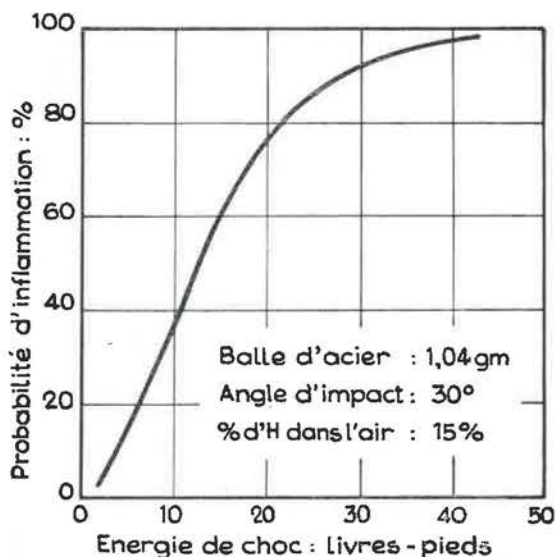


Fig. 3. — Rapport entre l'énergie du choc et la probabilité d'inflammation par des balles d'acier choquant des grès.

Avec cette technique, le mélange à 7 % de grisou n'a pas été enflammé par des balles d'acier heurtant le grès de Stancliffe avec une énergie de 60 kgm, non plus qu'avec des balles plus lourdes et une énergie de 200 kgm. Des inflammations de H₂ à 15 % réussissent facilement, quels que soient la roche et l'angle d'incidence.

Dans tous les cas, le risque augmente avec l'énergie cinétique de la balle. La figure 3 en donne un exemple. Avec ces résultats, on peut déterminer l'énergie nécessaire pour une probabilité d'inflammation de 50 % et les limites de sécurité pour chaque essai et, en faisant varier les conditions du tir, on peut faire des comparaisons quantitatives.

L'inflammation s'obtient le plus facilement avec le tir rasant; dans la comparaison des différentes roches, on s'est toujours basé sur un angle de choc de 30° qui est le plus petit angle pratiquement réalisable. Une série de roches différant par la teneur en silice, la grosseur du grain, le ciment, ont été examinées et on peut classer les résultats en deux groupes. Dans le premier groupe, il y a une probabilité de 50 % d'allumer le mélange d'air et de H₂, 15 % avec une énergie de 5,4 kgm, tandis que dans le deuxième groupe, il faut au moins 32 kgm. Malheureusement, il n'y a pas de relation évidente entre la nature de la roche et la facilité d'inflammation et il faudra encore, pour élucider cette question, beaucoup de recherches sur des matériaux artificiels de composition simple.

Avec des balles de bronze contre des grès, on peut aussi obtenir facilement des inflammations. L'eau présente à l'intérieur de la roche a une grande efficacité contre l'inflammation par les étincelles. La simple aspersion du grès de Stancliffe empêche l'inflammation du mélange air-hydrogène par des balles qui donnent 50 % de risque avec la roche sèche et une énergie cinétique dix fois moindre. Avec d'autres roches, on a trouvé que le risque dépend de la quantité d'eau absorbée par la roche arrosée.

c) Inflammations par les coups de pics luisants.

Burgess et Wheeler ont montré que des coups luisants d'un marteau léger sur une pierre maintenue dans un étau, dans une petite chambre contenant 6,50 à 9 % de CH₄, donnent quelquefois des inflammations quand le coup est dirigé d'une certaine façon. Le coup efficace est celui dans lequel la surface est frappée en plein par la pointe du pic au premier choc, la surface devient luisante sur une certaine longueur avant l'arrêt du pic. Un seul coup sec suffit pour provoquer l'inflammation. Un coup de cette sorte sur une roche propice produit une espèce d'étincelle stationnaire; il n'y a pas de gerbe projetée dans l'air, mais une lueur jaune au moment du choc et sur

l'étendue de la surface de contact. Quand il y avait une gerbe d'étincelles, il n'y avait pas d'inflammation. Des lueurs de cette sorte se produisent avec les quartzites ou des roches contenant des inclusions de quartz et la fréquence des inflammations est de l'ordre de 1/100. Les rognons de fer ne produisent pas l'inflammation. De brillantes gerbes d'étincelles sortent des pyrites, mais il n'y a pas d'éclair localisé et l'inflammation se produit une fois sur 300 coups. Mais le nombre d'essais n'a pas été assez grand pour qu'on puisse être certain de l'inocuité de la pyrite ou conclure qu'elle est moins dangereuse que le quartzite.

Dans ces essais, on a employé deux pics; l'un de 2,5 kg (pic d'ouvrier à la pierre) et l'autre de 2,7 kg fabriqué spécialement en bronze et supposé inapte à tirer des étincelles. Essayé sur le grès de la mine Canavan, le pic normal a donné 7 inflammations sur 669 coups et le pic spécial, 6 sur 1 082 coups. La différence n'est pas très grande et la nature des étincelles fut sensiblement la même. Pendant les essais, les pics ont dû être réaffûtés à plusieurs reprises et on a eu des inflammations avec les pics émoussés et avec les pics pointus. Plus tard, des essais ont été faits avec un pic spécial en acier NiCr, réputé aussi comme inapte aux étincelles, et l'inflammation s'est produite avec la même facilité qu'avec le pic ordinaire. On peut en conclure que ce n'est pas tant le genre de pic que la nature spéciale de la roche qui est le facteur déterminant l'inflammation.

d) Inflammation par pics de haveuses.

Des essais préliminaires ont été faits par Burgess et Wheeler en montant des pics de haveuses sur une roue tournant à 190 m/min et des charges variant de 45 à 200 kg; la vitesse de havage était faible et le travail dépensé de l'ordre de 1 ch. Des inflammations de grisou 6,5 % ont pu être obtenus avec certains grès et un certain mur réfractaire siliceux, mais jamais avec de la pyrite. Avec les grès du Derby, on a observé que les pics pointus donnent des gerbes continues d'étincelles d'un jaune clair, mais jamais d'inflammation, tandis que les pics émoussés donnent peu d'étincelles, mais font apparaître une lueur claire sur la surface raclée et il y a des inflammations. Des essais ultérieurs avec la pyrite n'ont pas donné d'inflammation avec les pics pointus, mais bien quand les pics commencent à s'émousser et que la vitesse est de 38 m/min ou plus. La nature du métal des pics n'a pas d'influence.

M^rCombe a exécuté des essais similaires en étendant sur une plus grande échelle le choix des roches houillères et les variations de vitesse. Comme ses prédécesseurs, il a trouvé que le quartzite est le plus dangereux et que la qualité de l'acier est indifférente. Bien que la pyrite ait donné quel-

ques inflammations, il conclut qu'elle est beaucoup moins dangereuse que le quartzite et que la vitesse est un facteur très important. On n'a pas eu d'inflammation à (90 - 108 m) mais elles sont fréquentes à partir de 150 m/min.

Burgess et Wheeler ont étendu leurs recherches à de vraies haveuses. La vitesse de la chaîne était de 145 m/min et la vitesse de havage 0,45 m/min. La largeur de la rainure et le nombre de pics par rangée et le nombre de rangées ont varié.

En mesurant le courant électrique fourni à la machine à différents moments, on a trouvé que le travail dépensé effectivement dans le havage varie entre 3 et 11 ch. Des inflammations du mélange à 6,5 % CH₄ ont été obtenues avec des grès siliceux ou micacés avec inclusions de quartz, le temps nécessaire variant entre 1 et 30 s après la mise en marche. Le fin charbon restant dans la rainure n'empêche pas l'inflammation.

e) Prévention des accidents pendant le havage.

Burgess et Wheeler ont constaté que le risque d'inflammation est fortement réduit par un jet d'acide carbonique contre les pointes des pics. Les essais ont été faits avec un moteur à courant continu 500 V et une haveuse à chaîne comportant 22 pics, travaillant dans une chambre close à 6 à 9 % de CH₄ contre des roches reconnues comme donnant des étincelles dangereuses. L'acide carbonique à l'état solide était fourni par une bonbonne adaptée à la machine et le débit était réglé par des lumières réparties sur une longueur de 40 cm dans le tuyau de distribution à la tête du châssis.

Dans ces essais, 6 inflammations, sur 10 cas, se produisent quand l'afflux de gaz est de 38 litres/min, mais il n'y eut aucune sur 14 essais avec 43 litres/min. En l'absence du CO₂, il y eut 12 inflammations sur 34 essais. On peut conclure de ces essais qu'on pourrait empêcher les inflammations en munissant la haveuse d'un réservoir « Drikold », type standard, contenant une charge suffisante pour la durée du poste avec un débit de 43 litres/min.

Des essais, non encore publiés, ont été faits à Houghton Main avec un appareil lançant l'acide carbonique à l'arrière de la rainure. Le débit était de 70 litres/min au minimum et une charge de 22 kg ne suffisait pas pour la durée du poste. Des prises d'essai de gaz ont été faites à intervalles à la profondeur de 0,30 m dans la rainure. Près du châssis, mais pas au point d'attaque, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère était de 1 %. Cet appareil est encombrant et peu pratique, car un homme doit constamment régler le débit à la main, ce qui retarde considérablement le travail de havage.

On a fait des expériences pour déterminer la quantité de CO_2 nécessaire dans un air grisouteux pour empêcher l'inflammation par les étincelles. Une roue a été disposée pour tailler dans la pyrite de telle façon que l'inflammation se produise toujours 3 min après le démarrage. La teneur en CH_4 était maintenue constante à 7 % et on introduit le CO_2 par tranches de 5 % et, à chaque étape, on a fait 60 essais d'une durée de 30 min. La probabilité d'inflammation diminue à mesure que la dose de CO_2 augmente et il faut 25 % pour qu'il n'y ait plus aucun danger.

Des expériences dans les travaux souterrains ont été fait par Manchester Cie Ltd, en collaboration avec I.C.I.L. et Anderson Boyes and Co Ltd. On a trouvé qu'un débit de 43 litres/min de CO_2 maintenait une concentration de 5 % à 10 % sous la chaîne, mais jamais on n'a trouvé 25 %. Pour assurer cette concentration, il faudrait un débit bien plus considérable et qui représenterait une consommation de 12 à 25 kg/h de Drikold. L'appareil serait lourd et non maniable, les frais d'exploitation très élevés et il faudrait beaucoup de temps pour recharger au fond les réservoirs vides. Pour toutes ces raisons le procédé ne paraît pas pratique.

Emploi de l'eau. — Le danger des poussières a centré l'attention sur la nécessité d'un dispositif d'arrosage des haveuses. La vapeur d'eau est aussi efficace que le CO_2 pour diminuer l'inflammabilité des mélanges grisouteux, mais on ne peut réaliser la proportion nécessaire qu'à la température de 65° C. On sait cependant qu'un brouillard d'eau peut éteindre une explosion et on recherche la meilleure manière d'utiliser l'eau, tant pour prévenir le danger des poussières que pour éteindre une explosion déclenchée.

Dans quelques cas, un courant d'eau est directement dirigé sur les pics de haveuses, mais ce système, bien qu'atténuant le risque d'explosion, ne le supprime pas entièrement.

Action de l'air. — Avant de ventiler la rainure, il faut connaître la quantité de CH_4 émise par la veine en l'unité de temps. Des recherches faites par les inspecteurs des mines et plus tard par le N.C.B., montrent que le chiffre est très bas et qu'un souffle d'air de 0,570 m³/min suffirait à diluer le grisou en dessous de la limite d'inflammabilité. La ventilation doit être telle que cette dilution existe en tout temps dans la rainure même et dans un espace ambiant de 1,50 m de rayon.

Action de l'air et de l'eau. — Un système de vaporisateur d'air et d'eau a été adopté à la mine Holditch et décrit par Walker et d'autres. L'efficacité de la méthode, en ce qui concerne l'atmosphère dans la rainure de havage, a été examinée ultérieurement par Beilby.

Dans ce système, deux jets d'eau se forment sur le bâti de la haveuse en dehors de la rainure et

sont dirigés dans celle-ci de chaque côté de la chaîne. Ainsi, l'efficacité de ces jets à faire sortir le gaz du fond de la rainure dépend du bruillard qui enveloppe les pics en mouvement et les haveuses. Les recherches de Beilby montrent que, derrière le cadre et dans les conditions de la mine Holditch, la ventilation de la rainure était convenable, mais il ne semble pas qu'on ait fait des prises d'essai en avant des couteaux, là où l'inflammation pourrait se produire.

En même temps qu'à Holditch, John a essayé à Manvers Main Colliery une méthode pour introduire le bruillard d'air et d'eau au fond de la rainure d'une haveuse pivotante. L'air comprimé et l'eau étaient amenés séparément dans une petite chambre à l'intérieur du bâti vers l'extrémité. La sortie se faisait par deux trous de 5 mm de diamètre, dans le trajet de la chaîne, et on n'a pas eu d'ennuis résultant de l'obstruction de ces trous. Des prises d'essai ont montré que la ventilation était bonne, mais malheureusement ces prises ne pouvaient se faire qu'en arrêtant la machine et on ne connaît pas les conditions existant pendant la marche.

Un autre appareil imaginé dans ce but par un membre de notre Institut a été examiné récemment. Il pourrait être adapté avec très peu de modification à un châssis Whale et, dans une étendue limitée, les jets d'eau semblent donner une immunisation parfaite. L'appareil est assez simple de construction, mais pourrait sans doute être encore simplifié.

L'emploi de l'air seul dans la rainure peut être une précaution suffisante dans les circonstances normales, et il est possible aussi de produire un brouillard d'eau sans recours à l'air, mais chacune des deux méthodes peut être mise en défaut dans des circonstances exceptionnelles. Une combinaison des deux, dans laquelle le nuage d'air et d'eau est introduit au fond de la rainure, a des avantages, mais toutes les méthodes éprouvées jusqu'ici exigent une consommation d'air à haute pression et la majorité des chantiers n'est pas équipée dans ce but. Il y a donc nécessité de monter un sur-compresseur qui pourrait être commandé par le même courant électrique que la haveuse.

IV. — ETINCELLES DE CHOC OU DE FRICTION DE METAL SUR METAL

Les progrès les plus remarquables réalisés dans notre connaissance du danger des étincelles ont été réalisés par les expériences récentes sur les frottements entre métaux et elles ont conduit le N.C.B. à imposer des restrictions à l'emploi des alliages légers dans les travaux du fond.

a) Frottement d'usure.

Burgess et Wheeler ont rapporté des expériences au moyen d'une roue de 40 cm de diamètre

frottant sur un rail d'acier. Avec une charge de 1 t, une vitesse périphérique de 25 m/sec et injections fréquentes de sable sur le rail, on n'a pas enflammé le grisou à 8 %, l'essai ayant duré 20 minutes. Cependant, si l'on pose sur le rail quelque objet sur lequel buttent les étincelles, il peut y avoir inflammation. Les étincelles provenant d'une foreuse rotative n'ont jamais donné d'inflammation.

Des expériences ultérieures avec une barre d'acier doux et un disque tournant à la vitesse de 150 m/min ont montré qu'on pouvait obtenir l'inflammation d'un air grisouteux enrichi en oxygène, mais on a conclu d'une série d'essais avec des teneurs variables en oxygène que l'inflammation du mélange CH_4 , air atmosphérique, était virtuellement impossible. Les mêmes essais ont été répétés avec des aciers diversement carburés. Le degré d'inflammabilité, apprécié par la teneur en oxygène nécessaire pour avoir une probabilité de 50 % d'inflammations, augmente avec la teneur en carbone des aciers.

La vitesse de la roue a été portée à 550 m/min et on a pu obtenir alors des inflammations du mélange air-méthane sans oxygène. A cette même vitesse, un barreau en métal léger sur la roue d'acier donne des inflammations, tandis qu'il n'en donne pas à faible vitesse.

Des expériences du même genre ont été faites en Allemagne par Schultze-Rohnhof. Il en résulte qu'un acier frottant sur un disque d'aluminium siliceux produit une réaction analogue à celle de la thermité, que des particules d'aluminium brûlent dans l'air et allument le grisou. On a aussi constaté que le frottement entre alliages d'aluminium n'engendre pas d'étincelles.

b) Inflammations par les effondreurs de piles.

Un cas particulier de frottement à petite vitesse, mais sous pression considérable, se présente dans la reprise à coups de marteau des piles de rails. Au moment où le décaleur s'échappe, il s'établit une très forte pression sur une petite surface, avec une déformation plastique de l'acier, et on observe des étincelles. On a voulu y voir une explication de l'explosion d'Easington et le rapport sur cet accident suggérait de faire des expériences et d'étudier des systèmes d'effondreurs qui ne donneraient pas d'étincelles. Des essais ont été faits en conséquence, mais on n'a jamais pu obtenir aucune inflammation par l'effondrement des piles, quelle que fut la charge.

Ces essais n'ont pas été poursuivis. La plupart avaient été faits avec le même effondreur, mais en passant à un autre on a eu les mêmes résultats. Pour obtenir une inflammation, il est nécessaire d'ajouter de l'oxygène à l'air grisouteux. Sous une charge de 60 t, on réalise la probabilité à

50 % en ajoutant 7 % de CH_4 au mélange de 2 d'azote pour 1 d'oxygène. A 29 % d'oxygène, il n'y a pas d'inflammation. Sous une charge de 40 t, il n'y a pas d'inflammation avec le mélange à 33 % d'oxygène. On a trouvé qu'une inégale répartition de la charge sur la pile, la présence de poussières de charbon sur les surfaces, la présence de bois ou de remblai dans la pile n'ont aucune importance.

L'analyse statistique des résultats montre que le risque de danger dû à cette cause est très faible. Cependant, étant donné que la fréquence au chantier de l'opération est très grande, il paraît désirable de supprimer si possible cette cause d'étincelles. Des essais ont été faits avec un effondreur ayant une des surfaces doublée de stellite, le risque n'a pas été diminué. Des essais sont en cours avec les deux faces doublées de stellite, mais les résultats provisoires indiquent qu'il n'y a aucune amélioration.

Il faudrait peut-être modifier la construction du verrou ou le mode de décalage. La pile hydraulique ne présente aucun danger.

c) Chocs à grande vitesse et ruptures.

Le procédé employé pour examiner le choc du métal sur la roche a servi aussi pour l'étude du choc des balles d'acier sur des cibles d'autres métaux. Des inflammations de grisou ont été obtenues avec des cibles en acier et en aluminium; la probabilité de 25 % correspond à une énergie de 65 ou 11 kgm respectivement. On se rappellera que le même mélange air-méthane n'est pas inflammable dans ces conditions par le choc de la balle sur la roche. Les mélanges d'air et d'hydrogène sont aussi plus sensibles et il a été possible d'étudier les effets de l'angle de tir et de déterminer la nocivité relative des étincelles de différents métaux.

Dans l'essai sur roche, avec une énergie donnée, la probabilité d'inflammation d'un mélange à 15 % d'hydrogène augmente à mesure qu'on se rapproche du tir rasant. Ceci ne se vérifie pas dans le choc sur métal et, s'il y a quelque chose à noter, c'est que l'inflammation est plus facile avec le choc normal. Dans ce cas et avec le mélange air-hydrogène le plus inflammable, on a trouvé que l'inflammation la plus facile se fait avec le métal électron à 93 % de magnésium. La probabilité de 50 % correspond à des énergies se rangeant dans l'ordre suivant : 1, 2, 4, 4,5, 4,5 et 6 pour l'électron, l'alliage d'aluminium, l'acier doux, le cuivre, le zinc et le plomb. Les résultats obtenus avec la cible en plomb sont intéressants parce que tout-à-fait inattendus; ils ont toujours coïncidé avec une rupture de la balle dans l'obstacle et il est probable que cette rupture est la cause première de l'inflammation. On en a eu confir-

mation en brisant des balles à coups de marteau dans l'atmosphère d'air-hydrogène.

On a eu de fréquentes explosions, mais jamais avec le mélange d'air et de méthane ou de pentane. On pense qu'on pourrait en avoir avec les mélanges de ces gaz avec l'oxygène.

d) Chocs à faible vitesse.

On a élaboré une technique reproduisant les conditions de l'explosion survenue au charbonnage Hawkins en novembre 1950. L'appareil représenté à la figure 4 consiste en une chambre cubique munie d'un long tube vertical de 10 cm

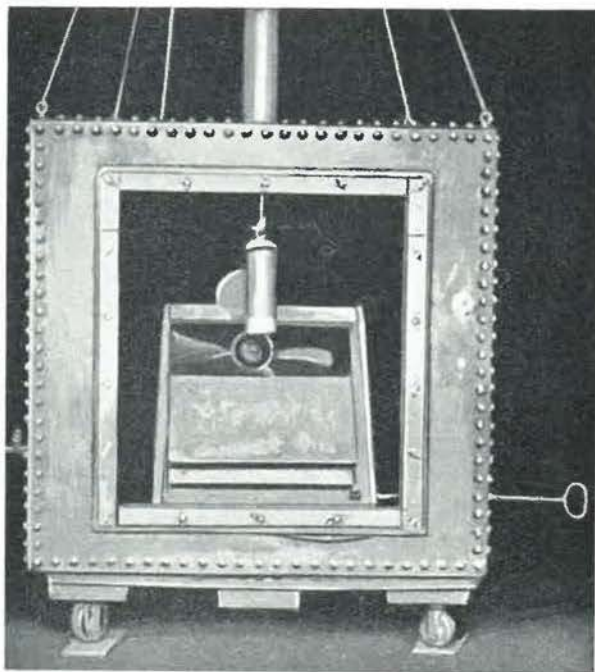


Fig. 4. — Chambre d'explosion, vue de face.

de diamètre, suivant lequel un poids cylindrique en laiton tombe d'une hauteur déterminée sur une plaque d'acier inclinée. A la base de ce poids, on peut ajuster un disque du métal à essayer; le poids total est habituellement de 16 kg, mais peut varier. La plaque d'acier est amovible et, à chaque essai, le point de choc est rafraîchi et on peut aussi faire varier l'inclinaison.

Ces variations d'inclinaison ont été étudiées avec des alliages légers et avec un acier rouillé. Les angles les plus propices à l'inflammation sont compris entre 35 et 55°. Ce résultat diffère de celui des essais avec la balle d'acier.

On a recherché le comportement de divers mélanges gazeux. On sait en effet que le degré d'inflammabilité varie avec la nature de la source d'inflammation. Avec des alliages légers tombant sur l'acier rouillé, le mélange le plus inflammable est celui d'air avec 6,4 % de méthane. Avec le

pentane, la proportion est de 3,2 %, c'est un peu plus que le mélange stoechiométrique. Pour un très grand nombre d'alliages légers différents, la probabilité d'inflammation est la même qu'avec le grisou. Avec l'hydrogène entre 10 et 20 %, la probabilité ne varie pas beaucoup. Celle du mélange à 15 % est du même ordre que celle du grisou; avec un poids d'acier, le mélange d'hydrogène s'allume, mais pas le grisou. En fait, ce dernier mélange n'a jamais été enflammé au cours de centaines d'essais avec des poids d'acier, zinc et bronze d'aluminium.

Ce système d'essais permet de déterminer la probabilité d'inflammation en fonction des énergies cinétiques et on peut ranger le risque des métaux d'après les énergies correspondant à une même probabilité. Dans la figure 5 les courbes

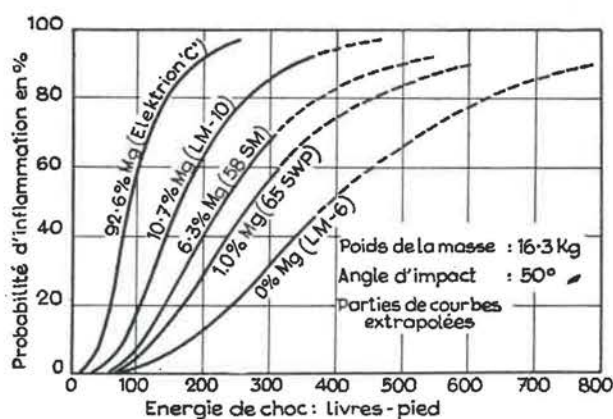


Fig. 5. — Probabilité d'explosion du mélange d'air-méthane 6,4 % par le choc lumineux de l'acier sur les alliages légers.

Abscisses - Energie livres-pied - Ordonnées - Probabilité sur 100.

en traits pleins se rapportent au mélange d'air et 6,4 % de méthane et à des alliages légers, les énergies étant portées en abscisse. C'est le magnésium qui est le plus dangereux et, dans les alliages d'aluminium, l'inflammation est d'autant plus aisée que la proportion de magnésium est plus forte. La différence est surtout sensible aux faibles énergies, mais elle diminue progressivement puisque tous les métaux tendent vers la probabilité 100 avec grandes énergies. Les derniers essais ont fait découvrir que le titane est encore plus dangereux que le magnésium.

Un autre procédé pour produire des étincelles est basé sur la différence de dureté entre l'acier et les alliages légers. Si l'on frotte un objet en acier rouillé avec un barreau en alliage léger, une pellicule de ce dernier reste sur la rouille comme un lubrifiant. Quand on frappe sur cette surface graissée, avec un objet dur, on obtient une large étincelle brillante qui est apte à allumer les mélanges gazeux de méthane pentane et hydrogène. La figure 6 reproduit les photographies de ces étincelles qui sont du même type que celles des

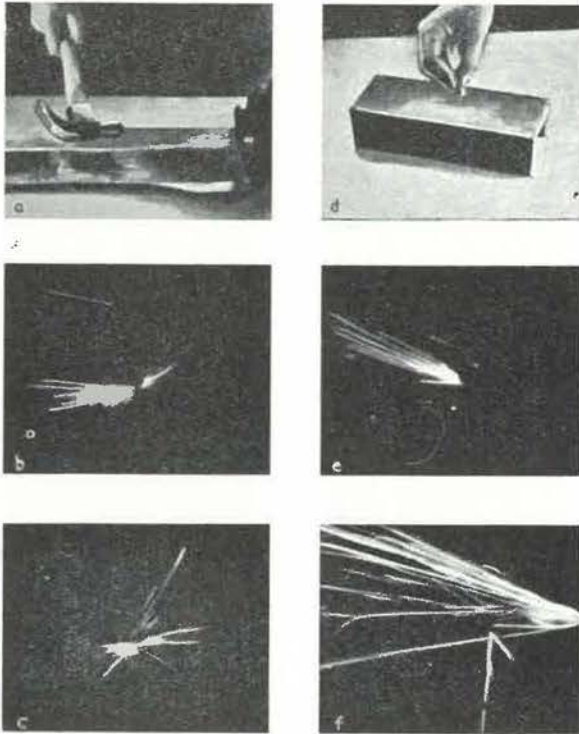


Fig. 6. — Étincelles de friction de barres d'acier frotté d'aluminium.
 a) Marteau frappant un coup luisant sur un étau couissant;
 b) et c) étincelles suivant le coup sur la surface luisante;
 d) lubrification par frottement d'un alliage d'aluminium sur une surface rouillée;
 e) étincelle produite par un coup luisant sur cet acier frotté;
 f) éclair produit par l'expulsion d'un coin ainsi frotté hors d'une bête Schloms.

peintures d'aluminium. Une forme particulière de ce graissage se constate fréquemment sur l'acier des bêtes Schloms. Si l'on fait sortir un coin pendant que la liaison entre les deux rallonges est sous pression, ce graissage prend feu et donne des étincelles brillantes (fig. 6).

e) Alliages binaires.

Des essais ont été entrepris pour rechercher la possibilité d'écartier le danger d'étincelles en ajoutant aux alliages légers quelque métal « inerte ». On a essayé le zinc, l'argent et le cuivre. Les résultats semblent très compliqués par des facteurs tels que la dureté, le point de fusion, etc., mais une chose est certaine, c'est que le risque est une fonction directe de la proportion d'aluminium. Avec un alliage à 35 % Al et 65 % Zn, la probabilité d'inflammation est encore de 3 %; dans les mêmes conditions d'essai, celle de l'aluminium 97 % est de 50 %. Ce même alliage employé comme lubrifiant donne aussi des lueurs. D'autre part, les avantages pratiques de la légèreté disparaissent avec ces sortes d'alliages. Il y a donc peu d'espoir d'arriver à un résultat satisfaisant par l'introduction d'un métal inerte.

f) Mécanisme de l'inflammation par les alliages légers.

On pense que la connaissance du mécanisme de l'inflammation pourrait fournir la clef du problème de la prévention. Des recherches ont donc été faites et il semble en résulter que le danger ne pourrait être atténué que si l'on trouvait un alliage notablement plus dur que l'acier ou un inhibiteur de la réaction de la thermité. Dans les conditions de l'essai, on n'obtient pas d'inflammation du grisou à 6,4 % par le choc du magnésium sur un acier bien décapé par voie chimique, mais des étincelles dangereuses se produisent dès qu'il y a un peu de rouille. Quand on asperge la plaque avec du minium de plomb, du nitrate ammonique, ou si la plaque est enduite d'un vernis clair de collodion, des inflammations se produisent très facilement. Quand on asperge avec de la silice amorphe, du quartz ou du grès pulvérisé, il y a aussi des inflammations, mais bien plus rares qu'avec la plaque rouillée. Il n'y a pas d'inflammation si l'on sème de la poussière de calcaire ou de charbon. De tout cela, il résulte que la présence d'un corps contenant de l'oxygène et capable de réagir avec le métal léger est requise pour enflammer les gaz.

La température d'inflammation des alliages Mg + Al, sous l'action de la balle et de la pression, en présence d'oxydants donnant lieu à la réaction thermité, a été déterminée. En général, pour ces deux métaux, la fréquence des inflammations de gaz dans les essais au poids tombant est en relation avec la température de réaction du mélange du type « thermité »; à une basse température correspond une haute fréquence des inflammations de gaz. Ainsi il apparaît que, pendant le choc, un mélange intime d'une particule rapée d'alliage léger et du corps oxydant se produit et s'enflamme. Cette petite inflammation locale dégage assez de chaleur pour que le reste du métal arraché brûle aussi et produise le grand éclair qui provoque l'explosion du gaz.

V. — CONCLUSIONS FINALES

Il y a plusieurs moyens de produire des étincelles de friction. En général, il semble que les étincelles séparées volant à travers l'atmosphère ne sont pas dangereuses dans un air grisouteux, à moins qu'elles ne soient arrêtées. Il y a exception à cette règle quand les particules brûlent rapidement et ont une très haute température. Les étincelles sous forme d'éclair compact sont d'ordinaire dangereuses. Cependant, il est impossible de dire qu'une étincelle est ou n'est pas dangereuse rien que par son aspect, et toutes doivent être suspectes tant qu'on n'a pas fait des essais spécifiques.

Il est clair qu'il y a divers mécanismes du déclenchement d'une explosion. Dans le cas de chocs à faible vitesse ou de frottements sur les alliages légers, le mécanisme est celui d'une combustion chimique et les éclairs à haute température, aussi bien que les étincelles, sont capables d'amener des explosions de n'importe quel gaz. Quand il n'y a pas de réaction chimique, les étincelles ou les points chauds sont dus à l'abrasion ou à une rapide déformation plastique des matériaux. Dans ces cas, il y a de très grandes différences dans la facilité d'explosion de différents gaz. Il faut donc les soumettre à des essais différant par le mode

de production des étincelles. Les résultats d'un essai particulier ne doivent pas être généralisés.

Les différentes formes d'essais applicables à l'étude des étincelles entre deux métaux ont été assez clairement définies et plusieurs métaux ont pu être classés dans l'ordre du danger que présentent leurs étincelles au contact de l'acier. Avec les roches, on n'a fait que peu de mesures quantitatives et il n'est pas encore possible de déduire d'un examen pétrographique l'aptitude d'une roche à produire des étincelles dangereuses dans des circonstances spécifiées.
