

## BIBLIOGRAPHIE

---

STATION D'ESSAIS DE LIÉVIN. *4<sup>me</sup> série d'essais sur les inflammations de poussières* : **Développement et arrêt des coups de poussières ; Théorie des Explosions**, par J. TAFFANEL, Ingénieur au Corps des Mines, Directeur de la Station d'essais.

*5<sup>me</sup> série d'essais sur les inflammations de poussières* : **Essais d'inflammabilité**, par J. TAFFANEL, Ingénieur au Corps des Mines, et A. DURR, Ingénieur-chimiste de la Station d'essais.

(Au Comité central des Houillères de France, 55, rue de Château-dun, Paris. — Prix : 5 et 3 francs.)

Le Comité central des Houillères de France a publié les détails des expériences sur le développement et l'arrêt des coups de poussières, dont un compte-rendu sommaire avait été publié antérieurement (1).

Il n'est guère possible, dans un article bibliographique, d'analyser d'une façon assez complète ces publications, mais vu leur intérêt tout particulier, — car elles condensent en quelque sorte tous les résultats obtenus depuis la création de la station d'essais de Liévin, — nous tâcherons d'en dégager les enseignements principaux.

La 4<sup>e</sup> série avait surtout pour but d'étudier le développement d'une explosion de poussières et de chercher les moyens de l'arrêter, non pas à son début, mais après une certaine extension. Bien qu'il vaille beaucoup mieux empêcher la *production* de l'explosion que de l'arrêter après un certain parcours, il peut être utile d'avoir des dispositifs d'arrêt, d'extinction d'une explosion, pour limiter les conséquences d'une imprudence commise au point initial.

Une objection naît immédiatement à l'esprit de ceux qui connaissent une mine et le réseau compliqué de ses voies d'exploitation : une

---

(1) *Compte-rendu sommaire des essais exécutés de juin 1909 à avril 1910* (mai 1910) ; *Conclusions pratiques des expériences sur les inflammations de poussières* (novembre 1910).

galerie d'essais ne pourra jamais reproduire la configuration d'une mine, et, le fit-elle, ce ne serait qu'un cas particulier, parmi les milliers de cas existant dans les travaux : dès lors, on n'est aucunement fondé à admettre des analogies entre ce qui se passe dans une galerie d'essai et ce qui se produirait dans une mine, quant aux modes de développement d'une explosion, et aux moyens de l'arrêter.

Pour ces derniers, on peut facilement résoudre la difficulté par la comparaison des méthodes d'arrêt : il n'y a pas de motif pour que le procédé qui donne le meilleur résultat en galerie ne soit aussi le plus efficace dans la mine.

Quant au développement d'une explosion de poussières, on ne peut passer, du cas particulier de la galerie d'essai, au cas général d'une mine donnée, qu'en établissant les lois élémentaires du phénomène de la combustion : il faut faire la théorie des explosions de poussières, et après avoir contrôlé, par les résultats des essais, l'exactitude des déductions fournies par l'analyse, appliquer aux différents cas les principes acquis.

M. Taffanel n'a pas reculé devant la complication de ce problème.

Pour permettre d'étudier le développement des explosions de poussières, des appareils de mesure extrêmement précis ont été installés dans la galerie et permettent d'enregistrer, pour un point quelconque, l'instant de passage de la flamme, l'instant de passage d'une pression déterminée, la variation de pression en un point, les maxima ou minima de pression, etc.

Ces appareils de mesure ont été particulièrement bien étudiés et, après diverses modifications suggérées par les essais, paraissent allier la précision à la simplicité.

La vitesse de propagation de la flamme se mesure à l'aide de détonateurs spéciaux placés à différents endroits de la galerie ; chacun de ces détonateurs, au moment où il est atteint par la flamme, rompt un circuit électrique et l'instant de cette rupture est enregistré au chronographe ; la comparaison des temps correspondant au passage en deux points déterminés donne la vitesse moyenne de la flamme entre ces deux points.

Les pressions maxima atteintes en différents points de la galerie s'obtiennent par des appareils à crushers, bien connus : l'appareil est vissé sur la paroi de la galerie, un piston reçoit la pression qui se développe à l'intérieur et provoque l'écrasement d'un petit cylindre de cuivre exactement calibré, dont on mesure le raccourcissement au 1/100 de millimètre.

Plus intéressantes sont les *sondes de pression*, appareils dans lesquels le piston soumis à la pression intérieure de la galerie doit vaincre l'effort d'un ressort antagoniste ; le piston ne se meut donc qu'à l'instant où la pression atteint le taux pour lequel le ressort a été taré et, à cet instant, rompt le circuit de l'appareil enregistreur : on peut donc connaître l'instant de passage d'une pression déterminée en un point de la galerie.

L'appareil enregistreur construit par M. Carpentier, d'après le programme indiqué par M. Taffanel, est plus ingénieux encore : il indique les variations de pression et le passage de la flamme en un point de la galerie ; l'appareil, vissé extérieurement à la paroi, porte une membrane métallique soumise à la pression intérieure ; un miroir argenté, placé contre cette membrane, suit la flexion de celle-ci et réfléchit les rayons émis par une lampe Nernst placée dans le fond de l'appareil ; le rayon réfléchi, est reçu par un prisme et renvoyé sur le papier sensibilisé porté par un cylindre animé d'un mouvement uniforme (par moteur synchrone). En même temps l'image de la lueur produite par la flamme est renvoyée sur ce cylindre. Le développement photographique fait donc apparaître sur le papier non seulement la courbe de la variation de pression, mais encore une trainée indiquant le passage et la durée de la flamme.

Les différentes mesures de temps sont coordonnées par le chronographe enregistreur ; les circuits des divers appareils de mesure aboutissent au chronographe et commandent chacun une plume enregistrant les temps des phénomènes avec une précision qui peut atteindre le 1/5000<sup>e</sup> de seconde.

Nous avons eu l'occasion d'admirer sur place le fonctionnement de ces divers instruments ; on détermine ainsi tous les éléments caractéristiques d'une explosion et l'on peut représenter celle-ci par différents diagrammes montrant les variations de la pression et de la vitesse de propagation en fonction du temps et du chemin parcouru.

Dès le début, apparut cette loi — déjà mise en évidence par l'étude de quelques catastrophes — que la pression, modérée au point initial, s'accroît avec le développement de l'explosion, de sorte que la pression maximum est constatée au voisinage de l'orifice de la galerie.

La vitesse de propagation caractérise le degré de violence des explosions, dépendant surtout du degré d'inflammabilité du gisement poussiéreux ; les causes de détente en arrière de la flamme (par exemple, un orifice laissé libre près des premières fenêtres) amortissent une explosion.

Ces expériences ont montré comment une inflammation, une fois déclenchée, se poursuit facilement : c'est ainsi qu'une explosion amorcée sur 25 mètres de poussières très fines (essai n° 259) se poursuit sur les 205 mètres de la galerie, contenant des grains grossiers impropres à donner naissance à une inflammation, et s'épanouit à 30 mètres au delà de l'orifice de la galerie ; si les poussières fines avaient existé seules, la flamme n'eut pas atteint 150 mètres au-delà de leur gisement ; on constate de même que les poussières maigres, à 14 % de matières volatiles finement broyées, sont capables d'étendre au loin une explosion initiale de poussières — ce qui est peu à craindre en pratique, une mine à charbons maigres n'ayant pas le gisement favorable à l'inflammation — ou — ce qui a plus d'importance — une explosion de grisou.

Les zones de dépoussiérage se sont montrées pratiquement inefficaces pour arrêter une explosion ; le procédé n'étant guère réalisable du reste dans les mines, cette constatation ne suscite pas grand regret.

Les zones poussiéreuses arrosées ont retenu plus longtemps l'attention ; les poussières de charbon se mouillent difficilement et il faut employer, dans la zone d'arrêt, un poids d'eau quadruple environ du poids des poussières pour arrêter ou tout au moins amortir une explosion ; on avait entendu proposer, il y a quelque temps, la création de zones de 100 mètres, copieusement arrosées, pour isoler différents quartiers d'une mine : or, les essais de Liévin ont montré que cette longueur de 100 mètres, avec le fort taux d'arrosage pratiqué dans la galerie d'essai, arrête très bien une explosion à 75 mètres du point initial, mais semble être à la limite d'effet lorsqu'elle se trouve à 120 mètres de l'origine : on peut donc conclure que des zones de cette longueur seraient insuffisantes pour arrêter une explosion qui se serait développée dans un chantier de mine. Il faudrait ou augmenter la longueur de ces zones, ce qui n'est guère pratique, ou augmenter le taux d'arrosage.

D'ailleurs, beaucoup d'ingénieurs — et c'est notre avis personnel — n'accordent guère de confiance à l'arrosage ; il entraînerait dans nombre de mines des complications inextricables par suite du gonflement des terrains ; d'un autre côté, si l'on songe à la quantité d'eau énorme que les courants d'air importants (60, 80 ou 100 m<sup>3</sup> par seconde) circulant dans les mines chaudes et profondes, enlèveraient en se saturant d'humidité, on voit quelle sécurité précaire créerait l'arrosage généralisé : un arrêt de quelques heures dans l'ar-

rosage suffit à assécher complètement la mine et toutes les précautions antérieures sont illusoires. Enfin, dans les mines chaudes et profondes, la sécheresse de l'air est précisément le facteur qui rend le travail possible dans des conditions hygiéniques. Aussi l'arrosage nous semble-t-il un procédé dont les résultats favorables sont absolument disproportionnés aux difficultés, au coût et aux dangers de son emploi. Seul l'arrosage à proximité du coup de mine nous paraît pratique, mais il est tout aussi simple et plus sûr, dès lors, d'employer le « bourrage extérieur », dont les essais de Frameries ont montré le rôle considérable (1).

Les zones de poussières schisteuses pures n'ont pas tenu les espérances qu'avaient fait naître les expériences d'Altofts (2) ; *a fortiori* les zones d'arrêt de 100 à 200 mètres de longueur à poussières schistifiées à un taux qui peut être entretenu dans la mine — par exemple à 75 % de matières incombustibles — sont peu efficaces pour arrêter une explosion violente. La schistification générale reste seulement une bonne précaution pour amortir les effets d'une explosion ou arrêter même les explosions lentes.

C'est après ces résultats médiocrement encourageants sur les zones d'arrêt arrosées ou schistifiées, que M. Taffanel a été conduit à expérimenter les dispositifs d'arrosage ou de schistification concentrés, auxquels M. l'inspecteur général Aguillon a donné le nom d'*arrêts-barrages* : il faut refroidir la flamme jusqu'à extinction, en diminuant les produits combustibles par rapport à la masse totale des produits à échauffer et en augmentant considérablement la quantité des produits incombustibles ; il faut un grand excès de ceux-ci, d'où l'idée d'utiliser les chasses d'air qui précèdent la flamme pour charger l'atmosphère d'un poids très élevé de matières inertes : la disposition, adoptée après des essais divers et déjà connue par les publications antérieures, est de ménager, dans la partie supérieure de la galerie et sur une longueur d'environ 10 mètres, des planches transversales de 50 à 60 centimètres de largeur, laissant entre elles et au-dessus d'elles des vides suffisants et servant de support, soit aux baquets d'eau, soit

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, 1911, 4<sup>e</sup> liv., p. 937. Voir aussi *La Technique Moderne*, t. III, n° 12 (décembre 1911), p. 721. Le bourrage extérieur consiste en une accumulation de poussières incombustibles déposée à l'orifice de trou de mine, de façon à être mise en suspension par l'explosion et à créer ainsi une atmosphère extinctrice à la naissance même d'une flamme éventuelle.

(2) A Altofts, les conditions d'essai sont différentes ; l'explosion se fait non au fond d'une galerie, mais en un point de celle-ci et dans un courant ventilateur.

aux amas de poussières fines et incombustibles (cendres de carreaux, par exemple) (1).

Après l'exposé des expériences, M. Taffanel édifie la *théorie des explosions* ; en admettant diverses hypothèses simplificatrices, il applique les principes fondamentaux de la dynamique des fluides aux explosions ; il arrive à conclure que si l'on connaît des lois de la combustion, on peut calculer les ondes, modifications de pression et vitesse dans différentes hypothèses : avec fond fermé, ou avec orifice libre, ou avec sections variables, etc. ; on peut dès lors prévoir à tout instant les conditions de vitesse d'entraînement et de pression du milieu que rencontre la flamme et calculer de proche en proche, d'après les lois de la combustion, les nouvelles ondes engendrées et leurs nouvelles conséquences ; on peut donc reconstituer une explosion en galerie simple ou complexe par la seule connaissance des lois élémentaires de combustion et de quelques coefficients empiriques.

Il reste à faire l'étude de chacun des éléments complexes que présente une mine : coude, bifurcation, obstruction, cul-de-sac, changement de section, etc...

La *cinquième série d'expériences* comprend des essais d'inflammabilité faits en collaboration avec M. Durr au cours de 1910 et 1911 ; les essais de ce genre des première et deuxième séries (1907) avaient utilisé, comme cause d'inflammation, la détonation ou la déflagration d'une petite quantité d'explosif dans un circuit fermé, constitué de buses d'aérage, où un courant d'air maintenait en suspension le nuage poussiéreux. Ces essais de 1907 étaient, en somme, assez peu intéressants, car ils n'étaient guère que la mise en évidence de l'inflammabilité des poussières par un coup de mine, chose déjà démontrée de nombreuses fois précédemment dans d'autres pays (2).

Les essais actuels ont pour but de déterminer dans quelles conditions s'enflamment et brûlent des nuages de poussières préalablement formés : cette fois, la cause d'inflammation est une flamme, ou une

(1) Ces arrêts-barrages ont fait l'objet d'une instruction du 15 avril 1911 de M. le Ministre des Travaux publics de France sur les moyens à employer pour lutter contre le danger des poussières. Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. XVI, pp. 685 et suiv.

(2) Nous parlons uniquement ici, au point de vue de l'*inflammabilité*, car ces premiers essais avaient donné des résultats intéressants sur les conditions de *propagation* de l'inflammation.

étincelle électrique, ou une paroi chaude. Ces expériences apportent des faits nouveaux.

Dans un premier appareil, dénommé *tube à poussières*, on lance avec une pression donnée sur un tube en porcelaine, chauffé à une température déterminée, un nuage poussiéreux, contenant un poids donné du charbon à expérimenter ; l'appareil peut servir à déterminer la température d'inflammation des différents charbons au même degré de finesse ou du même charbon à différents degrés de finesse. Mais ce qui fait surtout son intérêt, c'est qu'il permet par la photographie des flammes produites par les différentes poussières dans des conditions identiques d'essai, d'avoir une mesure de l'inflammabilité de ces poussières et de leurs dangers ; en étalonnant l'appareil au moyen de poussières types essayées dans la grande galerie, on a là un moyen facile d'opérer un classement des gisements poussiéreux qui peuvent se rencontrer dans les galeries de mines (1).

Ces essais ont prouvé que les matières volatiles jouent un rôle prépondérant dans les inflammations de poussières par la formation d'un mélange gazeux inflammable, ce que certains hésitaient à admettre parce que la phase d'échauffement étant trop courte, ces matières n'auraient pas eu le temps de distiller en quantité appréciable.

Le second appareil employé dans la cinquième série d'essais a été dénommé *injecteur à poussières* (voir croquis ci-dessous) ; imaginez

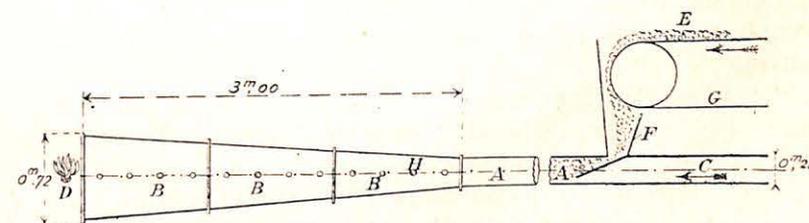


Schéma de l'injecteur à poussières de Liévin.

un entonnoir vertical *F*, dans lequel une toile-transporteuse *E* déverse un volume réglable de poussières ; la base de cet entonnoir débouche dans un tube horizontal *A*, cylindrique, terminé d'un côté

(1) La circulaire du 22 février 1912 du Ministre des Travaux publics de France, reproduite dans la présente livraison, charge la Station d'essais de Liévin, en cas de contestation au sujet du classement des mines, de procéder à la détermination du degré d'inflammabilité des poussières.

par un évasement conique *B* de 3 mètres de longueur, tandis que de l'autre il est relié à un ventilateur soufflant; une cloison inclinée placée à la base de l'entonnoir, forme injecteur et assure l'entraînement des poussières par le courant d'air. On peut ainsi créer des nuages d'une densité réglable, à une vitesse réglable.

Le brandon ou la lampe sont placés en *D* à proximité de la sortie de l'évasement conique, et manœuvrés à distance à l'aide d'une perche ou d'un câble. On peut déterminer les températures des flammes à l'aide d'un couple thermo-électrique et aussi les vitesses de propagation, car la flamme s'avancera dans le tube conique jusqu'à un point où la vitesse d'entraînement du nuage sera égale à celle de propagation de la flamme; or, des trous percés latéralement dans l'injecteur permettent de constater jusqu'où s'avance la flamme.

Cet appareil a encore confirmé l'influence de la finesse et du pourcentage en matières volatiles; mais les essais les plus suggestifs, à notre avis, sont ceux relatifs aux modes d'inflammation; on a obtenu l'inflammation par un brandon d'étoupe benzinée, par le coke incandescent restant dans le tube après un essai, par une lampe à pétrole, par une lampe à acétylène (lampe de bicyclette) et même par une chandelle; ces derniers essais sont plus délicats à cause du peu de stabilité de la flamme, qui est souvent soufflée par le nuage avant d'avoir pu communiquer l'inflammation.

Les essais d'inflammation par une lampe à flamme protégée, malgré un cas resté inexplicable, semblent montrer que ces lampes sont incapables de donner naissance à une inflammation de poussières.

Enfin l'arc électrique, sauf si la vitesse de nuage est trop forte pour que les poussières aient le temps de s'échauffer, donne une inflammation franche des nuages poussiéreux.

Les inflammations de poussières par de simples flammes ou brandons sont donc possibles; naturellement, il faut pour cela des nuages plus denses que ceux qui peuvent être enflammés par un explosif; c'est ainsi que dans la première série d'essais, une charge de 40 grammes de dynamite enflammait à partir de la densité de 46 grammes par mètre cube et, régulièrement, à partir de 70 grammes; la densité de 200 grammes par mètre cube, qui est nécessaire pour qu'une simple flamme mette le feu à un nuage poussiéreux, est assez élevée pour que la probabilité qu'elle se rencontre dans une exploitation normale demeure extrêmement faible; mais elle n'est pas nulle, car

certaines circonstances exceptionnelles pourraient créer un nuage de cette densité en un point des travaux (1).

Rappelons à ce propos que, depuis 1904, en Belgique, l'emploi des lampes non protégées est interdit dans les mines sans grisou, et que l'article 145 du décret du 13 août 1911 porte la même interdiction en ce qui concerne la France.

Ad. BREYRE.

---

(1) Rappelons que M. Taffanel a attribué la catastrophe de Monongah (1907), à une dérive de wagons de charbon le long d'un plan incliné; cette dérive aurait produit un nuage poussiéreux extrêmement dense, qui se serait enflammé à un arc électrique au pied du plan