

NOTE SUR LE DANGER

RÉSULTANT

d'un graissage défectueux des compresseurs

PAR

L. DENOEL

Ingénieur au Corps des Mines, à Bruxelles

[62215]

La *Zeitschrift für Berg- Hütten und Salinenwesen*, t. II, 1900, publie la relation d'un accident survenu le 8 juin 1899 à la mine de fer Concordia, à Dermbach, dans des circonstances intéressantes bien qu'assez spéciales.

A la profondeur de 100 mètres, on creusait, à l'aide d'une perforatrice à air comprimé, une galerie à travers-bancs dont le front était arrivé à 180 mètres du puits. Un compresseur, construit en 1897 par la firme *Duisburger Maschinenbaugesellschaft*, était installé dans cette galerie même, à proximité du puits ; il comprenait un cylindre à vapeur et un cylindre compresseur ; ce dernier, de même que la chappe du tiroir réglant la sortie de l'air comprimé, était refroidi par une enveloppe à circulation d'eau. La pression variait, suivant le besoin, de 4 à 6 atmosphères. Aucune disposition n'était prise pour la ventilation du travers-bancs ; les fumées de la dynamite se dissipaient facilement, par suite, sans doute, de la proximité du puits d'extraction ; on aidait à leur évacuation par l'air comprimé.

Au début de la journée, deux ouvriers étaient occupés à la perforation des trous de mine ; l'un se tenait à front, l'autre à l'arrière de la machine. Après cinq heures de travail environ, ils constatèrent que l'air se viciait ; ils étaient incommodés par une odeur désagréable, qui devint tellement forte à un moment donné que l'ouvrier occupé à l'arrière de la perforatrice dut se retirer. L'autre manifesta l'intention de faire de même, cependant il n'y donna pas suite immédiatement. Arrivé à 30 mètres du front, le premier ouvrier ralluma sa lampe qui avait été éteinte par la décharge de la perforatrice, et à ce moment il entendit son compagnon pousser des cris et des gémissements, mais se sentant trop faible pour lui porter secours, il courut au puits deman-

der de l'aide. L'ouvrier resté à front fut trouvé inanimé. L'autopsie démontra qu'il avait succombé à l'asphyxie par l'oxyde de carbone.

En même temps que ceci se passait, un ouvrier occupé à l'étage de 200 mètres au percement d'une galerie qui n'était encore qu'à 8 mètres du puits, constatait que l'air de décharge de sa perforatrice répandait une odeur désagréable et occasionnait des picotements aux yeux.

Un dégagement d'oxyde de carbone par les terrains schisteux traversés par la galerie ne présentait aucune vraisemblance. Aussi fût-on amené à rechercher la cause de l'accident dans l'air comprimé, d'autant plus que les gens prétendaient avoir déjà constaté, en d'autres circonstances, une mauvaise odeur analogue à celle d'huile brûlante, mais beaucoup plus faible que dans le cas actuel. L'air à l'entrée de la galerie étant parfaitement pur, les soupçons se portèrent sur l'huile de graissage du compresseur. Depuis environ six semaines, par suite de l'épuisement de la provision de l'huile minérale ordinairement employée, on se servait d'huile de navette. Peu de temps après l'accident, on est revenu à l'emploi d'huile minérale et on n'a plus constaté aucune viciation de l'atmosphère.

Le médecin chargé de l'autopsie du cadavre, partant de ce fait que les ouvriers s'étaient plaints de douleurs aux yeux, arriva à cette conclusion que la chaleur développée dans le compresseur avait pu amener la formation d'acroléine, qui à son tour aurait donné naissance à l'oxyde de carbone. Pour s'assurer du bien fondé de cette hypothèse, on saisit le restant de l'huile de navette employée, pour la soumettre à des expériences. On chercha à déterminer en premier lieu la température de l'air sortant du compresseur. A cette fin, on démontra la soupape de retenue placée sur la conduite à 1 mètre de distance du cylindre et on introduisit dans son logement un thermomètre à maxima. Pendant la marche des perforatrices, avec une pression de 4 atmosphères, on constata une température de 72°, 82° avec 6 atmosphères. Dans ce dernier cas, qui correspond aux circonstances de l'accident, l'eau de refroidissement (5,3 litres par minute) était portée de 10° à 45°. La machine faisait 50 tours à la minute.

Dans le compresseur, il doit évidemment y avoir une température bien plus élevée que celle donnée par ces mesures, car la compression adiabatique à 6 atmosphères amène l'air à 212° et on ne retrouve dans l'eau de refroidissement que 10 % de la chaleur produite. On doit donc attribuer la chute de température à l'endroit de la soupape de retenue à une détente de l'air dans la conduite.

Une analyse faite au laboratoire des mines royales de Saint-Jean-sur-Saar établit que l'huile employée à la mine Concordia était additionnée de goudron, mais ne contenait ni acide libre ni autres mélanges; on rechercha ensuite, au même laboratoire, par une série d'expériences effectuées dans un appareil autoclave de la fabrique P. Altmann, de Berlin, et avec toutes les précautions voulues, la manière dont se comportait cette huile à la chaleur.

Des essais faits en premier lieu à la pression ordinaire et à une température moyenne de 89° ne décelèrent, après 36 heures d'échauffement, que des quantités non mesurables de CO; l'échantillon répandait une odeur de goudron et les produits de la décomposition affectaient plus ou moins, suivant la durée de l'expérience, les narines et les yeux. (Présence probable d'acroléine.)

En augmentant la pression jusque 4 atmosphères, tout en maintenant la température à 89°, on n'obtint également que des quantités d'oxyde de carbone non susceptibles de dosage. Par contre, une série d'essais résumés dans le tableau ci-dessous, démontre que ce gaz se forme aux températures plus élevées.

Composition des gaz de l'autoclave après 8 heures d'expériences

ÉCHANTILLON	Température (centigrades)	Pression (atmosphères)	CO ₂ %	O %	CO %
Huile épurée du magasin de St-Johann.	155	0,2	5,6	5,1	1,3
	175	0,9	6,3	0,8 (*)	1,9
	207	0,7	5,2	2,7	3,6
	260	0,9	7,8	2,2	3,0
	291	1,3	8,2	1,2	5,8
Huile brute de même provenance	165	0,2	5,6	3,9	1,4
Huile de la mine Concordia	166	0,2	5,8	4,2	1,6

(*) L'autoclave n'a pas été ouvert après la 1^{re} prise d'essai, ce qui explique la faible teneur en oxygène décelée par la 2^e expérience.

Ces essais confirment le fait démontré par Englers que l'augmentation de pression et l'élévation de température favorisent la décomposition de l'huile végétale, aussi bien que celle des autres graisses.

Dans ces conditions, on s'explique que lors de l'accident l'air étant peu renouvelé au fond de la galerie, ait pu se charger peu à peu d'oxyde de carbone en quantité suffisante pour amener finalement la mort d'un des deux mineurs.

Ce singulier accident se rattache par ses causes aux explosions de compresseurs et de réservoirs d'air comprimé dont on connaît de nombreux exemples. Dans une précédente publication ⁽¹⁾, nous avons rendu compte d'une étude détaillée sur ce sujet parue dans le *Glückauf* d'Essen, à l'occasion de l'explosion, d'une violence remarquable, survenue le 30 avril 1896 au puits n° I du charbonnage de Kaiserstuhl, près de Dortmund, et qui eut pour conséquences des dégâts matériels considérables et la mort d'un machiniste. D'autres accidents du même genre, arrivés aux charbonnages de Clifton (2 cas), de Ryhope et de Newbattle, ainsi que dans la construction d'un aqueduc à New-York, sont rapportés dans un mémoire de M. G. Lees (*Transactions of the Fed. Inst. of Mining Engineers*, vol. XIV).

Dans tous ces cas, il s'agit de compresseurs secs refroidis par une enveloppe à circulation d'eau, donnant des pressions de 3 1/2 à 6 atmosphères et marchant à des vitesses de 24 à 48 tours par minute. Des phénomènes identiques ont été constatés : décomposition de l'huile de graissage, formation de gaz inflammables donnant avec l'air un mélange explosif, dépôts sur les parois intérieures des appareils de distribution, des conduites et des réservoirs, d'un enduit goudronneux plus au moins épais, auquel viennent s'ajouter parfois les poussières de charbon en suspension dans l'atmosphère et aspirées dans le compresseur. La cause occasionnelle de l'accident peut être le contact d'une flamme de lampe, par exemple lors d'un nettoyage des appareils; le plus souvent, et c'est le cas de tous les accidents rappelés ici, elle a été une combustion spontanée résultant de l'échauffement produit par la compression de l'air.

Un double enseignement se dégage de la discussion de ces faits, suivant que l'on considère l'élévation de température dans les cylindres compresseurs ou la qualité du lubrifiant employé.

(1) *L'Industrie*, novembre 1897.

A Newbattle, on faisait usage d'un mélange d'huile de colza avec une huile minérale lourde; la température d'inflammation de la première était de 146° C, celle de la seconde 249°; à Ryhope, lors de l'explosion, le lubrifiant consistait en huile minérale ayant pour point d'inflammation 175° et additionnée de son volume d'eau de savon. L'analyse de deux échantillons de l'huile employée à Clifton à l'époque de l'explosion a donné les résultats suivants :

	Température d'inflammation		Température d'ignition continue
	en vase clos	à l'air libre	
No 1	234°	276°	312°
No 2	238°	273°	309°

Cette huile contient 21 % de matière saponifiable.

Le dépôt noir recueilli sur les parois du receiver contenait :

Matières volatiles	55,8 %
Carbone fixe	37,3
Cendres	6,9

La partie soluble dans l'éther n'étant que de 2 %, il est probable que cette substance est constituée pour une large part de poussières de houille; mais celles-ci se trouvent dans un état de division extrême et échappent à un examen microscopique. D'après l'auteur de l'analyse, M. Boverton Redwood, cet enduit charbonneux est susceptible de prendre feu spontanément aux températures que l'on constate dans les compresseurs, et il n'est pas douteux non plus qu'il ne se volatilise des hydrocarbures en proportion suffisante pour former avec l'air des mélanges explosifs. Il est possible aussi que la présence d'huile grasse augmente l'aptitude à l'inflammation, car les corps gras de cette catégorie sont tous plus ou moins sujets à l'oxydation pendant que s'opère la compression de l'air, tandis que les huiles minérales ne le sont pas, pratiquement, dans les mêmes circonstances.

On a vu plus haut, par les expériences faites en Allemagne, avec quelle facilité l'huile végétale se décompose et le danger spécial qu'elle présente; son point d'inflammation relativement bas doit aussi la faire rejeter sans hésitation.

L'eau de savon préconisée par certains ingénieurs, soit seule, soit

en mélange à de la vaseline, peut avoir donné des résultats satisfaisants dans certains cas particuliers, mais, en général, elle entraîne de sérieux inconvénients : l'air comprimé se sature d'humidité et on ne peut plus utiliser la détente dans les moteurs secondaires ; le graissage n'est pas toujours efficace, surtout pour les grandes vitesses de marche ; les cylindres s'usent rapidement et doivent être réalésés ; le savon est oxydant et donne lieu à la formation de dépôts épais sur les parois intérieures des fonds de cylindres, ce qui nécessite un nettoyage tous les trois ou quatre jours. L'expérience en a été faite, entr'autres à Clifton, pendant plusieurs semaines, après l'accident, et l'on a dû revenir à l'emploi de l'huile minérale.

Parmi les nombreux lubrifiants de cette dernière catégorie que l'on trouve dans le commerce, on devra évidemment donner la préférence à ceux qui possèdent la plus haute température d'inflammation et de volatilisation, par exemple les huiles spéciales recommandées pour les cylindres à vapeur à haute tension. Par là, on diminue les chances de danger, mais on ne les écarte pas absolument. C'est ce que démontre l'explosion survenue au charbonnage de Kaiserstuhl. Ici on se servait pour le graissage du compresseur de *valvoline*, dont un échantillon a été soumis à l'analyse au laboratoire royal de Berlin et au sujet de laquelle le rapport s'exprime comme suit :

Le poids spécifique à 15° C est de 0,89. Elle ne contient aucune graisse animale ou végétale, et se compose uniquement d'hydrocarbures avec très peu d'oxygène. La température d'inflammation, déterminée par échauffement dans un creuset ouvert, a été trouvée de 291°; le point d'ébullition de 375°. « D'après cela », conclut le rapport, « cette huile est complètement exempte d'hydrocarbures » légers, et composée de corps chimiquement si peu différents, qu'elle » doit avoir été préparée avec grand soin. Cela résulte aussi de la » haute température d'inflammation de 291° qui n'est pas habituellement atteinte par les lubrifiants de cylindres.

» Tombant goutte à goutte dans une cornue chauffée au rouge, ces » huiles, comme toutes les substances organiques, sont décomposées. » Il se forme des gaz et plus ou moins de coke. Le volume de gaz » résultant de la décomposition de 20 gr. d'huile suffit à rendre » explosible un mètre cube d'air environ. Il n'existe d'ailleurs pas » d'huile de graissage qui ne donne, par l'action d'une haute température, des gaz combustibles. »

Comme la bonne qualité du lubrifiant n'a pas empêché l'explosion de se produire, il faut en conclure nécessairement qu'il y a eu dans

le compresseur un échauffement considérable, suffisant pour décomposer petit à petit une quantité notable de l'huile et pour amener la catastrophe finale.

Certains faits d'observation sont instructifs à ce point de vue. Ainsi, à Clifton, où les soupapes de refoulement n'étaient pas enveloppées par la chemise d'eau froide, on a trouvé :

- Température de l'air à la sortie du compresseur : 205 à 215° C. ;
- Pression indiquée à la fin de la course du piston : 4 à 5 1/2 atm. ;
- Vitesse de marche : 24 à 48 tours ;
- Perte de charge entre le compresseur et le réservoir : 0,5 à 1,2 atm. ;
- Température de l'air de la salle : 26° C. ;
- Température { initiale de l'eau de l'enveloppe : 20° ;
- } finale : 40 à 53° ;
- Volume de l'eau circulant : 27 litres par minute.

L'énorme différence constatée entre la pression indiquée au compresseur et celle du réservoir d'air provient en partie d'une différence de section entre les faces intérieure et extérieure de la soupape de refoulement, en partie aussi d'une mauvaise disposition des conduits où l'air doit subir un étranglement d'autant plus sensible que la vitesse du piston est plus grande.

Dans les ateliers Riedinger, à Augsburg, avec un compresseur d'essai muni d'une enveloppe d'eau froide établie dans de bonnes conditions, on a constaté, pour différentes tensions, les températures suivantes :

Pression en atmosphères	Température C.
1	85°
2	120°
3	150°
4	175°
5	195°
6	214°
7	232°
8	248°
9	262°
10	276°
15	334°
20	380°

Les chiffres de la 2^e colonne sont inférieurs de 10 à 12 % à ceux que donnerait la compression adiabatique de l'air ; ils sont beaucoup plus élevés et probablement plus voisins de la réalité que ceux trouvés après l'accident relaté au commencement de cette notice par les mesures faites sur le compresseur de la mine Concordia, et ils fournissent l'explication de cet accident.

On voit aussi par là que pour une pression de 10 atmosphères, la température atteint 276°, ce qui est plus que suffisant pour amener l'inflammation de l'huile de graissage. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le degré d'inflammabilité du mélange d'air avec les vapeurs ou des gaz carburés provenant de la décomposition de l'huile est d'autant plus grand que la pression est plus élevée.

L'attention doit donc se porter sur les moyens d'éviter un échauffement dangereux des cylindres compresseurs. Nous allons les rappeler sommairement.

Il convient en premier lieu, si l'on veut comprimer l'air à plus de 3 ou 4 atmosphères, d'employer de préférence des compresseurs du système Compound, avec refroidissement de l'air avant son entrée au second cylindre, Mais même dans ce cas, comme dans les compresseurs simples où la pression n'est pas exagérée, on connaît des exemples d'inflammations. C'est que des tensions élevées peuvent naître à un moment donné, par exemple à la suite d'un calage de soupape ou de l'obstruction des conduits de refoulement. Des expériences faites spécialement dans ce but ont établi que, à la longue, lorsque les chapelles de distribution ne sont pas efficacement refroidies, il se produit dans les canaux des dépôts provenant de la condensation de l'huile de graissage qui se volatilise et se décompose au contact du piston ou des parois non rafraîchies. Les obstructions surviennent d'autant plus rapidement que l'huile est de qualité médiocre ou employée avec excès, et la construction des compresseurs doit être étudiée spécialement en vue de les éviter.

Ainsi, on cherchera autant que possible à envelopper d'eau froide, non seulement le corps et le fonds du cylindre, mais aussi les organes de distribution ; les conduits longs et sinueux sont désavantageux ; la section des soupapes doit être largement calculée et les soupapes gouvernées sont préférables à ce point de vue aux soupapes automatiques.

Quel que soit le système adopté, il y a lieu de procéder périodiquement à un nettoyage minutieux des appareils. On évitera aussi de placer les compresseurs à proximité des triages de charbon ou bien

l'on fera passer l'air sur des filtres à poussières avant son aspiration aux cylindres.

Comme autres mesures de précautions suggérées par l'étude des accidents, il serait utile de placer aussi près que possible des soupapes de refoulement un thermomètre dont les indications peuvent constituer un avertissement pour le machiniste; de munir le réservoir d'air comprimé de robinets de prise d'essai permettant de vérifier s'il y a formation de gaz combustibles et de disposer les conduites d'entrée et de sortie de façon à ce qu'il n'y ait pas diffusion des gaz et, par suite, accumulation d'un mélange explosif dans le réservoir.



