

Les joints de canalisations d'aérage en caoutchouc

par P. LEDENT,

Ingénieur principal à l'Institut National de l'Industrie Charbonnière.

SAMENVATTING

In de naoorlogse technische literatuur vindt men een groot aantal studies gewijd aan het materieel der secundaire luchtverversing in de mijnen en meer in het bijzonder aan het probleem van de lekken in lange kokerleidingen.

Deze hernieuwde belangstelling verrechtvaardigt zich vooreerst door de uitbreiding van de delving van lange galerijen in het gesteente. Deze ontwikkeling vindt haar oorsprong in de fusies van concessies en in de concentratie van de voortbrengst op een beperkt aantal bedrijfszetels zowel als in de meer en meer toegepaste ontsluiting van de afzettingen door middel van grote horizontale steengangen (horizon mining), zelfs in landen als Engeland, waar tot nu toe het vervoer haast uitsluitend in de lagen zelf geschiedde.

Anderzijds leidden de groeiende mechanisatie en de veralgemening van het tijdschieten tot de versterking van het nodige luchtdebiet aan de fronten der voorbereidende werken.

Bij deze louter technische gronden voegen zich bekommernissen van sociale aard en namelijk het streven naar betere arbeidsvoorwaarden door een snelle evacuatie van de schietdampen en door een grotere verdunning van het stof voortgebracht door de boor- en laadverrichtingen.

Tenslotte stelt zich in zekere diepe mijnen het probleem van het klimaat op de voorgrond, dat een overvloedige ventilatie noodzakelijk maakt om de temperatuur aan de delvingsfronten beneden redelijke grenzen te houden.

In hetgeen volgt stelt de auteur zich voor bondig de berekeningsmethoden aan te geven die toelaten rekening te houden met de ondichtheid van de luchtkokerleidingen. Hij onderzoekt verder een zeker aantal types van leidingen en tracht de prestaties te berekenen die men van ieder dezer types mag verwachten.

* * *

Lorsque l'on parcourt la littérature technique des années d'après-guerre, on trouve un grand nombre d'études consacrées au matériel de ventilation secondaire des mines et plus particulièrement au problème des fuites dans les canalisations de grande longueur.

Divers motifs justifient ce renouveau d'intérêt et tout d'abord le développement croissant du creusement de longues galeries au rocher. Ce développement va de paire avec les fusions de concessions et avec la concentration de la production sur un plus petit nombre de sièges d'exploitation; il résulte également de l'adoption de plus en plus fréquente de la découpe du gisement par grandes galeries horizontales (horizon mining), même dans les pays comme l'Angleterre où les voies de transport étaient jusqu'ici presque exclusivement localisées en veine.

D'un autre côté, la mécanisation croissante et la généralisation du tir par grandes volées, avec utilisation de détonateurs à retards, ont conduit au renforcement des débits d'air à front des travaux préparatoires.

A ces motifs purement techniques, viennent s'ajouter des préoccupations d'ordre social et, no-

tamment, le souci d'améliorer les conditions de travail par une élimination rapide des fumées de tir et par une plus grande dilution des poussières soulevées par les opérations de forage et de pelletage.

Enfin, dans quelques mines profondes, le problème climatique passe à l'avant-plan et il devient indispensable d'assurer une ventilation de plus en plus abondante pour maintenir une température acceptable à front des galeries en creusement.

Dans l'exposé qui va suivre, nous nous proposons de résumer brièvement les méthodes de calcul qui permettent de tenir compte du manque d'étanchéité des conduites de ventilation secondaire; nous examinerons ensuite un certain nombre de types de canalisations et nous essayerons d'établir, pour chacune d'elles, les performances que l'on peut en attendre.

Relations entre la longueur des canalisations, les pertes de charge et les débits, dans des conduites imparfaitement étanches.

De nombreux auteurs ont étudié les relations qui lient le débit, la pression et la longueur de canalisation, dans des conduites imparfaitement étan-

ches dont les orifices de fuite sont supposés uniformément répartis.

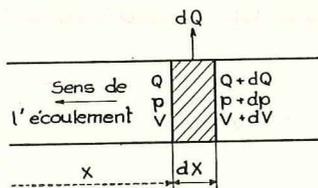


Fig. 1. — Notations.

Les équations de départ sont les suivantes (fig. 1) :

$$\frac{dQ}{dx} = a p^\alpha \tag{1}$$

$$\frac{dp}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{\delta V^2}{2g} \right) = b Q^\beta \tag{2}$$

avec les notations :

- Q débit d'air en m³/sec en un point d'abscisse x
- p pression statique en kg/m² en ce même point
- V vitesse d'écoulement de l'air en m/sec
- δ poids spécifique de l'air en kg/m³
- g accélération gravifique en m/sec²
- a b α et β constantes dépendant des dimensions et de la nature de la conduite.

La première de ces équations exprime le débit de fuite par unité de longueur de la canalisation en fonction de la pression statique p qui règne dans la conduite.

La seconde relie la perte de charge par unité de longueur de la conduite au débit Q qui la traverse.

Débit et pression vont en diminuant depuis le ventilateur jusqu'à l'extrémité libre de la conduite, le fait que nous n'ayons pas fait précéder le second membre du signe — indique que les abscisses sont mesurées à partir de l'extrémité libre de la conduite, le sens positif de l'axe des x étant de direction opposée à celle de l'écoulement.

Valeur des exposants α et β

En toute rigueur, l'exposant β devrait être choisi entre 1,75 et 2, la valeur 1,75 étant applicable à une conduite parfaitement lisse (formule de Blasius) et la valeur 2 à une conduite parfaitement rugueuse. Pour la facilité des calculs, on admet en général la valeur β = 2 qui conduit à une exactitude suffisante pour les applications pratiques.

La valeur à attribuer à l'exposant α est beaucoup plus controversée.

La fig. 2 reproduit diverses courbes que nous avons obtenues en étudiant la variation du débit de fuite en fonction de la pression, dans un tronçon de conduite bouché à ses deux extrémités [4]. Comme on peut le voir, toutes les formes de courbes se trouvent représentées, la valeur de l'exposant α pouvant varier de 0,5 à 1,5 suivant le type de joint. La valeur 0,5 ne s'applique rigoureusement qu'à

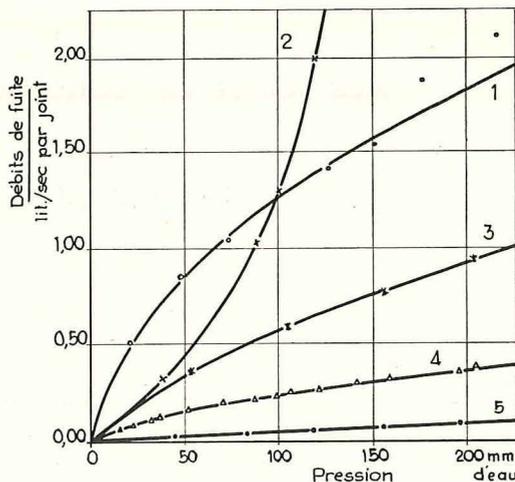


Fig. 2. — Variation des débits de fuite en fonction de la pression.

des fuites relativement importantes pour lesquelles l'écoulement est nettement turbulent. Pour des joints d'étanchéité élevée, telles les manchettes en caoutchouc soigneusement frettées, l'écoulement prend l'allure laminaire et l'exposant α tend vers 1. Enfin, certains types de joints ont un orifice de fuite qui augmente avec la pression; c'est le cas des manchettes en caoutchouc lorsqu'elles ne sont pas serrées par des frettes métalliques, c'est le cas également pour tous les tuyaux souples en toile caoutchoutée dont les pores se dilatent quand la pression augmente. Pour de tels matériaux, on obtient pour α des valeurs généralement comprises entre 1 et 1,5.

Des résultats analogues ont été obtenus par divers expérimentateurs et notamment par MM. Audibert et Dressler, les chiffres reproduits au tableau I sont extraits d'une étude publiée par ces auteurs [5].

Tableau 1. — Valeurs de l'exposant α pour divers types de conduites suivant E. Audibert et J. Dressler

	Valeur de α
Canalisation en éléments de 2 m en tôle rivée assemblée par brides ...	0,615
Canalisation en éléments de 2 m en tôle rivée assemblée par emboîtement	0,612
Canalisation en éléments de 5 m en tôle soudée assemblée par brides sans joint	0,522
Canalisation en toile :	
T ₁ { Un élément de 30 m sans racc.	1,22
{ Un élément de 30 m avec racc.	1,04
T ₂ { Un élément de 30 m sans racc.	2,20
{ Un élément de 30 m avec racc.	0,71
T ₃ { Un élément de 30 m sans racc.	1,18
{ Un élément de 30 m avec racc.	1,15

Il est possible, en adoptant une solution graphique, de résoudre le système d'équations (1) et (2) pour n'importe quelles valeurs des exposants α et β . Néanmoins, cette méthode est assez fastidieuse et se prête mal à la discussion de l'influence de chacune des variables. De plus, la précision que l'on peut en attendre est souvent illusoire. En effet, les conduites souterraines présentent généralement bien plus de fuites que celles que l'on expérimente en laboratoire et il est fort peu probable que l'exposant α obtenu en expérimentant un ou deux joints bien soignés puisse être appliqué à l'ensemble d'une conduite établie avec plus ou moins de soin et constituée d'éléments plus ou moins déformés.

Nous nous contenterons, dans cet exposé, d'envisager deux cas idéaux : celui des fuites parfaitement turbulentes pour lesquelles on peut poser $\alpha = 1/2$ et celui des fuites laminaires à travers des orifices d'ouverture constante, pour lesquelles $\alpha = 1$. Nous simplifierons également l'équation (2) en remarquant que, dans la plupart des cas, la pression dynamique ($\delta V^2/2g$) est négligeable en regard de la pression statique p .

Moyennant ces simplifications, nous aurons à considérer deux systèmes d'équations :

pour les fuites turbulentes :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dx} &= \theta \sqrt{p} \\ \frac{dp}{dx} &= r Q^2 \end{aligned} \right\} (3)$$

pour les fuites laminaires :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dx} &= \lambda p \\ \frac{dp}{dx} &= r Q^2 \end{aligned} \right\} (4)$$

La solution de ces deux systèmes d'équations a été donnée par M. Michelin dans une étude publiée dans la Revue de l'Industrie Minérale [3]. Dans le cas des fuites turbulentes, on a :

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \Phi(t x)$$

le facteur t ayant pour valeur :

$$\sqrt[3]{\frac{r \theta^2}{2}}$$

pour les fuites laminaires il vient :

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \Psi(u x) \text{ avec } u = \sqrt{\frac{2}{3}} r \lambda Q_0$$

Dans ces relations x désigne la longueur de la conduite, Q_0 le débit à l'extrémité libre et Q_x le débit à l'extrémité occupée par le ventilateur.

On remarquera tout de suite que, dans l'hypothèse des fuites turbulentes, le rendement en débit n'est fonction que de la longueur et des caractéristiques de la canalisation, toute augmentation du débit au ventilateur produisant une augmentation proportionnelle du débit utile et des fuites. Il n'en va pas de même dans l'hypothèse des fuites laminaires. En effet, lorsque l'on augmente le débit du ventilateur, le débit de fuite augmente plus rapidement que le débit utile et on peut démontrer qu'il existe une valeur limite du débit Q_0 impossible à dépasser ou même à atteindre, cette valeur correspondant à une valeur infinie du rapport Q_x/Q_0 .

Les fonctions Φ et Ψ sont de forme compliquée et de calcul assez laborieux. Nous nous contenterons d'indiquer leurs valeurs numériques extraites de l'étude de M. Michelin. Ces valeurs font l'objet des tableaux 2 et 3 et sont reportées en graphique à la figure 3.

Partant des fonctions Φ et Ψ , il est possible de calculer la répercussion du manque d'étanchéité d'une conduite sur la pression nécessaire pour assurer à l'extrémité libre un débit donné et sur la puissance consommée par la ventilation.

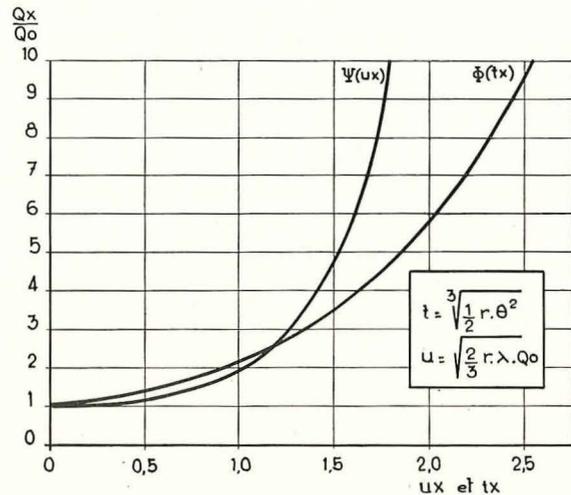


Fig. 3. — Variation du rapport des débits Q_x/Q_0 en fonction de (tx) et de (ux) .

Dans le cas d'une conduite étanche, la pression nécessaire pour assurer le débit Q_0 peut se calculer par la formule

$$p_0 = r \cdot x \cdot Q_0^2$$

Pour une conduite imparfaitement étanche il vient :

$$p_x = \int_0^x r \cdot Q^2 \cdot dx \quad (5)$$

Nous avons reporté aux tableaux 2 et 3 les valeurs du rapport p_x/p_0 extraites de l'étude de M. Michelin; des valeurs sont également reproduites à la figure 4 où elles sont portées en fonction du rapport débit de fuite/débit du ventilateur :

$$(1 - Q_0/Q_x).$$

Tableau 2. — Fuites turbulentes — Valeurs numériques des rapports

$$\frac{Q_x}{Q_0} \frac{P_x}{P_0} \text{ et } \frac{W_x}{W_0}$$

en fonction de t_x — d'après F. Michelin.

t_x	$\frac{Q_x}{Q_0}$	$\frac{P_x}{P_0}$	$\frac{W_x}{W_0}$
0,000	1	1	1
0,221	1,1	1,082	1,190
0,347	1,2	1,167	1,401
0,449	1,3	1,257	1,634
0,537	1,4	1,350	1,889
0,616	1,5	1,445	2,168
0,687	1,6	1,545	2,472
0,815	1,8	1,754	3,158
0,926	2	1,977	3,954
1,025	2,2	2,212	4,866
1,156	2,5	2,587	6,467
1,341	3	3,271	9,184
1,497	3,5	4,027	14,09
1,632	4	4,852	19,41
1,750	4,5	5,745	25,85
1,856	5	6,701	33,50
1,951	5,5	7,723	42,48
2,038	6	8,804	52,83

Tableau 3. — Fuites laminaires — Valeurs numériques des rapports

$$\frac{Q_x}{Q_0} \frac{P_x}{P_0} \text{ et } \frac{W_x}{W_0}$$

en fonction de u_x — d'après F. Michelin.

u_x	$\frac{Q_x}{Q_0}$	$\frac{P_x}{P_0}$	$\frac{W_x}{W_0}$
0,000	1	1	1
0,359	1,1	1,068	1,175
0,500	1,2	1,138	1,365
0,603	1,3	1,209	1,572
0,686	1,4	1,283	1,796
0,756	1,5	1,359	2,038
0,817	1,6	1,436	2,298
0,918	1,8	1,596	2,873
1,001	2	1,762	3,523
1,071	2,2	1,934	4,254
1,158	2,5	2,202	5,505
1,271	3	2,675	8,025
1,358	3,5	3,177	11,12
1,427	4	3,707	14,83
1,485	4,5	4,262	19,18
1,534	5	4,840	24,20
1,575	5,5	5,442	29,93
1,612	6	6,065	36,39
1,673	7	7,376	51,60
1,721	8	8,755	70,04
1,762	9	10,209	91,88

La puissance utile exigée du ventilateur s'obtient en multipliant son débit par sa pression de refoulement.

Pour une conduite étanche, on a :

$$W_0 = Q_0 \cdot P_0$$

et pour une conduite imparfaitement étanche assurant le même débit utile :

$$W_x = Q_x \cdot P_x = \frac{Q_x}{Q_0} \cdot \frac{P_x}{P_0} \cdot W_0 \quad (6)$$

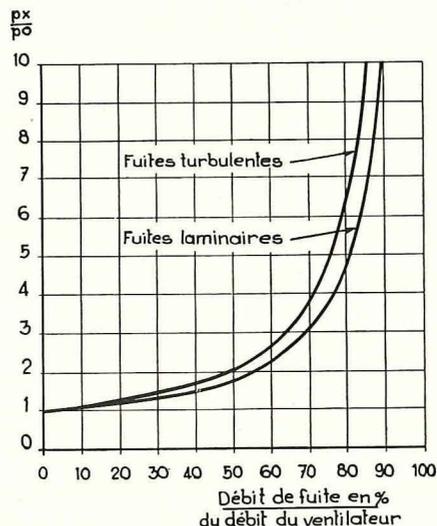


Fig. 4. — Variation de la pression exigée du ventilateur en fonction du débit de fuite.

Les valeurs du rapport W_x/W_0 sont également reportées aux tableaux 2 et 3 et à la figure 5. Comme on peut le voir, la puissance consommée

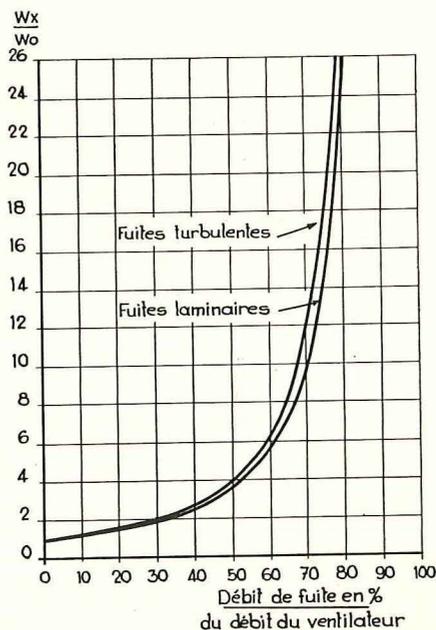


Fig. 5. — Variation de la puissance utile exigée du ventilateur en fonction du débit de fuite.

par la ventilation augmente très rapidement avec les pertes de la conduite. Pratiquement, si l'on veut assurer une ventilation efficace sans dépense excessive d'énergie, on devra s'efforcer d'atteindre un rendement débit-métrique supérieur à 1/2 et si possible voisin de 1. Nous verrons, dans la suite de cette étude, dans quelle mesure cette condition peut être satisfaite au moyen des types d'assemblage en usage dans les mines.

Valeur du coefficient de résistance r

Le coefficient de résistance r dépend principalement du diamètre de la conduite et, dans une beaucoup moindre mesure, de la nature de la paroi et de la vitesse d'écoulement de l'air.

A titre documentaire, nous avons groupé au tableau 4 les valeurs de r relatives à des canalisations neuves et rectilignes, ces valeurs étant déduites de formules et d'abaques d'usage courant. On peut voir qu'il existe certains écarts entre les valeurs obtenues par les diverses formules; néanmoins les écarts de part et d'autre des valeurs moyennes n'excédant guère 5 %, ce qui peut être considéré comme satisfaisant.

Le choix de la valeur du coefficient de résistance se complique lorsqu'on a affaire à une conduite souterraine usagée, plus ou moins déformée et qui peut présenter un début d'oxydation.

A l'occasion d'une étude expérimentale réalisée en collaboration avec M. le Professeur Jorissen,

nous avons pu mesurer le coefficient de perte de charge d'un tronçon de conduite de 300 mm de diamètre, constitué de canars d'aéragé usagés mais ne présentant aucune détérioration apparente. Les valeurs du coefficient de résistance obtenues pour des vitesses d'écoulement de 5 et de 10 m/sec étaient respectivement de 0,960 et 0,880 soit 10 à 15 % de plus que les moyennes indiquées au tableau 4 [6].

Pour une conduite souterraine montée avec moins de soin et présentant des défauts d'alignement plus marquants, on doit s'attendre à une augmentation de résistance bien plus sensible.

Dans une étude réalisée par MM. Bidlot, Danze et Martelée [1] on trouve les valeurs des coefficients de résistance de trois canalisations souterraines à emboîtements lutés à l'argile ou au mortier de ciment; pour la plus ancienne de ces conduites, le coefficient de résistance se situe à 170 % de celui que l'on obtient à partir de la formule de la Société Belge des Mécaniciens. Il s'agit vraisemblablement, là d'une valeur extrême. Dans la plupart des cas, il semble que les résistances des canalisations souterraines soient comprises entre 125 et 150 % des valeurs indiquées au tableau 4.

Valeur des coefficients de fuite θ et λ

A l'heure actuelle, la construction des canars d'aéragé est entièrement réalisée par soudure. Lorsque cette soudure est bien faite et pour autant que

Tableau 4. — Valeurs du coefficient de résistance r (kg . sec² . m⁻⁹) exprimé par m de conduite, pour une canalisation neuve et rectiligne constituée d'éléments en tôle et pour de l'air à 20° 760 mmHg.

1° pour une vitesse d'écoulement de 5 m/sec.

	D = 0,300	D = 0,400	D = 0,500	D = 0,600	D = 0,800
Formule S.B.M. (1)	0,910	0,199	0,0615	0,0236	0,00516
Formule de Brabbée (2)	0,793	0,174	0,0534	0,0204	0,00446
Abaque A.S.H.V.E. (3)	0,830	0,183	0,0580	0,0223	0,00493
Moyennes	0,84	0,185	0,058	0,0221	0,0047

2° pour une vitesse d'écoulement de 10 m/sec.

Formule S.B.M.	0,812	0,178	0,0553	0,0212	0,00466
Formule de Brabbée	0,752	0,165	0,0507	0,0193	0,00423
Abaque A.S.H.V.E.	0,780	0,173	0,0547	0,0207	0,00468
Moyennes	0,78	0,172	0,054	0,0204	0,0045

(1) Formule de la Société Belge des Mécaniciens :

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\lambda}{D} \frac{\delta V^2}{2g} \quad \text{avec } \lambda = \frac{0,532}{Re^{1/3}} + 0,0084 (1/D)^{1/5} \quad [Re = \text{Nombre de Reynolds}]$$

(2) Formule de Brabbée : $\frac{dp}{dx} = 6,67 \frac{V^{1,924}}{D^{1,281}}$

(3) Abaque de l'American Society of Heating and Ventilating Engineers, Heating Ventilating Air Conditioning Guide, Chap. 41, p. 742, Edit. 1946.

les canars soient protégés contre la corrosion, il est généralement permis d'admettre que les éléments de conduite sont étanches et que les fuites sont entièrement localisées aux joints. On peut également admettre que l'ouverture de fuite est proportionnelle à la longueur des joints, ce qui conduit à poser :

$$\theta = \frac{\pi D}{l} \theta_1 \quad (7) \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{\pi D}{l} \lambda_1 \quad (8)$$

D étant le diamètre de la conduite (m)

l la longueur des éléments (m)

θ_1 et λ_1 les coefficients de fuite par mètre courant de joints.

Les coefficients θ_1 et λ_1 sont caractéristiques de la valeur des joints et nous aurons l'occasion, dans la suite de cet exposé, de citer un certain nombre de valeurs numériques obtenues en expérimentant des conduites souterraines avec divers types d'assemblages. Nous croyons cependant utile d'attirer l'attention sur les différences considérables qui existent entre les débits de fuite mesurés en laboratoire, sur un petit nombre de joints parfaitement réalisés, et les débits de fuites que l'on peut déterminer dans le fond, en expérimentant des conduites usagées et plus ou moins déformées. A titre d'exemple, nous avons groupé au tableau 5 les valeurs des débits de fuite que nous avons eu l'occasion d'enregistrer, d'une part en laboratoire et d'autre part sur des conduites souterraines en usage.

Comme on peut le voir, les fuites enregistrées lors d'un essai souterrain atteignent couramment des valeurs 10 à 15 fois plus grandes que celles obtenues dans un essai en petit. Il en résulte que les essais de laboratoire n'ont qu'une valeur indicative et ne peuvent en aucun cas servir à prédéterminer les fuites auxquelles on peut s'attendre avec du matériel d'exploitation. Il en résulte également que dans l'équation de départ :

$$\frac{dQ}{dx} = a p^a$$

la valeur réelle de l'exposant a sera en général sensiblement inférieure à celle obtenue en laboratoire, les fuites de plus grand débit étant normalement plus turbulentes.

Les assemblages à emboîtement.

Le système d'assemblage le plus ancien qui ait été utilisé dans les mines est vraisemblablement le joint à emboîtement luté à l'argile.

Ce type de joint, bien qu'il soit encore en usage dans de nombreux charbonnages, mérite à peine d'être signalé, tant son manque d'étanchéité est notoire.

Au cours de sa dessiccation, l'argile subit un retrait linéaire de l'ordre de 5 % (soit en volume une contraction de 15 %). Les fentes résultant de ce retrait suffisent en général à laisser filtrer un débit d'air qui peut atteindre plusieurs dizaines de litres par seconde et par joint.

Par ailleurs, l'argile desséchée n'adhère plus du tout au métal en sorte que les fragments de joints tombent au moindre choc ou sont expulsés par la pression de l'air, dès que celle-ci atteint 15 ou 20 mm d'eau.

A titre documentaire, on peut citer quelques résultats obtenus dans des conditions particulièrement favorables, en opérant sur des conduites soigneusement lutées et soumises à des pressions intérieures suffisamment faibles pour que les joints desséchés ne soient pas expulsés de leurs logements.

Dans une étude de MM. Bidlot, Danze et Martelée [1] on trouve les résultats suivants relatifs à une conduite de 280 mm de diamètre constituée de canars peu usagés, lutés à l'argile :

Longueur de la conduite	Débit de fuite Débit utile	
	(en % du débit fourni par le ventilateur)	
80 m	33 %	67 %
115 m	66	34
200 m	79	21
280 m	89,6	10,4
325 m	93,4	6,6
420 m	98,4	1,6

Tableau 5. — Relation entre les débits de fuite mesurés lors d'essais souterrains et lors d'essais de laboratoire.

Type de joint	Diamètre m	Pression intér. mm d'eau	Débits de fuite lit/sec par joint		Rapport des débits de fuite
			au fond	au labor.	
Emboîtement luté au ciment	0,300	22	4,9	0,55	8,9
Manchette plate en caoutchouc	0,400	83	8,4	0,92	9,1
	0,400	120	20,1	1,53	13,1
Brides boulonnées avec joint plat	0,400	129	4,2	0,27	15,5
Brides boulonnées avec joint à haute étanchéité	0,300	100	0,098	0,0094	10,4
	0,300	150	0,126	0,0118	10,7

Dans un autre article publié en décembre 1926 dans la revue Glückauf [14], M. Sauerman signalait les résultats suivants obtenus en expérimentant une conduite de 500 mm de diamètre, dont les joints avaient été lutés avec un mélange d'argile et d'huile de machine :

Longueur de la conduite	Débit de fuite Débit utile	
	(en % du débit fourni par le ventilateur)	
50 m	20 %	80 %
95 m	36	64
205 m	68	32
340 m	78	22
420 m	87,4	12,6

Dans ces deux cas, les fuites peuvent être considérées comme parfaitement turbulentes ($\alpha = 1/2$). Les valeurs expérimentales des coefficients de fuite θ et θ_1 sont respectivement :

pour la conduite de 280 mm :

$$\theta = 1050 \cdot 10^{-6} \quad \text{et} \quad \theta_1 = 2590 \cdot 10^{-6}$$

pour la conduite de 500 mm, en admettant pour valeur du coefficient de résistance

$$r = 0,056 \times 150/100 = 0,0855, \text{ il vient de même :}$$

$$\theta = 1830 \cdot 10^{-6} \quad \text{et} \quad \theta_1 = 2330 \cdot 10^{-6}$$

L'usage de mortier de ciment pour le lutage des joints remédie, dans une certaine mesure, aux inconvénients fondamentaux que présente l'argile. En effet, le retrait qui accompagne sa dessiccation est assez réduit et son adhérence au métal est satisfaisante.

Nous avons reproduit ci-après les résultats d'une série d'essais qui permettent de se rendre compte de l'étanchéité qu'il est possible d'atteindre avec une conduite ainsi équipée. Ces résultats sont tirés de l'étude de MM. Bidlot, Danze et Martelée, déjà citée ci-dessus; ils sont relatifs à une conduite neuve, de 400 mm de diamètre, constituée d'éléments de 3 mètres de longueur.

Longueur de la conduite	Débit de fuite Débit utile	
	(en % du débit fourni par le ventilateur)	
93 m	8,5 %	91,5 %
197 m	31	69
291 m	49	51
390 m	59	41

Dans ce cas encore, les fuites peuvent être considérées comme parfaitement turbulentes; les valeurs expérimentales des coefficients de fuite θ et θ_1 sont respectivement :

$$\theta = 466 \cdot 10^{-6} \quad \text{et} \quad \theta_1 = 1110 \cdot 10^{-6}$$

Comme on le voit, les résultats obtenus sont sensiblement meilleurs que ceux relatifs aux joints lutés à l'argile. Cependant, l'étanchéité est encore loin d'être totale. En effet, une canalisation lutée au ciment constitue une véritable poutre continue faite de tôle et de mortier, la moindre dénivellation d'appui y fait naître des efforts de flexion considérables qui ont pour effet de briser les joints. Même en l'absence de tout mouvement de terrain, le relâchement des fils de fer de suspension, les chocs dus au minage et les chocs accidentels peuvent suffire à fragmenter le lutage.

En somme, une conduite nouvellement installée peut présenter une étanchéité élevée, mais cette étanchéité ne se maintient pas en service ainsi qu'en témoignent les essais signalés ci-dessus.

Les assemblages par manchettes en caoutchouc.

Les assemblages par manchettes en caoutchouc sont assez largement utilisés dans divers bassins houillers. Leur conception se prête à de nombreuses variantes.

En Belgique, on utilise surtout des manchettes plates posées sur des canars dont les abouts sont renforcés par un plat cintré, la résistance mécanique de l'assemblage étant assurée par 3 ou 4 tenons métalliques solidaires d'un des canars et qui pénètrent dans l'autre (fig. 6 a).

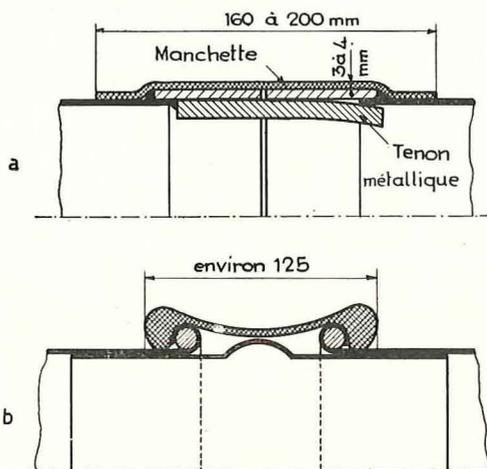


Fig. 6. — Exemples d'assemblages par manchettes en caoutchouc a) type à manchette plate; b) type Brand.

En Allemagne et dans la Sarre, on rencontre plus fréquemment les joints du type Brand (fig. 6 b); ces joints présentent trois caractéristiques : la liaison mécanique, assurée par un manchon en tôle qui pénètre dans les deux canars à assembler; le renforcement des abouts réalisé par un fer rond cintré; le profil spécial de la manchette qui présente un épaissement sur les deux bords.

Comparés aux joints à emboîtement, les assemblages par manchettes en caoutchouc présentent deux avantages appréciables qui justifient leur succès : leur étanchéité ne dépend guère de l'habileté ou de la bonne volonté de l'ouvrier et leur souplesse permet à la conduite de se prêter à tous les

mouvements de terrain sans que son étanchéité en soit affectée.

Cependant, ce serait une erreur de croire que dans sa conception habituelle, ce type de joint assure une étanchéité absolue. Des essais quantitatifs que nous avons eu l'occasion d'entreprendre sur des conduites souterraines nous ont montré que ces joints peuvent donner lieu à des fuites considérables.

C'est ainsi qu'une conduite d'essai, constituée de canars usagés de 400 mm de diamètre équipés avec des manchettes neuves, nous a permis d'enregistrer une fuite de 30 litres par seconde et par joint, pour une pression intérieure de 49 mm d'eau. Les manchettes utilisées donnaient un serrage manifestement insuffisant et cette circonstance était encore aggravée par le fait que les extrémités des canars étaient assez fortement bosselées.

Dans un autre charbonnage, des essais effectués sur une conduite de 400 mm de diamètre et d'une centaine de mètres de longueur, constituée de canars en bon état équipés de manchettes usagées, nous ont fourni une perte moyenne de 8,4 litres par seconde et par joint pour une pression intérieure de 83 mm d'eau et une perte de 20,1 litres par seconde et par joint pour une pression de 120 mm d'eau.

Enfin, nous citerons encore le cas d'une conduite de 300 mm de diamètre et de 63 mètres de longueur, constituée de canars et de manchettes usagés, et qui donnait une perte moyenne de 5 litres par seconde et par joint, pour une pression intérieure de 70 mm d'eau.

En utilisant les résultats les plus favorables obtenus sur les deux dernières conduites et en admettant que pour des pressions modérées les fuites varient proportionnellement à la pression statique qui règne dans la canalisation, on obtient pour coefficients de fuite :

$$\lambda_1 = \frac{1}{\pi D} \cdot \frac{Q_f}{p} = \frac{1}{\pi 0,4} \cdot \frac{0,0084}{83} = 80 \cdot 10^{-6}$$

et

$$\lambda_1 = \frac{1}{\pi 0,3} \cdot \frac{0,005}{70} = 76 \cdot 10^{-6}$$

Dans des essais réalisés en laboratoire sur un petit nombre de joints particulièrement soignés, on trouve des coefficients de fuite bien plus favorables.

En expérimentant des assemblages à manchettes plates de 400 mm de diamètre sous une pression de 100 mm d'eau, nous avons enregistré des fuites variant de 0,5 à 1,5 litres/seconde et par joint, ce qui correspond à des valeurs de λ_1 comprises entre 4 et $12 \cdot 10^{-6}$. Ce dernier chiffre peut d'ailleurs être encore fortement amélioré si on réalise un frettage des manchettes au moyen de fils de fer convenablement serrés [4].

D'un autre côté, des essais réalisés par les Charbonnages de France sur du matériel neuf équipé de joints Brand de 400 et 500 mm de diamètre ont permis de mesurer des fuites variant entre un minimum de 1 litre/minute et un maximum de 280

litres/minute pour des pressions intérieures de 200 à 450 mm d'eau, la plupart des résultats étant compris entre 30 et 100 litres par minute et par joint [10]. Les valeurs de λ_1 correspondant à ces derniers chiffres seraient respectivement

$$\lambda_1 = 0,7 \cdot 10^{-6} \quad \text{et} \quad \lambda_1 = 2,4 \cdot 10^{-6}$$

Ces chiffres montrent que des manchettes neuves et serrantes appliquées sur des canars parfaitement circulaires peuvent fournir des assemblages d'une étanchéité remarquable.

L'étanchéité obtenue sur du matériel usagé est malheureusement beaucoup moins bonne, par suite des déformations que subissent les extrémités de canars et en raison du vieillissement des manchettes qui se distendent et n'assurent plus un serrage suffisant.

Les assemblages à brides boulonnées.

Les joints à brides assemblés par boulons sont, sans aucun doute, les plus usités dans les installations industrielles permanentes où l'on recherche une étanchéité absolue jointe à une résistance mécanique élevée. Il paraît donc tout indiqué de les utiliser dans la mine pour les conduites de grande longueur, destinées à fonctionner durant un temps considérable. Cependant, ce n'est qu'au cours des toutes dernières années que sont apparus sur le marché des joints bien appropriés à ce type d'assemblage et susceptibles de rendre les conduites pratiquement étanches.

Dans un article de Glückauf déjà cité précédemment, M. Sauerman signalait les résultats suivants obtenus en expérimentant une conduite de 400 mm de diamètre dont les joints étaient réalisés avec interposition d'un anneau de carton de 3 mm d'épaisseur :

Longueur de la conduite	Débit de fuite Débit utile	
	(en % du débit fourni par le ventilateur)	
130 m	63 %	37 %
200 m	72	28
305 m	79	21

Comme on le voit, les pertes sont du même ordre de grandeur que celles que l'on pourrait obtenir avec des emboîtements lutés à l'argile.

Personnellement, nous avons eu l'occasion d'expérimenter deux conduites souterraines en ordre de marche.

La première était constituée de canars usagés de 300 mm de diamètre et de 2 mètres de longueur dont les collets et fer cornier n'avaient que 3,5 mm d'épaisseur et étaient déjà sensiblement déformés par l'usage. Bien que l'on eut interposé, dans chaque joint, un anneau d'acier enrobé de filasse et que l'on se fût efforcé d'assurer un serrage convenable en plaçant six boulons à chaque collet, les résultats obtenus furent assez décevants : sur une longueur totale de 100 mètres, le rendement en débit n'atteignait que 44 %.

La seconde conduite, d'un diamètre de 400 mm, était installée dans les meilleures conditions : les canars, longs de 2 et 3 m, étaient neufs au moment du montage de la conduite et l'on avait interposé dans chaque joint un anneau plat en caoutchouc toilé de 4 mm d'épaisseur. Les collets d'assemblage, constitués par des cornières cintrées de 5 mm d'épaisseur d'aile, étaient reliés entre eux par une couronne de huit boulons serrés à refus. Sur une longueur totale de 339 m, le rendement en débit atteignait 75 %, les fuites ne représentant que 25 % du débit fourni par le ventilateur.

Les coefficients de fuites calculés à partir de ces deux essais, en admettant un régime de fuites turbulent, sont indiqués ci-après :

Pour les brides avec anneau métallique en filasse :

$$r = \text{environ } 1,30 \quad \theta = 1360 \cdot 10^{-6}$$

$$\theta_1 = 1360 \cdot 10^{-6} \times \frac{2}{\pi \times 0,3} = 2880 \cdot 10^{-6}$$

Pour les brides avec joints plats en caoutchouc toilé :

$$r = \text{environ } 0,225 \quad \theta = 159 \cdot 10^{-6}$$

$$\theta_1 = 159 \cdot 10^{-6} \times \frac{2,5}{\pi \times 0,4} = 316 \cdot 10^{-6}$$

Ce dernier résultat est très supérieur à ce que l'on peut obtenir avec des emboîtements lutés; il reste cependant très en dessous de ce qu'on est en droit d'attendre d'un assemblage à brides avec interposition d'un joint en caoutchouc bien approprié.

Un examen plus attentif de la question montre que l'importance anormale des fuites résulte du manque de compressibilité des joints et de la trop grande rigidité de la conduite. Au point de vue des joints, nous sommes loin des conduites à vapeur de petit diamètre, dont les brides peuvent être dressées avec soin; les conduites d'aéragé destinées aux travaux souterrains ont des diamètres de 300 à 600 mm, parfois davantage, leurs collets sont constitués de fers corniers assez légers, assez déformables, qui en aucun cas ne pourront être dressés et qui, après une ou deux manutentions, présenteront des déformations certaines. Il est donc indispensable de tenir compte de ces déformations dans la conception des joints.

Ceci nous a amené à étudier et à mettre au point un nouveau type de joint basé sur les principes suivants :

- Le joint doit être épais de manière à racheter par sa compressibilité les irrégularités des brides à assembler;
- Le joint doit être étroit, de manière à ce que la pression spécifique qu'il supporte puisse être élevée tout en n'exigeant qu'un petit nombre de boulons d'assemblage;
- Le joint doit être parfaitement centré, de manière à s'appliquer dans l'angle des cornières servant de brides, à l'endroit où celles-ci sont le moins déformables.

Au point de vue pratique, le joint est réalisé sous forme d'un tore en caoutchouc souple de forte épaisseur (16 à 26 mm) moulé sur une armature métallique qui en assure le parfait centrage (fig. 7).

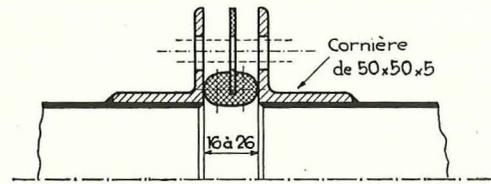


Fig. 7. — Joint à haute étanchéité constitué d'un tore en caoutchouc souple moulé sur une armature métallique.

Les résultats obtenus n'ont pas déçu nos espérances :

Un premier essai fut effectué en laboratoire, sur un tronçon de conduite de 300 mm de diamètre constitué de canars usagés dont les brides, de 3,5 mm d'épaisseur, étaient légèrement déformées. Chaque joint fut assemblé par 3 boulons convenablement serrés. Les résultats obtenus sont indiqués à la fig. 8; pour une pression intérieure de 150 mm d'eau, la perte reste inférieure à 0,012 litres par seconde et par joint. En dépit de cette très faible valeur des fuites, la loi de variation du débit de fuite en fonc-

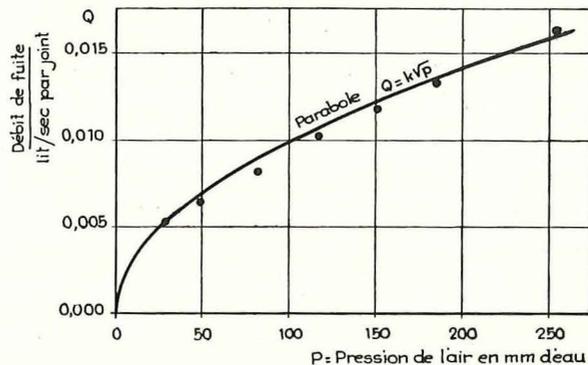


Fig. 8. — Essai de laboratoire sur canars à brides de 300 mm Ø avec joints spéciaux à haute étanchéité.

tion de la pression reste sensiblement parabolique, ceci résulte vraisemblablement de la faible largeur du joint qui conserve aux fuites le caractère d'un écoulement au travers d'un orifice en mince paroi.

Un second essai fut réalisé dans le fond, sur une conduite du même type, longue de 90 mètres et comportant 47 joints. Les canars utilisés avaient de 5 à 10 ans de service et les joints avaient été utilisés une première fois pendant une période de six mois. Le montage fut effectué par des manœuvres, en plaçant 4 boulons par joint.

La mise en pression permet de constater que la conduite présentait 4 ou 5 défauts (piqûres de corrosion, fissuration d'une soudure longitudinale et d'un collet d'assemblage) donnant lieu à des fuites perceptibles. En dépit de ces défauts, la fuite moyenne enregistrée n'excéda pas 0,126 litre par seconde et par joint, pour une pression intérieure de 150 mm d'eau.

Les valeurs des coefficients de fuites relatifs à ces deux essais sont les suivantes :

Pour l'essai de laboratoire :

$$\theta_1 = \frac{1}{\pi D} \frac{Q_r}{\sqrt{p}} = \frac{1}{\pi 0,3} \frac{0,012 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{150}} = 1 \cdot 10^{-6}$$

Pour la conduite souterraine :

$$\theta_1 = \frac{1}{\pi 0,3} \frac{0,126 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{150}} = 11 \cdot 10^{-6}$$

Nous donnons ci-dessous deux applications numériques calculées à partir de ce dernier chiffre; ces applications permettent de se faire une idée des performances que l'on peut escompter pour la ventilation de travaux préparatoires de très grande longueur.

Pour une conduite de 1000 m de longueur et de 400 mm de diamètre, constituée d'éléments de 3 mètres, on aurait :

$$r = 0,18 \times 125/100 = \text{environ } 0,225$$

$$\theta = \theta_1 \frac{\pi D}{l} = 11 \cdot 10^{-6} \frac{\pi 0,4}{3} = 4,6 \cdot 10^{-6}$$

Ceci donne, pour 1000 m de conduite :

$$t \cdot x = 1000 \sqrt[3]{\frac{\theta^2 r}{2}} = 0,133 \quad \text{d'où} \quad \frac{Q_x}{Q_0} = 1,05$$

la fuite représenterait donc moins de 5 % du débit fourni par le ventilateur.

la fuite resterait inférieure à 11 % du débit du ventilateur.

Les joints dont nous venons de vous entretenir sont actuellement utilisés dans un grand nombre de charbonnages belges et ont contribué à la solution de divers problèmes difficiles et notamment celui de l'aéragé des travaux préparatoires à grande profondeur, pour lesquels une ventilation abondante peut seule permettre de maintenir à front des conditions climatiques acceptables.

De leur côté, les Charbonnages de France ont développé un type de joint assez semblable, constitué d'un anneau de caoutchouc de 15 à 16 mm d'épaisseur, moulé autour d'une armature d'acier à ressort. La fig. 9 montre deux exemples d'assemblages réalisés avec ce type de joint [10]. La forme rectangulaire adoptée pour la section de l'anneau en caoutchouc lui donne une compressibilité sensiblement moindre que celle du joint utilisé en Belgique; il s'adaptera donc plus particulièrement à des canars dont les collets d'assemblage ont une assez grande rigidité. Moyennant cela, les performances que l'on peut en attendre sont comparables à celles des joints belges et une étude récente signale le cas d'un travail préparatoire équipé de canars de 800 mm de diamètre et de 3 m de longueur, qui a atteint la longueur totale de 4 kilomètres, sans que le débit de fuite excède 10 % du débit du ventilateur [12].

Nous résumerons l'ensemble de la question des joints de canars d'aéragé par un tableau récapitulatif des valeurs des coefficients de fuite rapportés au mètre courant de joint (tableau 6).

Ce tableau ne comporte que des valeurs expérimentales déterminées au fond, sur du matériel plus ou moins usagé. Il montre que les assemblages de

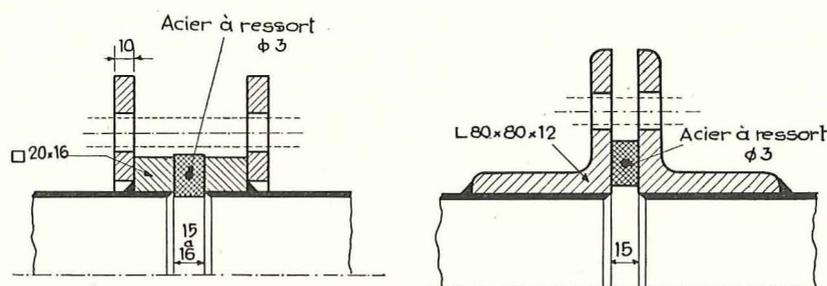


Fig. 9. — Types d'assemblage à haute étanchéité en usage dans les charbonnages de France.

Pour une conduite de 4000 m de longueur et de 800 mm de diamètre, en éléments de 3 mètres, on aurait de même :

$$r = 0,0046 \times 125/100 = 0,00575$$

$$\theta = 11 \cdot 10^{-6} \frac{\pi 0,8}{3} = 9,2 \cdot 10^{-6}$$

$$t \cdot x = 4000 \sqrt[3]{\frac{\theta^2 r}{2}} = 0,25 \quad \text{d'où} \quad \frac{Q_x}{Q_0} = 1,12$$

canars peuvent être groupés grosso-modo en trois catégories :

— Les assemblages ne comportant pas de joint en caoutchouc et pour lesquels la fuite peut atteindre de 10 à 30 litres par seconde et par mètre de joint, pour une pression intérieure de l'ordre de 100 mm d'eau.

— Les assemblages à brides boulonnées sur joints plats en caoutchouc toilé et les assemblages par manchettes en caoutchouc, pour lesquels la fuite est de l'ordre de 1 à 10 litres par seconde et par mètre de joint, pour une pression intérieure de 100 mm d'eau.

Tableau 6. — Tableau récapitulatif des coefficients de fuite, résultant d'essais effectués sur des conduites souterraines usagées.

1° Fuites du type turbulent : $Q_f(\text{litre/sec}) = 1000 \theta_1 \sqrt{p}$

Types de joints	θ_1	Débit de fuite Q_f en litre/sec par m de joint	
		pour $p = 25$ mm	pour $p = 100$ mm
Joints lutés à l'argile	$2560 \cdot 10^{-6}$	11,8	23,6
Joints lutés au ciment	$1110 \cdot 10^{-6}$	5,5	11,1
Brides avec anneau métallique enrobé de filasse ...	$2880 \cdot 10^{-6}$	14,4	28,8
Brides avec joint plat en caoutchouc toilé	$316 \cdot 10^{-6}$	1,58	3,16
Brides avec tore en caoutchouc moulé sur armature métallique	$11 \cdot 10^{-6}$	0,055	0,11

2° Fuites du type laminaire : $Q_f(\text{litre/sec}) = 1000 \lambda_1 \cdot p$

	λ_1	Débit de fuite Q_f	
		pour $p = 25$ mm	pour $p = 100$ mm
Manchettes plates en caoutchouc	$78 \cdot 10^{-6}$	1,95	7,8

— Les assemblages à brides boulonnées sur joints à haute étanchéité, constitués d'un anneau de caoutchouc de forte épaisseur raidi par une armature métallique et pour lesquels la fuite peut descendre à un dixième de litre par seconde et par mètre de joint, pour une pression intérieure de 100 mm d'eau.

La première catégorie d'assemblages ne peut donner satisfaction que pour des canalisations de faible longueur (100 à 300 m) et pour autant que l'on accepte un débit de fuite de l'ordre de 50 % du débit du ventilateur.

La seconde catégorie d'assemblages élève le rendement en débit vers 80 ou 90 %, lorsqu'il s'agit de conduites courtes et permet d'atteindre des longueurs de l'ordre de 500 à 600 mètres en maintenant le débit utile au voisinage de 50 % du débit du ventilateur.

La troisième catégorie est la seule qui puisse permettre l'aéragé de travaux de très grande longueur (1000 mètres et plus) tout en conservant au rendement en débit une valeur acceptable.

Les conduites en matériaux légers.

Pour terminer cet exposé, nous dirons quelques mots des canalisations d'aéragé en toile caoutchoutée ou en matériaux plastiques, plus généralement désignées sous le nom de « ventubes ».

Ces conduites se présentent, en général, sous forme d'éléments de 20 à 30 mètres de longueur et leur poids ne dépasse guère 1 kilo par mètre courant, pour un diamètre utile de 300 mm. Elles sont suspendues de distance en distance, par une série d'anneaux d'attache coulissant sur un fin câble métallique.

Par suite de la souplesse de la toile et en raison des flèches que prend la conduite entre ses points de suspension, on constate une sensible augmentation de la perte de charge qui, pour un ventube bien gonflé, atteint couramment 60 à 80 % de plus que les valeurs moyennes indiquées au tableau 4.

Au point de vue de l'étanchéité, il est difficile de classer les ventubes car leurs pertes ne dépendent plus guère de la qualité des joints, qui sont généralement peu nombreux, mais dépendent presque exclusivement de l'état de conservation des éléments.

Dans l'étude de M. Michelin déjà mentionnée précédemment, on trouve les données suivantes relatives à un ventube neuf de 500 mm de diamètre :

Perte par porosité : 0,235 litre par seconde et par mètre de conduite sous une pression de 320 mm d'eau.

Perte aux joints : 2 litres par seconde et par joint, sous une pression de 320 mm d'eau.

Ces fuites varient d'ailleurs proportionnellement à la pression qui règne dans la conduite; ainsi donc, pour un ventube de 500 mm de diamètre constitué d'éléments de 25 mètres de longueur et soumis à une pression intérieure de 100 mm d'eau, la perte moyenne par mètre courant de conduite atteindrait :

$$0,235 \times \frac{100}{320} + \frac{1}{25} \times 2 \times \frac{100}{320} = 0,0985 \text{ litre/sec}$$

soit moins de un dixième de litre par seconde et par mètre courant.

Comme on le voit l'étanchéité des ventubes neufs est remarquablement élevée et assez voisine de celle qu'il est possible d'obtenir avec les conduites métalliques équipées des meilleurs types de joints.

Malheureusement, les ventubes présentent une assez grande fragilité, en sorte qu'il est fort rare de trouver un ventube usagé exempt de coups ou de déchirures.

Personnellement, nous avons eu l'occasion d'expérimenter deux tronçons de ventubes de 300 mm de diamètre ayant plusieurs années de service et ayant subi de nombreuses réparations.

L'une de ces conduites comportait trois éléments et avait une longueur totale de 85,30 m; son ren-

dement en débit (calculé à partir de la détermination directe des pertes) dépassait 96 %.

La seconde installation comportait deux éléments et avait une longueur totale de 60,80 m, elle présentait quelques déchirures apparentes qui n'avaient pas été réparées; son rendement en débit n'atteignait que 85 %.

Ces rendements, sans être mauvais, sont de loin inférieurs aux rendements théoriques calculés pour un ventube neuf. Ils sont comparables à ceux que l'on peut escompter avec une conduite métallique usagée équipée de manchettes en caoutchouc.

Mise à part la question de l'étanchéité, le ventube présente des propriétés bien particulières qui le différencient des canalisations à éléments métalliques : Comme qualités il faut citer :

- une grande légèreté et une grande rapidité de pose (un élément de ventube de 30 m de longueur ne pèse guère plus qu'un canar métallique de 2 mètres);
- une souplesse maximum permettant de s'adapter à toutes les sinuosités des voies et des communications en veine, sans que l'étanchéité de la conduite en soit affectée;
- un encombrement à peu près nul, durant le transport.

Par contre, le ventube présente les défauts suivants :

- à diamètre égal, sa résistance au passage de l'air est supérieure à celle des canars métalliques;
- il ne reste ouvert que pour autant que la pression de l'air à l'intérieur soit suffisante, ce qui le rend inutilisable en aérage aspirant;
- il est fragile, peut s'altérer dans les atmosphères chaudes et humides et, en général, a une durée d'utilisation beaucoup plus réduite que celle des canars métalliques.

Ces caractéristiques rendent le ventube particulièrement intéressant pour l'installation rapide d'un aérage de secours ou pour la ventilation de certains travaux de faible durée. Par contre, il ne semble pas que le ventube puisse supplanter les canalisations métalliques, lorsqu'il s'agit du creusement de galeries de grande longueur.

Signalons encore que, dans les toutes dernières années, sont apparues sur le marché des conduites en matière plastique pourvues d'armatures métalliques en forme d'anneaux ou de spirale et qui peuvent être utilisées indifféremment pour l'aérage soufflant et pour l'aérage aspirant.

Très peu de données ont été publiées au sujet de ces canalisations. Certaines d'entre elles offrent une très grande résistance au passage de l'air, cette résistance pouvant atteindre le triple de celle d'un ventube de même diamètre [11]. Néanmoins ceci ne constitue pas une règle générale et lorsque la disposition de l'armature est bien étudiée, la perte de charge reste du même ordre de grandeur que pour un ventube lisse.

Dans l'exposé qui précède, nous nous sommes efforcé de passer en revue les dispositifs les plus caractéristiques qui ont été imaginés en vue d'amé-

liorer les conduites de ventilation secondaire des mines. Cet exposé reste forcément incomplet et le sujet fort loin d'être épuisé.

Nous espérons cependant qu'il aura permis de montrer combien la mise en œuvre et le perfectionnement des joints en caoutchouc a contribué à l'amélioration de la ventilation secondaire des mines.

Ce sont également les matériaux caoutchoutés qui ont permis la réalisation et le développement des conduites souples, bien que dans ce domaine la toile caoutchoutée subisse actuellement la concurrence des matières plastiques de synthèse.

REFERENCES

- [1] Bidlot, Danze et Martelée. - La ventilation secondaire dans les mines. - Le problème de l'adaptation du ventilateur à une canalisation souterraine. - R.U.M., septembre 1935.
- [2] Bidlot, Danze et Martelée. - Ventilation des longs travaux préparatoires, conséquences du défaut d'étanchéité des conduites d'aérage. - Communication au Congrès Mines, Métallurgie et Géologie appliquée. - Paris, 1935.
- [3] Michelin. - Les fuites d'aérage en longues canalisations. - R.I.M. - Mars 1944.
- [4] Ledent. - Les conduites d'aérage secondaire. - Communications au Cercle d'études Mines de l'A.I.L.G. - Avril-mai, 1945.
- [5] Audibert et Dressler. - Etude expérimentale du fonctionnement des canalisations d'aérage secondaire. - R.I.M. - Juin 1946.
- [6] Jorissen et Ledent. - Tarage et utilisation des anémomètres à ailettes. - R.U.M. - Juillet 1946.
- [7] Loison et Ulmo. - Détermination des caractéristiques des canalisations d'aérage secondaire. - R.I.M. - Janvier 1950.
- [8] Cerchar. - Etude des canalisations d'aérage secondaire. - Charbonnages de France Note Technique n° 49/1. - Janvier 1949.
- [9] Barcat. - Essais de conduite d'aérage. - Charbonnages de France, Doc. Techn. n° 7/1951.
- [10] Cerchar. - Etanchéité de joints pour conduites d'aérage. - Charbonnages de France, Note Technique 12/53. - Septembre 1953.
- [11] Seelemann. - Essais de conduites souples d'aérage au Cerchar. - Charbonnages de France, Doc. Techn. n° 7/1954.
- [12] Marechal, Jaubert et Schmidt. - Etude d'une installation d'aérage secondaire desservant un avancement en ferme de 4 kilomètres à la Régie des Mines de la Sarre. - R.I.M. - 15 janvier 1953.
- [13] Bourguignon. - Contrôle de l'aération de la galerie de l'Isère-Arc. - R.I.M. - Septembre 1954.
- [14] Sauermaun. - Glückauf n° 52 - 1926.
- [15] Schmidt. - Sonderbewetterung. - Bergbau-Rundschau. - Janvier 1949. - Mars 1951 et Février 1954.
- [16] Thomas. - The Ventilation of Headings, with special Reference to long Tunnel Ventilation. - Transact. of the Inst. of Mining Eng. - Décembre 1953.
- [17] A.S.H.V.E. - Heating Ventilating Air Conditioning Guide (Chap. 41) - Edit. 1946.

DISCUSSIONS

M. WIJFFELS. — Je suis heureux d'avoir entendu cet exposé, qui donne une vue d'ensemble sur la possibilité d'améliorer les canars utilisés pour la ventilation secondaire. Je voudrais cependant poser deux questions :

1) Nous utilisons pour l'aérage secondaire différents types de ventilateurs : lorsqu'il s'agit d'alimenter une conduite qui atteindra graduellement une grande longueur, nous choisissons des ventilateurs dont la courbe caractéristique débit-pression est presque verticale. Pour les autres usages, lorsqu'il est à supposer que la pression nécessaire restera faible, nous utilisons des ventilateurs dont la courbe caractéristique est presque horizontale.

Je voudrais savoir si les courbes présentées par M. Ledent sont en relation avec la variation de débit des ventilateurs en fonction de la longueur de la conduite.

2) L'étanchéité parfaite des conduites de ventilation secondaire n'est pas toujours un avantage. En effet, dans les creusements de grande longueur ventilés par canars, des dégagements de grisou ou d'autres gaz peuvent se produire en arrière des fronts.

Dans ces circonstances, les fuites présentent un certain intérêt pour autant qu'elles soient constituées par de l'air frais. A ce point de vue, il est important de régler la position des ventilateurs. J'ai toujours défendu d'intercaler des ventilateurs dans les canars et prescrit de les placer au commencement de la tuyauterie, même lorsqu'il devient nécessaire d'utiliser plusieurs ventilateurs en série.

M. LEDENT. — 1) Les courbes présentées donnent les valeurs du rapport :

débit du ventilateur/débit utile et ne tiennent pas compte de la caractéristique du ventilateur. Lorsque cette caractéristique est donnée, il est évidemment possible de calculer la variation du débit du ventilateur en fonction de l'allongement de la conduite puis partant de là, la variation du débit utile.

2) Ainsi que l'a fait observer M. Wijffels, on peut tolérer un certain débit de fuite en vue d'ap-

porter un appoint d'air frais en arrière des fronts. Pour des raisons d'économie d'énergie, il importe cependant que le débit de fuite reste faible; en effet, si les fuites atteignent 50 % du débit du ventilateur, la puissance consommée est déjà 4 fois plus grande que celle demandée par une conduite étanche assurant le même débit à front. Si les fuites dépassent 50 % la consommation d'énergie devient très rapidement prohibitive. De toute façon il n'est pas à craindre qu'une conduite d'aérage soit trop étanche; pour peu que le montage ne soit pas surveillé de très près, on peut être sûr qu'il y subsistera des fuites amplement suffisantes pour assurer l'appoint d'air frais que l'on peut souhaiter en arrière des fronts.

M. WATTIEZ. — Je crois intéressant de signaler l'utilisation des bandes adhésives comme solution de secours pour l'amélioration de l'étanchéité d'une ligne de canars. Ces bandes étant collées sur les joints défectueux.

M. LEDENT. — Les bandes adhésives ont été utilisées assez largement pendant la guerre, lorsque le caoutchouc était introuvable; l'étanchéité obtenue était très inférieure à celle que l'on peut attendre de bons joints caoutchoutés; ces bandes restent cependant intéressantes comme moyen de dépannage.

M. ROCHE. — Nous avons eu l'occasion d'utiliser assez largement les joints Brand. Ces joints ne conviennent pas pour les aérages soufflants à forte pression qui soulèvent les manchettes; par contre ils se comportent bien en aérage aspirant. Ils conviennent également bien comme joints d'étanchéité lorsqu'on les utilise en dessous des bandes métalliques des canars type Friedrich.

M. LEDENT. — Je suis particulièrement heureux de ces renseignements au sujet des joints Brand car je n'ai pas eu l'occasion de les expérimenter. Ceci confirme qu'ils se comportent de façon assez semblable à celle des manchettes plates utilisées dans les mines belges.