

*Nous offrons . . .*

aux propriétaires d'appareils à vapeur, d'étudier tous problèmes se rapportant à la combustion de tous les charbons et à la récupération des chaleurs perdues.

Le matériel WANSON : Economiseurs, Réchauffeurs d'air, etc., vous assurera, dans chaque cas, la solution idéale.

Demandez-nous  
notre notice

**30 ANS D'EXPERIENCE**  
Nombreuses références.

ETABLISSEMENTS

**Wanson**

CONSTRUCTION DE MATERIEL THERMIQUE . S. A.

222, RUE ROYALE • BRUXELLES • TELEPHONE : 17.80.34

Fr. Delamare, 51, r. de Florence, Brux.

## NOTES DIVERSES

### La Répartition de l'Aérage dans les Travaux souterrains des Mines

par

M. R. LEFEVRE,

Ingénieur principal des Mines, à Charleroi.

#### I. — Rappel de notions élémentaires.

##### 1. — Résistance. Tempérament des circuits.

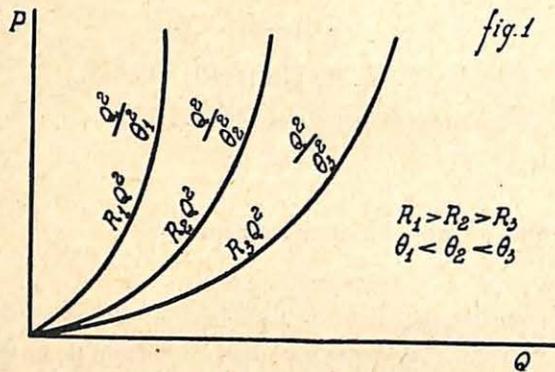
On sait que la circulation de l'air dans un circuit occasionne des pertes de charges. Ces pertes de charges, exprimées en kg. par m<sup>2</sup> ou en mm. d'eau, ont pour valeur  $P = (kp/s^3) \Delta l Q^2$ . Dans cette formule,  $k$  est un coefficient dépendant de l'état des parois des galeries, de la nature de leur revêtement, de leur sinuosité, etc.,  $p$  est le périmètre des galeries,  $s$  leur section.  $\Delta$  est la densité de l'air en kg. par m<sup>3</sup> à la température et à la pression du circuit,  $l$  est la longueur de ce circuit et  $Q$  est le débit qui y circule, en m<sup>3</sup> par seconde.

Si nous désignons par  $r$  le groupe de facteurs  $(kp/s^3) \Delta$ , la formule devient  $P = r l Q^2$ . L'élément  $r$  est la résistivité du circuit. L'unité de résistivité est le Murgue. C'est la résistivité d'un circuit qui occasionne une perte de charge de 0,001 mm. d'eau lors du passage de 1 m<sup>3</sup>/sec. sur un mètre de longueur. Le produit  $r.l = R$  est la résistance du chantier. Elle s'exprime généralement en kilomurgues. La résistance unitaire est, dans ce cas, représentée par celle d'un circuit qui occasionne une perte de charge de 1 mm. d'eau lors du passage de 1 m<sup>3</sup>/sec. La formule générale est donc  $P = R Q^2$ .

On peut aussi, pour expliciter les pertes de charges, faire usage de la notion de conductance. Celle-ci est l'inverse de la résistance. Elle s'exprime par la relation  $\theta^2 = 1/R$ ,  $\theta$  étant généralement appelé le tempérament du circuit. L'unité de tempérament est le « guibal »;

c'est le tempérament d'un circuit dans lequel le passage de  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ . occasionne une perte de charge de  $1 \text{ mm}$ . d'eau. Par le truchement du tempérament, les pertes de charges s'expriment par la formule  $P = Q^2/\theta^2$ .

En prenant  $Q$  comme variable indépendante, les relations  $P = RQ^2$  ou  $P = Q^2/\theta^2$  peuvent se représenter par des paraboles dont  $R$  ou  $1/\theta^2$  sont les paramètres. L'allure de ces courbes est d'autant plus évasée que la résistance est faible ou que le tempérament est grand (voir fig. 1).



## 2. — Equivalence des pertes de charges et des forces aéromotrices.

Les pertes de charges provoquées par la circulation de l'air doivent être compensées par une force aéromotrice qui occasionne aux extrémités ou bornes du circuit une différence de pression ou différence de potentiel pneumatique. C'est cette différence de potentiel pneumatique qui produit le passage de l'air dans le circuit.

On démontre que les pertes de charges d'un circuit sont approximativement égales à la force aéromotrice disponible à ses bornes. Si nous appelons  $h$  cette force aéromotrice, nous aurons donc  $h = RQ^2$  ou  $h = Q^2/\theta^2$ .

La loi d'équivalence  $h = RQ^2$  est analogue à la loi d'Ohm en électricité :  $E = RI$ , formule dans laquelle  $E$  représente la force électromotrice ou différence de potentiel électrique appliquée aux bornes du circuit,  $R$  la résistance de celui-ci et  $I$  le courant qui le traverse.

La loi d'équivalence des pertes de charges et des forces aéromotrices est à la base même de l'étude des problèmes de répartition de l'aéragé dans les chantiers de mines.

## 3. — Composition et association des circuits d'aéragé.

Les circuits d'aéragé sont formés, soit par des galeries, soit par des chantiers (y compris leurs voies de base et de tête), soit par une association de galeries et de chantiers. Font partie d'un même circuit les galeries et chantiers qui livrent passage au même courant d'air. Le circuit commence et finit aux endroits où il y a variation du débit, par adjonction ou par dérivation de nouveaux courants d'air.

Pour concrétiser cette définition, nous prendrons un exemple, schématisé à la figure 2. Il y a 7 circuits pour 5 chantiers :

AB : circuit 1 : puits d'entrée et bouveau d'entrée;

BG : circuit 2 : chantier 2;

BC : circuit 3 : bouveau d'entrée;

CF : circuit 4 : chantier 4;

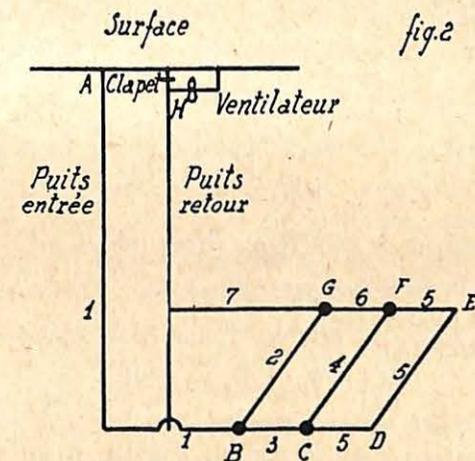
CDEF : circuit 5 : chantier 5;

FG : circuit 6 : bouveau de retour;

GH : circuit 7 : bouveau de retour et puits de retour.

Les circuits 1 et 7 sont des collecteurs généraux.

Les circuits 3 et 6 sont des collecteurs secondaires.



Ainsi qu'on le voit, les différents circuits sont associés en parallèle et en série. Les circuits 4 et 5 sont en parallèle. Le groupe 4-5 est en série avec les circuits 3 et 6. L'association 3-4-5-6 est en parallèle avec le circuit 2. Le groupe 2-3-4-5-6 est en série avec les circuits collecteurs 1 et 7.

Rappelons que, lorsque des circuits  $a, b, c, \dots, n$  sont groupés en série, la résistance totale du groupe est la somme des résistances partielles :

$$R_t = R_a + R_b + R_c + \dots + R_n$$

Lorsque les circuits sont groupés en parallèle, le tempérament total du groupe est la somme des tempéraments partiels :

$$\theta_t = \theta_a + \theta_b + \theta_c + \dots + \theta_n$$

Comme  $R = 1/\theta^2$ ,  $\theta = 1/\sqrt{R}$ , donc :

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \frac{1}{\sqrt{R_a}} + \frac{1}{\sqrt{R_b}} + \frac{1}{\sqrt{R_c}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$$

Le recours à la notion de résistance conduit, dans ce cas, à des calculs plus compliqués. Nous utiliserons donc la notion de résistance pour calculer la caractéristique globale de circuits en série et nous aurons recours à la notion de tempérament lorsque les circuits seront groupés en parallèle. Pour trouver, dans ce cas, la résistance totale du groupe, il suffira de reprendre la relation  $R_t = 1/\theta_t^2$ .

Si nous voulons trouver la résistance totale de la mine schématisée à la figure 2, nous calculerons tout d'abord le tempérament :

$$\theta_{4-5} = \theta_4 + \theta_5$$

Nous aurons  $R_{4-5} = 1/\theta_{4-5}^2$ . Nous calculerons ensuite :

$$R_{3 \text{ à } 6} = R_3 + R_{4-5} + R_6$$

Nous aurons  $\theta_{3 \text{ à } 6} = 1/\sqrt{R_{3 \text{ à } 6}}$ . Nous calculerons :

$$\theta_{2 \text{ à } 6} = \theta_2 + \theta_{3 \text{ à } 6}$$

Nous aurons  $R_{3 \text{ à } 6} = 1/\theta_{2 \text{ à } 6}^2$ . Enfin, nous calculerons :

$$R_t = R_1 + R_{2 \text{ à } 6} + R_7$$

On voit qu'en ce qui concerne leur association, il y a également une grande analogie entre les circuits d'aéragé et les circuits électriques.

#### 4. — Mesure pratique des résistances des circuits.

En reprenant la formule  $h = RQ^2$ , on voit qu'il suffit, pour trouver la résistance d'un circuit, de mesurer la différence de pression  $h$  entre ses bornes et le débit  $Q$  qui le traverse.

Les modes de mesure du débit sont suffisamment connues pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en parler ici. Quant aux différences de pression, le mode de mesure le plus sûr consiste à placer un manomètre à eau à l'une des bornes et à relier l'une des branches du tube en U à l'autre borne par une conduite étanche. Si les bornes ne sont pas trop éloignées ou si elles sont en communication par des courts-circuits (communications entre puits, burquins, plans inclinés, etc.), on pourra utiliser une conduite flexible ad hoc. Si les bornes sont, au contraire, très éloignées, on pourra avoir recours à la conduite d'air comprimé déconnectée aux deux bornes du circuit et munie d'un raccord flexible à l'extrémité qui doit être reliée au manomètre à eau. Il faudra avoir soin de vérifier, préalablement, à la pression d'air comprimé, l'étanchéité de la tuyauterie. Pour la mesure des différences de pression dans les puits, il faut procéder assez rapidement, afin que l'air, emprisonné dans la tuyauterie, ne prenne pas une température différente de celle de l'air extérieur circulant dans le puits. Il en résulterait, en cas d'écart des températures, une différence de pression des colonnes d'air agissant sur les deux branches du manomètre. Cette différence de pression viendrait fausser la lecture qui, normalement, ne doit accuser que la différence de potentiel pneumatique due aux pertes de charges.

On peut aussi se servir, pour la mesure des différences de pression, d'appareils portatifs permettant la lecture de la pression absolue, à chaque borne, tel le baromètre anéroïde amplificateur, gradué en dixième de millimètre de mercure et spécialement taré pour supporter les pressions du fond; tel également un vase de Dewar renfermant un échantillon d'air pris à une borne et mis en communication, après son transport à l'autre borne, avec une branche d'un manomètre à eau dont l'autre branche est en communication directe avec l'atmosphère ambiante. Nous ne pourrions nous étendre en considérations sur ces types d'appareils sans sortir exagérément du sujet de la présente note. Nous dirons simplement que leur usage force à recourir à des corrections lorsque les deux bornes sont à des altitudes différentes. Il est nécessaire de conjuguer les lectures avec des relevés de température. Il en résulte des causes d'erreur supplémentaires. Pour l'appareil à vase de Dewar, une élévation accidentelle de température de l'air emprisonné dans le vase introduit une cause d'erreur importante (35 mm. d'eau par degré) dans le relevé des pressions.

Nous préférons, quant à nous, la mesure directe des pertes de charges par le manomètre à eau et une tuyauterie flexible ou rigide.

Une mesure précise implique le relevé des différences de pressions totales et non simplement des pressions statiques. On sait que ces deux pressions diffèrent par la pression dynamique. La pression dynamique  $p_d = \Delta v^2 / 2g$ ,  $\Delta$  étant la densité de l'air,  $v$  la vitesse du courant et  $g$  la gravité. Remarquons cependant qu'on ne commet qu'une légère erreur en relevant seulement les différences de pression statique. En effet, dans la plupart des cas, les vitesses des courants d'air sont relativement faibles ou leurs variations, dans le circuit, sont peu importantes. En passant d'une vitesse de 4 m./sec. à une vitesse nulle, la différence de pression dynamique n'est que de l'ordre de 1 mm. d'eau. L'erreur que l'on commet en la négligeant est de bien loin inférieure aux approximations auxquelles on est astreint dans le domaine de l'aérage : approximation quant à la mesure des débits à l'anémomètre, variation de la force aéromotrice et des débits par suite de l'ouverture de portes, du clapet du puits d'aérage, par suite de la circulation des cages dans les puits et des wagonnets dans les galeries, variation accidentelle des résistances par suite de l'encombrement des tailles par les produits abattus et variation permanente quotidienne des mêmes résistances par suite de l'avancement des chantiers. On pourra donc, dans la grande majorité des cas, se contenter de mesurer simplement les différences de pression statique.

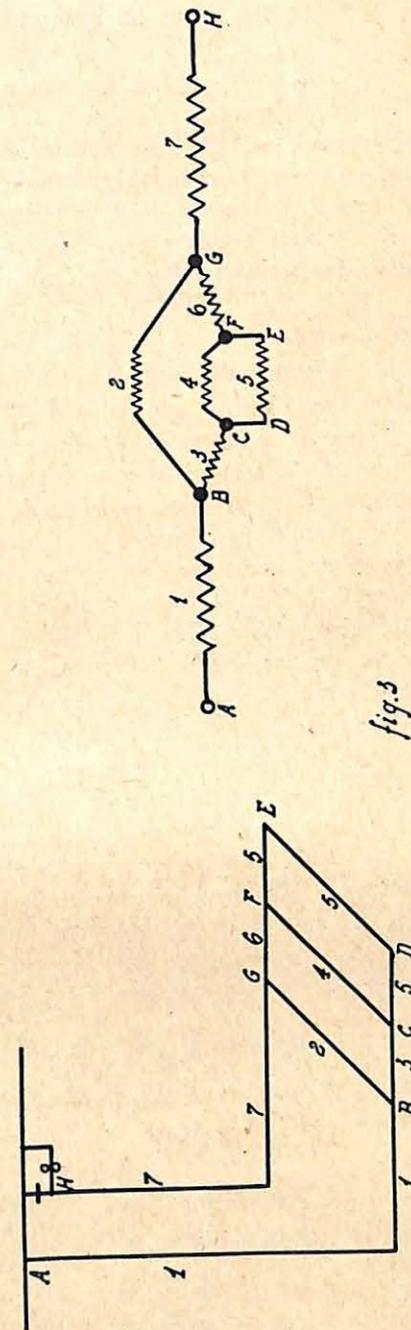
## II. — Répartition libre du débit total entre les chantiers.

Le débit total envoyé au fond se répartit entre les différents circuits selon les résistances respectives de ceux-ci. Afin de simplifier l'étude de cette répartition, nous ferons momentanément certaines hypothèses :

### 1. — Hypothèses simplificatrices.

1°) Nous supposons que les fuites par le clapet du puits d'air, entre les puits et dans les travaux, sont nulles. Nous envisagerons ultérieurement l'influence de ces fuites sur la répartition de l'air;

2°) Nous supposons que les travaux sont développés sur un même plan horizontal, de façon à ne pas devoir tenir compte de la densité de l'air, donc de l'aérage naturel. Par la suite, nous exami-



nerons l'influence du dit aérage naturel. De même, nous négligerons l'influence de l'humidité de l'air.

5°) Nous supposons que la force aéromotrice disponible aux bornes de la mine est constante et indépendante du débit. En réalité, la force aéromotrice est fonction du débit; la relation entre ces deux variables est donnée par la caractéristique débit-pression du ventilateur. Nous verrons, par après, à tenir compte de cette variation.

## 2. — Répartition théorique.

Pour trouver les différents débits des circuits, nous appliquerons la loi d'équivalence des pertes de charges et des forces aéromotrices entre les deux bornes de la mine et ce, autant de fois que nous pourrons trouver de circuits associés en série, reliant ces deux bornes. Pour chaque circuit collecteur, nous égalons le débit total à la somme des débits partiels qu'il rassemble. Nous aurons ainsi un nombre d'équations égal au nombre d'inconnues, ces dernières représentant les différents débits. Il faut, naturellement, connaître les résistances des différents circuits. Ces dernières auront, par exemple, été déterminées par des mesures de débits et de pressions caractérisant un régime de ventilation antérieur, autre que celui pour lequel on recherche les nouveaux débits des circuits.

Afin de concrétiser le principe ci-dessus, nous reprendrons l'exemple de la mine schématisée à la figure 2 et reproduite à la figure 3.

Nous supposons que les résistances  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$  des circuits ont été déterminées alors que le ventilateur produisait une force aéromotrice  $h'$ . On peut se proposer de trouver les débits  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7$  des circuits pour une autre force aéromotrice  $h$ . Nous pouvons relier les bornes A et H : par les circuits 1-2-7, par les circuits 1-3-4-6-7 et par les circuits 1-3-5-6-7. Nous aurons donc :

$$h = R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2 + R_7 q_7^2 \quad (1)$$

$$h = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_4 q_4^2 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2 \quad (2)$$

$$h = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_5 q_5^2 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2 \quad (3)$$

D'autre part :

$$q_1 = q_2 + q_3 \quad (4)$$

$$q_3 = q_4 + q_5 \quad (5)$$

$$q_6 = q_4 + q_5 \quad (6)$$

$$q_7 = q_2 + q_6 \quad (7)$$

Ces 7 équations nous permettront de trouver les valeurs des 7 inconnues  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7$ . Dans le cas présent, comme

$$q_1 = q_7, \quad q_3 = q_6,$$

$$q_1 = q_2 + q_4 + q_5, \quad q_3 = q_4 + q_5,$$

les 7 équations se ramènent à 3 :

$$h = R_1(q_2 + q_4 + q_5)^2 + R_2 q_2^2 + R_7(q_2 + q_4 + q_7)^2 \quad (8)$$

$$h = R_1(q_2 + q_4 + q_5)^2 + R_3(q_4 + q_5)^2 + R_4 q_4^2 + R_6(q_4 + q_5)^2 + R_7(q_2 + q_4 + q_5)^2 \quad (9)$$

$$h = R_1(q_2 + q_4 + q_5)^2 + R_3(q_4 + q_5)^2 + R_5 q_5^2 + R_6(q_4 + q_5)^2 + R_7(q_2 + q_4 + q_5)^2 \quad (10)$$

Ces 3 équations permettent de trouver les 3 inconnues  $q_2, q_4, q_5$ . Lorsque le schéma d'aérage est complexe et que les circuits sont nombreux, la résolution des équations conduit à des calculs assez longs et compliqués. On a parfois avantage, pour simplifier les opérations, à calculer la résistance totale combinée de la mine en partant des résistances individuelles des circuits. Par la relation  $h = R_t Q^2$ , on en déduit le volume total passant dans les travaux. On peut alors trouver la chute de pression dans les collecteurs principaux et déterminer la pression motrice restant disponible à leurs extrémités. En procédant de proche en proche, on arrive à déterminer la pression aéromotrice aux bornes des différents circuits et on en déduit les débits qui traversent ces circuits, puisqu'on connaît leur résistance. Ainsi, dans l'exemple que nous avons pris ci-avant, nous pouvons calculer la résistance totale  $R_t$  de la mine, qui comprend une association de circuits en série et en parallèle, de la façon que nous avons indiquée précédemment. De la relation :

$$h = R_t(q_2 + q_4 + q_5)^2$$

nous déduisons le débit total  $(q_2 + q_4 + q_5)$ . La perte de charge dans les circuits 1 et 7 s'élève respectivement à  $R_1(q_2 + q_4 + q_5)^2$  et  $R_7(q_2 + q_4 + q_5)^2$ . La force aéromotrice restante aux bornes B et G est :

$$h' = h - (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + q_5)^2$$

De  $h' = R_2 q_2^2$ , nous déduisons  $q_2$ . En soustrayant  $q_2$  du débit total  $(q_2 + q_4 + q_5)$  trouvé précédemment, nous obtenons  $(q_4 + q_5)$  qui traverse les circuits 3 et 6, en y occasionnant des pertes de charges  $(R_3 + R_6)(q_4 + q_5)^2$ . En soustrayant ces pertes de charges de  $h'$ , nous avons la force aéromotrice restante aux bornes C et F de 4 et 5 :

$$h'' = h' - (R_3 + R_6)(q_4 + q_5)^2$$

Nous en déduisons  $q_4$  et  $q_5$  par les relations  $h'' = R_4 q_4^2$  et  $h'' = R_5 q_5^2$ . Les calculs sont encore assez longs, dans le cas de mines compliquées, mais ils sont moins complexes que ceux auxquels conduit la résolution des équations de base.

### 3. — Influence des fuites.

Les fuites entre puits et dans les travaux modifient la répartition théorique dont nous venons de parler. Ces fuites constituent des circuits dérivés sur les circuits collecteurs. Elles modifient donc le schéma d'aérage de la mine et donnent lieu à création de nouveaux circuits non seulement par elles-mêmes, mais également par morcellement des circuits collecteurs, sur lesquels elles sont branchées, en plusieurs circuits, puisqu'il y a variation de débit dans ces collecteurs à l'amont et à l'aval des bornes d'où partent les circuits de fuite.

Ainsi, dans l'exemple que nous avons adopté, nous voyons que la prise en considération des fuites aux communications des niveaux d'entrée et de retour (fig. 4) augmente le nombre de circuits de 7

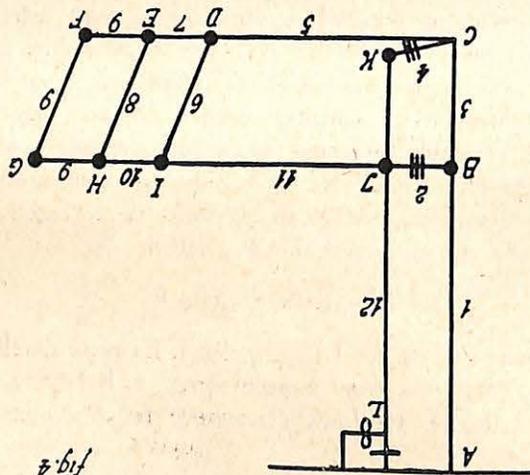


Fig. 4

à 12. L'ancien collecteur unique d'entrée AD est divisé en 5 circuits : 1-3-5, et l'ancien collecteur unique de retour IL est divisé en 2 circuits : 11 et 12. Il faut ajouter les circuits de fuite proprement dits : 2 et 4.

Le processus à suivre pour connaître la répartition des débits dans les circuits est le même que celui que nous avons indiqué. La loi d'équivalence des pertes de charges et des forces aéromotrices pourra s'appliquer entre les bornes A et L suivant 5 itinéraires différents :

- 1°) ABIL : 1-2-12;
- 2°) ABCKIL : 1-3-4-12;
- 3°) ABCDIL : 1-3-5-6-11-12;
- 4°) ABCDEHIL : 1-3-5-7-8-10-11-12;
- 5°) ABCDEFGHIL : 1-3-5-7-9-10-11-12.

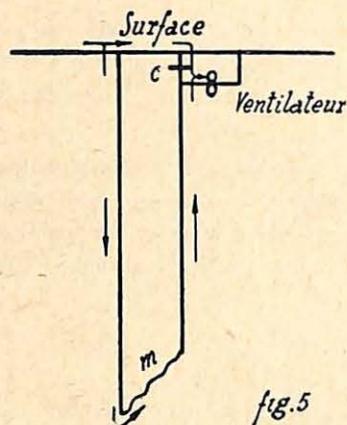
D'autre part, l'égalité des débits collecteurs à la somme des débits partiels fournira 7 nouvelles relations :

- 6°) 1 = 2 + 3;
- 7°) 3 = 4 + 5;
- 8°) 5 = 6 + 7;
- 9°) 7 = 8 + 9;
- 10°) 10 = 8 + 9;
- 11°) 11 = 6 + 10;
- 12°) 12 = 11 + 4 + 2.

Ces relations fourniront 12 équations permettant de trouver les 12 inconnues constituées par les débits dans les différents circuits.

Les fuites compliquent donc la résolution du problème de répartition des débits, mais elles n'en modifient pas le principe. On les considérera comme des circuits ordinaires dont les résistances seront déterminées par les mesures des débits de fuites et des différences de pression de part et d'autre des portes obturatrices dont l'objet est de les réduire au minimum.

Quant aux fuites par les clapets du puits de retour, elles constituent un circuit superficiel, en dérivation avec le circuit souterrain de la mine (voir fig. 5). Si nous considérons la force aéromotrice comme constante et indépendante du débit, nous voyons que les pertes par les clapets n'ont aucune influence directe sur la répartition du débit d'air dans les travaux souterrains. En effet, en raison de la relation  $h = R_m Q_m^2$ , le débit de la mine  $Q_m$  ne dépend que



de la force aéromotrice  $h$ , que nous supposons provisoirement constante, et de la résistance combinée de la mine  $R_m$ , qui est aussi indépendante des clapets. Par contre, les fuites par les clapets ont une influence sur le débit total  $Q_v$  passant dans la galerie du ventilateur. En effet, si nous appelons  $\theta_c$  et  $\theta_m$  les températures respectifs des clapets et de la mine, le température de l'ensemble sera  $(\theta_m + \theta_c)$ , puisque ces deux circuits principaux sont en parallèle. Une force aéromotrice  $h$  appliquée au groupe fera passer dans la galerie du ventilateur un débit  $Q_v$  donné par la relation :

$$h = \frac{Q_v^2}{(\theta_m + \theta_c)^2} \quad \text{ou} \quad Q_v = (\theta_m + \theta_c) \sqrt{h}$$

S'il n'y avait pas de fuites par les clapets, le débit dans la galerie du ventilateur serait :

$$Q_v = \theta_m \sqrt{h} = Q_m$$

Pour trouver le température  $\theta_c$  des clapets, il suffit d'utiliser la relation  $h = Q_c^2 / \theta_c^2$  ou, comme  $Q_c = Q_v - Q_m$  :

$$h = \frac{(Q_v - Q_m)^2}{\theta_c^2}$$

soit :

$$\theta_c = \frac{Q_v - Q_m}{\sqrt{h}}$$

$Q_v$  se trouve dans la galerie du ventilateur.  $Q_m$  s'obtient en faisant la somme des débits passant dans les retours d'air généraux, somme à laquelle on ajoute le volume des fuites entre puits. La différence de pression  $h$  se mesure au manomètre à eau dont une des branches est en communication avec la galerie du ventilateur et dont l'autre branche est en communication directe avec l'air extérieur.

Il y a lieu de remarquer que l'on commettrait une grossière erreur en se basant, pour déterminer la résistance souterraine de la mine, sur le débit d'air passant dans la galerie du ventilateur. On obtiendrait, ce faisant, la résistance combinée de l'ensemble du groupe travaux souterrains et clapets. Cette dernière résistance est évidemment plus faible que la résistance des travaux souterrains seuls. Pour obtenir celle-ci, il faut se baser sur le débit  $Q_m$ , passant dans les travaux, et obtenu en faisant la somme des débits des retours généraux et des fuites. La mesure de la différence de pression au ventilateur permettra alors de connaître la résistance  $R_m$  cherchée par la relation  $h = R_m Q_m^2$ .

#### 4. — Influence de l'aériage naturel.

La différence de température de l'air dans les puits d'entrée et de retour provoque une différence de poids des colonnes d'air dans ces puits. Généralement, dans nos régions, cette différence de poids se marque en faveur du puits d'entrée. Il en résulte un tirage ou aériage naturel qui constitue une force aéromotrice d'appoint, travaillant en série avec la force aéromotrice primaire, et contribuant à renforcer le débit total passant dans les travaux.

On sait que l'aériage naturel s'évalue d'habitude de la façon suivante : on divise les puits en tronçons et l'on calcule la pression à la base de chaque tronçon par la formule :

$$p_n = p_{n-1} \cdot e^{\frac{x_n - x_{n-1}}{R \frac{T_n + T_{n-1}}{2}}}$$

dans laquelle  $p_n$  et  $p_{n-1}$  sont les pressions à la base des tronçons  $n$  et  $(n-1)$ ,  $x_n$  et  $x_{n-1}$  les profondeurs respectives des bases de ces tronçons,  $T_n$  et  $T_{n-1}$  les températures absolues des bases susdites,  $R$

la constante de l'air, égale à 29,27. La différence des pressions à un même niveau dans les deux puits fournit la valeur approximative de l'aérage naturel à ce niveau.

Dans les puits à grande profondeur, pendant la saison froide, l'aérage naturel peut atteindre des valeurs relatives importantes, par rapport à la valeur de la force aéromotrice du ventilateur. Toutefois, il est éminemment instable, en raison notamment des variations fréquentes de la température extérieure. Il ne sera donc pas prudent d'en tenir compte lorsqu'on établira les équations de répartition, entre les différents circuits, d'un débit total suscité par une force aéromotrice donnée du ventilateur. Son action se traduira par une majoration variable des débits calculés, majoration que l'on enregistrera qualitativement, pour mémoire. Toutefois, on tiendra compte de l'aérage naturel au moment des opérations, si l'on doit mesurer la résistance de la mine. En effet, si  $h_n$  désigne l'aérage naturel,  $h$  la force aéromotrice,  $Q_m$  le débit global des retours généraux augmenté des fuites,  $R_m$  la résistance de la mine, on aura :

$$h + h_n = R_m Q_m^2$$

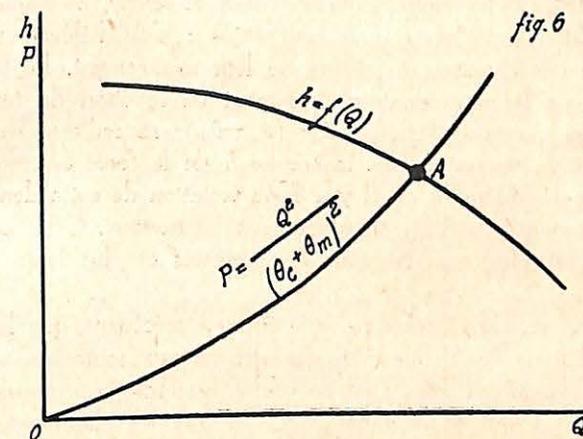
Si on ne tenait pas compte de l'aérage naturel, on trouverait  $h = R'_m Q_m^2$ . On aurait ainsi une résistance  $R'_m$  erronée, plus petite que la résistance réelle.

5. — Influence de la variation de la force aéromotrice en fonction du débit.

Nous avons supposé que la force aéromotrice développée par le ventilateur était constante et indépendante du débit. En réalité, cette force aéromotrice varie avec le débit suivant la caractéristique débits-pressions du ventilateur. Cette caractéristique a l'allure de la courbe  $h = f(Q)$  de la figure 6. Les circuits des travaux souterrains et des clapets étant associés en parallèle, la courbe des pertes de charges de l'ensemble du groupe, en fonction des débits, sera :

$$P = \frac{Q^2}{(\theta_c + \theta_m)^2}$$

Le point de fonctionnement A du ventilateur sera donné par la rencontre de cette dernière courbe des pertes de charges avec la courbe  $h$  des pressions motrices. Au cours d'une journée, le tempé-



rament des travaux souterrains et des clapets se modifie constamment, par exemple lors de l'arrivée des cages du puits de retour à la surface, lors de l'ouverture de portes obturatrices, par suite du déplacement des wagonnets dans les galeries, de l'encombrement des tailles par les produits abattus, etc. Il en résulte une modification fréquente de la courbe des pertes de charges  $Q^2/(\theta_c + \theta_m)^2$  et un déplacement corrélatif du point de fonctionnement A sur sa caractéristique  $h$ . Le débit global au ventilateur est donc fréquemment variable. Il en est de même du débit circulant dans les travaux souterrains, conditionné par la relation  $h = Q_m^2/\theta_m^2$  et ce, pour deux raisons : tout d'abord parce que  $\theta_m$  est variable, ainsi que nous venons de le dire, et ensuite parce que la force aéromotrice  $h$  est aussi variable avec  $(\theta_c + \theta_m)$ . Si les fuites par les clapets du puits d'air n'ont aucune influence directe sur le débit global circulant dans les travaux souterrains lorsqu'on suppose la force aéromotrice  $h$  constante et indépendante du débit, on voit qu'il n'en est plus de même lorsqu'on envisage la situation réelle, c'est-à-dire la variation de cette force aéromotrice  $h$  avec le tempérament total de l'installation  $(\theta_c + \theta_m)$ . Lors de l'ouverture des clapets pour livrer passage à la cage par exemple,  $\theta_c$  augmente considérablement. Il en est de même de  $(\theta_c + \theta_m)$ . La courbe  $Q^2/(\theta_c + \theta_m)^2$  s'aplatit et rencontre la courbe  $h$  à droite du point A. Il en résulte une diminution de la force aéromotrice  $h$  qui se répercute sur le débit des travaux  $Q_m$ , en raison de la relation  $h = Q_m^2/\theta_m^2$  et ce, même si le tempérament  $\theta_m$  des dits travaux est à ce moment inchangé.

Il y a une autre cause, continue dans le temps, de variation de la répartition des débits d'air souterrains : c'est l'élévation de la résistance des chantiers à mesure de leur avancement. Le température  $\theta_m$  de la mine diminue lentement en fonction du temps; la courbe des pertes de charges  $Q^2/(\theta_c + \theta_m)^2$  se redresse en conséquence et sa rencontre avec la courbe  $h$  de la force aéromotrice se fait à gauche du point A. Il y a donc variation de cette dernière et, par conséquent, du débit circulant dans les travaux. Cette cause de variation est plus régulière que les premières et plus lente dans le temps.

On peut conclure, des considérations qui précèdent, que le régime des répartitions des débits d'air dans les travaux souterrains est relativement instable. Il serait vain de vouloir atteindre, dans ce domaine, une précision qui serait sans objet, puisque les chantiers sont en évolution permanente. On pourra se contenter de valeurs moyennes, qui seront d'ailleurs largement suffisantes eu égard aux approximations que l'on est forcé de tolérer, notamment dans le jaugeage des débits d'air à l'aide de l'anémomètre.

### III. — Répartition influencée du débit total entre les chantiers.

Nous avons vu que la répartition du débit global des travaux souterrains se faisait, entre ceux-ci, d'après leurs résistances respectives. D'autre part, le débit nécessaire à l'obtention d'une atmosphère saine dans chacun des chantiers dépend des conditions d'exploitation et de gisement : importance de l'extraction, importance du personnel au poste le plus chargé, caractéristique grisouteuse de la couche. Les facteurs conditionnant le débit réel et le débit nécessaire des chantiers seront rarement concordants. Il s'ensuit que certains chantiers auront une ventilation insuffisante, d'autres une ventilation surabondante. L'excès de débit n'est pas un inconvénient en lui-même. Il peut cependant être désavantageux dans le cas de chantiers poussés. Il peut aussi y avoir une répercussion défavorable sur l'aéragé d'autres chantiers, puisque tous les circuits sont interdépendants. L'excès de ventilation sera aisément corrigé par le placement de portes régulatrices, dont nous examinerons ultérieurement le mode d'action. Quant à la ventilation insuffisante, son amélioration exigera une action rationnelle et des calculs préalables que nous exposerons ci-après. Nous envisagerons tout d'abord le cas où l'aéragé d'un seul chantier doit être amélioré. Nous verrons ensuite comment l'on procédera si l'aéragé de plusieurs chantiers doit être modifié.

### 1. — MAJORATION DE DEBIT DANS UN SEUL CHANTIER.

Si  $h_p$  est la force aéromotrice disponible aux bornes du chantier,  $R_p$  sa résistance et  $Q_p$  son débit, nous savons que le débit sera conditionné par la relation  $h_p = R_p Q_p^2$ . Nous pouvons augmenter  $Q_p$  en élevant  $h_p$ , ou en diminuant  $R_p$ , ou en introduisant dans le circuit du chantier une force aéromotrice complémentaire  $h_v$ , en série avec  $h_p$ , de telle sorte que l'on ait :

$$h_p + h_v = R_p Q_p^2$$

L'élévation de  $h_p$  peut être obtenu de trois manières, par une action extérieure au chantier :

1°) en élevant la force aéromotrice totale  $h$  du ventilateur;  
2°) en diminuant la résistance des circuits collecteurs généraux, en l'espèce, les puits et les bouveaux d'entrée et de retour. Ce faisant, on réduit la fraction de force aéromotrice nécessaire à la compensation des pertes de charges dans ces circuits et l'on dispose ainsi d'un solde de force aéromotrice plus élevé aux extrémités de ces collecteurs, en série avec les chantiers;

3°) en plaçant des résistances supplémentaires, c'est-à-dire des portes régulatrices, dans les chantiers surabondamment ventilés. On augmente ainsi la résistance totale combinée de la mine, donc on diminue le débit total passant dans les travaux souterrains. Partant, on diminue les pertes de charges dans les circuits collecteurs généraux, qui livrent passage à ce débit total. On réduit donc la fraction de force aéromotrice nécessaire à la compensation de ces pertes de charges et il reste un solde disponible plus grand de force aéromotrice aux extrémités des collecteurs, lesquelles extrémités constituent les bornes générales des circuits du fond. Il est à remarquer qu'en raison de l'allure des caractéristiques débits-pressions des ventilateurs, une diminution de débit global entraîne une élévation de la pression motrice, ce qui renforce d'autant le solde disponible aux extrémités des collecteurs, solde déjà augmenté d'autre part par la réduction des pertes de charges dans les dits collecteurs.

La diminution de résistance  $R_p$  du chantier s'obtient par une action directe sur le chantier : recarrage des galeries, réduction de longueur du circuit.

Quant à l'adjonction d'une force aéromotrice complémentaire en série avec la force aéromotrice primaire, on la réalise pratiquement par le placement d'un ventilateur hélicoïde dans le retour du chantier.

Nous examinerons successivement les trois modes d'action extérieurs au chantier et les deux moyens agissant directement sur le chantier.

a) *Élévation de la force aéromotrice totale.*

Nous avons vu que, pour une répartition libre d'un débit global, produit par une force aéromotrice déterminée entre  $n$  circuits associés en série-parallèle, les débits, constituant les inconnues, sont donnés par  $n$  équations, obtenues en appliquant la loi d'équivalence des charges motrices et des pertes de charges suivant les différents itinéraires possibles entre les deux bornes générales de la mine et en égalant, dans les circuits collecteurs, le débit qui les traverse aux débits partiels qui sont dérivés à l'une de leurs extrémités. Si nous nous assignons un débit donné pour le circuit d'un chantier, nous avons une inconnue en moins : c'est le débit du chantier. Nous la remplaçons par une nouvelle inconnue : la force aéromotrice totale nécessaire pour assurer ce débit donné dans le chantier.

La résolution des  $n$  équations nous permettra de trouver les  $n$  inconnues, ( $n-1$ ) de celles-ci étant les débits dans les différents circuits autres que le circuit sur lequel on veut agir, la  $n^e$  étant la force aéromotrice globale nouvelle à développer.

Dans l'exemple de la mine schématisée à la figure 5, que nous rappelons à la figure 7, si nous nous assignons un débit  $Q_5$  au lieu de  $q_5$  pour le chantier 5, nous devons développer une force aéromotrice totale  $H$ , au lieu de  $h$ . Cette force  $H$  sera donnée par la résolution des équations :

$$H = R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2 + R_7 q_7^2 \quad (1)$$

$$H = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_4 q_4^2 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2 \quad (2)$$

$$H = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_5 Q_5^2 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2 \quad (3)$$

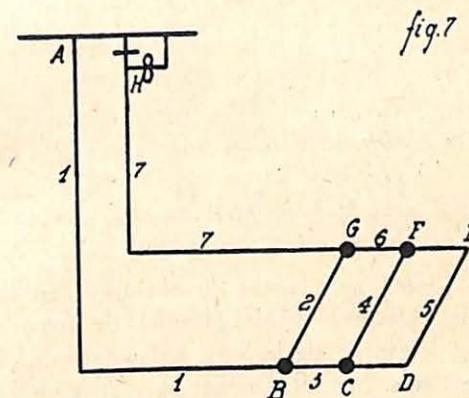
$$q_1 = q_2 + q_3 \quad (4)$$

$$q_3 = q_4 + Q_5 \quad (5)$$

$$q_6 = q_4 + Q_5 \quad (6)$$

$$q_7 = q_2 + q_6 \quad (7)$$

Ces équations donneront également les valeurs de  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_6$ ,  $q_7$ , qui différeront évidemment des valeurs analogues fournies par



les équations anciennes, dans lesquelles la force aéromotrice  $h$  était une donnée fixe et non une variable, alors que  $q_5$  était une variable et non une donnée fixe  $Q_5$ .

Pour obtenir une force aéromotrice  $H$  au lieu de  $h$ , sans changer de ventilateur, nous devons modifier la vitesse de rotation de celui-ci. Rappelons, en effet, que si  $v$  est la vitesse correspondant à  $h$  et  $V$ , la vitesse correspondant à  $H$ , on a :

$$\frac{h}{H} = \frac{v^3}{V^3}$$

d'où :

$$V = v \sqrt[3]{\frac{H}{h}}$$

Il faudra naturellement vérifier que la nouvelle vitesse de rotation est compatible avec la résistance mécanique de la turbine.

L'élévation de la charge motrice totale ne provoque pas une élévation de même importance de la charge motrice aux bornes du circuit dont le débit a été majoré. En effet, cette dernière charge motrice était, avant élévation,  $h' = R_5 q_5^2$ . Après élévation, elle devient  $H' = R_5 Q_5^2$ . Or :

$$\frac{Q_5}{q_5} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

d'où :

$$Q_5 = q_5 \sqrt{\frac{H}{h}}$$

Donc :

$$H' = R_5 q_5^2 \times \frac{H}{h} = h' \times \frac{H}{h}$$

L'élévation aux bornes du chantier est :

$$H' - h' = h' \times \frac{H}{h} - h' = h' \left( \frac{H}{h} - 1 \right) = \frac{h'}{h} (H - h)$$

L'élévation ( $H' - h'$ ) aux bornes du chantier n'est donc qu'une fraction  $h'/h$  de l'élévation totale ( $H - h$ ) de force aéromotrice. Cette fraction est le rapport de la force aéromotrice du chantier à la force aéromotrice totale. Elle est d'autant plus faible qu'il y a plus de chantiers branchés sur les circuits collecteurs en amont du chantier considéré. A cause de l'interdépendance des circuits, l'élévation de la force aéromotrice totale ne profite donc que partiellement au chantier dont on a voulu majorer le débit. De même, l'élévation de débit du chantier n'est qu'une fraction de l'élévation du débit total. En effet :

$$\frac{Q_5}{q_5} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

d'où :

$$Q_5 = q_5 \sqrt{\frac{H}{h}} \quad \text{et} \quad Q_5 - q_5 = q_5 \left( \sqrt{\frac{H}{h}} - 1 \right)$$

Or :

$$\frac{Q_7}{q_7} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

Donc :

$$Q_5 - q_5 = q_5 \left( \frac{Q_7}{q_7} - 1 \right) = \frac{q_5}{q_7} (Q_7 - q_7)$$

La fraction  $q_5/q_7$  est d'autant plus faible qu'il y a plus de chantiers groupés en parallèle.

La majoration du débit d'un seul chantier par élévation de la force aéromotrice totale s'avère donc peu efficace, puisque cette élévation n'agit que partiellement sur le chantier et que d'autres chantiers en profitent inutilement.

De plus, c'est un procédé coûteux. En effet, on sait que la puis-

sance utile de ventilation  $P_{um} = Rq^3$ . Pour la mine de résistance totale  $R_m$ , lorsque le débit global était  $q_7$ , la puissance utile ancienne dépensée était  $P_{um} = R_m q_7^3$ . Avec un débit global  $Q_7$ , cette puissance devient  $P_{um} = R_m Q_7^3$ . L'élévation de puissance utile nécessaire est donc :

$$\Delta P_{um} = R_m Q_7^3 - R_m q_7^3$$

ou, comme :

$$Q_7 = q_7 \sqrt{\frac{H}{h}}$$

$$\Delta P_{um} = R_m q_7^3 \left( \frac{H}{h} \right)^{3/2} - R_m q_7^3$$

$$\Delta P_{um} = R_m q_7^3 \left[ \left( \frac{H}{h} \right)^{3/2} - 1 \right]$$

Pour le chantier, l'élévation de puissance utile :

$$\Delta P_{u5} = R_5 q_5^3 \left[ \left( \frac{H'}{h'} \right)^{3/2} - 1 \right]$$

ou, comme :

$$\frac{H'}{h'} = \frac{H}{h}$$

$$\Delta P_{u5} = R_5 q_5^3 \left[ \left( \frac{H}{h} \right)^{3/2} - 1 \right]$$

On a donc :

$$\frac{\Delta P_{u5}}{\Delta P_{um}} = \frac{R_5 q_5^3}{R_m q_7^3} \quad \text{ou} \quad \Delta P_{u5} = \frac{R_5}{R_m} \left( \frac{q_5}{q_7} \right)^3 \Delta P_{um}$$

L'élévation de puissance utile nécessaire au chantier n'est donc qu'une fraction  $R_5/R_m (q_5/q_7)^3$  de l'élévation de la puissance utile totale consentie. Cette fraction est d'autant plus faible que la résistance du chantier est petite par rapport à la résistance totale et que

le rapport du débit du chantier au débit total est faible. L'élévation de consommation d'énergie serait inutilement importante et hors de proportion avec le résultat local que l'on veut atteindre.

Remarquons, pour le surplus, que les fuites entre puits et les pertes par les clapets du puits d'air étant proportionnelles à la racine carrée de la différence de pression motrice, ces fuites seront augmentées par une élévation de cette charge motrice. Dans la fraction de l'élévation de puissance utile qui profite au chantier  $R_5/R_m (q_5/q_7)^3$ , le rapport  $R_5/R_m$  augmente si l'on tient compte des pertes entre puits et par les clapets, puisque la résistance globale de l'installation diminue, mais, par contre, le rapport  $q_5/q_7$  diminue, puisque le débit global à envisager augmente. Ce dernier rapport, intervenant à la 3<sup>e</sup> puissance, a une influence beaucoup plus grande que le premier, de sorte que l'on peut dire que les courts-circuits de fuites entre puits et par les clapets du puits d'air diminuent encore le pourcentage d'élévation de la puissance utile totale profitable au chantier dont on a voulu majorer le débit.

On pourrait augmenter la répercussion, sur le chantier considéré, de l'élévation de force aéromotrice totale, en réduisant les débits dans les autres chantiers par le placement de portes régulatrices créant des résistances supplémentaires. On se donnerait alors les débits  $q_2$ ,  $q_4$  dans les autres chantiers et l'on introduirait, dans les équations de base dans lesquelles ces débits interviennent, des inconnues  $R'_2$  et  $R'_4$  représentant ces résistances supplémentaires. Les équations deviendraient alors :

$$H = R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2 + R'_2 + R_7 q_7^2$$

$$H = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_4 q_4^2 + R'_4 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2$$

$$H = R_1 q_1^2 + R_3 q_3^2 + R_5 Q_5^2 + R_6 q_6^2 + R_7 q_7^2$$

Les inconnues seraient  $H$ ,  $R'_2$  et  $R'_4$ . Les autres données seraient connues, puisque :

$$q_1 = q_7 = q_2 + q_4 + Q_5 \quad \text{et} \quad q_3 = q_6 = q_2 + q_4$$

Or,  $q_2$ ,  $q_4$  et  $Q_5$  sont des valeurs imposées.

Grâce à  $R'_2$  et  $R'_4$ , on pourrait maintenir les débits anciens  $q_2$  et  $q_4$  dans les chantiers dont le débit ne doit pas être modifié et reporter l'influence de l'élévation de force aéromotrice totale uniquement sur le débit du chantier 5. Les portes régulatrices constituent

cependant des sujétions désagréables et obligent à un surcroît de surveillance. De plus, la solution serait encore assez onéreuse, tout en l'étant moins cependant que si on laisse tous les chantiers libres. En effet, on renforce, par le placement de portes régulatrices, la résistance totale  $R_m$  de la mine. La puissance utile, nécessaire pour faire passer un nouveau débit global voisin du débit global ancien, est égale à  $R_m q_7^3$ . Elle est augmentée dans le même rapport que  $R_m$ . En outre, les fuites par les communications et par les clapets du puits d'air restent majorées dans le rapport des racines carrées de la pression motrice nouvelle à la pression motrice ancienne.

En résumé, on peut dire que l'obtention d'une majoration de débit dans un seul chantier par l'élévation de la force aéromotrice totale du ventilateur est une solution peu recommandable. Par suite de l'interdépendance des circuits, le chantier visé ne profite que partiellement de l'élévation de charge motrice totale. L'accroissement de dépenses qui résulte de cette élévation est hors de proportion avec le but restreint et local à atteindre.

#### b) Diminution de la résistance des circuits collecteurs.

Les circuits collecteurs, en l'occurrence les puits et éventuellement les bouveaux d'entrée et de retour jusqu'à la première dérivation, sont en série avec le groupe des circuits des travaux. Si l'on diminue la résistance de ces collecteurs, on diminue la résistance totale de la mine. Par conséquent, à supposer que la force aéromotrice totale demeure inchangée, on augmente le débit global circulant dans les travaux souterrains en raison de la relation  $h = R_m q^2$ . Si nous appelons  $R_e$  et  $R_a$  les résistances respectives des collecteurs d'entrée et de retour et  $R_t$  la résistance combinée du groupe des circuits de travaux branchés à leurs extrémités, nous aurons, en désignant par  $q$  le débit global :

$$h = (R_a + R_e) q^2 + R_t q^2$$

Les pertes de charges  $R_t q^2$  dans les travaux sont compensées par une partie  $h'$  de la force aéromotrice  $h$ , de telle sorte que  $h' = R_t q^2$ . Lorsque nous abaissons la résistance des collecteurs à  $(r_e + r_a)$ , le débit s'élève à  $Q$ , donné par la relation :

$$h = (r_e + r_a) Q^2 + R_t Q^2$$

La fraction de force aéromotrice  $h'' = R_t Q^2$  affectée aux travaux

est plus grande que la fraction ancienne  $h'$ , puisque  $Q > q$ . On a donc ainsi élévation de la charge motrice aux bornes générales des circuits de travaux. Cette élévation pourra être d'autant plus sensible que la résistance des collecteurs est élevée, relativement à la résistance combinée des travaux et que la réduction de résistance que l'on opère sur ces collecteurs est importante. En effet :

$$h = (R_e + R_a) q^2 + R_t q^2$$

$$\frac{h}{R_t q^2} = \frac{R_e + R_a}{R_t} + 1 = \frac{R_e + R_a + R_t}{R_t} \quad (1)$$

Après abaissement des résistances :

$$(R_e + R_a) \text{ à } (r_e + r_a) : h = (r_e + r_a) Q^2 + R_t Q^2$$

$$\frac{h}{R_t Q^2} = \frac{r_e + r_a}{R_t} + 1 = \frac{r_e + r_a + R_t}{R_t} \quad (2)$$

En divisant (1) par (2) :

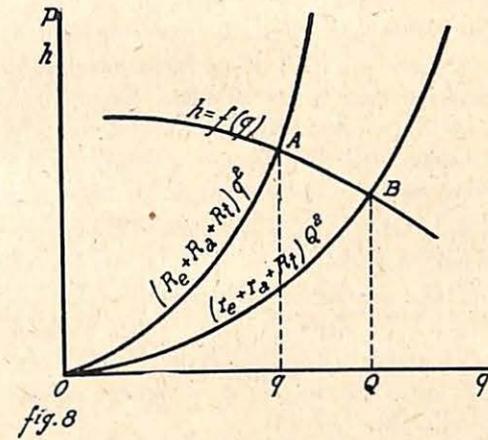
$$\frac{R_t Q^2}{R_t q^2} = \frac{R_e + R_a + R_t}{r_e + r_a + R_t}$$

$R_t Q^2 = h''$ , force aéromotrice aux bornes générales des circuits des travaux après abaissement des résistances des collecteurs.  
 $R_t q^2 = h'$ , force analogue avant abaissement de ces résistances.

Donc :

$$h'' = h' \times \frac{R_e + R_a + R_t}{r_e + r_a + R_t} = \frac{1 + \frac{R_e + R_a}{R_t}}{1 + \frac{r_e + r_a}{R_t}} \times h' \quad (5)$$

On voit que le coefficient de majoration de la force aéromotrice aux bornes générales des circuits du fond est d'autant plus grand que  $(R_e + R_a)$  est grand par rapport à  $R_t$  et que  $(r_e + r_a)$  est petit par rapport à  $R_t$ . Cette solution présentera donc son maximum d'intérêt lorsque les puits sont étroits et résistants et que les travaux sont ouverts et lorsque, d'autre part, on pourra recarrer ces puits à grande section.



Nous avons supposé que la force aéromotrice totale demeurerait inchangée à la suite de l'élévation de débit global consécutif à la diminution de la résistance des collecteurs et, partant, de la mine entière. En réalité, tel n'est pas le cas; comme la résistance totale de la mine diminue, la parabole des pertes de charges dans la dite mine, en fonction du débit, s'évase et s'aplatit (fig. 8). Elle rencontre donc la caractéristique débits-pressions du ventilateur en B au lieu de A. Pour le débit renforcé  $OQ$ , on voit que la force aéromotrice  $BQ$  est plus petite que  $Aq$ , correspondant au débit ancien  $Oq$ . La relation (5) ci-avant devrait donc être corrigée comme suit :

$$h'' = \frac{1 + \frac{R_e + R_a}{R_t}}{1 + \frac{r_e + r_a}{R_t}} \times \frac{BQ}{Aq} \times h'$$

puisque dans la relation (1),  $h = Aq$  et dans (2),  $h = BQ$ . L'influence de l'abaissement de résistance sur la majoration de la force aéromotrice aux bornes générales des circuits du fond dépend donc également de la caractéristique du ventilateur.

L'élévation de potentiel pneumatique aux bornes générales des circuits du fond aura sa répercussion sur la pression motrice aux bornes du chantier dont le débit doit être majoré. L'importance de

cette répercussion dépendra de la situation du circuit en cause par rapport aux autres circuits. Si ses bornes coïncident avec les bornes générales des circuits du fond, il profitera intégralement de l'élévation de la charge motrice à ces dernières. Sinon, il ne profitera que partiellement de cette élévation. L'influence de cette dernière sur le chantier considéré sera d'autant moins grande qu'il y aura plus de chantiers greffés sur les collecteurs avant d'atteindre ses bornes.

Dans l'exemple schématisé à la figure 7, l'abaissement de la résistance des circuits collecteurs 1 et 7 provoque une augmentation de tension aéromotrice aux bornes générales B et G. Cette tension est passée de  $h'$  à  $h''$ . Le débit dans les circuits 5, 6, en série avec le groupement en parallèle 4-5, est passé de  $q'$  à  $q''$ . Aux bornes F et C du groupe 4-5, donc du chantier 5, la tension est passée de  $R_{4-5}q'^2$  à  $R_{4-5}q''^2$  de telle sorte que :

$$\frac{R_{4-5}q'^2}{R_{4-5}q''^2} = \frac{h'}{h''} \quad \text{ou} \quad R_{4-5}q''^2 = R_{4-5}q'^2 \times \frac{h''}{h'}$$

ou

$$R_{4-5}q''^2 - R_{4-5}q'^2 = R_{4-5}q'^2 \left( \frac{h''}{h'} - 1 \right)$$

ou

$$R_{4-5}q''^2 - R_{4-5}q'^2 = \frac{R_{4-5}q'^2}{h'} (h'' - h')$$

et comme :

$$h' = (R_3 + R_{4-5} + R_6) q'^2$$

$$R_{4-5}q''^2 - R_{4-5}q'^2 = \frac{R_{4-5}}{R_3 + R_{4-5} + R_6} (h'' - h')$$

L'élévation de force aéromotrice ( $R_{4-5}q''^2 - R_{4-5}q'^2$ ) aux bornes du chantier 5 n'est donc qu'une fraction  $R_{4-5}/(R_3 + R_{4-5} + R_6)$  de l'élévation de force aéromotrice, ( $h'' - h'$ ) aux bornes générales B et G des circuits du fond, à l'extrémité des collecteurs. Comme on le voit, cette fraction dépend de la situation du chantier considéré par rapport à l'ensemble du groupe des circuits des travaux.

Pour trouver les résistances nouvelles des collecteurs, correspondant au passage du débit demandé dans le chantier antérieurement sous-ventilé, on utilisera les équations de base dont nous avons parlé ci-avant. Les résistances des collecteurs, additionnées, constitueront une inconnue qui remplacera le débit du chantier envisagé. Ce débit, constituant l'inconnue dans les équations basées sur une répartition libre, devient une donnée fixe dans les équations basées sur une répartition influencée. La force aéromotrice totale est considérée comme une constante dans les équations. Lorsqu'on aura résolu celles-ci et trouvé la valeur nouvelle de la résistance des collecteurs, on calculera la résistance combinée nouvelle de la mine souterraine, ainsi que la résistance totale de l'ensemble du groupe : mine souterraine et circuit de fuite des clapets du puits d'air. Cette résistance permettra d'établir la nouvelle parabole des pertes de charges du groupe en fonction du débit. Le point de rencontre de cette courbe avec la caractéristique débits-pressions du ventilateur fournira le point de fonctionnement de ce dernier et, par conséquent, la valeur de la nouvelle pression motrice. Le débit réel du chantier traité sera obtenu en multipliant le débit que l'on s'est assigné par la racine carrée du rapport de la nouvelle pression motrice du ventilateur à l'ancienne. En raison de l'allure des caractéristiques des ventilateurs, ce rapport est inférieur à l'unité. Le débit réel du chantier sera donc plus faible que le débit figurant comme donnée fixe dans les équations de base. Il sera prudent de s'assigner un débit supérieur au débit nécessaire, de telle façon qu'après corrections, nécessitées par la prise en considération de la caractéristique du ventilateur, le débit réel passant dans le chantier soit au moins égal au débit nécessaire. Il faudra évidemment procéder par tâtonnement pour décider de quel taux on devra majorer le débit nécessaire pour obtenir le débit assigné à introduire comme donnée dans les équations de base.

Dans la mine prise comme exemple à la figure 7, le passage d'un débit  $Q_5$  au lieu de  $q_5$  dans le chantier 5 obligera à abaisser la résistance des collecteurs 1 et 7 de  $(R_1 + R_7)$  à  $(r_1 + r_7)$  de telle façon que :

$$h = (r_1 + r_7) (q_2 + q_4 + Q_5)^2 + R_2 q_2^2 \quad (1)$$

$$h = (r_1 + r_7) (q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6) (q_4 + Q_5)^2 + R_4 q_4^2 \quad (2)$$

$$h = (r_1 + r_7) (q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6) (q_4 + Q_5)^2 + R_5 Q_5^2 \quad (5)$$

Ces trois équations nous donnerons les valeurs de  $(r_1 + r_7)$ , de  $q_2$  et de  $q_4$ .

Il y a lieu de remarquer que l'obtention d'un débit donné dans un chantier en agissant sur la résistance des collecteurs n'est pas toujours possible. En effet, l'équation (5) ci-dessus nous montre que si  $R_5 Q_5^2$  venait à être supérieur à :

$$h - (r_1 + r_7) (q_2 + q_4 + Q_5)^2 - (R_3 + R_6) (q_4 + Q_5)^2$$

le problème ne pourrait être résolu de cette façon. Ce cas se produirait pour un chantier très résistant, dans lequel on voudrait faire passer un fort débit.

On doit faire observer également que l'abaissement de la résistance des collecteurs ne peut s'obtenir que par recarrage. Le recarrage des puits est un travail lent, peu aisé et coûteux. La majoration du débit d'un seul chantier par le procédé examiné ne sera donc pas à préconiser, surtout si l'on se souvient que l'élévation de la tension motrice aux bornes générales des circuits du fond ne profite, dans la plupart des cas, que partiellement au chantier envisagé, les autres chantiers voyant leurs débits inutilement majorés, en raison de l'interdépendance existant entre les différents circuits.

### c) Placement de portes régulatrices.

Nous pouvons aussi élever la charge motrice aux bornes du chantier dont on doit améliorer le débit en plaçant, dans d'autres chantiers, associés avec le premier en série-parallèle, des résistances supplémentaires sous les espèces de portes régulatrices. L'effet de ces dernières est d'augmenter la résistance combinée de l'ensemble des travaux, branchés en série avec les collecteurs généraux aux extrémités de ceux-ci et, par conséquent, la résistance de l'ensemble de la mine. De ce fait, si la force aéromotrice totale est maintenue constante, il y a réduction du débit global circulant dans les circuits souterrains. Partant, il y a réduction des pertes de charges dans les circuits collecteurs. La fraction de force aéromotrice totale destinée à compenser ces pertes de charge est donc diminuée et le solde de force aéromotrice disponible aux extrémités des collecteurs constituant bornes générales des travaux du fond est par conséquent aug-

menté. Si  $h$  est la force aéromotrice totale,  $R_e$  et  $R_a$  les résistances respectives des collecteurs d'entrée et de retour,  $r_t$  la résistance des travaux branchés en série avec les collecteurs,  $q$  le débit global, on a :

$$h = (R_e + R_a + r_t) q^2$$

Si, par le placement de portes régulatrices dans certains circuits, la résistance combinée des travaux passe de  $r_t$  à  $R_t$ , le nouveau débit  $q'$  sera inférieur à  $q$  et donné par la relation (en supposant  $h$  inchangé) :

$$h = (R_e + R_a + R_t) q'^2$$

Les pertes de charges dans les collecteurs seront égales à  $(R_e + R_a) q'^2$  au lieu de  $(R_e + R_a) q^2$ . Le solde disponible de charge motrice pour les travaux sera :

$$h - (R_e + R_a) q'^2 > h - (R_e + R_a) q^2$$

Grâce à l'élévation de la tension pneumatique aux bornes générales du fond, il y aura augmentation du débit dans le chantier dont on veut majorer la ventilation.

Pour connaître la valeur des résistances supplémentaires à placer pour obtenir, dans le chantier traité, un débit donné, on se servira des équations de base dont nous avons fait usage antérieurement. On choisira à priori les chantiers dans lesquels on peut placer les portes régulatrices. Ce sera, évidemment, des chantiers surabondamment ventilés dont on peut, sans inconvénient, réduire les débits. Dans les équations d'équivalence entre la force aéromotrice et les pertes de charges, relatives aux chantiers influencés par les portes régulatrices, on introduira, dans le deuxième membre, totalisant les pertes de charges, la résistance supplémentaire, au même titre qu'une perte de charge partielle ordinaire et on l'ajoutera à ces dernières. S'il y a  $n$  circuits combinés, on disposera de  $n$  équations. Si  $k$  est le nombre de circuits à débit limité par des portes régulatrices, on se fixera le débit minimum toléré pour  $(k-1)$  d'entre eux. Les inconnues seront : les débits dans les circuits non influencés par portes régulatrices, sauf le chantier dont on veut augmenter la ventilation, le débit dans le circuit influencé par portes régulatrices et que l'on ne s'est pas assigné comme donnée, les résistances supplémentaires dans les circuits réglés par portes. Il y a donc, au total :

$$n - k - 1 + 1 = n - k \text{ débits-inconnus}$$

et  $k$  résistances supplémentaires inconnues. La résolution des équations permettra de connaître la valeur de ces inconnues, spécialement des résistances supplémentaires à introduire dans les divers chantiers choisis pour obtenir le débit assigné dans le chantier dont on veut renforcer l'aérage.

Dans le cas de la mine schématisée à la figure 7 par exemple, on pourra, pour obtenir une élévation du débit dans le chantier 5, placer des portes régulatrices dans les chantiers 2 et 4, si toutefois ceux-ci sont surabondamment ventilés. On s'assignera le débit minimum  $q'_2$  sous lequel on ne peut descendre dans le chantier 2. D'autre part, on se donne le nouveau débit  $Q_5$  nécessaire dans le chantier 5. Si  $R'_2$  et  $R'_4$  sont les résistances supplémentaires respectives à introduire dans les chantiers 2 et 4, on écrira comme suit les équations de base, ramenées au nombre de trois, ainsi qu'il a été dit ci-avant :

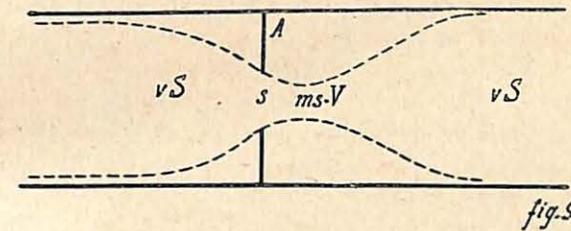
$$h = (R_1 + R_7)(q'_2 + q_4 + Q_5)^2 + R_2 q'_2{}^2 + R'_2$$

$$h = (R_1 + R_7)(q'_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R_4 q_4{}^2 + R'_4$$

$$h = (R_1 + R_7)(q'_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R_5 Q_5{}^2$$

Ces trois équations nous donneront les valeurs des trois inconnues  $q_4$ ,  $R'_2$  et  $R'_4$ .

Pour résoudre ces équations, nous avons supposé que la force aéromotrice totale restait inchangée dans le nouveau régime de ventilation. En réalité, tel n'est pas le cas. En raison de l'allure de la caractéristique débits-pressions du ventilateur, une diminution du débit global va donner lieu à une élévation de pression aéromotrice. Cette situation ne sera que plus favorable à l'augmentation de la charge motrice aux bornes générales des travaux du fond. Il passera donc, dans le chantier traité, un volume un peu supérieur au volume nécessaire que l'on s'est assigné. Dans les trois équations précédentes, il faudrait, pour tenir compte de l'influence de la caractéristique du ventilateur, remplacer la valeur  $h$  par une valeur  $h'$  plus grande que  $h$ , déterminée a priori par tâtonnement. Cette substitution entraînerait une légère augmentation de  $Q_5$ . On peut toutefois se dispenser de faire la correction, puisque la réalité est plus favorable que l'hypothèse de la constance de la force aéromotrice totale, hypothèse que l'on a admise pour établir les équations de base.



Nous croyons utile de rappeler ici comment on établit l'ouverture du guichet d'une porte régulatrice destinée à créer une perte de charge  $P$  déterminée. Si nous réduisons, à un endroit d'une galerie de section  $S$ , où la vitesse de l'air est  $v$ , la section à  $s$  à l'aide d'une porte à guichet  $A$  (fig. 9), il y aura striction des filets fluides jusqu'à une section  $ms < s$ , en aval de cette dernière. Le coefficient de striction  $m$  est généralement pris égal à 0,65. Dans la section  $ms$ , la vitesse de l'air est  $V$ . En aval de  $ms$ , la vitesse se rétablit à  $v$  dans la section  $S$ . On admet que la chute de pression en mm. d'eau provoquée par le guichet est :

$$P = \frac{(V-v)^2 \Delta}{2g}$$

$\Delta$  étant la densité de l'air à cet endroit et  $g$  l'accélération due à la pesanteur. En raison de la continuité de l'aérage, nous avons :  $vS = Vms$ , d'où  $V = vS/ms$ . Donc :

$$P = \frac{\frac{vS}{ms} - v)^2 \Delta}{2g}$$

ou

$$P = \frac{\Delta v^2}{2g} \left( \frac{S}{ms} - 1 \right)^2 \quad \text{ou} \quad P = \frac{\Delta v^2 S^2}{2g} \left( \frac{1}{ms} - \frac{1}{S} \right)^2$$

Si nous désignons le débit par  $q$ , nous avons  $q = vS$ . Donc :

$$P = \frac{\Delta q^2}{2g} \left( \frac{1}{ms} - \frac{1}{S} \right)^2$$

Cette formule nous permet de trouver l'ouverture  $s$  à donner au guichet pour créer une perte de charge supplémentaire  $P$  dont la valeur nous aura été donnée par la résolution des équations de base.

L'élévation du débit d'un chantier par placement de portes régulatrices dans des chantiers surabondamment ventilés est une solution simple, aisée et peu coûteuse. Cette solution n'est cependant susceptible que d'applications locales, dans certains cas spéciaux. En effet :

1°) Il faut disposer, dans le groupe de circuits associés, de chantiers à débits excessifs que l'on peut réduire sans inconvénient;

2°) Il faut que le chantier dont on veut élever le débit soit associé en parallèle avec un nombre réduit de chantiers. Généralement, en effet, le nombre de chantiers surventilés dont on veut réduire le débit par élévation de leur résistance est assez restreint. Si le groupe de chantiers en parallèle est important, une augmentation de la résistance de l'un ou de quelques-uns d'entre eux n'aura qu'une incidence réduite sur la résistance combinée du groupe. Cette dernière étant peu augmentée, il en sera de même de la résistance totale de la mine, constituée de la somme des résistances des collecteurs généraux et du groupe de travaux. Le débit global ne sera que faiblement diminué. Par conséquent, les pertes de charges dans les collecteurs ne seront que faiblement abaissées et le solde force aéromotrice disponible pour le groupe de travaux ne sera que peu majoré. Au contraire, si le groupe ne comprend que deux chantiers, l'un dont le débit doit être majoré et l'autre dont le débit peut être réduit, le placement d'une résistance supplémentaire dans ce dernier aura un effet important sur la résistance combinée du groupe, dans le sens d'une élévation appréciable de cette dernière. Il en résultera une diminution importante du débit global, une forte réduction des pertes de charges dans les collecteurs et une augmentation sensible du solde de charge motrice disponible aux bornes du groupe;

3°) Il faut que la résistance du chantier traité et le débit que l'on veut y faire passer n'aient pas une importance telle que les pertes de charges du chantier, ajoutées aux pertes de charges, même réduites à l'extrême, des circuits en série avec lui soient supérieures à la force aéromotrice totale dont on dispose. Dans l'exemple choisi antérieurement, il est évident que si, malgré la réduction à l'extrême des débits dans les chantiers 2 et 4, la somme des pertes de charges dans les circuits en série 1-3-5-6-7 :

$$(R_1 + R_7)(q'_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_4)(q_4 + Q_5)^2 + R_5 Q_5^2$$

est plus grande que la force aéromotrice  $h$ , la solution des portes régulatrices ne pourra être retenue.

Cette solution présentera un grand intérêt, vu sa facilité et son faible coût, lorsqu'on devra majorer d'une façon modérée le débit d'un chantier de résistance non excessive, le chantier faisant partie d'un groupe de quelques chantiers, en nombre restreint, dont l'un ou plusieurs peuvent voir, sans inconvénient, leur débit réduit.

#### d) Abaissement de la résistance du chantier traité.

Si l'on diminue la résistance du chantier dont on veut majorer le débit, on diminue par le fait même la résistance combinée du groupe des travaux du fond, avec lesquels le chantier envisagé est associé en série-parallèle. Il en résulte une diminution de la résistance totale de la mine constituée des circuits collecteurs associés en série avec le groupe des travaux du fond. Cette diminution de résistance de la mine entraîne une augmentation du débit global circulant dans les travaux. L'augmentation du débit profite ici directement et exclusivement au chantier dont on veut améliorer la ventilation, puisque l'action s'est portée sur les caractéristiques internes mêmes du circuit. L'augmentation du débit ne résulte pas, comme dans les cas précédents, d'une élévation de tension pneumatique à ses bornes, mais bien d'une diminution de sa résistance. Au contraire, il y a dans ce cas réduction de la tension motrice aux bornes générales du fond et aux bornes du chantier si celles-ci ne coïncident pas avec les premières. En effet, le débit global étant augmenté, il en est de même des pertes de charges dans les collecteurs. A supposer que la force aéromotrice totale soit constante, il y a donc réduction du solde de force aéromotrice disponible aux bornes générales du fond, ce solde étant la différence entre la force aéromotrice totale et la force aéromotrice, égale aux pertes de charges, absorbée par les collecteurs. Cette réduction de charge motrice aux bornes générales du fond est encore accentuée par le fait que la force aéromotrice totale, au lieu de rester inchangée, comme nous l'avons supposé, est diminuée par suite de l'élévation du débit global, ce en raison de l'allure de la caractéristique débits-pressions du ventilateur. Lorsqu'il y a abaissement considérable de la résistance du chantier traité, il peut y avoir élévation importante du débit global, si l'incidence de la résistance du dit chantier sur la résistance combinée du groupe de travaux associés est forte. Il peut y avoir, de ce fait, aux bornes générales du

fond, un abaissement de tension motrice tel que la tension motrice réduite ne suffit plus à faire passer dans les autres chantiers un débit suffisant. Il faut agir alors sur ces autres chantiers et l'on est amené au cas de majoration simultanée de débit dans plusieurs chantiers, cas que nous traiterons ci-après.

Pour trouver la valeur de la résistance nouvelle du chantier correspondant au passage d'un débit donné, on se servira des équations de base dont nous avons fait mention dans les cas précédents. S'il y a  $n$  circuits associés en série-parallèle, nous disposerons de  $n$  équations, fournies en partie par l'application de la loi d'équivalence de la force aéromotrice et des pertes de charges dans les différents itinéraires possibles entre les bornes générales de la mine et obtenues pour le reste en égalant le débit total aux débits partiels aux extrémités des collecteurs principaux et secondaires. Les inconnues, au nombre de  $(n-1)$ , seront les débits dans les divers circuits, sauf le chantier à traiter. La  $n^e$  inconnue sera la résistance nouvelle du dit chantier. Dans l'exemple que nous avons pris, schématisé à la figure 7, les équations, ramenées à trois, seront :

$$h = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + R_2 q_2^2$$

$$h = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R_4 q_4^2$$

$$h = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R'_5 Q_5^2$$

Les trois inconnues sont  $q_2$ ,  $q_4$  et  $R'_5$ . Le débit  $Q_5$ , qui était une inconnue dans les équations primitives, est ici une donnée fixe. La résistance  $R_5$ , qui était, au contraire, une donnée dans les équations primitives, devient une inconnue  $R'_5$ . Il faudra s'assigner un débit  $Q_5$  plus grand que le débit nécessaire, car la force aéromotrice réelle  $h$  qui devrait intervenir dans les équations ci-dessus est plus faible que la valeur analogue des équations primitives que l'on est forcé d'adopter dans les équations susindiquées. La résolution de ces dernières ayant fourni la valeur de  $R'_5$ , on pourra calculer la nouvelle résistance totale combinée de la mine et tracer la nouvelle parabole des pertes de charges de la mine en fonction du débit. Le point de rencontre de cette parabole avec la caractéristique débits-pressions du ventilateur fournira la valeur de la nouvelle charge aéromotrice. On résoudra une seconde fois les équations en adoptant cette nouvelle charge motrice et en prenant comme inconnues  $q_2$ ,  $q_4$  et  $q_5$ , la résistance du circuit 5 étant prise égale à  $R'_5$ . On vérifiera que le

débit  $q_5$  est plus grand ou égal au débit nécessaire à faire passer dans le chantier. On est donc forcé de procéder par approximation et par tâtonnement, en raison de l'absence d'explicitation algébrique de la fonction caractéristique débits-pressions du ventilateur.

L'obtention d'un débit donné dans un chantier par abaissement de la résistance de son circuit n'est pas toujours théoriquement possible. En effet, il faut tenir compte de la répercussion sur les autres chantiers; les débits de ces derniers peuvent ne plus être suffisants dans le nouveau régime de ventilation établi. En outre, si malgré une réduction à l'extrême de la résistance du chantier traité, le débit que l'on veut y faire passer a une importance telle qu'il y a élévation sensible du débit global de la mine, il pourra se faire que les pertes de charges du chantier, ajoutées aux pertes de charges des circuits en série avec lui, soient supérieures à la force aéromotrice totale dont on dispose. Dans ce cas, la solution envisagée ne sera pas théoriquement possible. Enfin, l'abaissement de la résistance du circuit traité à la valeur nécessaire pour obtenir le débit désiré ne sera pas, non plus, techniquement possible dans tous les cas. L'abaissement de résistance ne peut, en effet, être réalisé d'une façon sensible que par diminution de longueur du circuit ou par augmentation de la section dans celui-ci. Il n'est pas toujours possible d'agir sur la longueur du circuit. Quant à l'augmentation de section, il peut se faire également qu'un recarrage des galeries du circuit à une section maximum n'amène pas l'abaissement de la résistance à la valeur exigée par la majoration de débit souhaité. En outre, l'excès de résistance du circuit peut provenir des tailles elles-mêmes, dans des couches de faible ouverture. Dans ce cas, on ne pourra augmenter la section de passage du courant d'air qu'en laissant une plus grande distance entre les remblais et les fronts, si toutefois la qualité du toit et la nature grisouteuse de la mine le permettent. Ainsi qu'on le voit, il ne sera pas toujours techniquement possible de résoudre dans tous les cas le problème d'élévation du débit dans un chantier par abaissement de sa résistance. D'autre part, si cet abaissement de résistance ne peut être obtenu que par recarrage, ce qui est généralement le cas, la solution pourra entraîner des frais considérables si le circuit est long. Ces frais importants ne pourront être amortis que si l'exploitation du chantier doit durer longtemps.

e) *Placement d'un ventilateur auxiliaire dans le chantier traité.*

En introduisant, dans le circuit envisagé, un ventilateur auxiliaire, travaillant en série avec le ventilateur principal, on renforce la force aéromotrice affectée au circuit et, par là même, on élève son débit. Ce renforcement de force aéromotrice ne s'exprime pas par une augmentation de tension motrice primaire aux bornes du chantier ou aux bornes générales du groupe de circuits associés avec le chantier en cause. Le renforcement de charge motrice est affecté uniquement au circuit traité et seul son débit en profite. Au contraire, il y a réduction de tension pneumatique primaire aux bornes du chantier et aux bornes générales du groupe dont il fait partie. La raison en a été donnée lorsque nous avons traité le cas précédent : l'élévation du débit du chantier provoque une élévation du débit global. Cette dernière augmentation provoque une élévation des pertes de charges dans les circuits collecteurs et, partant, une diminution du solde de force aéromotrice disponible pour le groupe des travaux du fond, en série avec les premiers; cette diminution est accentuée par le fait que la charge aéromotrice totale est diminuée lors du passage d'un débit renforcé, en raison de l'allure de la caractéristique du ventilateur. Comme il est indiqué dans le cas précédent, la tension motrice réduite, aux bornes générales du groupe, à l'extrémité des collecteurs, peut n'être plus suffisante pour assurer le débit nécessaire dans certains chantiers de ce groupe. Il faudra alors agir sur plusieurs chantiers simultanément et non plus sur un seul.

Pour connaître la valeur de la charge motrice secondaire à introduire dans le chantier en cause, afin d'obtenir un débit déterminé, on se servira encore des équations de base dont il a été question ci-avant. Dans l'équation exprimant la loi d'équivalence de la force aéromotrice et des pertes de charges, appliquée à l'itinéraire comprenant le circuit traité, on ajoutera à la force aéromotrice primaire la force aéromotrice secondaire, considérée comme inconnue. Les autres inconnues seront les débits des circuits, sauf celui du circuit traité.

Dans l'exemple de la figure 7, les équations, ramenées à trois, seront :

$$h = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + R_2 q_2^2 \quad (1)$$

$$h = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R_4 q_4^2 \quad (2)$$

$$h + v = (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2 + R_5 Q_5^2 \quad (3)$$

$v$  est la force aéromotrice secondaire dont on cherche la valeur; les débits  $q_2$  et  $q_4$  sont les deux autres inconnues. Comme indiqué dans le cas précédent, il faudra, ici encore, s'assigner un débit  $Q_5$  plus grand que le débit nécessaire, pour tenir compte de la réduction de charge motrice totale  $h$  qui se produira lorsque le débit global sera augmenté.

Lorsqu'on introduit un ventilateur auxiliaire dans un circuit associé avec d'autres en parallèle ou en série-parallèle, il faut s'assurer qu'il ne peut pas se produire un renversement du courant d'air dans ces autres circuits. Cela se produirait si la valeur de la force aéromotrice auxiliaire était supérieure à la perte de charge du circuit dans lequel elle est introduite. En effet, dans l'exemple précédent, l'équation (3) nous montre que si  $v > R_5 Q_5^2$ , on a :

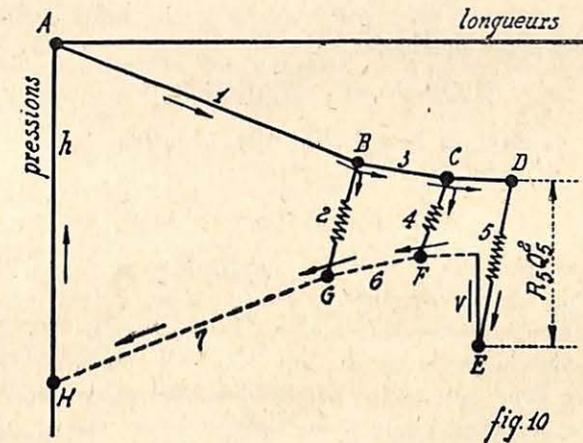
$$h < (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2$$

par conséquent, par l'équation (2), on voit que  $R_4 q_4^2$  est négatif. Le courant d'air est donc renversé dans le chantier 4, branché aux mêmes bornes que le chantier 5.

Au contraire, si  $v < R_5 Q_5^2$ , on a :

$$h > (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2$$

et partant,  $R_4 q_4^2$  est positif; donc le courant d'air est normal dans le chantier 4. Ces deux éventualités sont illustrées par les diagrammes des figures 10 et 11. Ces figures donnent les schémas des pressions



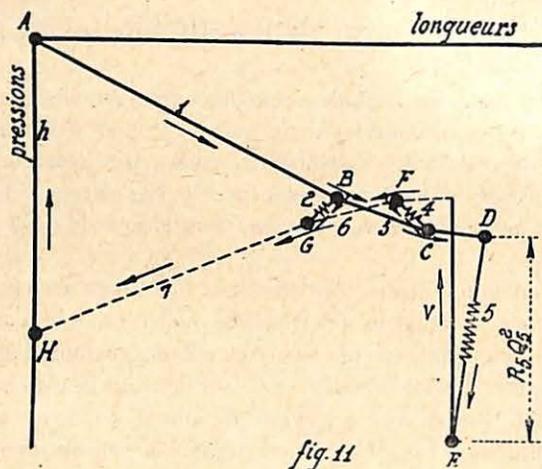


fig. 11

dans les circuits. Dans la figure 10, la force aéromotrice auxiliaire  $v$  est plus petite que  $R_5 Q_5^2$ . On voit que la borne C d'entrée, commune à 4 et 5, est à plus haute pression que la borne commune F de retour. Le courant d'air dans 4 circule dans le sens normal CF. Au contraire, dans la figure 11,  $v > R_5 Q_5^2$ . La borne commune de retour F est à plus forte pression que la borne commune d'entrée C. Dans le chantier 4, le courant d'air est renversé. Il circule dans le sens FC. Dans le cas de la figure 11, le courant d'air dans le chantier 2 circule dans le sens normal, la borne d'entrée B étant à plus forte pression que la borne de retour G. Le courant d'air dans ce chantier pourrait aussi être renversé si  $v$  était plus grand que la somme des pertes de charges :

$$R_5 Q_5^2 + (R_3 + R_6)(q_4 + Q_5)^2$$

le débit  $q_4$  étant ici négatif. En effet, l'équation (5) nous montre qu'alors, on aurait :

$$h < (R_1 + R_7)(q_2 + q_4 + Q_5)^2$$

et, de par l'équation (1), on voit que  $R_2 q_2^2$  serait négatif. Pour qu'il n'y ait pas de renversement de courant d'air, il faut donc que la force aéromotrice secondaire soit insuffisante à vaincre, à elle seule, la perte de charge du circuit dans lequel elle est insérée et qu'elle soit aidée dans cette tâche, par la force aéromotrice primaire. Si la résistance du circuit susdit et le débit qui lui est imposé étaient tels

que cette condition ne puisse être réalisée, il faudrait augmenter la force aéromotrice primaire jusqu'à ce que le but visé soit atteint. On serait amené à résoudre à nouveau les équations de base en adoptant, à priori, pour  $v$ , une valeur inférieure à  $R_5 Q_5^2$ , que l'on connaît, puisque  $R_5$  est connu et que l'on s'impose  $Q_5$ . La force aéromotrice primaire  $h$  serait une inconnue, qui remplacerait  $v$ . La résolution des trois équations donnerait la valeur  $h$ ,  $q_2$  et  $q_4$ . Si  $q_2$  et  $q_4$  s'avéraient insuffisants, il faudrait agir simultanément sur plusieurs chantiers, cas qui sera traité ultérieurement.

L'insertion d'un ventilateur auxiliaire dans un chantier déficient pour en augmenter le débit est une solution remarquablement souple. Elle est toujours possible analytiquement. Pratiquement, le recours exclusif à cette solution est limité par l'obligation de conserver un aérage de sens normal dans les autres chantiers. Toutefois, il est rare que l'on soit exposé à un renversement du courant d'air dans les cas d'action sur un seul chantier, car le débit de celui-ci est généralement faible par rapport au débit global et son augmentation n'entraîne pas, la plupart du temps, des modifications importantes dans le régime général de ventilation préexistant. Les immobilisations nécessaires sont relativement faibles, surtout depuis la réalisation pratique des ventilateurs hélicoïdes. Si les deux solutions : recarrage du circuit déficient ou insertion d'un ventilateur auxiliaire, sont techniquement possibles, on se basera, pour faire un choix, sur les frais par tonne restant à extraire occasionnés par chacune des méthodes, en tenant compte de la cadence du déhouillement, qui influence particulièrement les frais de consommation du ventilateur secondaire. Si le circuit est long et le tonnage restant à extraire d'importance moyenne, la balance penchera généralement en faveur de la solution ayant recours à un ventilateur auxiliaire.

## 2. — MAJORATION DU DEBIT DANS PLUSIEURS CHANTIERES.

Nous avons vu que divers moyens peuvent être employés pour agir sur le débit d'air des chantiers :

1°) par action extérieure aux chantiers en cause, en élevant la tension pneumatique à leurs bornes.

Cette élévation peut être obtenue :

a) en renforçant la force aéromotrice primaire du ventilateur;

b) en diminuant la résistance des circuits collecteurs : puits ou bouveraux principaux d'entrée et de retour d'air;

c) en plaçant des portes régulatrices à guichet dans les circuits des chantiers surventilés;

2°) par action directe sur les chantiers en cause :

a) en diminuant la résistance de leur circuit propre;

b) en insérant dans leur circuit une force aéromotrice auxiliaire, en série avec la force aéromotrice primaire.

Lorsqu'on a à majorer les débits d'un certain nombre de chantiers, il est impossible d'obtenir un résultat précis en n'ayant recours qu'à un seul des trois modes d'action extérieurs aux chantiers, à l'exclusion des autres. Les considérations ci-après permettent de s'en convaincre.

#### 1°) *Élévation de la force aéromotrice primaire du ventilateur.*

Nous avons vu que les équations de répartition des débits sont de la forme  $h = \Sigma Rq^2$  et  $Q = \Sigma q$ . Les premières expriment l'équivalence de la force aéromotrice primaire et des pertes de charges totales dans les différents cheminements que l'on peut réaliser depuis l'orifice du puits d'entrée d'air jusqu'à l'amont du ventilateur de surface, en passant successivement par les divers chantiers, branchés en parallèle sur les collecteurs principaux ou secondaires. Les deuxièmes expriment l'égalité du débit total aux débits partiels à chaque dérivation d'entrée ou de retour. Pour une force aéromotrice donnée et des résistances connues des circuits, ces équations donnent la valeur du débit dans chacun des circuits. S'il y a  $n$  circuits, nous aurons  $n$  équations à  $n$  inconnues constituées par les débits. Si nous nous imposons des débits dans  $k$  circuits, nous n'avons plus que  $n-k$  inconnues avec, toujours,  $n$  équations. En considérant comme variable la force aéromotrice primaire sur laquelle nous nous proposons d'agir, nous n'avons malgré tout que  $(n-k+1)$  inconnues pour  $n$  équations; nous ne pouvons donc obtenir un débit assigné dans plusieurs chantiers en agissant uniquement sur la force aéromotrice primaire. On ne pourra, par ce moyen, s'imposer qu'un seul débit, lequel, devenant une donnée fixe, sera remplacé, comme inconnue, par la force aéromotrice primaire. Tous les autres débits devront rester des variables. Ils seront majorés dans le rapport du débit nouveau au débit primitif du chantier pour lequel on se sera assigné ce débit nouveau. En effet, on sait que si une force aéromotrice  $h$  provoque des débits, partiels ou total,  $q_1, q_2, q_3, \text{ etc.}$ , l'élévation

de la force aéromotrice de  $h$  à  $H$  donnera des débits nouveaux  $Q_1, Q_2, Q_3, \text{ etc.}$  tels que :

$$\frac{Q_1}{q_1} = \frac{Q_2}{q_2} = \frac{Q_3}{q_3} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

Si l'on voulait renforcer le débit de plusieurs chantiers en agissant uniquement sur la force aéromotrice primaire, on établirait d'abord, pour les différents chantiers, le rapport  $Q/q$  des débits désirés aux débits anciens. On prendrait le rapport  $(Q/q)$  max. qui a la valeur la plus élevée et on obtiendrait la nouvelle force aéromotrice  $H$  nécessaire en résolvant l'équation :

$$\left(\frac{Q}{q}\right)_{\text{max.}} = \sqrt{\frac{H}{h}}$$

Tous les débits seraient, avec cette nouvelle force aéromotrice, majorés dans le rapport  $(Q/q)$  max. Comme la majoration désirée des débits dans les autres chantiers où l'on veut renforcer l'aéragé est en raison du choix que l'on a fait du rapport  $(Q/q)$  max. pour établir  $H$ , moins importante que dans le chantier relatif à ce rapport  $(Q/q)$  max., on aurait ainsi une solution par excès. Dans tous les chantiers où l'on désirait majorer le débit, on aurait, à l'exception d'un seul, des courants d'air plus intenses qu'il n'est nécessaire. En outre, les débits seraient aussi augmentés dans les chantiers où l'on ne désirait pas intervenir, parce que les courants d'air en étaient suffisants. Enfin, les fuites par les clapets du puits de retour et par les communications entre puits seraient également augmentées, puisqu'elles empruntent des circuits qui sont soumis aux mêmes lois que celles qui régissent les circuits utiles.

On conçoit ainsi combien peut être coûteuse la solution approximative du problème de majoration des débits dans plusieurs chantiers, obtenue uniquement par action sur la force aéromotrice primaire. Le débit total auquel on serait astreint serait de beaucoup supérieur à celui nécessité par la majoration souhaitée des quelques débits partiels et la puissance utile dépensée serait considérablement excessive, puisque la dite puissance est proportionnelle au cube du débit total engendré. Cette solution ne pourrait être envisagée que dans des cas tout à fait particuliers, par exemple lorsque tous les débits de la mine sont insuffisants et qu'ils doivent être majorés sensiblement dans

la même proportion. Encore, dans ce cas, le plus favorable, y aurait-il excès de puissance dépensée par suite de l'augmentation des fuites.

2°) *Abaissement de la résistance des circuits collecteurs.*

Ce mode d'action ne pourrait, non plus, apporter une solution exacte au problème, et ce pour la raison exposée ci-avant à propos d'une élévation de la force aéromotrice primaire. Les résistances additionnées des collecteurs, devenant une variable, ne fourniraient qu'une seule inconnue. On ne pourrait donc s'imposer, comme donnée fixe, qu'un seul débit de chantier. Les débits de tous les autres circuits resteraient des variables, auxquelles la résolution des équations de répartition donnerait une valeur, ainsi qu'à la résistance cumulée des collecteurs. Ce n'est que dans des cas tout à fait exceptionnels que les valeurs ainsi obtenues pour les chantiers dont on veut modifier les courants d'air correspondraient aux débits imposés à priori. Pour le surplus, si l'on doit majorer les débits d'une façon sensible dans plusieurs chantiers, il est infiniment peu probable qu'un simple abaissement de la résistance des collecteurs puisse diminuer la résistance totale de l'ensemble de la mine au point de permettre le passage d'un débit global fortement augmenté par rapport au débit ancien.

3°) *Placement de portes régulatrices dans des chantiers surventilés.*

Nous avons vu que cette solution n'était susceptible que d'applications locales. Si l'ensemble des majorations des débits partiels dans les chantiers sous-ventilés dépasse le total des réductions que l'on peut opérer dans les chantiers surventilés, et ce sera presque toujours le cas lorsqu'on devra élever le débit de plusieurs chantiers, on ne pourra résoudre le problème par ce moyen. L'insertion de portes régulatrices a, en effet, pour résultat d'augmenter la résistance totale de la mine et, par conséquent, de diminuer le débit global circulant à travers celle-ci, alors que ce débit devrait être augmenté. Même si l'ensemble des réductions possibles dépasse le total des majorations souhaitées, on ne pourra espérer obtenir une solution exacte que si le nombre des chantiers surventilés est égal au nombre des chantiers dont on veut renforcer le courant d'air et pour lesquels on s'impose un débit donné. En effet, ces débits, cessant d'être des variables dans les équations de répartition, sont remplacés alors, comme inconnues, dans les dites équations par un nombre égal de résistances supplémentaires, matérialisées par les portes régulatrices des chantiers

surventilés. Encore, dans ce cas spécial, faudra-t-il que les débits de ces derniers chantiers, constituant des inconnues auxquelles la résolution des équations fournira une valeur, ne soient pas excessivement abaissés au point d'être insuffisants.

On voit, par ce qui précède, qu'il est impossible d'obtenir une solution exacte du problème de majoration des débits dans plusieurs chantiers en n'utilisant que des modes d'action extérieurs aux chantiers en cause. Même, dans la plupart des cas, une solution approchée ne sera pas possible, si l'on a recours aux deux derniers modes envisagés, pour peu que le total des majorations désirées soit important.

Si l'on envisage maintenant les modes d'action directe sur les circuits des chantiers dont on veut renforcer les débits, il arrivera qu'en abaissant la résistance de ces circuits, on pourra théoriquement obtenir le résultat désiré. En effet, les débits imposés des chantiers traités cessant d'être des variables dans les équations de répartition, seront remplacés par un nombre égal d'inconnues, constituées par les nouvelles résistances cherchées pour les circuits en cause. Toutefois, si la modification d'aérage se traduit par une élévation sensible du débit global, il pourra se faire que, même en réduisant à l'extrême la résistance des chantiers traités, les pertes de charges, occasionnées par le passage d'un débit important dans les collecteurs, seront supérieures à la force aéromotrice totale dont on dispose. Dans ce cas, évidemment, la solution par abaissement de résistance des chantiers dont le courant d'air doit être renforcé ne sera pas possible.

Il n'en sera pas de même si l'on a recours au placement de ventilateurs hélicoïdes auxiliaires dans les circuits déficients. La solution sera toujours théoriquement possible, réserve faite quant aux renversements éventuels d'aérage dans certains chantiers. On introduira, dans les équations d'équivalence des chantiers à traiter, une force aéromotrice auxiliaire. Ces forces aéromotrices auxiliaires constitueront des inconnues, remplaçant comme variables les débits imposés dans ces chantiers, débits devenus des données fixes dans les équations.

Les équations de répartition seront de la forme :

$$h = (R_e + R_r) Q^2 + \sum R_t q^2 \pm R$$

$$Q = \sum q$$

$h$  : force aéromotrice primaire;  $R_e$  et  $R_r$  sont les résistances des

collecteurs d'entrée et de retour;  $Q$  : débit total;  $q$  : débit d'un circuit;  $R_t$  : résistance d'un circuit;  $+R$  : résistance supplémentaire provoquée par une porte régulatrice (uniquement dans les chantiers surventilés);  $-R$  : force aéromotrice auxiliaire à insérer dans les circuits des chantiers déficients en aérage. Les débits  $q$  seront des données fixes imposées dans les chantiers dont on veut majorer les débits et dans ceux pour lesquels on peut opérer une réduction du courant d'air. Les inconnues seront : les débits libres, dans les chantiers où l'on ne veut opérer ni majoration ni réduction; les résistances  $R_t$  des circuits à majorer où l'on décide d'agir par abaissement de la résistance; les résistances supplémentaires  $+R$  dans les circuits primitivement surventilés, et enfin les forces aéromotrices auxiliaires  $-R$  dans les circuits à majorer où l'on a décidé d'insérer un supplément de force aéromotrice.

La résolution des équations ne sera pas toujours chose aisée, si le nombre de circuits associés est considérable. On devra bien souvent procéder par approximation préalable et par tâtonnement, d'autant plus que, dans les chantiers à débit libre, la modification générale de la répartition de l'aérage peut amener des perturbations profondes et occasionner une insuffisance de ventilation. En effet, nous avons vu que l'action directe sur les chantiers dont la ventilation doit être renforcée se traduit par une diminution de potentiel pneumatique aux différentes bornes de branchement des circuits. Il en résultera, dans les circuits libres, une diminution de débit qui peut être excessive. On devra alors reprendre la question et voir s'il n'y a pas lieu de supprimer, dans certains circuits primitivement surventilés, les résistances supplémentaires prévues dans le nouveau régime de ventilation ou d'élever, dans une certaine mesure, la force aéromotrice primaire si un certain nombre de chantiers voient leur ventilation devenue déficiente.

Il faudra aussi prévoir qu'en raison de la forme de la caractéristique débits-pressions du ventilateur primaire, une variation du débit global amènera une modification correspondante de la valeur de la force aéromotrice primaire et corriger, ainsi que nous l'avons exposé antérieurement, par tâtonnement, les répercussions sur les débits trouvés de cette variation de force aéromotrice.

Enfin, il faudra veiller à ce qu'il n'y ait pas de renversement du courant d'air dans certains chantiers, si l'on a recours à l'insertion de ventilateurs hélicoïdes auxiliaires dans d'autres chantiers. Nous savons

que, pour qu'il n'en soit pas ainsi, il faut que la force aéromotrice auxiliaire soit inférieure aux pertes de charges du circuit dans lequel elle est insérée. Si tel n'était pas le cas, il faudrait envisager le relèvement de la force aéromotrice primaire, afin de permettre à cette dernière de compenser une partie des pertes de charges du circuit proprement dit dans lequel est insérée la force aéromotrice auxiliaire. On donnerait alors, à cette force aéromotrice auxiliaire, a priori, une valeur inférieure aux pertes de charges du circuit, lesquelles sont connues, puisque la résistance est connue et que l'on s'impose un débit donné. La force aéromotrice primaire remplacerait ainsi, comme variable, dans les équations de répartition, la force aéromotrice secondaire, devenue une donnée fixe.

Le placement de ventilateurs auxiliaires dans certains chantiers posera également le problème du couplage de ces ventilateurs entre eux et avec le ventilateur superficiel, de façon à obtenir un régime de ventilation stable.

Le remaniement profond de la ventilation d'une mine est, on le voit, une question très complexe. On conçoit que, dans le présent exposé, nous devions nous en tenir à des indications générales. Les détails ne peuvent être mis en lumière qu'en traitant des cas d'application concrets. Néanmoins, quelque complexe qu'il soit, le problème peut toujours être résolu, grâce aux connaissances que nous possédons actuellement des lois qui régissent l'aérage des circuits souterrains. L'introduction des ventilateurs hélicoïdes dans la technique minière a permis d'alléger singulièrement les difficultés de réalisation pratique des problèmes posés dans ce domaine. On peut dire que, dans l'état présent de nos connaissances, il est toujours possible, moyennant un examen et une étude approfondis, de répartir les courants d'air dans les travaux souterrains suivant les nécessités imposées par un programme d'exploitation déterminé et compte tenu du caractère grisouteux des couches, au lieu de subordonner le programme d'exploitation aux caprices d'une ventilation, établie une fois pour toute lors de la mise en service du siège. En d'autres termes, on peut maintenant asservir l'aérage à l'exploitation au lieu de régler cette dernière d'après la ventilation disponible. L'importance économique de ce fait, conjuguée à son importance quant à la sécurité et à la salubrité du travail, mérite de retenir l'attention des exploitants des mines et de leur faire considérer les problèmes de répartition de ventilation

d'un point de vue pratique et autrement que sous l'angle habituel d'une spéculation purement théorique.

#### IV. — Deux cas d'application pratiques.

##### 1. — Exemple de majoration de débit dans un seul chantier.

Deux chantiers, I et II (voir schéma fig. 12), en parallèle, sont branchés sur des boueaux collecteurs d'entrée  $e$  et de retour  $r$ . Les lettres  $h$ ,  $q$ ,  $R$  désignent respectivement les forces aéromotrices, les

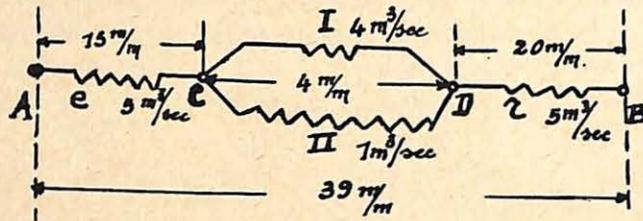


fig 12

débits et les résistances des circuits. Les indices  $e$ ,  $r$ ,  $I$ ,  $II$  sont relatifs respectivement aux circuits d'entrée, de retour, aux travaux proprement dits (association de I et II), au chantier I et au chantier II. Les caractéristiques des divers circuits sont les suivantes :

$$h_e = 15 \text{ mm. d'eau}; \quad q_e = 5 \text{ m}^3/\text{sec.}; \quad h_t = 4 \text{ mm. d'eau};$$

$$q_1 = 4 \text{ m}^3/\text{sec.}; \quad q_{11} = 1 \text{ m}^3/\text{sec.}; \quad h_r = 20 \text{ mm. d'eau};$$

$$q_r = 5 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$R_e = \frac{h_e}{q_e^2} = \frac{15}{5^2} = 0,6 \text{ kilomorgue}$$

$$R_r = \frac{h_r}{q_r^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ kilomorgue}$$

$$R_1 = \frac{h_1}{q_1^2} = \frac{4}{4^2} = 0,25 \text{ kilomorgue}$$

$$R_{11} = \frac{h_{11}}{q_{11}^2} = \frac{4}{1^2} = 4 \text{ kilomorgues}$$

Il est nécessaire de doubler le débit du chantier II : on doit y faire passer  $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$  au lieu de  $1 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Par contre, le débit du chantier I peut être diminué de moitié sans inconvénient.

Etant donné la faible incidence du quartier d'exploitation envisagé sur l'ensemble de la mine on peut admettre, sans grand risque d'erreur grave, que des modifications d'aérage apportées à ce quartier n'auront qu'une influence négligeable sur les conditions de ventilation du reste de la mine. Les bornes A et B du quartier pourront donc être considérées comme étant à potentiel pneumatique constant.

Les équations de répartition sont ici au nombre de quatre, étant donné que nous avons 4 circuits : AC, CID, CIID, DB. Elles s'établiront comme suit :

$$h = R_e q_e^2 + R_1 q_1^2 + R_r q_r^2$$

$$h = R_e q_e^2 + R_{11} q_{11}^2 + R_r q_r^2$$

$$q_e = q_1 + q_{11}$$

$$q_r = q_1 + q_{11}$$

Ces 4 équations peuvent se ramener à deux, puisque :

$$q_e = q_r = q_1 + q_{11}$$

$$h = (R_e + R_r)(q_1 + q_{11})^2 + R_1 q_1^2 \quad (1)$$

$$h = (R_e + R_r)(q_1 + q_{11})^2 + R_{11} q_{11}^2 \quad (2)$$

Le résultat attendu peut être obtenu par les 5 moyens que nous avons exposés antérieurement.

#### A. — Moyens extérieurs au chantier.

##### 1°) élévation de la force aéromotrice totale du quartier.

Dans les équations I et II, les inconnues seront, dans ce cas,  $h$  et  $q_1$ .  $q_{11}$  est imposé et doit être égal à  $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Les équations s'écrivent :

$$h = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 0,25 q_1^2$$

$$h = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 4 \times 2^2$$

On trouve :

$$q_1 = 8 \text{ m}^3/\text{sec.} \quad \text{et} \quad h = 156 \text{ mm. d'eau}$$

Le travail utile ancien :

$$q_r \times h = 5 \times 39 = 195 \text{ kgm.}$$

Le travail utile nouveau est :

$$(8+2) 156 = 1560 \text{ kgm.}$$

Il est 8 fois plus grand que l'ancien, pour obtenir simplement une élévation utile de débit de  $1 \text{ m}^3/\text{sec.}$  à  $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans II. L'élévation du débit de  $4 \text{ m}^3/\text{sec.}$  à  $8 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans I est inutile et même nuisible.

On voit que ce moyen ne pourrait être retenu dans le cas présent.

Remarquons qu'on aurait eu la solution immédiate, sans passer par les équations, en faisant la proportion  $Q_1/q_1 = \sqrt{H/h}$ , soit  $2/1 = \sqrt{H/39}$ . D'où  $H = 156 \text{ mm. d'eau}$ . Les débits sont doublés, les forces aéromotrices sont quadruplées et les puissances utiles multipliées par 8.

2°) Abaissement de la résistance des collecteurs.

Dans les équations (1) et (2), les inconnues sont cette fois  $(R_e + R_r)$  et  $q_1$ . Les équations s'écrivent :

$$39 = (R_e + R_r)(2 + q_1)^2 + 0,25 q_1^2$$

$$39 = (R_e + R_r)(2 + q_1)^2 + 4 \times 2^2$$

On trouve :

$$q_1 = 8 \text{ m}^3/\text{sec.} \quad \text{et} \quad R_e + R_r = 0,25 \text{ kilomurgue}$$

La résistance globale ancienne des collecteurs était de  $0,6 + 0,8 = 1,4$  kilomurgue. Le rapport des résistances nouvelles aux résistances primitives est  $0,25/1,4 = 0,164$ . Si l'on voulait obtenir l'abaissement de résistance souhaité par un recarrage général des collecteurs, il faudrait recarrer la section  $S$  à une section  $S'$  telle que  $(S/S')^3 = 0,164$  ou  $S/S' = 0,55$  ou  $S' = 1,8 S$ . Il faudrait presque doubler la section sur toute la longueur des collecteurs. On voit que la solution n'est pas économiquement possible, d'autant plus que le débit dans I est augmenté sans utilité.

On pouvait trouver la solution théorique sans passer par les équations de la façon suivante. Pour faire passer  $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans le chan-

tier II, de résistance égale à 4 kilomurgues, il faut une force aéromotrice de  $4 \times 2^2 = 16 \text{ mm. d'eau}$ . Avec 16 mm. d'eau aux bômes communes de I et II, il passe dans I, dont la résistance est de 0,25 kilomurgue,  $\sqrt{16/0,25} = 8 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Le débit global est de  $8 + 2 = 10 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Sur les 39 mm. de force aéromotrice totale, 16 mm. sont absorbés par les pertes de charges des travaux. Il reste  $39 - 16 = 23 \text{ mm.}$  disponibles pour faire passer  $10 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans les collecteurs. La résistance globale de ceux-ci doit donc être égale à  $23/10^2 = 0,23$  kilomurgue. Cette façon de procéder est moins systématique que celle qui a recours à la résolution des équations de base et qui peut être utilisée dans tous les cas et quels que soient les facteurs sur lesquels on agisse.

La puissance utile nouvelle serait de  $39 \times 10 = 390 \text{ kgm.}$ , contre 195 kgm. primitivement. De ce fait, la solution serait onéreuse, indépendamment de l'autre cause de coût excessif indiqué ci-avant.

3°) Augmentation de la résistance du chantier I.

En plaçant des portes régulatrices dans le chantier I, on augmentera la résistance de l'ensemble du quartier; on diminuera le débit total qui y circule; on réduira ainsi les pertes de charges des collecteurs, qui absorberont moins de force aéromotrice et qui laisseront de ce fait, pour les travaux, un solde plus important de force aéromotrice.

Dans l'équation I d'équivalence du circuit  $elr$ , il faudra introduire une résistance supplémentaire  $R$  qui sera l'une des variables. L'autre variable sera le débit nouveau  $q_1$ . Les équations s'écrivent :

$$39 = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 0,25 q_1^2 + R$$

$$39 = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 4 \times 2^2$$

On trouve :

$$R = 15 \text{ mm.} \quad \text{et} \quad q_1 = 2 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Pour créer cette résistance supplémentaire de 15 mm., il faudra placer dans le circuit I une porte régulatrice à guichet. L'ouverture à donner au guichet sera déterminée par la formule indiquée précédemment. Cette formule est :

$$R = \frac{\Delta q_1^2}{2g} \left( \frac{1}{ms} - \frac{1}{S} \right)^2$$

Si la section de la galerie est  $S = 2 \text{ m}^2$ , en prenant la densité de l'air  $\Delta = 1,2$ , on aura :

$$15 = \frac{1,2 \times 2^{-2}}{2 \times 9,81} \left( \frac{1}{0,65 \times s} - \frac{1}{2} \right)^2$$

On en tire  $s = 0,18 \text{ m}^2$ . On découpera donc, dans la porte, une ouverture de  $0,18 \text{ m}^2$ , soit, par exemple, un rectangle de  $0,60 \text{ m}$ . de largeur sur  $0,30 \text{ m}$ . de hauteur.

On pouvait obtenir, par déduction, la valeur de la résistance supplémentaire à introduire dans le circuit I pour obtenir un débit de  $2 \text{ m}^3$  dans le circuit II, et ce en raisonnant comme suit. Pour faire passer  $2 \text{ m}^3$  dans le circuit II, de résistance égale à 4 kilomurgues, il faut une force aéromotrice aux bornes des chantiers égale à  $4 \times 2^{-2} = 16 \text{ mm}$ . La force aéromotrice totale étant constante et égale à 39 mm., il reste 23 mm. pour faire passer, dans les collecteurs, de résistance totale égale à 1,4 kilomurgue, le débit global des chantiers I et II. Ce débit global doit être égal à  $\sqrt{23/1,4} = 4 \text{ m}^3/\text{sec}$ . environ. Le chantier II devant absorber  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ ., il reste, pour le chantier I, un débit de  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Dans ce circuit de 0,25 kilomurgue de résistance, le passage de  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ . occasionne une perte de charge de  $0,25 \times 2^{-2} = 1 \text{ mm}$ . d'eau. La force aéromotrice aux bornes communes des chantiers étant 16 mm., il faut insérer, dans le circuit I, une résistance supplémentaire de  $16 - 1 = 15 \text{ mm}$ . d'eau.

La puissance utile nouvelle est  $39 \times 4 = 156 \text{ kgm}$ ., contre 195 kgm. antérieurement.

On voit que, dans le cas exposé, le placement d'une porte régulatrice dans le chantier surventilé constitue une solution simple, aisée et économique.

#### B. — Modes d'action directe sur le chantier.

##### 1°) Diminution de la résistance du chantier II.

Les inconnues, dans les équations de répartition (1) et (2), seront, cette fois,  $R_{11}$  et  $q_1$ . Ces équations s'écrivent :

$$39 = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 0,25 q_1^2$$

$$39 = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + R_{11} \times 2^{-2}$$

De la première, on tire  $q_1 = 3,15 \text{ m}^3/\text{sec}$ . De la seconde,  $R_{11} = 0,62 \text{ kilomurgue}$ . Le rapport des résistances est  $0,62/4 = 0,155$ . Si

l'on agit par recarrage du circuit II, on devra élever la section S de ce circuit à S' de telle façon que  $(S/S')^3 = 0,155$  ou  $S/S' = 0,53$ . Il faut donc doubler à peu près la section, sur toute la longueur du circuit.

La nouvelle puissance utile est  $39(2 + 3,15) = 200 \text{ kgm}$ ., contre 195 kgm. antérieurement. Il n'y a donc pas d'élévation des dépenses permanentes pour force motrice.

Comparée à la solution précédente, cette solution présente l'avantage de faire passer  $3,15 \text{ m}^3/\text{sec}$ . au lieu de  $2 \text{ m}^3$  dans le chantier I. Par contre, elle nécessite un recarrage coûteux du circuit II sur toute sa longueur.

Remarquons, ainsi que nous l'avons dit dans l'exposé général, que ce mode d'action propre au circuit traité provoque un abaissement de la force aéromotrice aux bornes communes des chantiers. Elle est de  $3,15^2 \times 0,25 = 2,48 \text{ mm}$ . ou  $0,62 \times 2^{-2} = 2,48 \text{ mm}$ ., au lieu de 4 mm. primitivement.

##### 2°) Insertion d'une force aéromotrice auxiliaire dans le circuit II.

Dans l'équation (2) d'équivalence relative au circuit II, il faudra introduire une force aéromotrice auxiliaire  $v$ , qui constituera l'une des inconnues, l'autre étant le débit  $q_1$  du chantier I. Les équations s'écrivent :

$$39 = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 0,25 q_1^2$$

$$39 + v = (0,6 + 0,8)(2 + q_1)^2 + 4 \times 2^{-2}$$

On en tire :

$$q_1 = 3,15 \text{ m}^3/\text{sec}. \text{ et } v = 13,52 \text{ mm. d'eau}$$

Sous cette charge, le ventilateur hélicoïde auxiliaire devra débiter  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Il n'y aura pas renversement du courant d'air dans le circuit I, car la force aéromotrice  $v = 13,52 \text{ mm}$ . d'eau est inférieure à la perte de charge totale du circuit 2, qui est égale à  $2^{-2} \times 4 = 16 \text{ mm}$ . d'eau. La différence de potentiel aux bornes communes des deux chantiers est de  $16 - 13,52 = 2,48 \text{ mm}$ . Antérieurement, elle était de 4 mm. Il y a donc eu abaissement de la force aéromotrice aux bornes des chantiers, pour les raisons que nous avons indiquées dans l'exposé général.

La nouvelle puissance utile est :

$$(2+3,15) \times 39 + 15,52 \times 2 = 227 \text{ kgm.}$$

contre 195 kgm. antérieurement.

Comparée au mode d'action par placement d'un régulateur dans I, l'insertion d'une force aéromotrice auxiliaire présente l'avantage de faire passer, dans ce dernier circuit, un courant d'air de  $3,15 \text{ m}^3/\text{sec.}$  au lieu de  $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Par contre, elle entraîne des frais d'immobilisation pour installation du ventilateur hélicoïde et des dépenses supplémentaires permanentes pour consommation de force motrice. La comparaison des modes d'action par recarrage du circuit II et par insertion d'une force aéromotrice auxiliaire dans ce circuit permet d'entériner les mêmes résultats quant aux débits obtenus dans les chantiers. D'une part, la première de ces méthodes donne lieu à des frais de recarrage importants; d'autre part, la deuxième entraîne des dépenses d'immobilisation et de consommation supplémentaires.

Dans l'exemple choisi, le recours au placement d'une porte régulatrice dans le chantier I, surventilé, apparaît comme la solution la plus simple et la plus économique, attendu que le nouveau débit obtenu pour le chantier I s'avère encore suffisant. Si tel n'eût pas été le cas, il aurait fallu choisir entre le recarrage du circuit II ou le placement, dans celui-ci, d'une force aéromotrice auxiliaire. La balance des frais supplémentaires à consentir pour chacune de ces solutions aurait guidé dans le choix à faire. Le circuit II étant très long et la durée du chantier correspondant étant relativement limitée, il ne fait aucun doute que la comparaison des frais occasionnés par chacune des deux solutions aurait été nettement favorable à celle utilisant un ventilateur hélicoïde auxiliaire.

## 2. — Modification générale de la ventilation d'une mine.

La disposition générale des circuits de la mine est indiquée à la figure 13. Les circuits 1, 3, 5, 6 comprennent des chantiers. Les circuits 2, 4, 7, 8 sont des collecteurs secondaires. Les circuits e et r sont les collecteurs principaux, constitués par les puits.

Le régime de ventilation, caractérisé par les cubes d'air circulant dans chaque circuit et par les potentiels pneumatiques à leurs bornes, est donné au schéma de la figure 14. Les débits, en  $\text{m}^3/\text{sec.}$ , sont les nombres entre parenthèses. En raison de l'importance relativement faible des fuites entre puits par les communications et pour simplifier

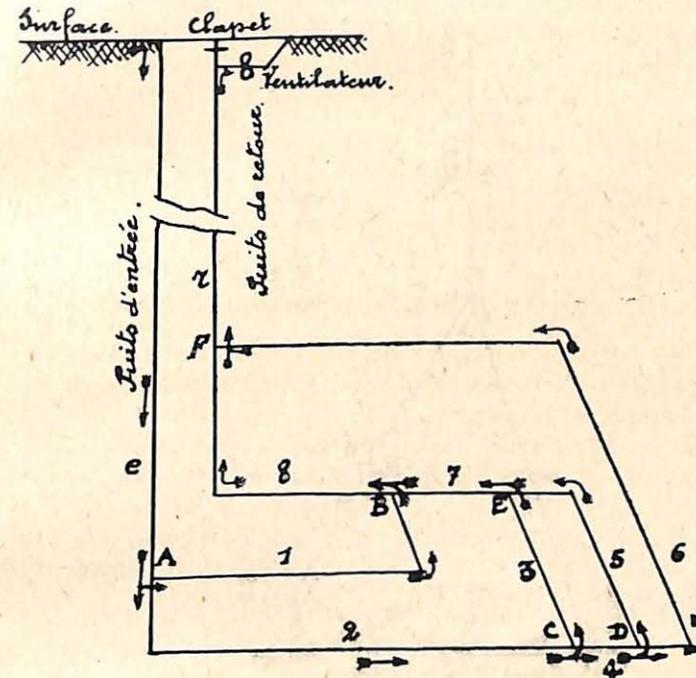
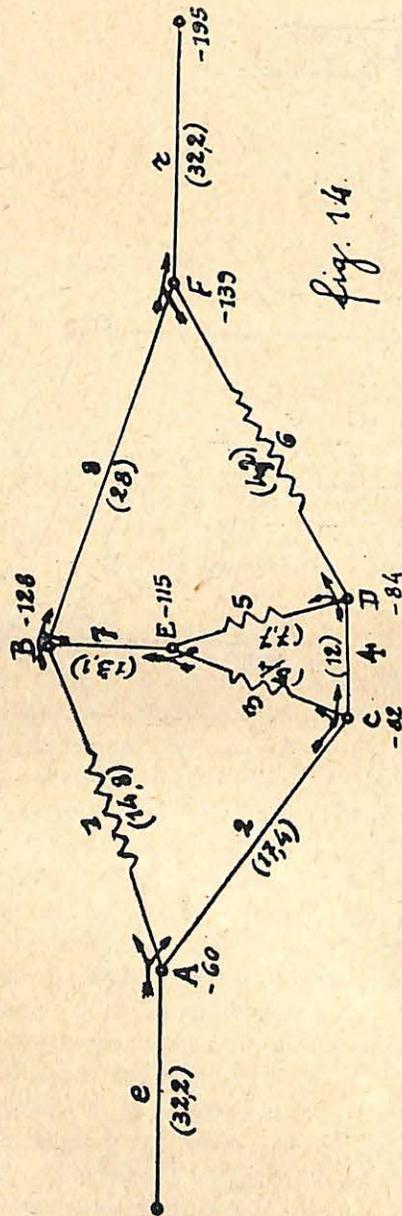


fig 13

le problème, nous avons négligé ces fuites. Les cubes indiqués comme circulant dans les puits sont donc les cubes utiles. Par contre, les pressions aux bornes A et F au fond des puits sont les pressions exactes. Le débit réel circulant dans les puits étant légèrement supérieur au débit utile que nous prendrons pour calculer la résistance des dits puits, il en résultera que nous adopterons pour ces résistances des valeurs un peu supérieures à la réalité, puisque  $R = h/q^2$  et que le débit  $q$  adopté pour le calcul est un peu inférieur à la réalité. Cette légère erreur, par excès, ne sera que plus favorable au nouveau régime de ventilation à établir, puisqu'ainsi, le cube d'air global qui circulera dans les travaux sera un peu supérieur au débit imposé dans les calculs.

Le débit jaugé au ventilateur est de  $53 \text{ m}^3/\text{sec.}$  Le débit total du fond étant  $32 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , il y a  $21 \text{ m}^3/\text{sec.}$  de fuites par les clapets.

On désire une augmentation de la production du siège. Celle-ci doit passer de 600 à 750 tonnes. Elle peut être obtenue par une modification de l'extraction dans les différents chantiers 1, 3, 5, 6.



La mine étant grisouteuse, la majoration d'extraction dans les chantiers 5, 5 et 6 exige une majoration des débits d'air qui y circulent. Par contre, le débit dans le chantier 1 peut être réduit. Les modifications de débits souhaitées sont les suivantes :

- Chantier 1 : 10 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 14,8 m<sup>3</sup>/sec.;
- Chantier 5 : 10 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 5,4 m<sup>3</sup>/sec.;
- Chantier 5 : 12 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 7,7 m<sup>3</sup>/sec.;
- Chantier 6 : 6 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 4,2 m<sup>3</sup>/sec.;
- Débit total : 58 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 32 m<sup>3</sup>/sec.

Nous envisagerons, ci-après, les différents modes d'action dont nous avons parlé dans l'exposé général. Toutefois, nous renoncerons, à priori, à agir par diminution de la résistance des puits collecteurs principaux. Cet abaissement obtenu par recarage poserait des problèmes techniques peu aisés à résoudre, étant donné que l'extraction ne peut être suspendue dans aucun des deux puits. Pour le surplus, la solution serait d'un coût excessif par rapport à la faible majoration du débit global à réaliser.

Nous calculerons tout d'abord les résistances des différents circuits par la formule  $R = h/q^2$ . Les résultats de ces calculs sont donnés au tableau ci-après :

Circuits Débits en m<sup>3</sup>/sec. Forces aérom. en mm. d'eau Résistances en murgues

Circuits	Débits en m <sup>3</sup> /sec.	Forces aérom. en mm. d'eau	Résistances en murgues
e	$q_e = 52.2$	$h_e = 60$	58
1	$q_1 = 14.8$	$h_1 = 128 - 60 = 68$	312
2	$q_2 = 17.4$	$h_2 = 82 - 60 = 22$	73
3	$q_3 = 5.4$	$h_3 = 115 - 82 = 33$	1156
4	$q_4 = 12$	$h_4 = 84 - 82 = 2$	14
5	$q_5 = 7.7$	$h_5 = 115 - 84 = 31$	526
6	$q_6 = 4.2$	$h_6 = 139 - 84 = 55$	3030
7	$q_7 = 15.1$	$h_7 = 128 - 115 = 13$	76
8	$q_8 = 28$	$h_8 = 139 - 128 = 11$	14
r	$q_e = 52.2$	$h_r = 195 - 139 = 56$	54

Les équations générales de répartition d'air sont les suivantes :

$$h = R_e q_e^{-2} + R_1 q_1^{-2} + R_8 q_8^{-2} + R_r q_r^{-2} \quad (1)$$

$$h = R_e q_e^{-2} + R_2 q_2^{-2} + R_3 q_3^{-2} + R_7 q_7^{-2} + R_8 q_8^{-2} + R_r q_r^{-2} \quad (2)$$

$$h = R_e q_e^{-2} + R_2 q_2^{-2} + R_4 q_4^{-2} + R_5 q_5^{-2} + R_7 q_7^{-2} + R_8 q_8^{-2} + R_r q_r^{-2} \quad (3)$$

$$h = R_e q_e^{-2} + R_2 q_2^{-2} + R_4 q_4^{-2} + R_6 q_6^{-2} + R_r q_r^{-2} \quad (4)$$

(équations d'équivalence des pertes de charges et des forces aéromotrices)

$$q_e = q_1 + q_2$$

$$q_2 = q_3 + q_4$$

$$q_4 = q_5 + q_6$$

$$q_7 = q_3 + q_5$$

$$q_8 = q_1 + q_7$$

$$q_r = q_6 + q_8$$

(équations des débits)

Il y a, en tout, 10 équations, les 10 débits  $q_e, q_1, \dots, q_r$  étant les inconnues, pour des valeurs déterminées de  $h$  et de  $R_e, R_1, \dots, R_r$ .

Dans le nouveau régime de ventilation, les débits  $q_e, q_1, \dots, q_r$  étant imposés, les 6 équations des débits deviennent des égalités.

Il reste les 4 équations d'équivalence. Dans ces équations, les inconnues pourront être  $h$  ou  $R_1, R_2, \dots, R_8$  ou des résistances supplémentaires  $R'$  à ajouter aux deuxièmes membres ou des forces aéromotrices auxiliaires  $v$  à ajouter aux premiers membres.

1°) Elévation de la force aéromotrice totale  $h$ .

Si nous prenons  $h$  comme variable, nous ne pourrions, dans les 10 équations, que nous assigner un seul débit de chantier, les autres débits restant des inconnues. Les rapports de majoration des débits nouveaux au débits anciens sont respectivement :

$$\text{Pour le chantier 5 : } 10/5,4 = 1,85;$$

$$\text{Pour le chantier 7 : } 12/7,7 = 1,56;$$

$$\text{Pour le chantier 6 : } 6/4,25 = 1,40.$$

Ce rapport est le plus élevé pour le chantier 5. Nous prendrons donc  $q_3 = 10 \text{ m}^3$ . Les inconnues seront  $h, q_e, q_1, q_2, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8$  et  $q_r$ .

La résolution des équations donne :

$$h = 667 \text{ mm. au lieu de } 195 \text{ mm.};$$

$$q_1 = 27,580 \text{ m}^3/\text{sec. au lieu de } 10 \text{ m}^3/\text{sec. de débit désiré};$$

$$q_5 = 14,245 \text{ m}^3/\text{sec. au lieu de } 12 \text{ m}^3/\text{sec. de débit souhaité};$$

$$q_6 = 7,862 \text{ m}^3/\text{sec. au lieu de } 6 \text{ m}^3/\text{sec. de débit souhaité};$$

$$q_e = q_r = 59,487 \text{ m}^3/\text{sec. au lieu de } 58 \text{ m}^3/\text{sec. de débit souhaité}.$$

On conçoit combien cette solution serait illogique. Elle serait même pratiquement impossible, car, dans la technique courante, il n'existe pas de ventilateur donnant une force aéromotrice de 667 mm. En admettant même que la chose soit possible, cette façon de faire serait excessivement onéreuse. En effet, les fuites aux clapets du puits d'air, proportionnelles à la racine carrée des différences de pressions, s'élèveraient de  $21 \text{ m}^3/\text{sec.}$  à :

$$21 \times \sqrt{\frac{667}{195}} = 40 \text{ m}^3/\text{sec. environ}$$

Le débit au ventilateur devrait donc s'élever à  $59,487 + 40 \approx 100 \text{ m}^3/\text{sec.}$  La puissance utile de ventilation, égale à  $q \times h$ , serait  $100 \times 667 = 66.700 \text{ kgm.}$  La puissance utile primitive est de  $(52+21) \times 195 = 10.555 \text{ kgm.}$  En comptant le kilowattheure à 0,15 fr., la dépense annuelle par kilogrammètre de puissance utile s'élève à 21,46 fr., si l'on admet un rendement global de 0,6 du groupe moteur-courroie-ventilateur :

$$\left( \frac{1 \times 9,8 \times 8760 \times 0,15}{0,6 \times 1000} \right) = 21,46 \text{ fr.}$$

$$1 \text{ kgm. : } 9,8 \text{ watts et } 1 \text{ année : } 8760 \text{ heures.}$$

Pour 66.700 kgm., la dépense annuelle serait de 1.451.400 fr. La dépense primitive est de  $10.555 \times 21,46 = 221.800 \text{ fr.}$  Il faudrait y ajouter les frais d'amortissement d'un nouveau groupe moteur-ventilateur, car on ne pourrait escompter de majorer sans danger pour la sécurité la vitesse du ventilateur ancien dans la proportion de  $\sqrt{667/195}$ . (On sait, en effet, que les forces aéromotrices engendrées varient comme le carré des vitesses génératrices.) La solution consistant à augmenter uniquement la force aéromotrice totale pour obtenir les majorations de débits escomptées est donc à rejeter.

2°) Elévation de la force aéromotrice totale et placement de portes régulatrices dans les chantiers 1, 5 et 6.

Le chantier 5 est celui qui, en raison de sa résistance élevée et de l'importance du débit qui doit y passer, a les pertes de charges les plus élevées. Nous calculerons la nouvelle force aéromotrice à développer pour faire passer 10 m<sup>3</sup>/sec. dans le chantier 5 et dans tous les circuits en série avec lui dans le cheminement e-2-3-7-8-r. Cette force aéromotrice sera trop importante pour les pertes de charges provoquées dans les chantiers 1, 5 et 6 par le passage respectif de 10, 12 et 6 m<sup>3</sup>/sec. Nous devons donc prévoir le placement de portes régulatrices, créant des résistances supplémentaires, dans les circuits propres de ces chantiers.

Les 4 équations d'équivalence s'écrivent donc :

$$h = \frac{58}{1000} \times 38^2 + \frac{512}{1000} \times 10^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 38^2 + R'_1 \quad (1)$$

$$h = \frac{58}{1000} \times 38^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{1136}{1000} \times 10^2 + \frac{76}{1000} \times 22^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 38^2 \quad (2)$$

$$h = \frac{58}{1000} \times 38^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{14}{1000} \times 18^2 + \frac{526}{1000} \times 12^2 + \frac{76}{1000} \times 22^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 38^2 + R'_5 \quad (3)$$

$$h = \frac{58}{1000} \times 38^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{14}{1000} \times 18^2 + \frac{5030}{1000} \times 6^2 + \frac{54}{1000} \times 38^2 + R'_6 \quad (4)$$

On a, en effet :

$$\begin{aligned} q_4 &= q_5 + q_6 = 12 + 6 = 18 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ q_2 &= q_3 + q_4 = 10 + 18 = 28 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ q_6 &= q_1 + q_2 = 10 + 28 = 38 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ q_7 &= q_3 + q_5 = 10 + 12 = 22 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ q_8 &= q_1 + q_7 = 10 + 22 = 32 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ q_r &= q_6 + q_8 = 6 + 32 = 38 \text{ m}^3/\text{sec.} \end{aligned}$$

De (2), on tire  $h = 384$  mm. Ensuite :

$$R'_1 = 176,4 \text{ mm. } R'_5 = 33,4 \text{ mm. } R'_6 = 51,5 \text{ mm.}$$

Ces résistances seront obtenues par placement de portes régulatrices dont l'ouverture des guichets pourra être calculée en utilisant la formule exposée ci-avant et appliquée dans l'exemple précédent.

Le nouveau régime des pressions et des débits au fond est donné dans le schéma de la figure 15.

Les fuites par les clapets passeront de 21 m<sup>3</sup>/sec. à :

$$21 \times \sqrt{\frac{384}{195}} = 29 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Le débit total au ventilateur sera de  $38 + 28 = 67$  m<sup>3</sup>/sec.

La nouvelle puissance utile à développer sera de  $67 \times 384 = 25.728$  kgm. Les dépenses annuelles de consommation de force motrice seront de  $25.728 \times 21,46 = 552.100$  fr., contre 221.800 fr. primitivement. En outre, il y aura des frais d'immobilisation pour achat d'un nouveau moteur. Le ventilateur ancien pourrait encore être utilisé. Sa vitesse devrait être augmentée dans le rapport  $\sqrt{384/195} = 1,39$ . La solution est encore très coûteuse. Elle est, de plus, assez irrationnelle, étant donné qu'on diminue en l'adoptant l'orifice équivalent de la mine proprement dite. Celui-ci n'est plus que de :

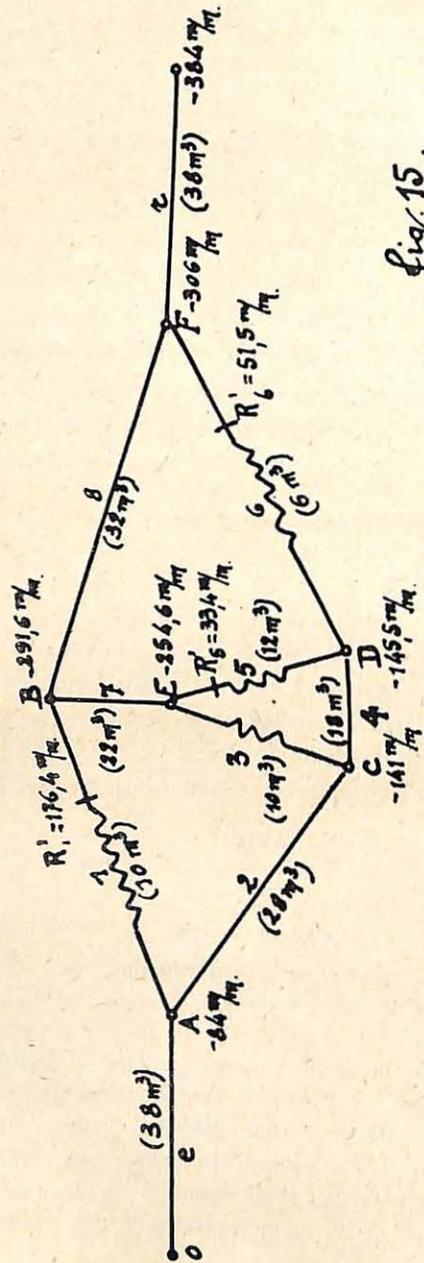


fig. 15.

$$\frac{0,38 \times 38}{\sqrt{384}} = 0,74 \text{ m}^2 \text{ contre } \frac{0,38 \times 32}{\sqrt{195}} = 0,90 \text{ m}^2$$

primitivement.

Le recours à cette solution serait moins coûteux si l'on supprimait le ventilateur superficiel et si on le remplaçait par un ventilateur hélicoïde souterrain. Malheureusement, dans le cas présent, en raison de la disposition des circuits (voir fig. 15). le placement d'un ventilateur unique au fond se heurterait à de grandes difficultés pratiques et donnerait lieu à des frais d'aménagement importants. Si la solution eût été pratiquement possible, on aurait pu économiser, en la réalisant, la dépense de force motrice occasionnée par les fuites des clapets, attendu que ceux-ci peuvent être supprimés avec le ventilateur souterrain. La puissance utile aurait été de  $384 \times 38 = 14.592$  kgm. et les dépenses annuelles en force motrice se seraient élevées à  $14.592 \times 21,46 = 313.000$  fr. (contre 552.100 fr. avec le ventilateur laissé à la surface). A cette somme, il y aurait eu lieu d'ajouter les frais d'amortissements pour les installations souterraines nouvelles et leur aménagement.

5°) Abaissement de la résistance des circuits des chantiers 3, 5 et 6.

Dans les 4 équations d'équivalence, les inconnues seront les résistances  $R_1, R_3, R_5, R_6$  des 4 chantiers.

La résolution des équations donne, pour  $R_3, R_5$  et  $R_6$  des valeurs négatives.

Même si les pertes de charges de ces circuits étaient nulles, on ne parviendrait pas encore à y faire passer le débit demandé. Cela tient au fait que les pertes de charges dans les circuits collecteurs en série avec ces circuits de chantier sont supérieures, à elles seules, à la force aéromotrice totale dont on dispose. En effet, si nous envisageons le cheminement e-2-3-7-8-r par exemple, nous voyons que, pour faire passer  $38 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans e et dans r,  $28 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans 2,  $22 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans 7 et  $32 \text{ m}^3/\text{sec.}$  dans 8, il faut respectivement des forces aéromotrices de 84, 78, 57, 37 et 14 mm., soit au total 270 mm., ce qui est largement supérieur aux 195 mm. dont nous disposons.

Une solution ne peut donc être obtenue par ce moyen. La plupart des circuits collecteurs sont trop résistants. Il faudrait envisager leur recarrage en même temps que le recarrage des chantiers pour pouvoir recourir au mode d'action envisagé. Le coût de l'opération est évidemment prohibitif.

## 4°) Placement de ventilateurs auxiliaires dans tous les chantiers.

Ici, les inconnues seront des forces aéromotrices auxiliaires  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_5$  et  $V_6$  à insérer dans les équations d'équivalence des 4 circuits à cheminement possible.

La force aéromotrice totale à prendre en considération sera inférieure à 195 mm. En effet, le débit global du fond devant passer de 32 m<sup>3</sup>/sec. à 58 m<sup>3</sup>/sec., en admettant que les fuites par les clapets restent inchangées, le débit global du ventilateur devra être de 38 + 21 = 59 m<sup>3</sup>/sec. au lieu de 53 m<sup>3</sup>/sec. Pour ce débit, la caractéristique débits-pressions du ventilateur montre que la force aéromotrice est 190 mm. C'est donc cette valeur que nous adopterons pour  $h$  dans les équations.

Les 4 équations d'équivalence s'écriront donc :

$$190 + V_1 = \frac{58}{1000} \times 58^2 + \frac{312}{1000} \times 10^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 58^2$$

$$190 + V_3 = \frac{58}{1000} \times 58^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{1136}{1000} \times 10^2 + \frac{76}{1000} \times 22^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 58^2$$

$$190 + V_5 = \frac{58}{1000} \times 58^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{14}{1000} \times 18^2 + \frac{526}{1000} \times 12^2 + \frac{76}{1000} \times 22^2 + \frac{14}{1000} \times 32^2 + \frac{54}{1000} \times 58^2$$

$$190 + V_6 = \frac{58}{1000} \times 58^2 + \frac{73}{1000} \times 28^2 + \frac{14}{1000} \times 18^2 + \frac{3050}{1000} \times 6^2 + \frac{54}{1000} \times 58^2$$

On trouve :

$$\begin{aligned} V_1 &= 17,6 \text{ mm. pour } q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ V_3 &= 194 \text{ mm. pour } q_3 = 10 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ V_5 &= 160,6 \text{ mm. pour } q_5 = 12 \text{ m}^3/\text{sec.} \\ V_6 &= 142,5 \text{ mm. pour } q_6 = 6 \text{ m}^3/\text{sec.} \end{aligned}$$

Le régime nouveau des pressions et des débits, consécutivement à l'insertion des 4 ventilateurs auxiliaires, est donné au schéma de la figure 16.

On constate qu'il n'y a pas de renversement de courants d'air dans aucun circuit. Ce phénomène se serait produit si les circuits 5 et 6, non pourvus de ventilateurs auxiliaires, étaient restés libres, par exemple. Dans ce cas, la bome E étant à plus haute pression que la bome D, le courant d'air se serait renversé dans le chantier 5; il en aurait été de même du courant d'air dans le chantier 6, la bome F étant à plus haute pression que la bome D. Le potentiel de la bome D se serait élevé quelque peu au-dessus de celui de la bome C et le courant d'air aurait aussi circulé à centre-sens dans le circuit CD.

La puissance utile nouvelle développée est la somme des puissances utiles des divers ventilateurs. Elle est égale à :

$$190(38+21) + 17,6 \times 10 + 160,6 \times 12 + 142,5 \times 6 = 16.108 \text{ kgm.}$$

Les dépenses annuelles en consommation de force motrice s'élèvent à  $16.108 \times 21,46 = 345.500$  fr. Il faut y ajouter les amortissements annuels des 4 ventilateurs auxiliaires, des installations électriques complémentaires et des frais d'aménagement. En comptant que la dépréciation totale des installations aura lieu en 10 ans, les frais annuels peuvent être estimés à 100.000 francs. Les dépenses annuelles à consentir pour l'aérage renforcé seront donc de 445.500 fr. Rappelons que les dépenses annuelles primitives étaient de 221.800 fr.; on n'a pas tenu compte de l'amortissement du ventilateur superficiel dans aucun cas.

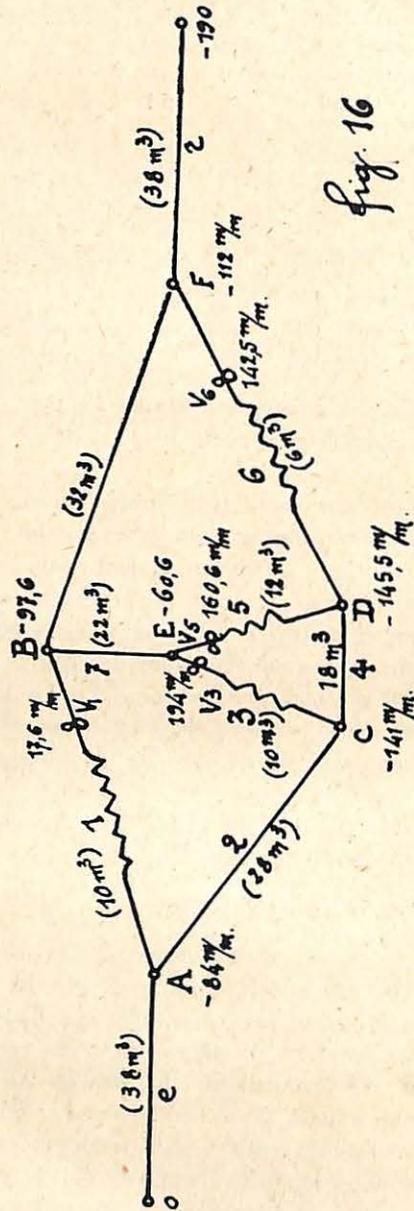


Fig. 16

Les dépenses nouvelles sont assez considérables. De plus, le couplage des divers ventilateurs auxiliaires entre eux et avec le ventilateur de surface, afin d'obtenir une association stable de ces engins, sera assez délicat.

5°) Placement de ventilateurs auxiliaires dans les chantiers 3, 5 et 6.

Il y a lieu de remarquer que, moyennant une légère augmentation de la force aéromotrice primaire, de 17,6 mm., le ventilateur dans le circuit 1 pourra être supprimé. La nouvelle force aéromotrice totale devra être de 207,6 mm. au lieu de 190 mm. Cette légère élévation pourra être obtenue en augmentant de 4 % la vitesse du ventilateur ( $\sqrt{207,6/195} = 1,04$ ). Elle pourrait aussi, sans aucun doute, être obtenue en améliorant l'étanchéité des clapets du puits d'air. La résistance de l'ensemble des circuits des clapets et de la mine souterraine, associés en parallèle, augmenterait légèrement, puisque le circuit des clapets deviendrait plus résistant. Cette élévation de résistance globale du groupe aurait pour conséquence une diminution du débit total au ventilateur et, en raison de l'allure de la caractéristique débits-pressions de ce dernier, un renforcement de sa force aéromotrice.

Le ventilateur  $V_3$  devra donner une force aéromotrice de  $194 - 17,6 = 176,4$  mm. pour un débit de  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Le ventilateur  $V_5$  devra, pour un débit de  $12 \text{ m}^3/\text{sec}$ ., développer une force aéromotrice de  $160,6 - 17,6 = 143$  mm. Quant au ventilateur  $V_6$ , son point de fonctionnement devra être  $142,5 - 17,6 = 124,9$  mm. et  $6 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Le régime des pressions aux bornes des différents circuits est indiqué au schéma de la figure 17.

Il n'y a pas non plus, évidemment, de renversement de courant d'air.

Les fuites par les clapets, en admettant que leur étanchéité n'ait pu être améliorée, seront de :

$$21 \times \sqrt{\frac{207,6}{195}} = 22 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

Le débit global au ventilateur sera de  $38 + 22 = 60 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

La puissance utile développée deviendra :

$$60 \times 207,6 + 176,4 \times 10 + 143 \times 12 + 124,9 \times 6 = 16,585 \text{ kgm}.$$

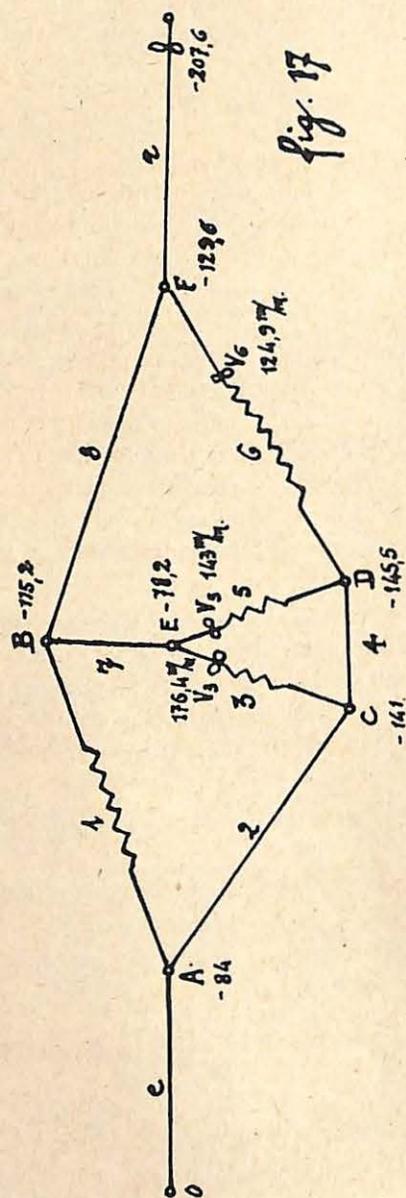


Fig. 17

Le coût annuel des consommations de force motrice s'élèvera à  $16.585 \times 21,46 = 355.900$  fr. Il faudra compter un amortissement annuel de 82.500 fr. pour les 3 ventilateurs et leurs installations complémentaires. Les dépenses annuelles d'aérage s'élèveront donc à  $355.900 + 82.500 = 438.400$  fr. Les dépenses primitives analogues étaient de 221.800 fr. Ces dépenses sont encore élevées et le problème du couplage reste encore assez compliqué.

6°) Placement d'un ventilateur auxiliaire dans le circuit 7 et dans le chantier 6 et de portes régulatrices dans le chantier 5.

En maintenant la force aéromotrice primaire à 207,6 mm., nous obtenons un débit de  $10 \text{ m}^3/\text{sec.}$  sans artifice dans le chantier 1. Nous pouvons envisager de placer, dans le circuit 7, un ventilateur  $V_7$  aspirant à la fois sur les autres chantiers 5 et 6 tout en maintenant le ventilateur  $V_6$ . Comme les pertes de charges du chantier 3, pour un débit de  $10 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , sont plus élevées que celles du chantier 5, pour un débit de  $12 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , nous devons calculer la force aéromotrice du ventilateur  $V_7$  pour satisfaire aux conditions imposées dans le chantier 5. Nous placerons, dans le circuit 5, une porte régulatrice qui absorbera l'excédent de force aéromotrice disponible aux bornes communes CE pour le chantier 5.

Les débits dans les cheminements e-1-8-r et e-2-4-6-r étant inchangés, la pression aux bornes C et B reste constante et égale, respectivement à -141 et à -115,2. Entre C et B règne donc une différence de pression de  $-141 + 115,2 = -25,8$  mm. Les pertes de charges dans le circuit 3 pour  $10 \text{ m}^3/\text{sec.}$  et dans le circuit 7 pour  $22 \text{ m}^3/\text{sec.}$  sont respectivement de 113,6 et 37 mm., soit au total 150,6 mm. Pour compenser ces pertes de charges ainsi que la différence négative de pressions de -25,8 mm. entre les bornes C et B, le ventilateur  $V_7$  devra développer une force aéromotrice de  $150,6 + 25,8 = 176,4$  mm. Son débit sera de  $22 \text{ m}^3/\text{sec.}$

A la borne E, le potentiel pneumatique sera  $-141 - 113,6 = -254,6$ . La différence de pression motrice entre D et E sera  $-145,5 + 254,6 = 109,1$  mm. Les pertes de charges du circuit 5 pour un débit de  $12 \text{ m}^3/\text{sec.}$  n'étant que de 75,7 mm., il faudra, pour limiter le cube d'air au débit prévu dans ce chantier, insérer une résistance supplémentaire de  $109,1 - 75,7 = 33,4$  mm. Cette résistance supplémentaire sera obtenue par le placement d'une porte régulatrice

dont l'ouverture du guichet se calculera de la façon indiquée précédemment.

On aurait pu trouver directement la solution en résolvant les deux équations d'équivalence données par les cheminements comprenant les circuits 5 et 5. Dans le premier membre des équations, on aurait introduit l'inconnue  $V_7$ . Au second membre de l'équation donnée par le cheminement comprenant le chantier 5, on aurait ajouté l'inconnue  $R_5$ , figurant la résistance supplémentaire à insérer dans le circuit. Le ventilateur  $V_6$  conserve son point de fonctionnement ancien.

Le régime des pressions et des débits est indiqué au schéma de la figure 18.

Il n'y a pas de renversement d'aérage dans aucun circuit.

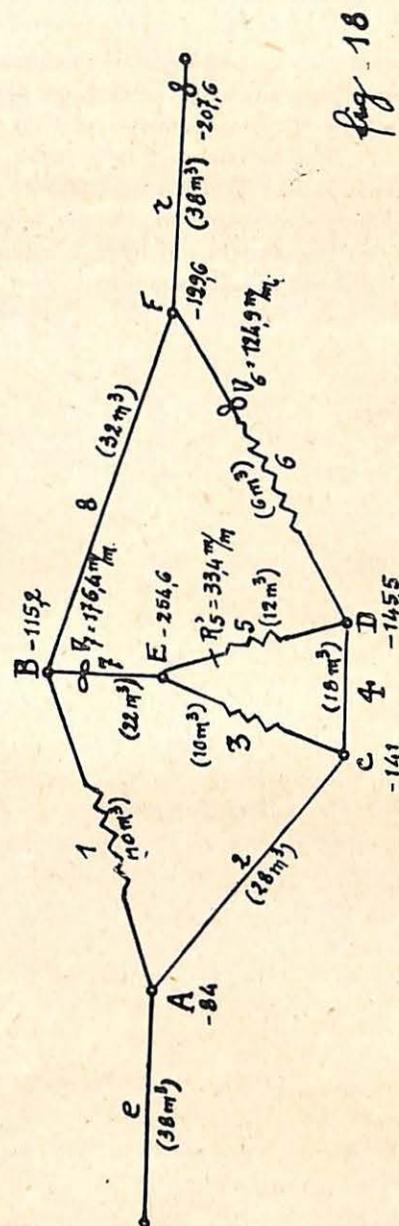
La nouvelle puissance utile développée est de :

$$60 \times 207,6 + 176,4 \times 22 + 124,9 \times 6 = 16.986 \text{ kgm.}$$

Les dépenses annuelles de consommation de force motrice s'élèvent à  $16.986 \times 21,46 = 364.500$  fr. Il y faut ajouter un amortissement annuel de 60.000 fr, pour les deux ventilateurs et leurs installations et aménagement complémentaires. Le total des dépenses d'aérage est de 425.500 fr. contre 221.800 primitivement. Cette solution est la moins onéreuse de toutes. Elle présente, en outre, l'avantage de ne comporter que deux ventilateurs auxiliaires souterrains, d'où complexité moindre du problème du couplage, qu'il serait trop long de traiter dans la présente note, et réduction au minimum des immobilisations nouvelles.

Malgré tout, on voit combien la solution est encore coûteuse, eu égard à la modestie du résultat à atteindre. Pour une majoration de débit total de  $6 \text{ m}^3/\text{sec.}$  sur  $32 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , soit environ 20 %, il y a élévation des dépenses annuelles de 202.700 fr. sur 221.800 fr., soit une majoration de 90 %. Ramenés à la tonne extraite et compte tenu de l'élévation de production escomptée, les frais d'aérage passent de 1,20 à 1,90 fr., soit une majoration de 60 %.

Cette discordance entre le résultat obtenu et l'augmentation des dépenses à consentir est due, en ordre principal, à la résistance très grande des collecteurs principaux et secondaires. Le cas traité met bien en relief l'une des nombreuses difficultés auxquelles se heurtent les exploitants de mines anciennes et étroites, à gisement gri-



souteux, lorsqu'ils veulent concentrer leurs exploitations en vue d'un travail rationnel.

On voit cependant que les problèmes de modification de la répartition des courants d'air souterrains, suivant un plan préalablement établi, peuvent toujours être résolus, moyennant un recours judicieux aux ventilateurs hélicoïdes auxiliaires et aux portes régulatrices. Parfois, on devra consentir une légère modification de la force aéromotrice primaire. Dans certains cas, un recarrage approprié de certains circuits facilitera la résolution du problème. De toute façon, il sera toujours possible, à l'aide des éléments dont on dispose dans l'état présent de la technique minière, d'asservir entièrement l'aéragé à l'exploitation.

*Septembre 1942.*

## Note sur les gisements de terre plastique de la région de Namur et sur leur exploitation

par

M. J. MARTENS,

Ingénieur principal des Mines, à Liège.

### I. — SITUATION, COMPOSITION

Les gisements de terre plastique du bassin d'Andenne et du Condroz diffèrent assez sensiblement de ceux de l'Entre-Sambre-et-Meuse, moins profonds, moins étendus et de terre moins pure. Ils sont groupés surtout sur la rive droite de la Meuse, dans un quadrilatère borné à l'Ouest et vers Nord par le fleuve, au Sud par le versant midi du synclinal de Dinant et à l'Est par une limite plus imprécise que l'on peut approximativement fixer à la vallée du Hoyoux. L'extension d'Ouest en Est des gisements serait ainsi d'environ 50 km., tandis que du Nord au Sud, la même distance sépare les gisements extrêmes d'Andenne et de Celles.

D'une altitude de 250 à 500 m., cette région présente une série de larges ondulations, sensiblement parallèles, dans les creux desquelles se rencontrent la plupart des gisements.

Ceux-ci se trouvent, en effet, assez éloignés des crêtes, occupant soit le fond des dépressions légères, soit la mi-hauteur en terrasse de celles plus prononcées. Plusieurs sont ainsi voisins des petits ruisseaux peu encaissés qui les suivent; la plupart s'en éloignent lorsque la vallée est plus profonde.

Ces ondulations du sol épousent d'assez près les plissements du socle rocheux; celui-ci est affecté d'une série de plis parallèles, dont