

Considérations sur le couplage des ventilateurs de mines

par R. LEFEVRE

Ingénieur en Chef-Directeur des Mines.

RESUME

Le recours de plus en plus grand au dispositif d'aéragé par ventilateurs souterrains a mis en relief des problèmes importants de pression relative entre puits ou entre chantiers. Il convient de donner à ces problèmes une solution favorable à la sécurité et à l'économie de l'exploitation. Pour obtenir une ventilation suffisante et rationnelle des divers ateliers de travail, il est souvent indispensable d'utiliser plusieurs turbomachines placées, les unes au fond, les autres à la surface et associées en série, en parallèle ou en série parallèle. C'est pourquoi nous avons cru intéressant de rassembler et de condenser les règles pratiques de couplage des ventilateurs de mines et de déterminer les conditions nécessaires et suffisantes à réaliser, à priori, pour obtenir un fonctionnement sûr et économique de ces appareils. C'est l'objet de la présente note.

Elle comprend tout d'abord un rappel des notions générales sur les pertes de pression dans les circuits parcourus par un courant d'air, sur les relèvements de pression provoqués par les ventilateurs, sur l'influence de l'aéragé naturel, sur l'incidence des fuites par les clapets obturateurs de puits, les by-pass, les communications entre puits et, enfin, elle développe quelques considérations sur les actions antagonistes de la perte de pression dans un circuit et du relèvement de cette pression par un ventilateur et sur le solde, positif ou négatif, de ces deux actions opposées.

La note expose ensuite, en détail, quelques cas-types de couplage de ventilateurs, après avoir rappelé les règles élémentaires d'association de ces turbomachines travaillant sur un même circuit. Les cas examinés sont les suivants :

- 1) deux circuits de travaux en parallèle, influencés chacun par un ventilateur, en série avec un circuit de puits libre, sans ventilateur;
- 2) un circuit unique, puits et travaux, avec un ventilateur au fond et un ventilateur en surface;
- 3) deux circuits de travaux en parallèle, l'un influencé par un ventilateur, l'autre libre, en série avec un circuit de puits influencé par un ventilateur superficiel;
- 4) deux circuits de travaux en parallèle, influencés chacun par un ventilateur, en série avec un circuit de puits influencé par un ventilateur superficiel;
- 5) un circuit de travaux, influencé par un ventilateur souterrain, en série avec deux circuits de puits de retour en parallèle, influencés chacun par un ventilateur superficiel.

La note se termine par un large résumé de l'exposé précédent et par quelques conclusions d'ordre général.

AVANT-PROPOS

L'utilisation des ventilateurs souterrains dans l'aéragé des mines prend de plus en plus d'extension dans les bassins miniers belges et notamment dans les bassins du Sud. Les raisons de cette extension sont multiples. Les deux principales sont la possibilité de réduction au minimum des fuites d'aéragé et l'extrême souplesse qu'ils permettent dans la répartition adéquate des débits d'air entre les différents quartiers de la mine.

Ce dispositif d'aéragé auquel est étroitement attaché le nom de M. CANIVET, ancien Directeur-Gérant du Charbonnage de Monceau-Fontaine,

comporte, soit un seul engin, soit plusieurs turbomachines, associées au fond en parallèle, soit un ou plusieurs éléments souterrains en parallèle, associés en série avec un ou plusieurs ventilateurs superficiels.

Le recours aux ventilateurs souterrains et leur association en parallèle entre eux et en série avec des ventilateurs superficiels posent des problèmes de pression relative entre puits et entre bornes de circuits parallèles qu'il importe de résoudre complètement et correctement, à priori, si l'on veut éviter des rentrées d'air vicié dans les circuits col-

lecteurs d'air frais et des renversements de sens du courant d'air dans certains chantiers.

Dans une note parue dans les « Annales des Mines » (tome 36, 2^e livraison), M. LAURENT, Ingénieur principal des Mines, a traité remarquablement l'étude graphique du fonctionnement de plusieurs ventilateurs souterrains en parallèle. M. Laurent avait déjà antérieurement présenté au Congrès technique interfacultaire tenu à Mons, en 1928, un mémoire sur l'application des courbes caractéristiques à l'étude des régimes de fonctionnement des turbomachines, dans lequel il traitait du groupement des appareils et des circuits. Ce mémoire a été reproduit dans la Revue des Elèves des Ecoles Spéciales de l'Université de Louvain.

D'autre part, M. DESSALLES, Directeur-Gérant du Charbonnage du Bois d'Avroy, a publié dans la Revue Universelle des Mines (N^{os} 5-6 de 1941) une étude très fouillée sur la marche en parallèle des ventilateurs souterrains et sur leur fonctionnement en série avec le ventilateur de surface. Nous avons, pour notre part, traité dans les « Annales des Mines » (tome 42, 4^e livraison) de la question des différences de pression entre puits dans les mines aérées par ventilateurs souterrains.

Il nous a paru présenter quelque intérêt de rassembler et de condenser les règles pratiques de couplage des ventilateurs de mines et de déterminer les conditions nécessaires et suffisantes à réaliser, à priori, pour obtenir un fonctionnement correct et sûr de ces engins. C'est l'objet de la présente note. Elle est spécialement destinée, dans notre esprit, aux techniciens de l'exploitation proprement dite. C'est pourquoi nous avons eu recours entièrement et uniquement à la méthode graphique, la plus propre, à notre avis, à la réalisation d'une conception simple et adéquate des problèmes posés. Ce désir de simplification nous a amené à dépouiller nos considérations du caractère rigoureusement scientifique que devrait comporter une étude théorique détaillée de la question.

Cette absence de rigueur scientifique ne compromet pas gravement l'exactitude des solutions apportées aux problèmes traités, étant donné les approximations que l'on est forcé de tolérer dans la pratique courante de la ventilation des mines. C'est aussi dans l'intention de ne pas créer d'entraves à une compréhension aisée de l'exposé que nous avons cru devoir recourir à des dénominations qui sont d'un emploi usuel et général dans le langage des mineurs, mais qui ne répondent pas exactement aux définitions théoriques. C'est ainsi, par exemple, que nous avons désigné par « perte de charge » la perte de pression corrélative à la perte d'énergie de l'air, dissipée par frottements au cours de sa circulation dans les travaux, ce qui ne correspond pas au sens original donné par Bernoulli à cette expression, attendu que pour passer de la perte de charge exprimée en m (ou de la perte d'énergie, exprimée en kgm par kg de fluide) à la perte de pression, exprimée en kg/m² ou en mm d'eau, il faut multiplier la première (ou la deuxième) par le poids spécifique du fluide. Ainsi que l'a fait remarquer M. DAUBRESSE, l'éminent Professeur de l'Université de Louvain, la déno-

mination « perte de pression » serait plus exacte. De même, nous avons opposé à la perte de charge, la « force aéromotrice », c'est-à-dire la compensation de la perte de pression réalisée par le ventilateur. Mais dans le cadre de cette étude de vulgarisation, les expressions employées ne peuvent prêter à ambiguïté ni confusion.

1. — GENERALITES

1. — Circulation de l'air dans les travaux.

La circulation de l'air dans les travaux souterrains entraîne une perte d'énergie compensée par le travail moteur des ventilateurs. La perte de pression correspondant à cette perte d'énergie sera désignée par le vocable courant de « perte de charge ». Le relèvement de cette pression par le ventilateur sera appelé force aéromotrice. Le tirage ou aérage naturel est considéré comme une force aéromotrice qui s'ajoute à la force aéromotrice du ou des ventilateurs. Les pertes de pression et les forces aéromotrices sont évaluées en kg/m² ou mm d'eau.

On admet, dans la pratique, que les « pertes de charges » sont égales aux forces aéromotrices.

2. — Pertes de charges.

Elles sont de la forme $h = rq^2$; r = résistance, exprimée en kilomurgues (correspondant au mm d'eau); q = débit en m³/sec; h = pertes de charges en mm d'eau.

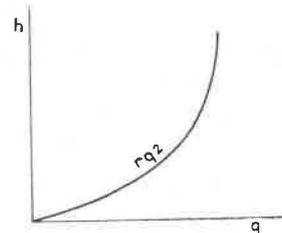


Figure 1

Fig. 1.

La représentation graphique de $h = rq^2$ est une parabole (fig. 1). Quand deux circuits sont associés en série, les pertes de charges des deux circuits s'ajoutent. La courbe :

$$S \sum_{r_1}^{r_2} rq^2$$

de l'ensemble est obtenue en ajoutant les ordonnées des deux courbes pour différentes abscisses successives (fig. 2). Par exemple pour le volume OA :

$$AB + AC = AD.$$

Quand deux circuits sont associés en parallèle, la courbe des pertes de charges correspondant à l'ensemble est obtenue en ajoutant les abscisses des deux courbes pour différentes ordonnées successives (fig. 3). Par exemple, pour la perte de charge OA :

$$AB + AC = AD.$$

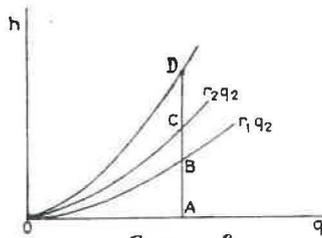


Figure 2

Fig. 2.

Lorsque, comme c'est le cas normal d'une mine, les circuits sont associés en série parallèle, la courbe des pertes de charge de l'ensemble du groupe est

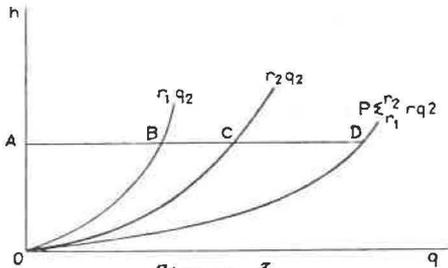


Figure 3

Fig. 3.

une combinaison des différentes courbes de pertes de charges des circuits en série et en parallèle.

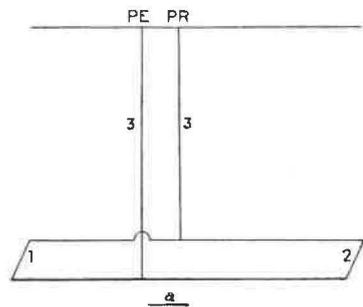


Figure 4

Fig. 4.

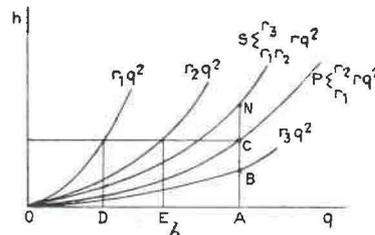


Figure 4

Fig. 4.

Par exemple, dans le schéma de la figure 4a il existe, à un seul étage d'exploitation, un quartier midi et un quartier nord, formant respectivement circuits 1 et 2, associés en parallèle, reliés à la surface par les puits, formant circuit 3, associé en série avec le groupe 1-2 des deux circuits en dérivation.

Dans la figure 4b, $r_1 q^2$ et $r_2 q^2$ représentent les courbes des pertes de charges respectives des circuits 1 et 2. La courbe :

$$P \sum_{r_1}^{r_2} r q^2$$

représente les pertes de charges dans l'association 1-2 en parallèle. La courbe $r_3 q^2$ représente les pertes de charges dans le circuit 3. La courbe :

$$S \sum_{r_1 r_2}^{r_3} r q^2$$

représente les pertes de charges dans l'association série de 3 avec le groupe parallèle 1-2. Pour un volume d'air OA circulant dans la mine, il y a une perte de charge totale de AN.

Cette perte de charge se divise en AB dans le circuit 3 des puits et en BN = AC dans le groupe parallèle 1-2 en série avec 3. Le volume OA, passant dans le circuit 3 collecteur, se divise en OD, passant dans le circuit 1, et en OE = DA, passant dans le circuit 2.

3. — Force aéromotrice.

La force aéromotrice, qui compense la perte de charge du circuit, est fournie par le ventilateur. Ce dernier est caractérisé par une courbe V (fig. 5) qui indique la pression motrice en fonction du débit. Le point de rencontre de la courbe des pertes de charges totales de la mine $r q^2$ avec la courbe débit-pression V du ventilateur donne le point de fonctionnement N du dispositif d'aérage. Ce point définit le volume d'air OA passant dans la mine, la perte de charge AN occasionnée par le passage du volume OA dans la mine et la force aéromotrice AN qui équilibre cette perte de charge.

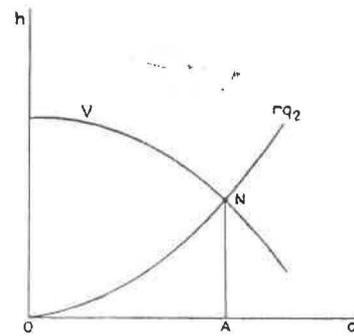


Figure 5

Fig. 5.

4. — Influence des fuites par les by-pass ou les clapets.

Les caractéristiques effectives débit-pression des ventilateurs diffèrent légèrement des caractéristiques théoriques données par le constructeur (*). En effet, il faut tenir compte d'un certain débit de fuite par les by-pass pour les ventilateurs souterrains et par les clapets obturateurs des puits pour les ventilateurs superficiels. Ce débit de fuite, qui n'intéresse pas la mine, parcourt un circuit dérivé en parallèle sur le circuit général de la mine. Il faudra donc soustraire de la courbe des pertes de charges totales r_q^2 de la mine, la courbe des pertes de charges f_q^2 du circuit de fuite, pour obtenir la courbe des pertes de charges réelles R_q^2 de la mine. Les deux circuits étant en parallèle, on obtiendra R_q^2 en déduisant les abscisses de f_q^2 de celles de r_q^2 pour des ordonnées successives (voir paragraphe 2 ci-avant).

Par exemple, pour l'ordonnée OC, on aura :

$$CA = CD - CB \text{ (fig. 6).}$$

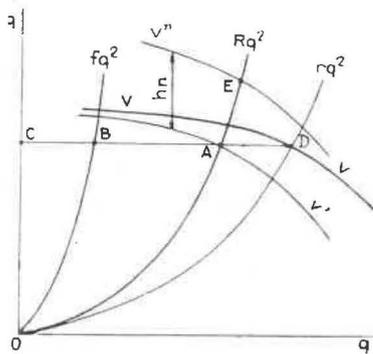


Figure 6

Fig. 6.

Le point de fonctionnement D du ventilateur est donné par la rencontre de sa courbe débit pression V avec la courbe totale r_q^2 , comprenant le circuit de fuite. Ce point est caractérisé par une pression motrice OC et un débit total CD. Mais en réalité, pour cette pression OC, il ne passe réellement dans la mine que le débit CA, le débit AD parcourant uniquement le court-circuit du by-pass ou des clapets. Le point de fonctionnement effectif du système, intéressant la mine, est donc A et non D. Ce point A se trouve à la rencontre de la courbe R_q^2 des pertes de charges réelles de la mine et de la courbe V'; cette courbe V' est obtenue en soustrayant des abscisses de V, pour différentes ordonnées successives, les abscisses correspondantes de la courbe f_q^2 des pertes de charges du circuit de fuite. Comme c'est la courbe R_q^2 des pertes de charges de la mine proprement dite qui nous intéresse, nous devons donc, pour le tracé des dia-

(*) Ces caractéristiques diffèrent d'ailleurs pour un même ventilateur, selon qu'il est placé au fond ou à la surface quand les débits sont donnés en volume, mais ceci est affaire de spécialistes, que nous ne pouvons traiter dans le cadre de la présente note de vulgarisation.

grammes, prendre en considération la courbe V' et non la courbe V, pour ce qui concerne le ventilateur.

5. — Influence de l'aéragé naturel.

En réalité, pour tracer le diagramme de fonctionnement réel du dispositif d'aéragé à un moment donné, ce n'est pas encore la courbe V' qui devra être prise en considération. Il faut en effet tenir compte de l'aéragé naturel, qui fournit un appoint de pression aéromotrice, en série avec la pression aéromotrice du ventilateur. Les ordonnées de la courbe V' devront donc être majorées d'une quantité h_n , correspondant à l'aéragé naturel du moment. On obtient ainsi la courbe caractéristique réelle V'', intéressant directement la mine. C'est la rencontre de V'' et R_q^2 qui fournit le point E de fonctionnement réel du moment (voir fig 6).

6. — Influence des fuites par les communications entre puits.

Les fuites par les communications entre puits sont susceptibles de modifier assez sensiblement le régime de ventilation théorique, lorsqu'elles ont une certaine importance. Aussi dans ce cas, est-il nécessaire d'en tenir compte pour établir la résistance globale de la mine, dont la courbe des pertes de charges en fonction du débit détermine, par sa rencontre avec la courbe débit-pression du ventilateur, le point de fonctionnement du dispositif de ventilation. Les circuits de fuite sont associés aux circuits utiles en parallèle, série ou série parallèle. Connaissant leur résistance, de même que celle des circuits utiles, on peut déterminer graphiquement, en les combinant, la courbe définitive des pertes de charges de la mine.

Les figures 7 et 8 donnent des exemples de ces associations, respectivement pour un ventilateur superficiel et un ventilateur souterrain, compte non tenu de l'aéragé naturel. Dans le premier cas, le puits d'entrée d'air est en surpression. Les fuites d'air frais sont dirigées du puits d'entrée vers le puits de retour. Les volumes d'air circulant dans les puits décroissent progressivement de haut en bas. Dans le deuxième cas, le puits de retour d'air est en surpression. Les fuites d'air vicié sont dirigées du puits de retour vers le puits d'entrée. Les volumes d'air circulant dans les puits croissent progressivement de haut en bas.

Le schéma supérieur des figures indique les circuits :

1. partie supérieure des puits;
- a. communication entre puits;
2. partie inférieure des puits;
- b. communication entre puits;
3. circuit des travaux.

Dans la figure 7, l'association est la suivante : en parallèle : 3—b; en série avec 3—b : 2; en parallèle avec le groupe précédent : a; en série avec l'ensemble précédent : 1. Suivant les règles énoncées au chapitre I, paragraphe 2, nous formerons les différents groupements dans l'ordre indiqué et nous obtiendrons finalement la courbe R des pertes de charges de la mine. Cette courbe rencontre la courbe débit-

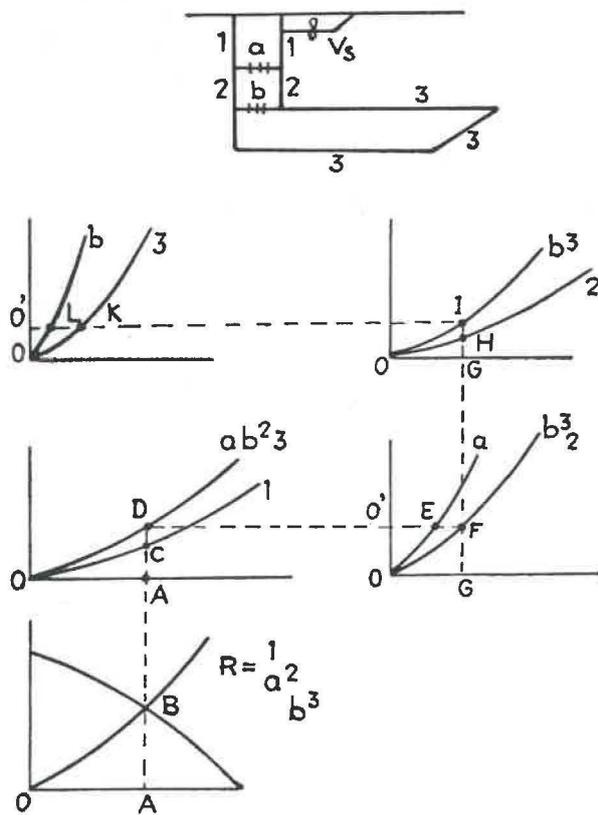


Fig. 7.

pression du ventilateur en B. L'ordonnée AB est la perte de charge totale de la mine, égale à la pression motrice du ventilateur. L'abscisse OA est le

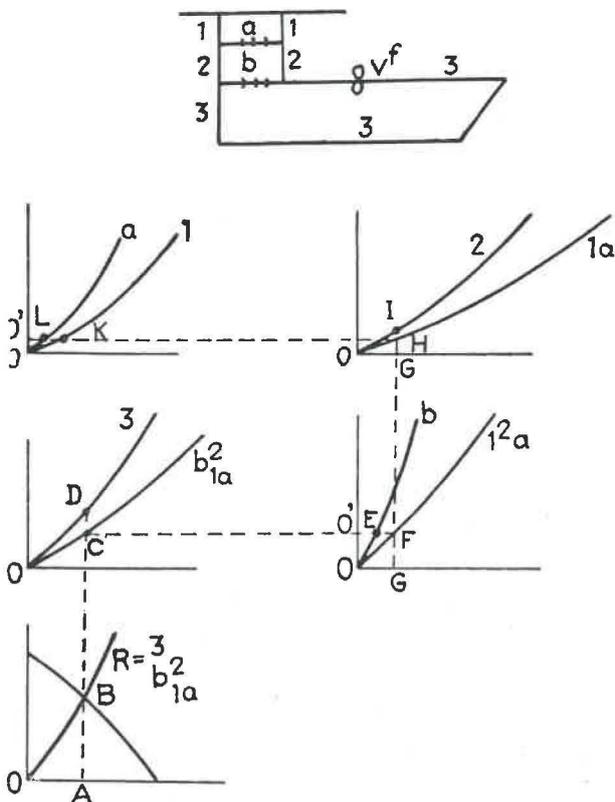


Fig. 8.

volume débité au ventilateur. Cette pression et ce débit se décomposent comme suit. Dans 1 : volume OA, pression absorbée AC; dans le groupe restant : pression absorbée AD; volume global OA, se décomposant en OG = O'F pour le groupe

{ $\frac{b-3}{2}$ et O'E pour le circuit de fuite a; dans le groupe { $\frac{b-3}{2}$, volume OG, pression absorbée GH dans 2 et GI dans b-3. Cette pression GI aux bornes communes de b-3 fait passer le volume O'K dans 3 et O'L dans le circuit de fuite b.

Dans la figure 8, le processus d'association est le suivant : en parallèle : a-1; en série avec a-1 : 2; en parallèle avec le groupe précédent : b; en série avec l'ensemble précédent : 3. En groupant suivant les règles énoncées ci-avant, nous obtenons finalement R, courbe des pertes de charges de la mine, qui rencontre la courbe débit-pression du ventilateur en B. Le ventilateur débite le volume OA sous la pression AB. Cette pression et ce débit se répartissent comme suit : dans 3 : volume OA, pression absorbée AD; dans le groupe restant : pression absorbée AC; volume global OA, se décomposant en OG = O'F dans le groupe

{ $\frac{1-a}{2}$ et O'E pour le circuit de fuite b. Dans le groupe { $\frac{1-a}{2}$, volume OG, pression absorbée GI dans 2 et GH dans 1-a. Cette pression GH, aux bornes communes de 1-a, fait passer le volume O'K dans 1 et O'L dans le circuit de fuite a.

7. — Courbe de force aéromotrice résiduelle.

Dans la figure 9 :

- h = force aéromotrice ou pertes de charges en mm d'eau;
- q = débit en m³/sec;
- V = caractéristique débit-pression du ventilateur;
- rq² = courbe des pertes de charges du circuit en fonction du débit q.

Si le ventilateur travaillait seul dans un circuit unique, son point de fonctionnement serait N, à la rencontre de V avec rq². Il fournirait un débit OA sous une pression motrice AN. Si d'autres circuits entrent en ligne de compte, le régime de fonctionnement est modifié. Ainsi si le ventilateur débite concurremment avec un autre ventilateur, desservant un circuit parallèle, dans un circuit commun, en série avec les deux circuits en dérivation, son débit et sa pression seront influencés par ce deuxième ventilateur et son point de fonctionnement ne sera plus N, car sa pression motrice devra compenser, non seulement les pertes de charges provoquées dans son circuit propre par le passage d'un certain volume d'air, mais en outre les pertes de charges provoquées dans le circuit commun, en série avec son circuit propre, par le passage du courant d'air parcourant ce circuit commun.

Par exemple, si son point de fonctionnement est B, le ventilateur débitera, dans son circuit propre et dans le circuit commun, le volume OD. Ce volume OD sera une partie du débit passant dans le circuit commun, l'autre partie étant fournie par le

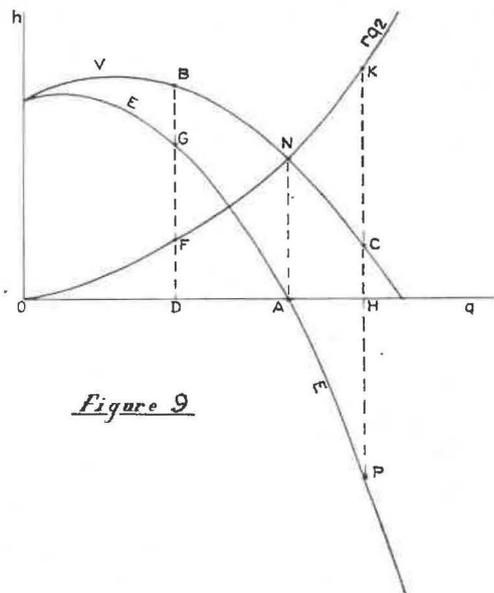


Figure 9

Fig. 9.

deuxième ventilateur. Pour le volume OD, le ventilateur fournira une pression motrice DB. Cette pression DB peut se décomposer en DF + FB. La part DF servira à compenser la perte de charge, provoquée dans le circuit propre du ventilateur par le passage d'un volume OD. En effet, au volume OD correspond la perte de charge DF sur la courbe rq^2 . La part FB servira à compenser la perte de charge provoquée dans le circuit commun, en série avec le circuit propre, par le passage du courant d'air qui circule dans le dit circuit commun.

Il s'ensuit que la pression motrice disponible pour le circuit commun, à gauche du point N sur la courbe V, est constituée par la différence d'ordonnées de la courbe V et de la courbe rq^2 . A gauche du point N, cette différence est positive.

Au point N, la pression motrice AN donnée par le ventilateur est exactement la même que la perte de charge AN provoquée par le passage, dans le circuit propre du ventilateur, du débit correspondant OA. Il s'ensuit qu'à ce point N, il n'y a aucun solde de pression motrice disponible pour le circuit commun.

A droite du point N, sur la courbe V, on voit que cette courbe est en dessous de la courbe des pertes de charges rq^2 du circuit propre. Cela signifie que, pour un volume d'air de OH par exemple, circulant dans le circuit propre, le ventilateur ne peut fournir que la pression HC, alors que la pression HK est nécessaire pour compenser les pertes de charges occasionnées dans ce circuit propre par le passage du volume OH. Dans ce cas, non seulement il n'y aura pas de force aéromotrice disponible au ventilateur pour le circuit commun, mais au contraire ce circuit commun devra fournir un appoint de force aéromotrice CK pour suppléer à l'insuffisance du ventilateur à compenser les pertes de charges de son circuit propre, celui-ci ne disposant que d'une pression HC alors qu'une pression HK lui est nécessaire. Cette situation n'est possible évidemment que pour autant que le circuit commun soit susceptible de fournir de la pres-

sion motrice, c'est-à-dire lorsqu'un ventilateur y est inséré, par exemple lorsqu'un ventilateur de surface travaille en série avec des ventilateurs souterrains. Cette disposition doit être envisagée pour connaître, dans son intégralité, l'évolution de la courbe complète des excédents et des insuffisances de pression motrice d'un ventilateur travaillant dans un circuit propre, à l'égard d'un circuit commun, associé en série avec ce circuit propre et avec d'autres circuits dérivés sur celui-ci.

Il découle, des conditions de fonctionnement du ventilateur à droite du point N sur la courbe V, que l'appoint de pression motrice à fournir par le circuit commun au circuit propre du ventilateur est constitué par la différence d'ordonnées de la courbe rq^2 et de la courbe V. Si l'on utilise, par analogie avec les conditions de fonctionnement du ventilateur à gauche du point N sur la courbe V, la notion de pression motrice disponible pour le circuit commun, on voit que, dans le cas de fonctionnement à droite du point N, cette pression motrice disponible est négative, étant donné que, dans cette région, la différence des ordonnées de V et de rq^2 est négative.

Nous désignerons, dans l'exposé qui va suivre, sous le terme général conventionnel de force aéromotrice résiduelle, la pression motrice disponible du circuit propre du ventilateur pour le circuit commun. Cette force aéromotrice résiduelle pourra être positive (à gauche de N sur la courbe V) ou négative (à droite de N sur la courbe V). Elle sera constituée par les ordonnées de la courbe V par rapport à la courbe rq^2 considérée comme axe des abscisses. Pour la confection des diagrammes, nous établirons cette courbe de force motrice résiduelle par rapport à l'axe des abscisses horizontal Oq et nous aurons ainsi la courbe E.

Les différents points de cette courbe seront obtenus en portant, à partir de l'axe Oq, les différences d'ordonnées entre V et rq^2 , au-dessus de Oq à gauche de AN et en dessous de Oq à droite de AN (par exemple, le point G de la courbe de force aéromotrice résiduelle, correspondant au débit OD, sera tel que :

$$DG = DB - DF$$

et le point P, correspondant au débit OH, sera tel que :

$$HP = HC - HK.$$

La courbe E coupera l'axe Oq au point A (pression motrice résiduelle nulle), correspondant au point N d'équilibre des pertes de charges AN du circuit propre du ventilateur et de la force aéromotrice AN fournie par ce ventilateur, débitant le volume d'air OA dans son circuit et dans le circuit commun.

II. — COUPLAGE DES VENTILATEURS TRAVAILLANT SUR UN MEME CIRCUIT

1. — Couplage de deux ventilateurs en série sur le même circuit.

Dans la figure 10 :

h = forces aéromotrices ou pertes de charges en mm d'eau;

- q = débits en m³/sec;
- V_1 = caractéristique débit-pression du ventilateur n° 1;
- V_2 = caractéristique débit-pression du ventilateur n° 2;
- V_{1+2} = caractéristique totale des ventilateurs 1 et 2 associés en série sur le même circuit. Cette caractéristique est obtenue en ajoutant les ordonnées de V_1 et V_2 pour une même abscisse;
- rq^2 = courbe des pertes de charge du circuit en fonction du débit q ;
- X = point de fonctionnement des ventilateurs;
- OA = débit identique des deux ventilateurs;
- AB = force aéromotrice du ventilateur 1 pour le débit OA ;
- AC = force aéromotrice du ventilateur 2 pour le débit OA ;
- $AX = AB + AC$ = force aéromotrice totale des ventilateurs 1 et 2 associés en série sur le circuit, pour le débit OA ;
- B = point de fonctionnement du ventilateur 1;
- C = point de fonctionnement du ventilateur 2.

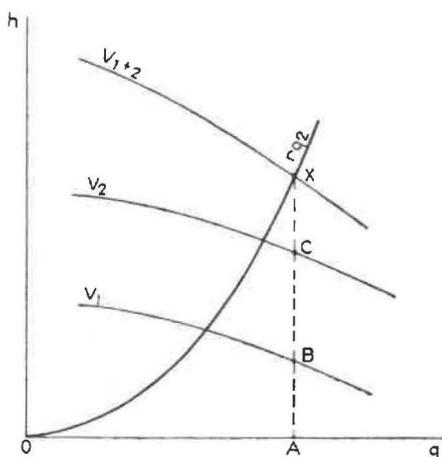


Figure 10

Fig. 10.

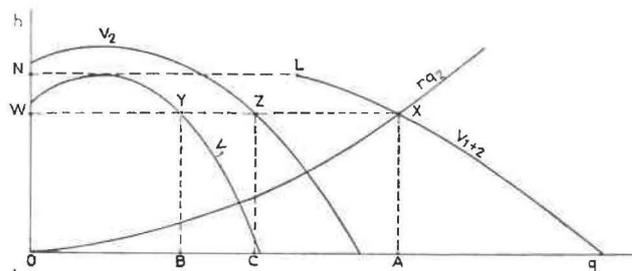


Figure 11

Fig. 11.

2. — Couplage de deux ventilateurs en parallèle sur le même circuit.

Dans la figure 11 :

- h = forces aéromotrices ou pertes de charges en mm d'eau;
- q = débits en m³/sec;
- V_1 = caractéristique débit-pression du ventilateur n° 1;
- V_2 = caractéristique débit-pression du ventilateur n° 2;
- V_{1+2} = caractéristique totale des ventilateurs 1 et 2 associés en parallèle sur le même circuit. Cette caractéristique est obtenue en ajoutant les abscisses de V_1 et V_2 pour une même ordonnée;
- rq^2 = courbe des pertes de charges du circuit en fonction du débit q ;
- X = point de fonctionnement des ventilateurs;
- $OB + OC = OA$ = débit total fourni par les deux ventilateurs 1 et 2 associés en parallèle sur le même circuit;
- OB = débit partiel fourni par le ventilateur 1 dans le débit total OA ;
- OC = débit partiel fourni par le ventilateur 2 dans le débit total OA ;
- $AX = CZ = BY = OW$ = pression motrice commune des deux ventilateurs;
- Y = point de fonctionnement du ventilateur 1;
- Z = point de fonctionnement du ventilateur 2;

L = point de fonctionnement limite des deux ventilateurs en association stable. Ce point correspond à l'ordonnée maxima ON du ventilateur 1. Pour un régime stable, la courbe des pertes de charges $r_1 q^2$ du circuit commun doit rencontrer la courbe V_{1+2} à droite du point L. Nous verrons ultérieurement ce qu'il en est lorsque la courbe $r_1 q^2$ passe à gauche du point limite L.

Figure 12

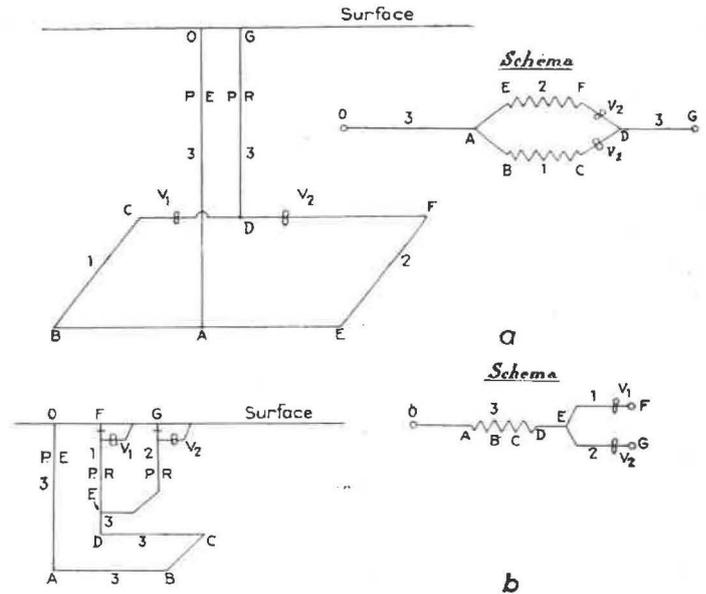


Fig. 12a et b.

III. — COUPLAGE DE DEUX VENTILATEURS FONCTIONNANT CHACUN SUR UN CIRCUIT, LES DEUX CIRCUITS ETANT DERIVES SUR UN CIRCUIT COMMUN EN SERIE AVEC EUX

1. — Exemples.

Dans la figure 12a :

- OA = puits entrée d'air;
- DG = puits retour d'air;
- OA + DG = circuit commun 3;
- ABCD = circuit dérivé 1 en série avec 3;
- AEFD = circuit dérivé 2 en série avec 3;

- V_1 = ventilateur travaillant seul sur le circuit 1 et débitant dans le circuit commun 3, en série avec 1;
- V_2 = ventilateur travaillant seul sur le circuit 2 et débitant dans le circuit commun 3, en série avec 2.

Dans la figure 12b :

- OA = puits entrée d'air;
- EF = puits retour d'air;
- EG = puits retour d'air;
- OABCDE = circuit commun 3;
- EF = circuit dérivé 1 en série avec 3;
- EG = circuit dérivé 2 en série avec 3;
- V_1 = ventilateur travaillant seul sur le circuit 1 et aspirant sur le circuit commun 3, en série avec 1;
- V_2 = ventilateur travaillant seul sur le circuit 2 et aspirant sur le circuit commun 3, en série avec 2.

2. — Couplage des deux ventilateurs (fig. 13).

Considérons deux ventilateurs souterrains V_1 et V_2 , travaillant dans des circuits propres 1 et 2 associés en parallèle et débitant tous deux dans un circuit commun 3, en série avec les circuits 1 et 2 (fig. 12a).

Traçons respectivement les courbes $V_1, r_1 q^2$ et E_1 , relatives au ventilateur V_1 (fig. 13a), et $V_2, r_2 q^2$ et E_2 , relatives au ventilateur V_2 (fig. 13b); V_1 et V_2 sont les caractéristiques des ventilateurs, $r_1 q^2$ et $r_2 q^2$, les courbes des pertes de charges des circuits propres de chacun d'eux, E_1 et E_2 , les courbes de pression motrice résiduelle disponible pour le circuit commun (partie positive). Reportons ces courbes E_1 et E_2 sur le diagramme 13c. Les deux ventilateurs débitant en parallèle dans le circuit commun, la courbe totale débit-pression dans ce circuit commun sera donnée par la courbe :

$$E_1 + E_2.$$

obtenue en ajoutant les abscisses de E_1 et E_2 pour une même ordonnée (voir II-2 ci-avant).

Le point limite L d'association stable des deux ventilateurs est donné par l'ordonnée maxima de la courbe E_1 . Ce point est situé sur la courbe E_2 . Il correspond à un débit nul du ventilateur V_1 et au débit LN du ventilateur V_2 . Pour des ordonnées supérieures à celles du point L, seul le ventilateur V_2 peut fournir une différence de potentiel pneumatique adéquate aux bornes du circuit commun. Cette différence étant supérieure à celle que le ventilateur V_1 est capable de donner, il se produira un renversement du courant d'air dans le circuit 1. Le passage de l'air dans ce circuit provoquant des pertes de charges suivant $r_1 q^2$ en fonction de q , nous tracerons à partir de N, à gauche de l'axe des ordonnées h , donc dans la région des abscisses négatives, la courbe $r_1 q^2$. Pour tracer le prolongement de la courbe $E_1 + E_2$ à gauche de L, nous retrancherons pour chaque ordonnée supérieure à ON (correspondant à celle du point L) l'abscisse correspondante de $r_1 q^2$ de celle de E_2 .

Traçons maintenant la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges du circuit commun. Cette courbe rencontre la courbe $E_1 + E_2$ de la pression motrice résiduelle disponible pour le circuit commun en A.

Figure 13

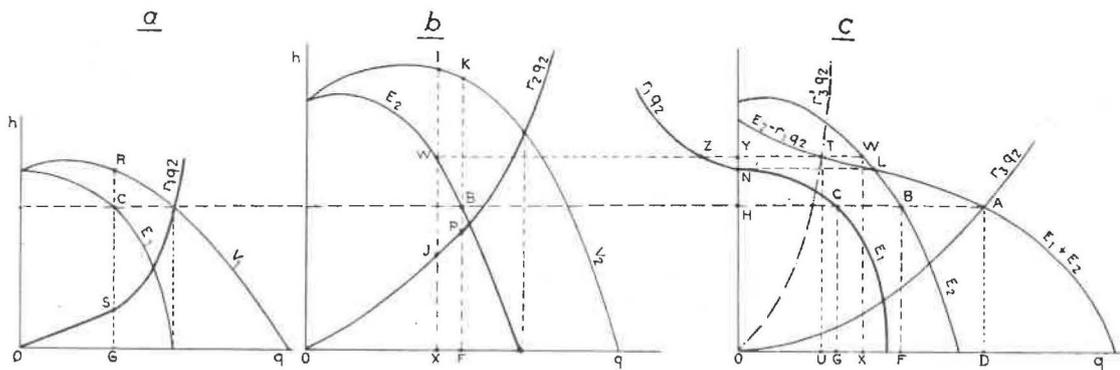


Fig. 13.

Ce point est dans la zone d'association stable de la courbe $E_1 + E_2$ (à droite de L). Dans le circuit commun, le volume d'air OD circule sous la pression motrice DA. Ce volume d'air est fourni par V_2 , à concurrence de OF, et par V_1 , à concurrence de OG. En effet, de par le tracé même de la courbe $E_1 + E_2$,

$$OD = HA = HB \text{ (ou OF) } + HC \text{ (ou OG)}.$$

La parallèle à l'axe des débits, menée suivant l'ordonnée DA de la pression motrice du circuit commun, sur les diagrammes 13a et 13b, nous permet de trouver les points de fonctionnement respectifs R et K des ventilateurs V_1 et V_2 . Ces points se trouvent sur les courbes V_1 et V_2 , à l'intersection des verticales menées par C et B, points de rencontre de l'horizontale d'ordonnée DA avec les courbes E_1 et E_2 . Le ventilateur V_1 fournit le débit OG, dans son circuit propre et dans le circuit commun, sous la pression motrice GR. La fraction GS de cette pression motrice est utilisée dans le circuit propre, pour compenser la perte de charge provoquée par le passage dans ce circuit du volume OG. La fraction $SR = GC = DA$ est utilisée dans le circuit commun, pour compenser les pertes de charges provoquées par le passage dans ce circuit du volume d'air OD, débité en partie par V_1 (OG) et par V_2 (OF). Le ventilateur V_2 fournit le débit OF sous la pression de FK. La part FP de FK est absorbée par le circuit propre et la part PK = FB = DA, par le circuit commun. Si la résistance du circuit commun augmente, il pourra se faire que la courbe $r_3' q^2$ des pertes de charges du circuit commun rencontre la courbe de pression résiduelle $E_1 + E_2$, à gauche du point limite L, en T par exemple (fig. 13c). Dans ce cas, la pression motrice UT du circuit commun ne peut plus être fournie que par le ventilateur V_2 , puisque UT est > que ON, ordonnée maxima de V_1 . L'horizontale menée par T nous montre que le ventilateur V_2 fournit le débit $YW = OX$.

Ce débit se décompose en YT et $TW = ZY$. Seul le débit YT sort par le circuit commun, sous l'action de la pression motrice UT. Le débit $TW = ZY$ repasse à contre-courant dans le cir-

cuit 1 et rentre ensuite dans le circuit 2, en cycle continu, sans jamais s'échapper par le circuit 3. Ce débit $TW = ZY$ franchit le circuit 1 à contre-courant, sous l'action d'une pression motrice $YN = OY - ON$. OY est la différence de potentiel pneumatique aux bornes communes des circuits 1 et 2 en parallèle et ON est la pression du ventilateur V_1 travaillant, en débit nul, dans son circuit propre. Quant au ventilateur V_2 , nous trouverons son point de fonctionnement en reportant sur le diagramme 13b l'ordonnée XW de E_2 et en prolongeant la verticale jusqu'à V_2 . On voit que ce ventilateur débite OX sous la pression XI. La partie XJ de cette pression compense les pertes de charges, provoquées par le passage du volume OX dans le circuit 2, et la partie $JI = XW$ compense les pertes de charges, provoquées par le passage du volume OU dans le circuit commun. On peut remarquer que le problème se traite exactement de la même façon et donne une solution identique à la précédente lorsqu'on a affaire au cas de la figure 12b : deux ventilateurs superficiels aspirant chacun par un puits de retour d'air distinct, les deux puits associés en parallèle étant en série avec le puits d'entrée d'air et le circuit des travaux.

On peut conclure de ce qui précède que, lorsque des ventilateurs sont associés en parallèle et débitent dans un circuit commun en série avec leurs circuits propres, il faut, pour qu'il n'y ait pas de renversement de courant d'air, que la perte de charge du circuit commun soit inférieure au maximum de la force aéromotrice résiduelle du ventilateur le plus faible.

Nous verrons ci-après que l'aéragé naturel exerce une influence favorable parce qu'il étend la limite de la zone d'association stable. Toutefois, comme cette force aéromotrice complémentaire est très variable dans le temps pour une même mine et qu'elle peut même être nulle à certains moments, on ne peut la prendre en considération, a priori, lorsqu'on détermine les conditions de fonctionnement des ventilateurs à installer pour obtenir des débits imposés dans des chantiers bien définis.

3. — Exemple d'application.

Prenons un exemple concret basé sur un schéma analogue à celui de la figure 12a : deux circuits 1 et 2 en parallèle, reliés en série avec le circuit 3 des puits. On a déterminé, par des mesures de débit et de pression, la résistance des circuits 1, 2 et 3.

Ces résistances sont les suivantes :

- Circuit 1 : $r_1 = 0,45$ kilomurgue.
- Circuit 2 : $r_2 = 0,11$ kilomurgue.
- Circuit 3 : $r_3 = 0,04$ kilomurgue.

Ces données nous permettent de tracer, sur les diagrammes respectifs a, b, c de la figure 14, les courbes r_1, r_2, r_3 des pertes de charges des circuits en fonction des débits. Nous nous imposons un débit de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans chacun des deux circuits dérivés, soit $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ au total dans le circuit 3. L'aérage naturel compense, le plus souvent, d'une manière importante les pertes de charges dans les puits, qui sont peu résistants, de sorte qu'il n'y a que peu de différence de pression entre les puits, ce qui rend pratiquement négligeables les fuites d'air par les communications entre puits. Nous ne tiendrons cependant pas compte de l'aérage naturel dans la détermination a priori des conditions de fonctionnement des ventilateurs.

Ainsi qu'on le voit sur le diagramme 14c, le passage de $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans le circuit des puits occasionne une perte de charge de 64 mm d'eau. Les diagrammes 14a et 14b nous montrent d'autre part que les pertes de charges respectives des circuits 1 et 2, pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$, sont de 172 mm et 44 mm . Les ventilateurs devront donc répondre aux conditions suivantes :

- Ventilateur V_1 :
 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ sous $172 + 64 = 236 \text{ mm}$ d'eau;
- Ventilateur V_2 :
 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ sous $44 + 64 = 108 \text{ mm}$ d'eau.

Nous choisirons des ventilateurs dont les courbes caractéristiques débit-pression V_1 et V_2 sont figurées respectivement aux diagrammes 14a et 14b. Nous tracerons, sur chacun de ces diagrammes, les courbes aéromotrices résiduelles E_1 et E_2 , dans leur partie positive, de la manière indiquée ci-avant. Nous associerons sur le diagramme 14c les courbes E_1 et E_2 en parallèle, ce qui fournit la courbe $E_1 + E_2$. Cette courbe rencontre la courbe des pertes de charges du circuit commun au point ($66 \text{ mm} - 40,5 \text{ m}^3/\text{sec}$), qui est le point de fonctionnement du dispositif d'aérage, sans tirage naturel. L'ordonnée de 66 mm , reportée sur les courbes E_1 et E_2 des diagrammes 14a et 14b, détermine les points de fonctionnement des ventilateurs V_1 et V_2 .

Ces points ont les coordonnées suivantes :

- V_1 : $20,5 \text{ m}^3/\text{sec} - 246 \text{ mm}$ d'eau;
- V_2 : $20 \text{ m}^3/\text{sec} - 110 \text{ mm}$ d'eau.

Le ventilateur V_1 va donc débiter, dans son circuit propre et dans le circuit commun, $20,5 \text{ m}^3/\text{sec}$. Sa pression motrice de 246 mm servira à vaincre la perte de charge de son circuit propre, à raison de 180 mm , et la perte de charge occasionnée par le passage de $40,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans le circuit commun en série avec lui, à raison de 66 mm restants.

Le ventilateur V_2 débitera, dans son circuit propre et dans le circuit commun, $20 \text{ m}^3/\text{sec}$. Sa pression motrice de 110 mm vaincra la perte de charge de son circuit propre, à raison de 44 mm , et la perte de charge du circuit commun en série avec lui, à raison de 66 mm .

On voit que le point de fonctionnement du dispositif d'aérage est bien situé dans la zone d'association stable. Cette zone est limitée par le point L de la courbe $E_1 + E_2$ du diagramme 14c. Les coordonnées de ce point L sont $15,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ et 144 mm d'eau.

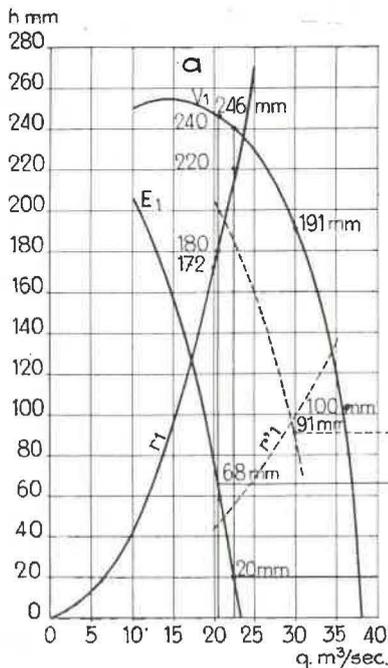


Fig. 14a.

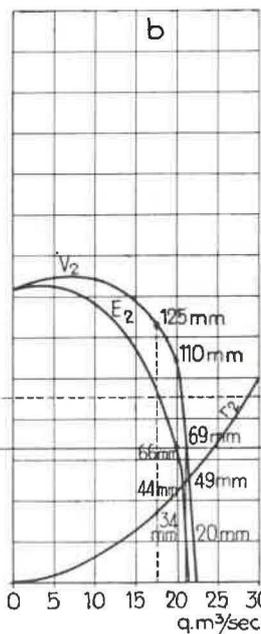


Fig. 14b.

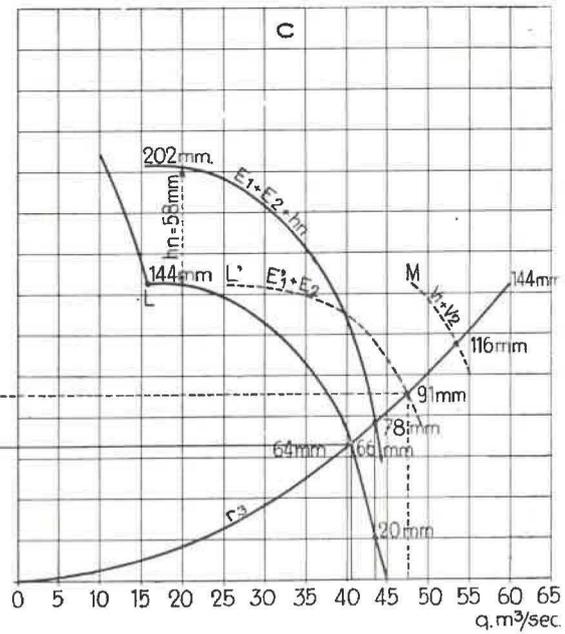


Fig. 14c.

Cette dernière ordonnée est l'ordonnée maxima de la courbe E_2 (diagramme 14b) pour un débit nul du ventilateur V_2 . La résistance des puits peut être considérée comme invariable dans le temps, sauf modification apportée à l'état de ces puits. La courbe r_3 des pertes de charge des puits, en fonction des débits, peut donc être regardée comme constante dans le temps. D'autre part, l'ordonnée de 144 mm correspondant au débit nul du ventilateur V_2 restera aussi constante, quelle que soit la variation de résistance, dans le temps, du circuit 2. Il en résulte que, dans l'association des deux ventilateurs pouvant rester stable jusqu'au moment où la perte de charge du circuit commun 3 atteint la pression maxima du ventilateur V_2 pour un débit nul de ce dernier, la stabilité du régime sera toujours assurée, quelle que soit la variation de résistance des circuits 1 et 2, dans le cas envisagé. En effet, la pression de 144 mm, égale à l'ordonnée maxima de la courbe V_2 , correspond, pour une perte de charge identique du circuit 3, au passage de 60 m³/sec dans ce circuit. Ce débit est irréalisable, attendu que le total des débits maxima de V_1 et V_2 atteint au maximum $38 + 22,5 = 60,5$ m³/sec pour une pression nulle de ces deux engins, ainsi qu'on le voit sur les diagrammes 14a et 14b.

En cas de variation de résistance des circuits 1 et 2, le point limite d'association stable se déplace sur une parallèle à l'axe des débits, d'ordonnée 144 mm au diagramme 14c. Si la résistance des circuits 1 et 2 augmente, les courbes E_1 et E_2 se redressent en se rapprochant de l'axe des pressions, mais E_2 conserve toujours son ordonnée maxima constante. La courbe $E_1 + E_2$ se rapproche donc également de l'axe des pressions et le point limite d'association stable se déplace vers la gauche dans le diagramme 14c. Le point de fonctionnement du dispositif d'aérage se déplace également vers la gauche. Comme ce point est situé sur la courbe r_3 , il y a réduction du débit et de la perte de charge dans le circuit commun et la stabilité est renforcée. Si la résistance des circuits 1 et 2 diminue, les courbes E_1 et E_2 s'aplatissent et s'écartent de l'axe des pressions, mais E_2 conserve toujours son ordonnée maxima constante. La courbe $E_1 + E_2$ du diagramme 14c s'écarte également de l'axe des pressions et le point limite d'association stable se déplace vers la droite. Le point de fonctionnement du dispositif d'aérage se déplace également vers la droite. Ce déplacement correspond à une augmentation du débit et de la perte de charge du circuit commun et à une diminution de la stabilité. Par exemple, si la résistance du circuit 1 est réduite au quart de sa valeur ancienne, par suite de l'ouverture de nouveaux chantiers à proximité des puits, sa courbe de perte de charge deviendra r_1' et la courbe de force aéromotrice résiduelle de V_1 deviendra E_1' (diagramme 14a). L'association en parallèle de $E_1' + E_2$, au diagramme 14c, donne une courbe qui rencontre la courbe r_3 au point d'ordonnée 91 mm et d'abscisse 47,5 m³/sec.

Le point limite d'association stable L' correspond à un débit de 26 m³/sec pour 144 mm de

pression motrice. Les ventilateurs travaillent au régime suivant :

- V_1 : débit de 30 m³/sec;
pression motrice de 191 mm dont
(100 mm pour le circuit 1).
(91 mm pour le circuit 3).
- V_2 : débit de 17,5 m³/sec;
pression motrice de 125 mm dont
(34 mm pour le circuit 2).
(91 mm pour le circuit 3).

A la limite, si les résistances des circuits 1 et 2 étaient nulles, les courbes E_1 et E_2 se confondraient avec les courbes V_1 et V_2 et la courbe $V_1 + V_2$ rencontrerait la courbe r_3 au point de fonctionnement : 116 mm — 53,5 m³/sec.

L'association serait encore stable. Le point limite de stabilité serait en M , caractérisé par les coordonnées 144 mm — 48 m³/sec. Ce point est encore au-dessus de r_3 , condition indispensable à l'association stable. Toutes autres choses égales, cette stabilité sera toujours d'autant mieux et plus facilement assurée que la courbe r_3 est aplatie, ce qui se produit lorsque la résistance du circuit commun est faible.

Envisageons maintenant l'influence de l'aérage naturel sur le régime de ventilation caractérisé par les courbes $r_1, r_2, r_3, V_1, V_2, E_1, E_2, E_1 + E_2$. L'aérage naturel agit comme une force aéromotrice en série avec la force aéromotrice des ventilateurs. Son ordonnée doit donc s'ajouter à l'ordonnée des courbes débit-pression des ventilateurs pour une abscisse déterminée. Il aura donc pour effet de remonter les différents points de la courbe $E_1 + E_2$ d'une hauteur correspondant à l'aérage naturel. Ce dernier, pour l'ordre de grandeur des débits en cause, peut être considéré comme indépendant des dits débits. Pour une valeur $h_n = 58$ mm de l'aérage naturel, la courbe totale de force aéromotrice résiduelle, disponible pour le circuit collecteur 3, sera figurée par $E_1 + E_2 + h_n$ au diagramme 14c. La rencontre de cette courbe avec la courbe r_3 détermine le point de fonctionnement du dispositif d'aérage. Ce point est localisé par les coordonnées suivantes : pression 78 mm — débit : 43,5 m³/sec. La perte de charge de 78 mm du circuit 3 est équilibrée, pour 58 mm, par l'aérage naturel et, pour 20 mm, par la force aéromotrice résiduelle des ventilateurs, ainsi qu'il apparaît au diagramme 14c. En reportant l'ordonnée de 20 mm sur les courbes $E_1 + E_2$ des diagrammes 14a et 14b, nous obtenons les conditions de fonctionnement des ventilateurs V_1 et V_2 . Ces conditions sont les suivantes :

- ventilateur V_1 : 22,5 m³/sec sous 240 mm,
dont 220 mm absorbés dans son circuit propre et 20 mm dans le circuit commun;
ventilateur V_2 : 21 m³/sec sous 69 mm, dont
49 mm absorbés dans son circuit propre et 20 mm dans le circuit commun.

L'aérage naturel a donc pour effet d'augmenter les débits respectifs des circuits 1 et 2 de 2,5 m³/sec et 1 m³/sec et le débit total de 3,5 m³/sec. La stabilité du régime de ventilation est augmentée, car le point limite d'association stable voit son ordonnée

passer de 144 mm à $144 + 58 = 202$ mm, tandis que la perte de charge du circuit commun 3 n'est augmentée que de 12 mm, passant de 66 mm à 78 mm.

L'aérage naturel a donc une action favorable sur la stabilité de l'association des ventilateurs souterrains, insérés dans des circuits groupés en parallèle entre eux et en série avec un circuit commun. Il permet de renforcer la réalisation de la condition de stabilité d'association énoncée ci-avant, à savoir que la perte de charge du circuit commun doit être inférieure à la force aéromotrice maxima du ventilateur le plus faible en pression. En effet, l'aérage naturel relève la pression de la dite force aéromotrice maxima d'une hauteur égale à sa totalité, puisqu'il s'ajoute à elle en verticale, tandis qu'en raison de l'allure inclinée des courbes (descendante pour les forces aéromotrices résiduelles, montante pour la courbe des pertes de charges du circuit commun), il ne provoque qu'un relèvement moindre du point de fonctionnement du système sur la courbe des pertes de charges du circuit commun.

IV. — COUPLAGE D'UN VENTILATEUR DE SURFACE EN SERIE AVEC UN VENTILATEUR DU FOND SUR CIRCUIT UNIQUE

Ce cas est schématisé par la figure 15. Les ventilateurs V_1 et V_2 sont en série sur un circuit unique pour toute la mine. Le circuit 1 — 2 — 1, constitué par les puits, est en série avec le circuit 3 constitué par les travaux d'exploitation. Le schéma de couplage est donné par la figure 16.

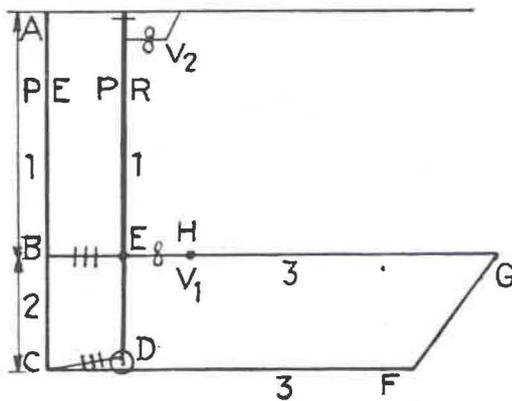


Fig. 15.

Les courbes $r_1 q^2$, $r_2 q^2$, $r_3 q^2$ représentent les pertes de charges en fonction des débits dans les circuits respectifs 1, 2, 3. Ces circuits étant en série, la courbe :

$$S \sum_{r_1}^{r_3} r q^2$$

obtenue en ajoutant leurs ordonnées pour une même abscisse, représente leur association et forme la courbe des pertes de charges totales.

Les courbes V_1 et V_2 représentent les caractéristiques débits-pressions des ventilateurs respectifs 1

et 2. Ces ventilateurs travaillant en série, la courbe $V_1 + V_2$, obtenue en ajoutant les ordonnées de V_1 et V_2 pour une même abscisse, représente la courbe caractéristique totale des deux ventilateurs.

Le point de rencontre N de la courbe :

$$S \sum_{r_1}^{r_3} r q^2$$

et de la courbe $V_1 + V_2$ donne le point de fonctionnement du dispositif de ventilation. On voit que les deux ventilateurs débitent le même volume OA sous une pression motrice totale AN. Cette pression est fournie, pour la part AB, par le ventilateur V_1 et, pour la part AC, par le ventilateur V_2 .

On peut se demander quelle sera la pression relative des puits l'un par rapport à l'autre, pour ce point de fonctionnement, et quel est le point de fonctionnement limite pour obtenir une surpression continue du puits d'entrée d'air sur toute sa profondeur. Avant de répondre à ces questions, nous remarquerons tout d'abord que du point C, fond du puits d'entrée d'air (fig. 15), jusqu'au point H, immédiatement à l'amont du ventilateur V_1 , dans le circuit 3 des travaux, il y a chute de pression due à la perte de charges dans le circuit. La pression remonte ensuite au point E, sous l'action de la force aéromotrice du ventilateur V_1 . Comme il n'y a pratiquement aucune circulation d'air dans le puits de retour, sous le niveau de retour entre E et D, la pression en D, au fond du puits de retour, est la même qu'en E. Si la chute de pression, c'est-à-dire la perte de charge, dans le circuit 3 des travaux, est plus grande que la force aéromotrice du ventilateur V_1 , la pression en C, au fond du puits d'entrée, sera plus grande que la pression en E ou en D au fond du puits de retour, au niveau inférieur et, à plus forte raison, à n'importe quel autre niveau supérieur. Si, au contraire, la perte de charge du circuit des travaux est inférieure à la pression motrice du ventilateur, la pression en C sera plus petite que la pression en E ou en D et il y aura surpression du puits de retour au niveau inférieur. L'équilibre des pressions entre puits, au niveau inférieur, sera réalisé lorsque la perte de charge du circuit des travaux sera égale à la pression aéromotrice du ventilateur V_1 sur ce circuit.

Sur la figure 16, nous voyons que le ventilateur V_1 , pour un débit OA, développe une pression motrice AB. Le passage du débit OA dans le circuit 3 provoque une perte de charge AC, supérieure à AB. La chute de pression AC dans le circuit étant supérieure au relèvement de pression AB, dû au ventilateur, il en résulte que la borne E ou D du circuit 3 (fig. 15) est à un potentiel inférieur à celui de la borne C et que, par conséquent, le puits d'entrée est en surpression, au fond, par rapport au puits de retour. L'état correspondant à l'égalité des pertes de charges du circuit 3 des travaux et de la force aéromotrice du ventilateur V_1 inséré dans ce circuit, c'est-à-dire à l'équilibre des pressions entre les deux puits, est donné par le point de rencontre des courbes des pertes de charges $r_3 q^2$ et de débit-pression du ventilateur V_1 .

Figure 16

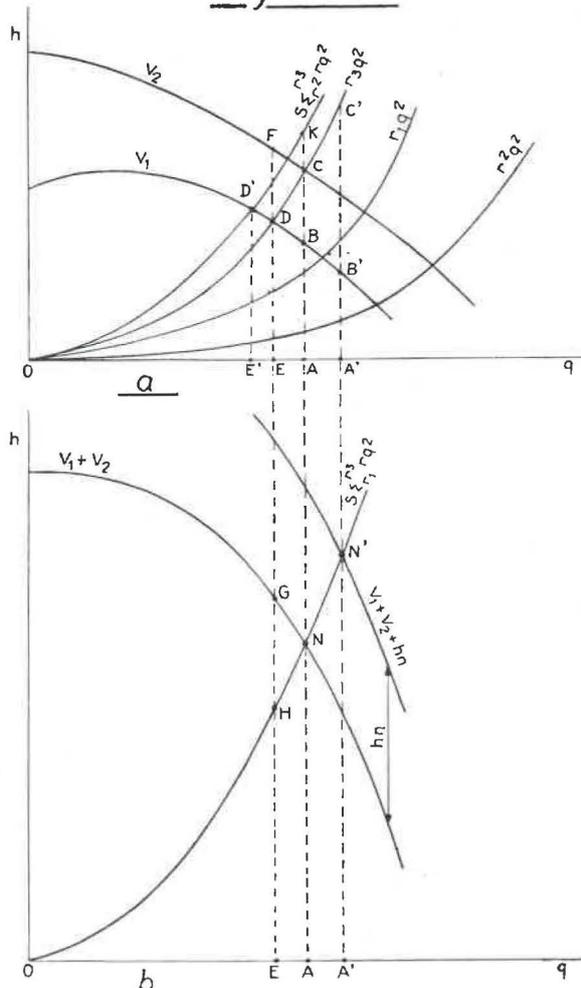


Fig. 16.

Pour une résistance r_3 inchangée de ce circuit et une caractéristique non modifiée de V_1 , ce point de fonctionnement limite est D. Il correspond à une perte de charge $r_3 q^2$ égale à ED et à une force aéromotrice de V_1 égale aussi à ED. Le volume débité par les ventilateurs V_1 et V_2 , en série, est OE. Dans le cas envisagé de constance de r_3 et V_1 , la réduction de la perte de charge $r_3 q^2$ de AC à ED et l'élévation de la force aéromotrice de AB à ED ont pu provenir, soit de l'augmentation des résistances des puits r_1 et r_2 (dans ce cas le point de fonctionnement du système est G), soit de l'abaissement de la courbe V_2 (dans ce cas le point de fonctionnement du système est H). Si, comme il est plus normal, les caractéristiques V_1 et V_2 et les résistances des puits r_1 et r_2 restent inchangées, le déplacement du point de fonctionnement limite, correspondant à l'équilibre des pressions entre puits, sera conditionné par la résistance r_3 du circuit 3 des travaux. Si celle-ci augmente, le point limite se déplacera vers la gauche, sur la courbe V_1 et sur la courbe $V_1 + V_2$, en corrélation avec une réduction du volume débité. Si cette résistance diminue, le point limite se déplacera vers la droite sur la courbe V_1 et sur la

courbe $V_1 + V_2$, en corrélation avec un accroissement du volume débité.

De toute façon, le point de fonctionnement limite, correspondant à l'équilibre des pressions, sera donné par la rencontre de la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges du circuit 3 des travaux et de la courbe V_1 caractéristique du ventilateur qui y est inséré. La région de V_1 , à droite du point limite, correspond à une surpression du puits d'entrée; la région de V_1 , à gauche de ce point, à une surpression du puits de retour.

Remarques.

1°) S'il y a surpression du puits d'entrée au niveau inférieur, à plus forte raison il y a surpression de ce puits aux niveaux supérieurs. Par exemple au niveau de retour BE (fig. 15), il y a chute de pression, égale à la perte de charge dans les circuits 2 et 3 en série, est donnée par l'ordonnée AK (fig. 16) de la courbe :

$$S \sum_{r_2}^{r_3} r q^2$$

formée par l'addition en série des courbes $r_2 q^2$ et $r_3 q^2$, ordonnée correspondant au volume OA passant dans les circuits. La courbe :

$$S \sum_{r_2}^{r_3} r q^2$$

étant au-dessus de $r_3 q^2$, ses ordonnées seront toujours plus grandes que celles de cette dernière. Les pertes de charges de B à H (fig. 15) seront donc toujours plus grandes que celles de C à H. Comme le relèvement de pression dû à V_1 est toujours égal à AB (fig. 16), on aura plus facilement $AK > AB$ que $AC > AB$. Il pourrait même se faire que :

$$AK > AB > AC,$$

si le point B de la caractéristique V_1 tombait entre K et C. Dans ce cas, il y aurait dépression du puits d'entrée au niveau inférieur d'entrée et surpression de ce puits au niveau supérieur de retour.

2°) Rappelons que l'aéragé naturel, provoquant une pression du puits d'entrée vers le puits de retour, est favorable à la surpression du puits d'entrée. Sur les diagrammes de la figure 16, cette constatation se traduit de la façon suivante; si h_n est l'aéragé naturel, nous l'ajoutons en série à :

$$V_1 + V_2$$

pour former la courbe :

$$V_1 + V_2 + h_n$$

des forces aéromotrices totales. Cette courbe rencontre la courbe :

$$S \sum_{r_1}^{r_3} r q^2$$

des pertes de charges totales en N' , correspondant à un débit :

$$OA' > OA.$$

Ce débit OA' provoque, dans le circuit 3, une chute de pression :

$$A'C' > AC.$$

Il correspond par contre à une pression motrice :

$$A'B' < AB$$

pour le ventilateur V_1 . L'inégalité $AC > AB$, nécessaire à l'obtention d'une surpression du puits d'entrée, est donc singulièrement renforcée du fait de l'aéragé naturel.

5°) L'action de l'aéragé naturel se développe dans un sens favorable à l'obtention de l'équilibre des pressions entre puits, dans le cas de la ventilation souterraine unique. Malheureusement, cette action est très instable et fort variable dans le temps. On peut se demander s'il n'est pas possible de régulariser cette action en lui adjoignant une force aéromotrice complémentaire variable, produite par un ventilateur superficiel, de telle façon que la somme des deux forces aéromotrices variables (aéragé naturel et force aéromotrice superficielle) soit toujours constante et égale à la perte de charge des puits pour un débit constant, ce qui réaliserait un équilibre permanent des pressions entre puits au niveau inférieur, et ce, sans l'intermédiaire de relais mécanique, électrique ou pneumatique.

Remarquons tout d'abord que l'on peut énoncer la condition nécessaire à l'obtention de l'équilibre des pressions entre puits au niveau inférieur en utilisant la notion de force aéromotrice résiduelle, que nous avons définie au début comme étant l'excédent positif, nul ou négatif de force aéromotrice d'un ventilateur sur les pertes de charges du circuit dans lequel il est inséré.

Supposons un ventilateur unique au fond, inséré dans un circuit de travaux 3, en série avec le circuit 1 des puits. Traçons, sur la figure 17a, la courbe de sa force aéromotrice résiduelle E_r , par rapport à son circuit propre 3. Cette courbe représente, en fonction des débits q , l'évolution des pressions disponibles pour le circuit des puits 1. Nous voyons qu'elle comporte une partie positive, au-dessus de l'axe des q , et une partie négative, en dessous de cet axe.

Au point de rencontre C avec l'axe q , $E_r = 0$, ce qui signifie que la force aéromotrice du ventilateur équilibre exactement les pertes de charges de son circuit propre 3 et qu'il n'y a aucun excédent disponible pour le circuit des puits 1. En cas d'aéragé naturel nul, le point de fonctionnement du dispositif d'aéragé est donné par la rencontre de la courbe E_r avec la courbe $r_1 q^2$ des pertes de charges du circuit des puits 1. Ce point est B. Il correspond à un débit OA et à une perte de charge AB dans le circuit 1, perte de charge compensée par l'excédent de même valeur de la force aéromotrice du ventilateur sur son circuit propre. Cette force aéromotrice dépasse donc, de AB, la perte de charge du circuit 3 des travaux; il y a par conséquent surpression du puits de retour, au niveau inférieur, égale à AB. Pour qu'il y ait équilibre des pressions entre puits au fond, il faut que la perte de charge du circuit 3 soit égale à la force aéromotrice, c'est-à-dire que $E_r = 0$, ce qui est réalisé au point C, correspondant au débit OC. Mais ce débit OC, passant dans le circuit des puits 1, provoque une perte de charge CD.

Pour compenser cette perte de charge, on ne dispose pas d'excédent de force aéromotrice du ventilateur. On ne peut trouver une compensation que par l'aéragé naturel et pour une valeur $h_n = CD$ de celui-ci. Pour cette valeur de h_n , la courbe des forces aéromotrices totales disponibles pour le circuit 1 des puits est $E_r + h_n$ et il y a équilibre des pressions au fond entre puits. Si l'aéragé naturel augmente et atteint h'_n , la courbe des forces aéromotrices totales disponibles pour 1 devient :

$$E_r + h'_n.$$

Cette courbe rencontre la courbe $r_1 q^2$ en F, correspondant à un débit OE et à une perte de charge EF dans le circuit 1 des puits. On constate ici un déficit EG de force aéromotrice pour le circuit 3 des travaux. Cela signifie que la perte de pression dans ce circuit est supérieure de FG au relèvement de pression provoqué par le ventilateur. Le fonds du puits d'entrée d'air est donc en surpression de EG par rapport au fond du puits de retour. La force aéromotrice d'appoint $h'_n = EG$ compense, pour une fraction EG, l'insuffisance de pression motrice du ventilateur dans son circuit propre et, pour la fraction EF, la perte de charge occasionnée dans le circuit des puits 1 par le passage du débit OE. Par contre, si l'aéragé naturel est réduit à la valeur $h''_n = IJ$, la courbe des forces aéromotrices totales disponibles pour 1 devient :

$$E_r + h''_n.$$

Cette courbe, par sa rencontre avec $r_1 q^2$, détermine le point J de fonctionnement du système, correspondant au débit OH. Ce débit OH occasionne dans le circuit 1 des puits une perte de charge HJ compensée, pour HI, par l'excédent de force aéromotrice du ventilateur sur son circuit propre, disponible pour le débit OH et, pour $IJ = h''_n$, par l'aéragé naturel. Comme la force aéromotrice du ventilateur est supérieure de HI à la perte de pression dans son circuit 3, il y a excédent de relèvement de pression par rapport à la perte, dans ce circuit, et le puits de retour d'air est en surpression de HI sur le puits d'entrée, au niveau inférieur.

Si l'on pouvait séparer l'action de l'aéragé naturel de celle de la pression motrice du ventilateur et si les deux puits avaient une même résistivité sur toute leur profondeur, on pourrait déterminer, sur le diagramme 17a, la profondeur du point d'équilibre des pressions entre puits. En effet, dans ce cas, la perte de pression dans les puits serait proportionnelle à la profondeur.

Si nous figurons le puits par HJ, H étant le fond et J la surface, nous voyons que la pression motrice, égale à la perte de charge, de valeur HJ au fond en H, diminue progressivement pour atteindre une valeur nulle à la surface en J. En I, la pression motrice n'est plus que de IJ, la fraction HI de la pression maxima initiale HJ étant absorbée. Or, cette fraction HI représente l'excédent de force aéromotrice du ventilateur sur les pertes de charges de son circuit, c'est-à-dire la surpression du puits de retour au niveau inférieur H. Au niveau I, cette surpression est annulée et il y a équilibre des pressions entre puits. Au-dessus de I, jusqu'à la surface en J, la perte de charge des puits est compensée par l'aéragé naturel seul et le puits

d'entrée est en surpression. Or, le point I, pour l'aéragé naturel h''_n , donnant la courbe $E_t + h''_n$, qui fournit par sa rencontre avec $r_1 q^2$ le point de fonctionnement J, est situé sur E_t à une distance de $r_1 q^2 IJ = h''_n$.

On pourrait donc dire qu'entre les points de fonctionnement correspondant à l'aéragé naturel nul (B) et à l'aéragé naturel donnant l'équilibre des pressions entre puits au fond (D), le lieu géométrique de la profondeur du point d'équilibre des pressions entre puits est la courbe E_t , pour des valeurs de l'aéragé naturel variant de O à h_n . Pour le point D, le point d'équilibre est au fond en C (profondeur du puits figurée par CD). Pour le point B, le point d'équilibre est à la surface en B (profondeur du puits figurée par AB). Pour une valeur h''_n de l'aéragé naturel, comprise entre O et h_n , le point d'équilibre est en I, à une profondeur égale à :

$$\frac{IJ}{HJ} \times \text{profondeur des puits en mètres.}$$

Remarquons cependant que ces considérations sont toutes théoriques. Il est extrêmement rare en effet que les puits aient une résistivité identique et constante sur toute leur profondeur. En outre, l'action de l'aéragé naturel ne peut être dissociée de celle de la pression motrice résiduelle du ventilateur. Le tirage naturel varie d'ailleurs avec la profondeur et est, de plus, fonction de nombreux facteurs de perturbation locaux.

Voyons maintenant si l'on peut maintenir automatiquement constante la somme des forces aéromotrices d'appoint destinées à compenser des pertes de charges constantes, occasionnées par le passage d'un volume d'air dans le circuit des puits.

Nous avons dit que l'équilibre des pressions entre puits, au niveau inférieur, était réalisé par l'égalité des pertes de charges du circuit des travaux 3 et de la force aéromotrice du ventilateur souterrain. Cet état est obtenu au point nul C de la courbe E_t de la force aéromotrice résiduelle du

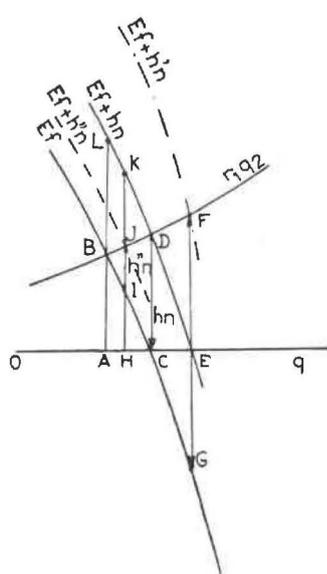


Fig. 17a.

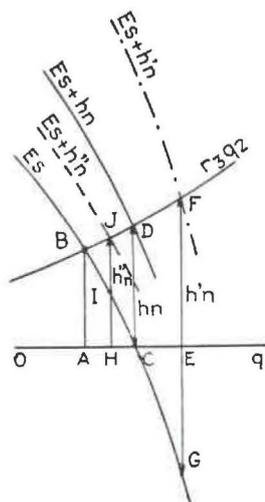


Fig. 17b.

ventilateur, disponible pour le circuit 1 des puits. Pour ce point, le débit est OC et la perte de charge du circuit collecteur 1 est CD. Il faut donc disposer en permanence d'une force aéromotrice de même valeur pour maintenir constant l'équilibre des pressions entre puits au niveau inférieur. Cette force aéromotrice sera fournie par l'aéragé naturel et un ventilateur superficiel, dont nous allons déterminer la caractéristique.

La courbe $r_1 q^2$ étant invariable et le point de fonctionnement du système, en équilibre de pression, devant être D, correspondant à un volume OC, il faut que la courbe des forces aéromotrices totales soit toujours $E_t + h_n$. Si h_n diminue et devient égal à h''_n par exemple, il faut ajouter à la courbe $E_t + h''_n$ une pression motrice complémentaire superficielle V_s telle que :

$$E_t + h''_n + V_s = E_t + h_n.$$

D'où :

$$V_s = h_n - h''_n = JK.$$

Si l'aéragé naturel est nul, il faut ajouter à E_t une force V_s telle que :

$$E_t + V_s = E_t + h_n.$$

D'où :

$$V_s = h_n = BL.$$

Quand l'aéragé naturel atteint h_n , on devra avoir :

$$E_t + h_n + V_s = E_t + h_n.$$

D'où :

$$V_s = 0.$$

En fait, entre les limites d'aéragé naturel nul et d'aéragé naturel optimum, h_n , correspondant à l'équilibre des pressions, la caractéristique débit-pression du ventilateur superficiel d'appoint doit être figurée par la courbe $E_t + h_n$, rapportée à la courbe $r_1 q^2$ prise comme abscisse. L'axe des abscisses qui nous intéresse sera donc BJD et la caractéristique du ventilateur superficiel DKL. Pour le point D de pression nulle de cette caractéristique, le débit sera OC. Pour les points K et L, ce débit devrait également être OC. Il sera en réalité inférieur à OC, la caractéristique n'étant pas verticale, mais en fait il s'écartera peu de OC, si l'on a soin de choisir un type de ventilateur à caractéristique très redressée dans sa partie inférieure. Il y aura toujours ainsi, automatiquement, de la part du ventilateur de surface, fourniture d'un appoint de pression motrice approprié, tel que l'aéragé naturel du moment, augmenté de cet appoint, sera toujours à peu près constant et approximativement égal à la perte de charge des puits, quasi constante également, puisque le débit sera très peu variable.

On objectera que, la résistance de la mine variant dans le temps avec la situation des travaux, la courbe E_t subira de ce fait des modifications qui entraîneront un déplacement du point de fonctionnement optimum, correspondant à l'équilibre des pressions entre puits, et par conséquent un défaut d'adaptation de la caractéristique du ventilateur superficiel au nouveau régime. Cette objection n'est pas dénuée de fondement. Toutefois, on doit noter que des variations importantes et brusques de la résistance de la mine ne se produisent pas avec une grande fréquence. De plus, en ayant re-

cours aux ventilateurs hélicoïdes, tant au fond qu'à la surface, on peut obtenir les modifications adéquates des caractéristiques en agissant sur le nombre de pales de l'hélice, ce qui permet de maintenir des débits presque constants pour une gamme variée de valeurs de la pression motrice.

Pour en terminer avec la question du rôle de l'aérage naturel dans les différences de pression entre puits, il ne nous paraît pas dénué d'intérêt d'illustrer par des diagrammes l'influence discordante de l'aérage naturel sur le régime des pressions relatives entre puits, selon que le ventilateur est placé au fond ou à la surface. Nous reprendrons, pour ce faire, le diagramme 17a relatif au ventilateur au fond et nous établirons le diagramme 17b, relatif au ventilateur à la surface. Afin de mettre en relief ces discordances, nous avons adopté pour le ventilateur de surface une caractéristique débit-pression identique à celle du ventilateur souterrain et une résistance du circuit 3 des travaux égale à celle du circuit 1 des puits.

Dans le diagramme 17b, la courbe E_s est la courbe des forces aéromotrices résiduelles du ventilateur de surface sur les pertes de charges de son circuit propre, en l'occurrence le circuit 1 des puits. Cette courbe E_s est identique à la courbe E_f du diagramme 17a, représentant la courbe de force aéromotrice résiduelle du ventilateur du fond sur son circuit 3. En l'absence d'aérage naturel, le point de fonctionnement du système d'aérage par ventilateur superficiel sera donné par B, point de rencontre de la courbe E_s avec la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges des travaux. Le volume débité est OA. L'excédent de pression motrice du ventilateur sur la perte de charge de son circuit 1 est AB. Cet excédent constitue la force aéromotrice du circuit 3 des travaux. Il y a donc une différence de pression positive égale à AB entre la borne d'entrée du circuit 3 et la borne de retour de ce même circuit. Le puits d'entrée d'air est donc en surpression de AB par rapport au puits de retour. Pour des valeurs croissantes h''_n , h_n , h'_n de l'aérage naturel, en série avec la force aéromotrice du ventilateur, la courbe E_s devient respectivement $E_s + h''_n$, $E_s + h_n$, $E_s + h'_n$ et les points de fonctionnement, obtenus par la rencontre de ces courbes avec $r_3 q^2$, deviennent J, D, F. A ces points correspondent les débits respectifs OH, OC, OE et les pertes de charges HJ, CD, EF dans le circuit 3 des travaux. Ces pertes de charges donnent la valeur de la surpression du puits d'entrée au niveau inférieur pour les différents régimes d'aérage naturel.

On voit que la surpression du puits d'entrée au fond augmente avec l'aérage naturel. Cette surpression est minimum au fond et elle augmente au fur et à mesure que la profondeur diminue, jusqu'à atteindre la force aéromotrice totale du ventilateur à proximité de la surface, tandis qu'avec le ventilateur souterrain, une surpression éventuelle du puits de retour diminue du fond à la surface, pour être nulle à ce dernier endroit.

En résumé, on peut établir la comparaison suivante entre la ventilation souterraine et la ventilation superficielle, pour différentes valeurs crois-

santes de l'aérage naturel, en se référant aux diagrammes 17a et 17b.

Aérage naturel	Ventilation souterraine	Ventilation superficielle
O	surpression puits retour = AB	surpression puits d'entrée = AB
h''_n	surpression puits retour = HI	surpression puits d'entrée = HJ
h_n	égalité de pression entre puits	surpression puits d'entrée = CD
h'_n	surpression puits d'entrée = EG	surpression puits d'entrée = EF

V. — COUPLAGE D'UN VENTILATEUR PRINCIPAL DE SURFACE, EN SERIE AVEC UN VENTILATEUR AUXILIAIRE PLACE DANS UN CIRCUIT EN PARALLELE AVEC D'AUTRES CIRCUITS

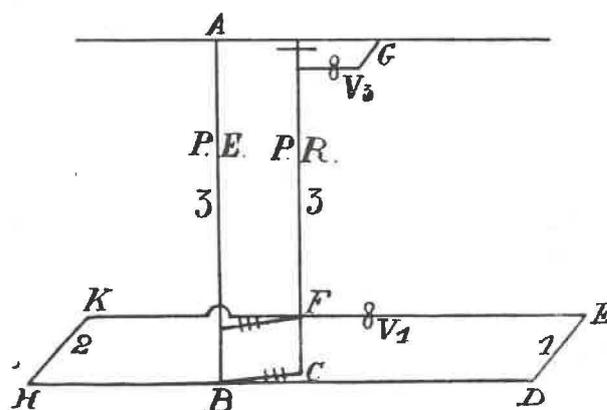


Fig. 18.

Le cas peut être schématisé par le croquis de la figure 18, deux quartiers, formant circuit 1 et 2, reliés aux puits formant circuit 3, en série avec le groupe parallèle 1-2. Un ventilateur V_1 travaille sur le seul circuit 1 et sur le circuit 3. Le ventilateur de surface V_3 travaille sur l'ensemble.

Les diagrammes de couplage des deux ventilateurs sont donnés à la figure 19. Dans la partie positive des h et des q , nous traçons la courbe $r_1 q^2$ des pertes de charges dans le circuit 1, les courbes V_1 et V_3 de débit-pression des ventilateurs V_1 et V_3 , la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges du circuit collecteur 3.

Nous établirons par points la courbe de force aéromotrice résiduelle E_1 du ventilateur V_1 . On sait que cette courbe est constituée par la différence des ordonnées de V_1 et $r_1 q^2$. Les valeurs de cette courbe sont positives jusqu'au volume OA, déterminé par le point de rencontre B de V_1 et $r_1 q^2$. Pour des volumes supérieurs à OA, les valeurs de E_1 sont négatives. Dans la région des h négatifs et q positifs, nous traçons la courbe $r_2 q^2$ des pertes de charges dans le circuit 2. Nous associons en parallèle, dans cette région des h négatifs, les courbes $r_2 q^2$ et E_1 , ce qui nous fournit, à partir de A, la courbe : $E_1 + r_2 q^2$, qui donne les pressions

en fonction des débits dans le groupe parallèle 1-2. Nous associons ensuite en série la courbe $E_1 + r_2 q^2$ et la courbe V_3 . A droite du point A, les ordonnées de $E_1 + r_2 q^2$ étant négatives, la courbe résultant de l'association en série de $E_1 + r_2 q^2$ avec V_3 sera obtenue en soustrayant des ordonnées de V_3 les ordonnées de $E_1 + r_2 q^2$, ce qui donne la courbe :

$$V_3 - (E_1 + r_2 q^2),$$

qui représente la courbe des pressions motrices disponibles pour le circuit collecteur 3, commun à 1 et 2. La rencontre de la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges de ce circuit 3 avec la courbe $V_3 - (E_1 + r_2 q^2)$ donne le point C de fonctionnement du système d'aérage. Ce point correspond à un volume OD passant dans la mine. Ce volume est débité par le ventilateur V_3 , sous la pression DF. La part DC de cette pression sert à compenser les pertes de charges provoquées par le passage du volume OD dans le circuit 3. La part restante CF = DG de la pression DF sert à compenser les pertes de charges provoquées par le passage du volume OD dans le groupe parallèle 1-2. DG est donc la différence de potentiel pneumatique aux bornes communes des chantiers 1 et 2, en parallèle. Du volume total OD = KG, le volume KI passe dans le circuit 2, dépourvu de ventilateur auxiliaire, et le

volume IG = KH passe dans le circuit 1, muni du ventilateur V_1 . Ce ventilateur débite, dans son circuit, le volume KH = OM, sous la pression MN. Pour ce débit OM, la perte de charge dans le circuit 1 est MP, supérieure de NP à la force motrice MN du ventilateur V_1 . L'appoint de force motrice NP, nécessaire pour faire passer le débit OM dans le circuit 1, est fourni par le ventilateur V_3 en série avec V_1 . On a, en effet :

$$NP = MH = DG.$$

Envisageons maintenant ce qui se passe à gauche du point A, correspondant aux valeurs positives de la courbe de force aéromotrice résiduelle E_1 du ventilateur V_1 . Pour l'association en parallèle des courbes E_1 et $r_2 q^2$ dans cette région, nous tracerons la courbe $r_2 q^2$ dans la région des h positifs et des q négatifs. Nous soustrairons des abscisses de E_1 les abscisses correspondantes de $r_2 q^2$ et nous obtenons la courbe :

$$E_1 - r_2 q^2,$$

à gauche de A, dans la région des h et des q positifs. Nous combinerons ensuite, en série, les courbes $E_1 - r_2 q^2$ et V_3 , en ajoutant aux ordonnées de V_3 , à partir du point L (correspondant à A) et vers la gauche, les ordonnées de $E_1 - r_2 q^2$; nous obtenons la courbe :

$$V_3 + E_1 - r_2 q^2.$$

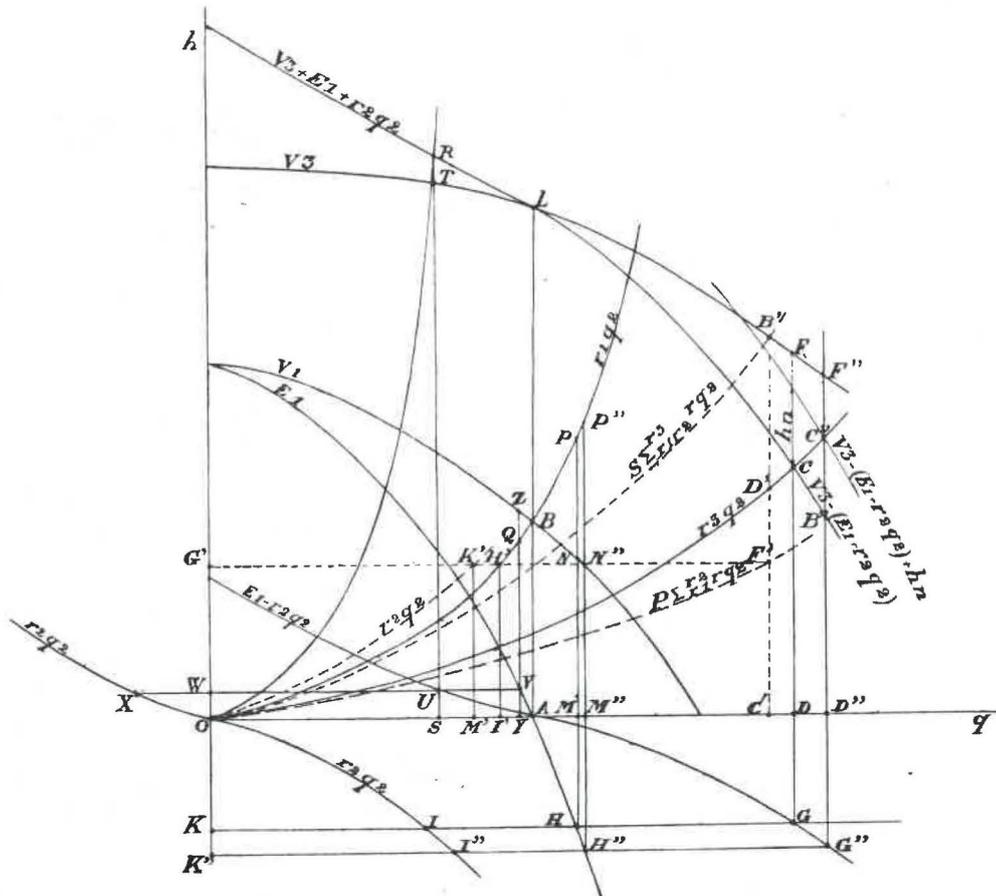


Figure 19

Fig. 19.

Si le circuit 3, au lieu d'une résistance r_3 , avait une résistance r_3 beaucoup plus grande, la rencontre de $r_3 q^2$ et de $V_3 + E_1 - r_2 q^2$, donnant le point de fonctionnement du système d'aérage, se ferait en R, à gauche de L. Au point R correspond le débit OS du ventilateur de surface V_3 . Ce dernier donne, pour ce débit, une force aéromotrice ST. Pour vaincre les pertes de charges SR provoquées par le passage de OS dans le circuit 3 de résistance r_3 , on voit que cette force aéromotrice ST est insuffisante. Il faut y ajouter un appoint RT = SU (ordonnée de $E_1 - r_1 q^2$ pour OS). C'est donc la force aéromotrice résiduelle positive de V_1 qui constitue cet appoint. Au point U de la courbe $E_1 - r_1 q^2$ correspondent, pour une même ordonnée, le point V sur la courbe E_1 et le point X sur la courbe $r_2 q^2$ de la région des h positifs et des q négatifs.

Le point V correspond au volume OY, débité par le ventilateur V_1 dans le circuit 1, sous une pression motrice YZ. On voit que cette pression motrice YZ est supérieure à la perte de charge YQ provoquée par le passage du volume OY dans le circuit 1. L'excédent de force aéromotrice ZQ = YV = SU compense l'insuffisance de pression motrice de V_3 . Cet état de fait a pour conséquence que la chute de pression YQ de la borne amont à la borne aval du circuit 1 est plus que compensée par le relèvement de pression YZ, dû au ventilateur V_1 . Il en résulte que la borne d'aval est à une pression supérieure de QZ = YV à la pression de la borne amont. Or, les bornes du circuit 1 sont communes aux bornes du circuit 2, ces deux circuits étant en parallèle.

Il en résulte que, dans ce circuit 2, l'air va s'écouler de la borne théorique d'aval vers la borne théorique d'amont, donc en sens inverse de l'aérage normal, sous l'effet d'une différence de potentiel pneumatique YV. Le renversement du courant d'air dans le circuit 2 aura, sous l'influence de la pression YV, une intensité WX. Le processus de la ventilation sera donc le suivant : le ventilateur V_1 débitera dans son circuit 1 le volume OY = WV. A l'extrémité aval du circuit, commune aux circuits 1 et 2, une partie UV = WX de ce volume circulera dans le circuit 2 en sens inverse de l'aérage normal et rentrera, à la borne d'amont commune aux deux circuits, dans le circuit 1, suivant un cycle continu. Seule, la partie restante WU = OS du volume OY circulera dans le circuit commun 3 et sera aspirée par le ventilateur de surface V_3 .

On voit ainsi que, lorsqu'on place un ventilateur souterrain dans un chantier en parallèle avec d'autres chantiers, ce ventilateur travaillant en série avec le ventilateur de surface, la condition nécessaire et suffisante pour qu'il n'y ait pas renversement d'aérage dans les chantiers dépourvus de ventilateurs est que le dispositif de ventilation fonctionne dans la partie négative de la courbe de force aéromotrice résiduelle du ventilateur auxiliaire. Autrement dit, il faut que la perte de charge du circuit muni du ventilateur auxiliaire soit supérieure à la force aéromotrice développée par ce dernier.

Remarques.

1°) Nous pouvons examiner quelles modifications le placement du ventilateur V_1 dans le circuit 1 a provoquées dans le régime de la ventilation. Traçons dans la région des h et des q positifs la courbe $r_2 q^2$ des pertes de charges dans le circuit 2. Associons en parallèle les courbes $r_1 q^2$ et $r_2 q^2$, ce qui nous donne la courbe :

$$P \sum_{r_1}^{r_2} r q^2$$

Associons en série avec cette dernière courbe la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges dans le circuit 3. Nous obtenons la courbe :

$$S \sum_{r_1 r_2}^{r_3} r q^2$$

Le point de rencontre B' de cette courbe avec la courbe V_3 donne le point de fonctionnement du ventilateur. Celui-ci débite un volume OC' sous une pression motrice C'B'. Le volume OC' passe dans le circuit 3, collecteur de 1 et 2. La pression C'B' est utilisée comme suit : la partie C'D' compense les pertes de charges dans le circuit 3 collecteur. La partie restante D'B' = C'F' compense les pertes de charges du groupe parallèle 1-2, en série avec 3. Sous l'action de cette force motrice C'F', appliquée aux bornes communes de 1 et 2, il passe, dans 1, un débit G'H' = OI' et, dans 2, un débit H'F' = G'K' = OM'.

Après placement du ventilateur, la situation est la suivante :

débit total OD > OC'. Pression motrice de V_3 : DF < C'B'
 débit dans 1: OM > OI' } Différence de potentiel
 débit dans 2: KI < OM' } aux bornes communes
 de 1 et 2: OK < OG'.

Il y a donc eu accroissement du débit dans 1 et diminution dans 2.

2°) Nous pouvons, à priori, déterminer les caractéristiques du ventilateur auxiliaire que nous devons placer dans un chantier pour obtenir un débit déterminé, sans abaisser le débit des autres chantiers en dessous d'un minimum donné.

Reprenons le schéma de la figure 18 et les diagrammes de la figure 19. Nous disposons des courbes $r_1 q^2$, $r_2 q^2$, $r_3 q^2$ et V_3 . Nous tracerons, dans la région des q positifs et des h négatifs, la courbe $r_2 q^2$. Le volume minimum imposé pour ce chantier étant KI, nous en déduisons que nous devons disposer, aux bornes communes, d'une force aéromotrice OK. D'autre part, nous assignant un volume OM = KH pour le circuit 1, nous pouvons trouver le point H de la courbe E_1 à la rencontre de KH et de MH et déterminer le point G de la courbe $E_1 + r_2 q^2$ en ajoutant KI à KH. En soustrayant DG de DF (ordonnée de V_3), nous devons trouver le point C sur la courbe $r_3 q^2$ de telle façon que FC = DG. Il en sera rarement ainsi. Nous devons donc procéder par tâtonnements, en déplaçant le point G suivant une horizontale (modifi-

cation du débit imposé dans 1) ou suivant la verticale (modification du débit imposé dans 2) ou suivant une orientation quelconque (modification des débits imposés dans 1 et 2). Si la chose est nécessaire, nous agirons sur la courbe V_3 en modifiant la vitesse du ventilateur V_3 . Ayant réalisé l'égalité $FC = DG$, nous tracerons la verticale HP , passant par M , fixant le débit OM de 1. La rencontre de cette verticale avec $r_1 q^2$ donnera la perte de charges MP du circuit 1 pour le débit OM . Soustrayant MH de MP à partir de P , nous obtiendrons le point N de la caractéristique de V_1 . Nous saurons ainsi que, pour les conditions imposées, nous devons placer un ventilateur auxiliaire qui débite le volume OM sous la pression MN . Il appartiendra alors au constructeur de fournir le ventilateur adéquat.

Prenons, comme cas d'application pratique, le schéma des deux quartiers 1 et 2, en parallèle, reliés en série avec les puits formant circuit 3. Le débit du quartier 1 est $14 \text{ m}^3/\text{sec}$ sous une pression motrice de 43 mm d'eau. Le débit du quartier 2 est $18 \text{ m}^3/\text{sec}$, sous la même pression motrice. Le débit dans le puits est $32 \text{ m}^3/\text{sec}$, pour une pression de 110 mm au ventilateur. La perte de charge des puits est donc, pour ce volume, $110 - 43 = 67 \text{ mm}$. Les éléments ci-avant nous permettent de dresser,

Nous désirons obtenir, dans le quartier 1, un débit de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ au lieu de $14 \text{ m}^3/\text{sec}$. Le débit de $18 \text{ m}^3/\text{sec}$ du quartier 2 peut être quelque peu abaissé sans inconvénient. Ayant tracé la courbe $r_2 q^2$ dans la région des h négatifs et des q positifs, nous trouvons, après quelques tâtonnements, que le volume de $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans le quartier 2 permet d'obtenir une solution convenable du problème. Au volume de $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ correspond, dans 2, une perte de charge de 30 mm d'eau. Traçant l'horizontale -30 mm et la verticale correspondant à un débit de $20 + 15 = 35 \text{ m}^3/\text{sec}$, nous constatons que, pour ce volume total, la différence entre V et $r_3 q^2$ est justement de $108 - 78 = 30 \text{ mm}$. Il nous restera donc à élever la verticale passant par le débit $20 \text{ m}^3/\text{sec}$. Cette verticale rencontre la courbe $r_1 q^2$ au point d'ordonnée 82 mm , qui représente la perte de charge provoquée dans le circuit 1 par le passage de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$. Cette perte de charge est compensée en partie, pour 30 mm , par l'excédent de pression motrice du ventilateur de surface sur le circuit des puits. Le reste doit être équilibré par la pression motrice du ventilateur auxiliaire souterrain qui devra être, pour $20 \text{ m}^3/\text{sec}$, $82 - 30 = 52 \text{ mm}$. Le ventilateur auxiliaire devra donc donner, pour un point de sa caractéristique, $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ sous 52 mm de pression.

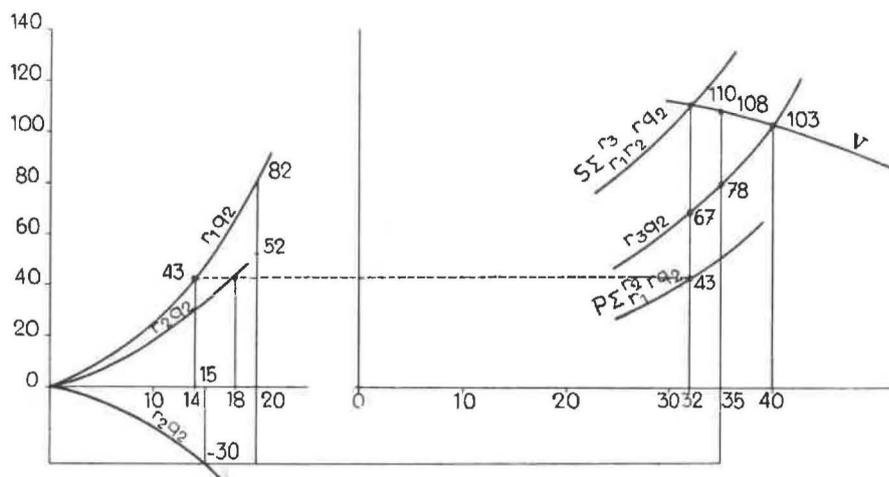


Fig. 20.

à la figure 20, les diagrammes de la ventilation. Connaissant r_1 , r_2 , r_3 , nous tracerons les courbes $r_1 q^2$ et $r_2 q^2$ que nous associerons en parallèle suivant :

$$P \sum_{r_1}^{r_2} r q^2$$

courbe à laquelle nous ajouterons, en série, $r_3 q^2$, ce qui nous donnera finalement la courbe :

$$S \sum_{r_1 r_2}^{r_3} r q^2$$

des pertes de charges totales de la mine. Cette courbe rencontre la courbe débit pression du ventilateur V au point de coordonnée 110 mm d'eau — $32 \text{ m}^3/\text{sec}$.

On voit que, tant qu'il y aura un excédent positif de force aéromotrice du ventilateur superficiel sur les pertes de charges de son circuit propre, c'est-à-dire les puits, on pourra obtenir des débits plus élevés dans le circuit 1, au détriment du circuit 2, sans provoquer de renversement d'aérage dans le circuit 2. La limite est déterminée par le point de rencontre $r_3 q^2$ et V , de coordonnée $103 \text{ mm} - 40 \text{ m}^3/\text{sec}$. Pour ce point, il passe $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans le quartier 1 et dans les puits et le débit dans le quartier 2 est nul, puisqu'il n'y a aucune différence de potentiel pneumatique entre ses bornes, attendu que la force aéromotrice du ventilateur superficiel équilibre exactement la perte de charge des puits et que, par conséquent, la force aéromotrice du ventilateur auxiliaire inséré dans le circuit 1 équilibre également la perte de charge provoquée par le passage de $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans

son circuit. Ce débit correspondra pour le ventilateur auxiliaire du chantier 1 au point d'ordonnée nulle de sa courbe résiduelle de force aéromotrice, déplacée sur l'axe des débits jusqu'à sa position limite maxima. La sécurité de marche du dispositif d'aérage ne peut donc être obtenue que pour des points de fonctionnement correspondant, sur la courbe débit-pression du ventilateur de surface, à des points situés à gauche du point de rencontre de cette courbe avec la courbe des pertes de charges des puits.

3°) Il y a lieu de noter ici encore l'influence favorable de l'aérage naturel. S'il existe, dans le diagramme figure 19, un tirage naturel h_n , nous devons ajouter une ordonnée égale à h_n , à la courbe :

$$V_3 - (E_1 + r_2 q^2),$$

ce qui nous donnera la courbe totale de force aéromotrice disponible pour le circuit commun :

$$V_3 - (E_1 + r_2 q^2) + h_n.$$

Cette courbe rencontre la courbe $r_3 q^2$ en C'' (au lieu de C sans aérage naturel). Ce point correspond au débit OD'' (plus grand que OD). Pour ce débit, la perte de charge dans le circuit 3 des puits est D''C''. La pression motrice du ventilateur de surface est D''F''. Il y a un excédent C''F'' qui, ajouté à C''B'' = h_n , donne une valeur D''G'', pour la force aéromotrice disponible aux bornes du groupe parallèle 1-2. Cette force aéromotrice donne un débit de K''I'' (plus grand que KI) dans le circuit libre 2 et un débit K''H'' (plus grand que KH) dans le circuit 1, pourvu du ventilateur auxiliaire. Ce débit K''H'' = OM'' provoque une perte de charge M''P'' dans le circuit 1. Cette perte de charge est équilibrée en partie par la force aéromotrice M''N'' du ventilateur auxiliaire et, pour le reste, par la force aéromotrice N''P'' = M''H'', disponible aux bornes communes des deux circuits et provenant du ventilateur de surface et de l'aérage naturel.

L'action de l'aérage naturel a pour résultat de rendre plus étendue la zone de fonctionnement normal du dispositif d'aérage, dans laquelle il n'y a pas à craindre de renversement d'aérage dans les chantiers non munis de ventilateurs auxiliaires. Le tirage naturel rend même possible le fonctionnement normal d'un dispositif d'aérage tel que celui envisagé ici, comprenant des circuits libres et des circuits pourvus de ventilateurs auxiliaires, avec ventilateur superficiel, en cas d'arrêt de ce dernier, pourvu que cette force aéromotrice naturelle atteigne une certaine valeur, que nous déterminerons ci-après.

Reprenons à la figure 21 les diagrammes de la figure 19, sans y faire intervenir le ventilateur superficiel V_3 . Nous tracerons les courbes suivantes : dans la région des q et des h positifs, V_1 = courbe débit-pression du ventilateur auxiliaire inséré dans le circuit 1.

$r_1 q^2$ = courbe des pertes de charges du circuit 1;

$r_3 q^2$ = courbe des pertes de charges du circuit 3 commun;

E_1 = courbe des forces aéromotrices résiduelles du ventilateur auxiliaire $V_1 = (V_1 - r_1 q^2)$. Cette courbe est prolongée dans sa partie négative, dans la région des h négatifs et des q positifs.

Dans cette même région, nous avons tracé la courbe $r_2 q^2$ des pertes de charges du circuit libre 2 et, dans la région des h positifs et des q négatifs, cette même courbe $r_2 q^2$.

Nous associons en parallèle E_1 et $r_2 q^2$ pour former la courbe :

$$E_1 + r_2 q^2 \text{ (partie négative)}$$

ou :

$$E_1 - r_2 q^2 \text{ (partie positive).}$$

Cette courbe représente la force aéromotrice résiduelle disponible ou exigée pour le circuit commun des puits 3. Cette courbe rencontre la courbe $r_3 q^2$ au point C, correspondant au débit OD = GC pour le circuit commun, au débit GF pour le circuit 1 et au débit GH (sens du courant d'air inversé) pour le circuit 2. Le débit GF dans le circuit 1 avec ventilateur est fourni sous une pression motrice IJ. Il occasionne une perte de charge IK, inférieure de JK = IF à la force aéromotrice. Cet excédent IF constitue une différence de potentiel aux bornes du circuit 2, communes aux circuits 1 et 2. La perte de pression dans le circuit 1 (IK) étant inférieure au relèvement de celle-ci (IJ) par le ventilateur, la borne théorique d'aval est à plus forte pression que la borne théorique d'amont et il circule dans le circuit 2, sous cette différence de pression (IF) inversée, un courant d'air GH de sens opposé au sens normal. Du débit GF circulant dans le circuit 1, seule la partie GC circule dans les puits, la partie GH rentrant dans le circuit 2 par le retour d'air théorique en formant ainsi un circuit fermé sur lui-même.

Si l'on dispose d'un aérage naturel h_n , égal à la perte de charge AB du circuit 3 pour un débit OA passant dans les puits et dans le circuit 1 et correspondant pour le ventilateur V_1 au point d'ordonnée nulle de sa courbe de force aéromotrice résiduelle ($V_1 = r_1 q^2 = AL$), nous voyons qu'il y aura un débit nul dans le circuit 2 et un débit OA dans les circuits 1 et 3 des puits. La force aéromotrice de V_1 compensera exactement la perte de charge $r_1 q^2$ dans le circuit 1 (bornes communes à 1 et 2 au même potentiel) et l'aérage naturel $h_n = AB$ compensera exactement la perte de charge $r_3 q^2$ du circuit 3 des puits.

Si l'aérage naturel a une valeur h'_n (inférieure à h_n), nous obtiendrons la force aéromotrice résiduelle totale, disponible pour le circuit commun 3 en ajoutant la valeur de h'_n à la courbe $E_1 \pm r_2 q^2$. Nous obtiendrons ainsi la courbe :

$$E_1 \pm r_2 q^2 + h'_n.$$

Cette courbe rencontre la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges du circuit commun 3 en C', qui est le point de fonctionnement du dispositif d'aérage. Le point C' correspond au débit OD' = G'E dans le circuit des puits 3. Le passage de ce débit dans 3 occasionne une perte de charge D'C', qui est

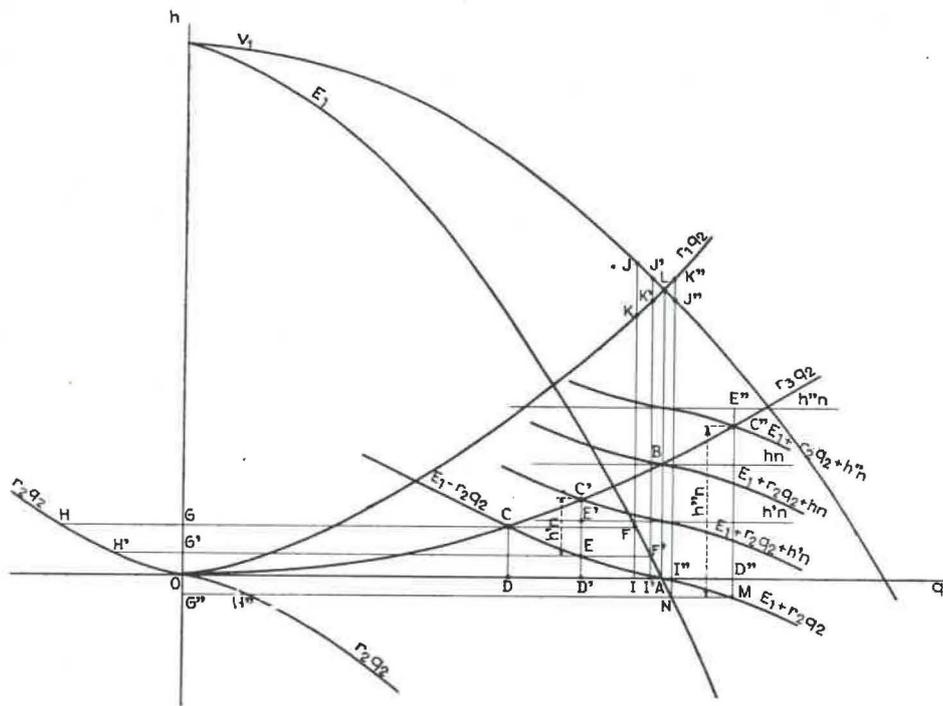


Fig. 21.

compensée pour la fraction EC' par h''_n et pour la fraction $D'E$ par la force aéromotrice résiduelle du ventilateur V_1 , disponible pour le circuit commun. En effet :

$$D'E = I'F' = K'J' = I'J' - I'K' = V_1 - r_1 q^2.$$

Comme la perte de pression dans le circuit 1 pour le débit OI' ($I'K'$) est plus faible que le relèvement de pression provoqué par le ventilateur ($I'J'$), la borne théorique d'aval de 1, commune à 2, est à plus forte pression que la borne théorique d'amont, également commune à 2. Il y a donc renversement du courant d'air dans 2, sous l'action de la différence de pression $I'F' = D'E$. Ce renversement a une intensité $G'H'$. La répartition des courants d'air est donc la suivante : un débit $G'E$ d'air frais descend par le puits d'entrée. A la borne commune d'amont des deux quartiers, le débit d'air frais $G'E$ s'ajoute au débit d'air vicié $G'H'$, ayant parcouru le circuit 2 en sens inverse du sens normal; le débit total $H'E = G'F'$ passe en sens normal dans le circuit 1. A la borne commune d'aval des deux quartiers, le débit total se scinde en deux parties : le volume $G'E$ remonte par le puits de retour; le volume $G'H'$ emprunte le circuit 2, qu'il parcourt en sens inverse du sens normal.

Si l'aéragé naturel a une valeur h''_n (supérieure à h_n), nous obtiendrons également la force aéromotrice résiduelle totale, disponible pour le circuit commun 3, en ajoutant la valeur de h''_n à la courbe $E_1 \pm r_2 q^2$. Nous obtiendrons ainsi la courbe :

$$E_1 \pm r_2 q^2 + h''_n.$$

Cette courbe rencontre la courbe des pertes de charges $r_3 q^2$ du circuit commun 3 en C'' , qui est le point de fonctionnement du dispositif d'aéragé.

Le point C'' correspond au débit $OD'' = G''M$ dans le circuit commun 3. Le passage de ce débit dans 3 occasionne une perte de charge $D''C''$, qui est compensée entièrement par l'aéragé naturel :

$$h''_n = D''E''.$$

Il reste un solde positif de force aéromotrice naturelle $C''E'' = D''M$, disponible pour les circuits parallèles 1-2, en série avec 3. Sous l'action de cette force aéromotrice, il passe un débit $G''H''$ en sens normal dans le circuit 2. L'action de cette pression, conjuguée à celle du ventilateur V_1 , fait passer dans le circuit 1 le volume $G''N = OI''$. En effet, pour ce volume OI'' , la perte de charge de 1 est $I''K''$, compensée pour $I''J''$ par la force aéromotrice de V_1 et pour $J''K'' = NI''$ par le reliquat de force aéromotrice naturelle due à h''_n .

On voit par ces quelques exemples qu'une situation normale peut être maintenue, dans le cas envisagé, même en cas d'arrêt du ventilateur de surface, grâce à l'aéragé naturel. Il suffit que la valeur de ce dernier soit supérieure à la valeur de la perte de charge des puits pour un débit égal au débit du ventilateur souterrain auxiliaire, correspondant à l'équivalence de la force aéromotrice et de la perte de charge du circuit dans lequel il est inséré (point d'ordonnée nulle de la courbe de force aéromotrice résiduelle). Dans ce cas en effet, suivant le principe général énoncé antérieurement, la perte de pression dans ce circuit est supérieure au relèvement de pression provoqué par le ventilateur et la différence de potentiel aux bornes communes des deux circuits en parallèle est de signe normal. Cette différence de potentiel est fournie par l'excédent de l'aéragé naturel sur la perte de charge des puits.

**VI. — COUPLAGE
D'UN VENTILATEUR PRINCIPAL
DE SURFACE EN SERIE
AVEC PLUSIEURS VENTILATEURS DU FOND,
PLACES DANS DES CIRCUITS
GROUPES EN PARALLELE**

Le cas peut être schématisé par la même disposition des circuits que celle indiquée à la figure 18, un ventilateur V_2 étant en plus inséré dans le circuit 2 et travaillant en parallèle avec le ventilateur V_1 du circuit 1, les deux ventilateurs débitant en série avec le ventilateur de surface V_3 .

Nous disposons des éléments habituels suivants :

Figure 22a. — Courbes des pertes de charges $r_1 q^2$ du circuit 1 et débit-pression V_1 ; à l'aide de ces courbes, nous pouvons construire, suivant la méthode indiquée précédemment, la courbe E_1 des forces aéromotrices résiduelles de V_1 , affectées au circuit 3.

Figure 22b. — Courbes des pertes de charges $r_2 q^2$ du circuit 2 et débit-pression V_2 du ventilateur V_2 ; nous déduisons la courbe E_2 des forces aéromotrices résiduelles de V_2 , affectées au circuit 3.

Figure 22c. — Courbes des pertes de charges $r_3 q^2$ du circuit collecteur 3 et débit-pression V_3 du ventilateur V_3 de surface. Traçons, sur la figure 22c, la courbe d'association en parallèle des forces aéromotrices résiduelles E_1 et E_2 . Cette courbe comporte des valeurs négatives pour des débits supérieurs à OA, correspondant à l'ordonnée nulle de E_1 et de E_2 . Pour des volumes inférieurs à OF, correspondant à l'ordonnée maxima OC de E_1 (volume nul pour cette courbe), la courbe des forces aéromotrices résiduelles associées en parallèle sera obtenue, ainsi que nous l'avons vu précédemment, en déduisant des abscisses de E_2 les abscisses correspondantes de $r_1 q^2$, tracée dans la région des q négatifs à partir du point C sur la figure 22a. La courbe totale des forces aéromotrices résiduelles comporte donc trois parties : partie négative, à droite de A, partie positive en association stable de V_1 et V_2 , entre A et D, et partie instable de courant d'air renversé dans 1, à gauche de D.

Nous combinerons en série, sur la figure 22c, la courbe des forces aéromotrices résiduelles et la courbe V_3 , en ajoutant algébriquement leurs ordonnées. Nous obtiendrons la courbe :

$$V_3 - (E_1 + E_2)$$

à droite de B (correspondant à A), la courbe :

$$V_3 + (E_1 + E_2)$$

entre B et G (correspondant à A et D) et la courbe :

$$V_3 + (E_2 - r_1 q^2)$$

à gauche de G. Ces courbes donnent les valeurs de la force aéromotrice disponible pour le circuit collecteur 3, en série avec le groupe parallèle 1-2. La rencontre de cette courbe avec la courbe $r_3 q^2$ des pertes de charges de ce circuit fournit le point de fonctionnement H du système d'aérage. Le volume OI passe dans le circuit 3, aspiré par le ventilateur V_3 . Ce ventilateur donne pour OI une pression motrice IJ. La partie IH de IJ compense les pertes de charges du circuit 3 pour le volume OI. La partie restante HJ = IK constitue un complément de pression motrice pour le groupe paral-

lèle 1-2, en série avec 3. L'ordonnée IK, ramenée sur les figures 22a et 22b, donne les points de fonctionnement des ventilateurs V_1 et V_2 . En effet, l'ordonnée négative IK = OL correspond, sur les courbes E_1 et E_2 , respectivement aux points M et N. Le point M donne, pour V_1 , un débit OP et une pression motrice PS. Ce débit OP passant dans le circuit 1, provoque la perte de charge PR. Cette perte de charge est compensée par la force aéromotrice PS de V_1 et par l'appoint :

$$SR = PM = IK = HJ,$$

fourni par V_3 . Le point N donne, pour V_2 , un débit OQ et une pression motrice QU. Ce débit OQ, passant dans le circuit 2, provoque la perte de charge QT. Cette perte de charge est compensée par la force aéromotrice QU de V_2 et par l'appoint $TU = QN = IK = HJ$, fourni par V_3 .

Les débits OP du circuit 1 et OQ du circuit 2 s'ajoutent dans le circuit 3 pour donner le volume total OI passant dans ce circuit. On voit que le puits d'entrée d'air est en surpression car les forces aéromotrices de V_1 et V_2 , qui relèvent la pression dans les circuits 1 et 2, sont inférieures aux pertes de charges qui en provoquent la chute. La borne d'amont commune des deux circuits (fond du puits d'entrée) est à une pression supérieure à celle de la borne d'aval, commune également aux deux circuits (niveau de retour d'air du puits de retour ou fond de ce puits puisqu'il ne passe théoriquement pas d'air entre les niveaux d'entrée et de retour dans ce puits). La surpression de la borne d'amont est égale à :

$$OL = PM = QN = IK = HJ.$$

Elle correspond à l'excès de pression motrice IJ de V_3 sur la perte de charge IH du circuit 3, pour le volume total OI passant dans le circuit 3. Cette situation existera lorsque le système d'aérage fonctionnera dans la partie négative des forces aéromotrices résiduelles E_1 et E_2 .

La situation serait différente si, par exemple, la résistance du circuit 3 étant $r'_3 > r_3$, la courbe des pertes de charges $r'_3 q^2$ rencontrait en H' la courbe des forces aéromotrices totales disponibles pour ce circuit à gauche du point B. Ce point de fonctionnement donne un débit OI' et une perte de charge IH' dans le circuit 3. Le ventilateur V_3 , débitant OI', donne une pression motrice I'J', inférieure de J'H' à la perte de charge IH'. Cette insuffisance doit être comblée par l'appoint I'K' fourni par les ventilateurs V_1 et V_2 . En reportant l'ordonnée positive I'K' = OL' sur les figures 22a et 22b, on trouve sur E_1 et E_2 respectivement les points M' et N'. Ces points correspondent respectivement dans 1 et 2 à des débits OP' et OQ' pour des pressions motrices P'S' et Q'U' et à des pertes de charges P'R' et Q'T'. On voit que les pertes de charges de 1 et 2 sont inférieures aux pressions motrices de V_1 et V_2 de $S'R' = P'M' = Q'N' = T'U' = K'I' = J'H'$. La chute de pression de la borne d'amont à la borne d'aval, bornes communes aux deux circuits 1 et 2, est donc inférieure au relèvement de pression provoqué par les ventilateurs V_1 et V_2 . La borne d'aval est à une pression supérieure à la borne d'amont; il y a donc surpression du puits de retour au fond, par rapport au puits d'entrée.

Figure 22

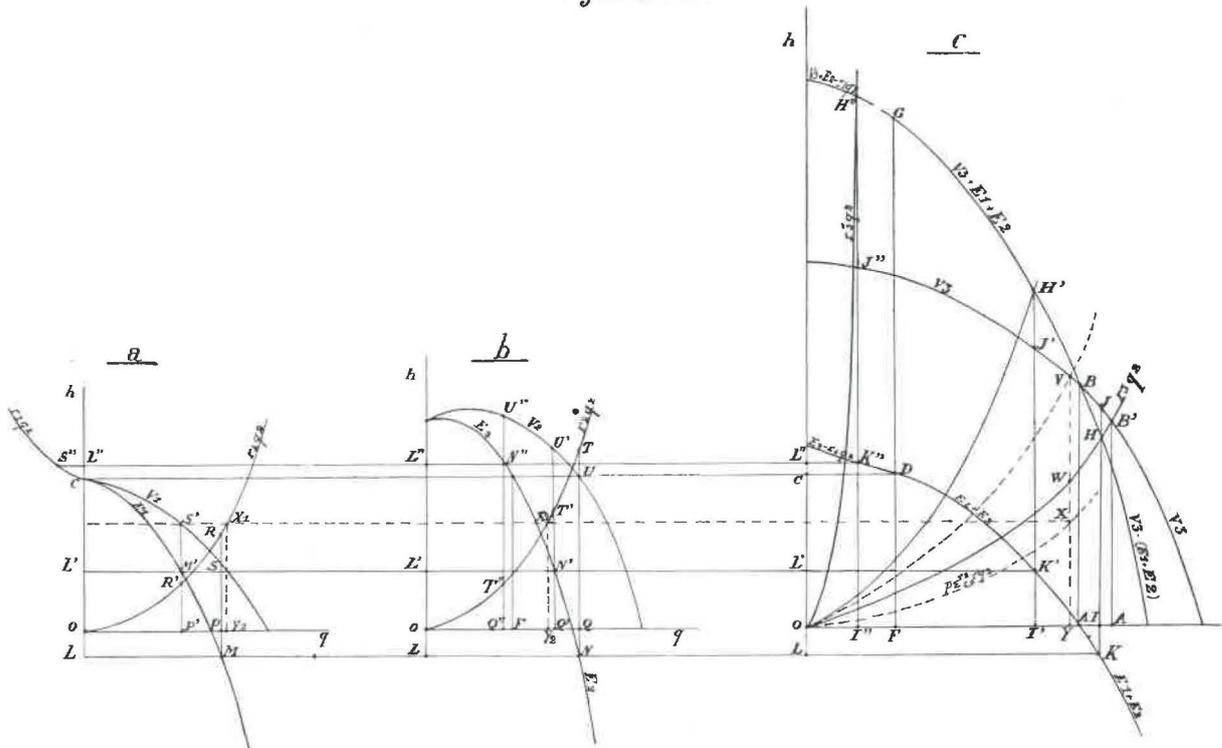


Fig. 22.

Cette situation existera lorsque le système d'aé-
rage fonctionnera dans la partie positive des forces
aéromotrices résiduelles E_1 et E_2 , en deçà du point
d'association stable, déterminé par l'ordonnée maxi-
ma de la courbe E_1 ou V_1 .

Si la résistance r_3 du circuit 3 était telle que
la courbe $r_3 q^2$ coupât la courbe des forces mo-
trices disponibles pour le circuit collecteur en H'' ,
par exemple à gauche du point G limite d'associa-
tion stable, il y aurait renversement du courant
d'air dans le circuit 1. En effet, dans ce cas, le
point de fonctionnement du système d'aé-
rage est en H'' , correspondant au débit OI'' dans le circuit
3 collecteur. Ce débit est aspiré par le ventilateur V_3
qui donne une pression $I''J''$. Celle-ci est inférieure
de $J''H''$ à la perte de charge $I''H''$ provoquée dans
ce circuit 3 par le passage de OI'' . Ce complément :

$$J''H'' = I''K''$$

est fourni par le ventilateur V_2 . Si nous reportons
 $I''K'' = OL''$ sur les diagrammes 22a et 22b, nous
voyons que cette ordonnée correspond à N'' sur la
courbe E_2 . Le ventilateur V_2 fournit le débit OQ''
sous la pression $Q''U''$.

La perte de charge du circuit 2 pour le volume
 OQ'' est $Q''T''$. Il reste un excédent de pression
motrice $T''U'' = Q''N'' = I''K'' = J''H''$, qui fait
l'appoint de la pression motrice $I''J''$ de V_3 pour
compenser les pertes de charges $I''H''$ du circuit 3.
La chute de pression dans le circuit 2 est $Q''T''$. Le
relèvement de pression dû au ventilateur est $Q''U''$.
Il y a donc une surpression $U''T'' = Q''N'' = OL''$
à la borne d'aval par rapport à la borne d'amont.
Ces bornes sont communes aux circuits 2 et 1.
Dans ce dernier, l'élévation maxima de pression

due au ventilateur V_1 est OC , correspondant à un
débit nul. OC est inférieur de CL'' à la surpression
 OL'' de la borne aval. Il en résulte que l'aval du
ventilateur V_1 est à une pression inférieure de CL''
à la borne aval commune à 1 et 2. L'air va donc
s'écouler, dans 1, en sens inverse de l'aé-
rage normal, sous l'action de la différence de pression
 CL'' . Pour cette différence de pression, le diagramme
figure 22a montre que le volume qui passera en
sens inverse dans 1 est $S''L''$. La situation sera donc
la suivante : dans le circuit 2, le volume d'air
débité par le ventilateur V_2 est $OQ'' = L''N''$. A
la borne aval commune à 1 et 2 (niveau de retour
dans le puits de retour), ce volume se divise; le
volume $S''L''$ s'écoule en sens inverse au sens nor-
mal dans le circuit 1 et rentre dans le circuit 2 à
la borne amont commune aux deux circuits (niveau
d'entrée dans le puits d'entrée d'air). Le volume
restant $L''K''$ (d'après la construction de la courbe
 $E_2 - r_1 q^2$), égal à OI'' , passe dans le circuit 3 et
est aspiré par le ventilateur V_3 à la surface.

En résumé, le système fonctionnera en associa-
tion stable dans la partie du diagramme à droite du
point correspondant à l'ordonnée maxima de la
force aéromotrice résiduelle du ventilateur le plus
faible, du point de vue des pressions motrices. A
gauche de ce point, il y aura renversement du
courant d'air dans le circuit correspondant à ce
ventilateur. Dans la zone d'association stable, il y
aura surpression ou dépression du puits d'entrée
d'air selon que le système fonctionne sur la partie
négative ou sur la partie positive des courbes de
force aéromotrice résiduelle, autrement dit selon que
les forces aéromotrices des ventilateurs souterrains
seront inférieures ou supérieures aux pertes de

charges créées dans leurs circuits respectifs par le débit d'air qui y circule.

Remarques.

1°) Nous pouvons examiner quelle serait la situation de l'aérage si le ventilateur de surface fonctionnait seul dans le réseau formé des circuits 1-2, en parallèle, associés en série avec le circuit 3.

Nous associons en parallèle, sur le diagramme figure 22c, les courbes $r_1 q^2$ du diagramme 22a et $r_2 q^2$ du diagramme 22b. Nous obtiendrons la courbe :

$$P \sum_{r_1}^{r_2} r q^2$$

Nous associerons en série, sur le même diagramme figure 22c, les courbes :

$$P \sum_{r_1}^{r_2} r q^2$$

et $r_3 q^2$.

Nous obtiendrons la

courbe :

$$S \sum_{r_1 r_2}^{r_3} r q^2$$

représentative des pertes de charges totales de la mine. Cette courbe rencontre la courbe débit-pression de V_3 en V, point de fonctionnement du système d'aérage.

Le ventilateur débite le volume OY sous la pression YV. Cette pression compense les pertes de charges YW du circuit 3 et les pertes de charges WV = XY du groupe parallèle 1-2. En reportant XY sur les diagrammes figure 22a et figure 22b, nous trouvons qu'il y correspond respectivement pour les courbes des pertes de charges $r_1 q^2$ et $r_2 q^2$, les pertes de charges $X_1 Y_1$ et $X_2 Y_2$ et les débits OY_1 et OY_2 avec, en raison du mode de construction des diagrammes figure 22c :

$$OY_1 + OY_2 = OY.$$

Par rapport au système d'aérage obtenu, après placement des ventilateurs V_1 V_2 dans les circuits 1 et 2, nous trouvons les différences suivantes :

	Sans ventilateurs auxiliaires	Avec ventilateurs auxiliaires	Comparaison
Débit total aspiré par V_3	OY	OI	OI > OY
Débit dans circuit 1	OY ₁	OP	OY ₁ > OP
Débit dans circuit 2	OY ₂	OQ	OQ > OY ₂

Il y a donc accroissement du débit dans 2 et diminution dans 1.

2°) Nous pouvons, a priori, déterminer les caractéristiques des ventilateurs auxiliaires à placer dans des chantiers pour y obtenir des débits déterminés.

Reprenons les diagrammes de la figure 22. Nous disposons des courbes $r_1 q^2$ (fig. 22a), $r_2 q^2$ (figure 22b), $r_3 q^2$ et V_3 (fig. 22c). Supposons que nous nous assignons des volumes OP dans 1 et OQ dans 2. Nous ajoutons OP et OQ sur l'axe des q de la figure 22c. Nous obtenons le point I, définissant le volume total OI qui passera dans le collecteur 3. La verticale tracée par I nous donnera la perte de charge IH du circuit collecteur 3 et la pression motrice IJ du ventilateur V_3 . La différence IJ — IH représentera le surcroît de force aéromotrice disponible pour le groupe parallèle 1-2. Nous porterons JH en IK et nous tracerons sur les trois figures 22 la parallèle à l'axe des q ayant cette ordonnée. Les points de rencontre de cette parallèle avec les verticales menées par Q (figure 22b) et par P (fig. 22a) nous donnent les points N et M des courbes E_2 et E_1 .

La rencontre des verticales susdites avec les courbes $r_2 q^2$ et $r_1 q^2$ nous donne les points T et R, correspondant aux pertes de charges QT et PR pour les débits OQ et OP. En soustrayant des ordonnées QT et PR, à partir de T et de R, l'ordonnée QN = PM, on obtient les points de fonctionnement U et S des ventilateurs 2 et 1. On devra donc commander des ventilateurs V_2 et V_1 répondant aux données suivantes :

Pour V_2 : débit OQ sous une pression motrice QU;
Pour V_1 : débit OP sous une pression motrice PS.

Il y a lieu de noter que, si l'on veut réaliser une surpression permanente du puits d'entrée d'air jusqu'au niveau inférieur, on ne doit pas demander

au régime de ventilation un volume total passant dans le circuit collecteur 3, supérieur à OA', correspondant au point B' d'équilibre des pertes de charges de ce circuit et de la pression motrice du ventilateur V_3 , défini par la rencontre des courbes $r_3 q^2$ et V_3 . En effet, pour des volumes supérieurs à OA', les pertes de charges du circuit collecteur 3 sont supérieures à la pression motrice de V_3 . L'appoint de pression motrice nécessaire pour équilibrer $r_3 q^2$ et V_3 doit être fourni par les ventilateurs du fond. Ceux-ci doivent donc fournir une force aéromotrice résiduelle positive, c'est-à-dire que leur force aéromotrice propre doit être plus grande que les pertes de charge de leurs circuits respectifs. Le relèvement de pression d'une borne à l'autre de ces circuits est donc plus grand que la chute de pression et il y a surpression du puits de retour d'air. En somme, pour que le régime fonctionne avec surpression du puits d'entrée d'air, il faut que le point de fonctionnement du ventilateur de surface soit situé sur la courbe caractéristique de celui-ci, à gauche (ou au-dessus) du point de rencontre de cette caractéristique avec la courbe des pertes de charges du circuit collecteur.

Reprenons, à titre d'application pratique, le cas des circuits faisant l'objet des diagrammes de la figure 20, mais en imposant les débits suivants : 30 m³/sec dans le circuit 1 (au lieu des 20 m³/sec imposés), 20 m³/sec dans le circuit 2 (au lieu des 15 m³/sec admis). Nous tracerons à la figure 23, comme à la figure 20, les courbes $r_1 q^2$, $r_2 q^2$, $r_3 q^2$ et V. Le total des débits demandés, soit 30 + 20 = 50 m³/sec, dépasse le débit maximum de 40 m³/sec, pour lequel la force aéromotrice du ventilateur de surface V est égale à la perte de charge du circuit commun 3. Pour 50 m³/sec dans ce circuit, la perte de charge correspondante est 160 mm d'eau.

Pour ce même débit, la force aéromotrice du ventilateur de surface V n'est que de 84 mm d'eau. Il est donc nécessaire de disposer, pour le circuit 3, d'un supplément de pression motrice de $160 - 84 = 76$ mm d'eau. Ce supplément doit être fourni par la

des deux quartiers avec la seule réserve que, pour un débit global supérieur à $40 \text{ m}^3/\text{sec}$, le puits de retour d'air est en surpression, si l'on ne tient pas compte de l'aérage naturel.

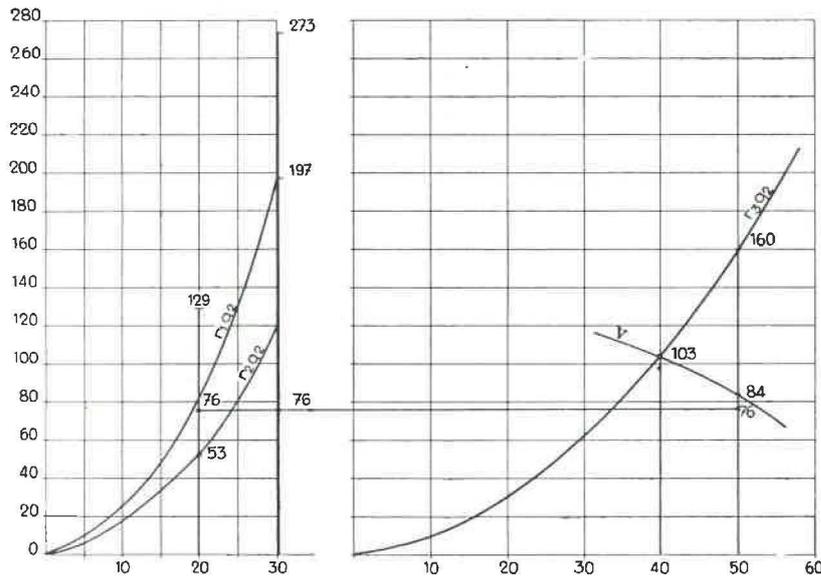


Fig. 25.

force aéromotrice résiduelle des deux ventilateurs auxiliaires des circuits 1 et 2 sur les pertes de charges de ces circuits. Nous tracerons donc la droite d'ordonnée 76 mm sur les deux parties du diagramme; le passage d'un volume de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans le circuit 2 exige une force aéromotrice de 53 mm pour compenser la perte de charge de ce circuit. Il faut y ajouter 76 mm, nécessaires comme appoint au circuit 3, en série avec 2. La force aéromotrice du ventilateur à insérer dans 2, pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans ce quartier, sera $53 + 76 = 129$ mm. Dans le circuit 1, un volume de $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ occasionne une perte de charge de 197 mm d'eau, qui doit être compensée par la force aéromotrice du ventilateur auxiliaire à y insérer. Celle-ci devra donc être égale à 197 mm (circuit propre) plus 76 mm (appoint pour le circuit commun 3), soit au total 273 mm d'eau.

On voit que le puits de retour d'air sera en surpression au fond de 76 mm, si l'on néglige l'influence éventuelle de l'aérage naturel. La surpression du puits d'entrée ne pourrait être obtenue que pour un débit total des deux circuits inférieur à $40 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Remarquons que, dans le cas de la figure 20, où l'aérage du seul circuit 1 était influencé directement par un ventilateur auxiliaire, le circuit 2 étant libre, la solution n'a pu être obtenue que par tâtonnements, sous la double condition de consentir une réduction du débit dans le circuit libre 2 et de ne pas dépasser un débit global de $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ dans les deux circuits. En insérant un ventilateur auxiliaire dans chacun des circuits, nous pouvons obtenir n'importe quel débit imposé dans chacun

VII. — COUPLAGE D'UN VENTILATEUR PRINCIPAL SOUTERRAIN, EN SERIE AVEC DEUX VENTILATEURS DE SURFACE PLACES SUR DEUX PUIITS DE RETOUR D'AIR DISTINCTS

Le cas est figuré par le schéma de la figure 24. Les diagrammes de fonctionnement (fig. 25) du régime d'aérage se construisent exactement de la même façon que dans le cas précédent. Nous avons encore :

Figure 25a :

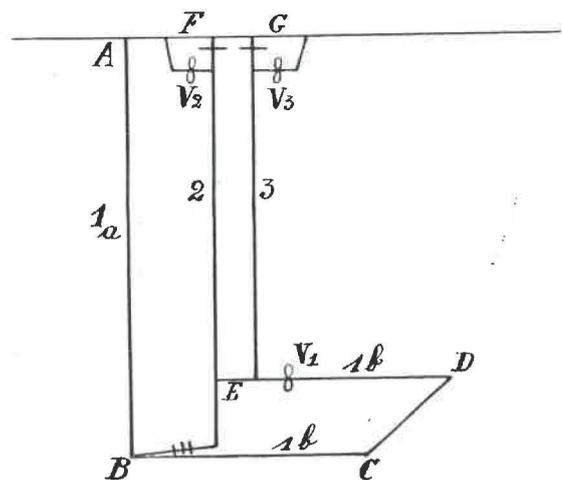


Fig. 24.

V_2 = caractéristique du ventilateur V_2 ;
 $r_2 q^2$ = courbe des pertes de charges dans le circuit 2;
 E_2 = courbe de force aéromotrice résiduelle de V_2 .

Figure 25b :
 V_3 = caractéristique du ventilateur V_3 ;
 $r_3 q^2$ = courbe des pertes de charges dans le circuit 3;
 E_3 = courbe de force aéromotrice résiduelle de V_3 .

$V_1 - (E_2 + E_3)$,
 $V_1 + (E_2 + E_3)$
 et $V_1 + (E_3 - r_2 q^2)$ = courbe des forces aéromotrices disponibles pour le circuit commun 1, obtenue par l'association en série des courbes V_1 et $E_2 + E_3$ (ou $E_3 - r_2 q^2$);

La zone à gauche de D est celle donnant lieu à renversement du courant d'air dans le circuit dérivé disposant de la force aéromotrice la moins élevée;

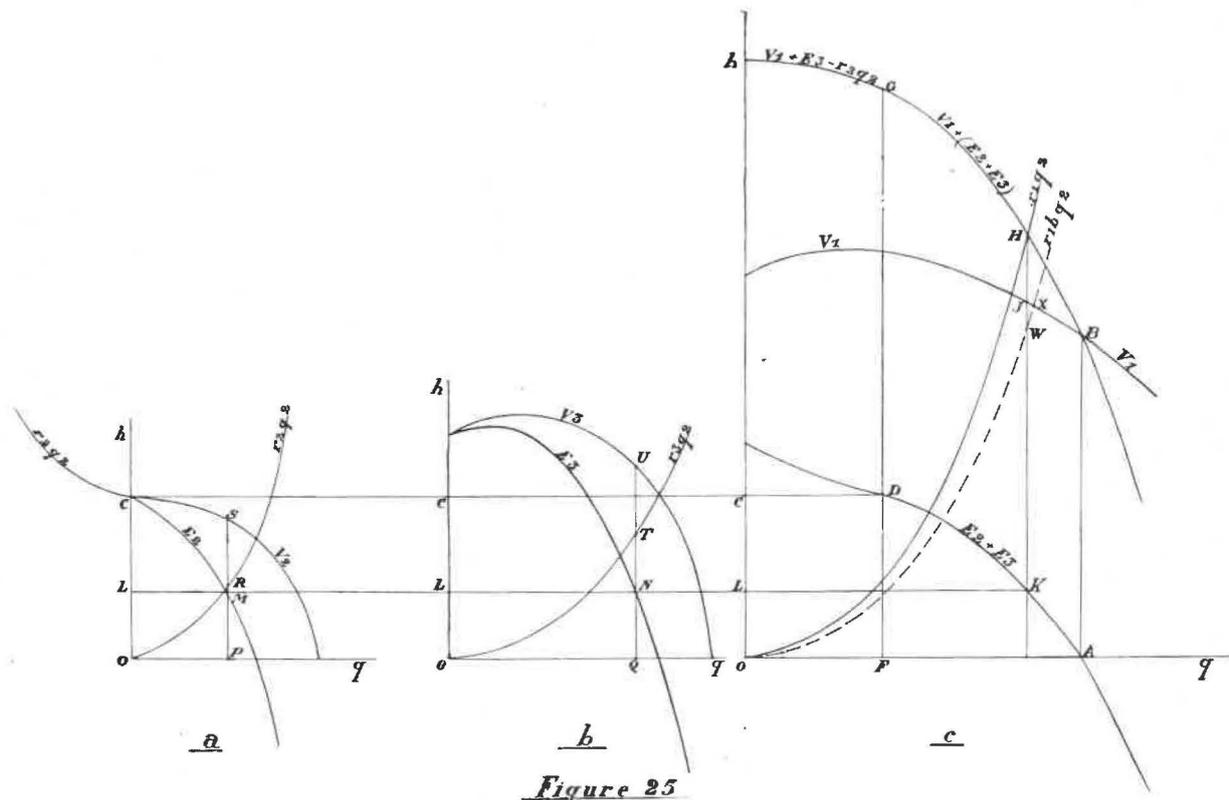


Figure 25
 Fig. 25.

Figure 25c :
 V_1 = caractéristique du ventilateur souterrain V_1 ;
 $r_1 q^2$ = courbes des pertes de charges du circuit 1 total;
 $E_2 + E_3$ et $E_3 - r_2 q^2$ = courbe des forces aéromotrices résiduelles E_1 et E_2 associées en parallèle comprenant, en association stable, une partie négative (à droite de A) et une partie positive (entre A et D).

H = point de fonctionnement du système de ventilation à la rencontre de $r_1 q^2$ et $V_1 + (E_2 + E_3)$;
 OI = volume passant dans le circuit commun 1 et débité par V_1 ;
 IJ = pression motrice du ventilateur V_1 ;
 IH = perte de charge du circuit 1 pour le volume OI;
 HJ=IK=OL = déficit de force aéromotrice du ventilateur 1 pour compen-

	ser entièrement les pertes de charges du circuit 1. Ce déficit est comblé par l'appoint de même valeur pris sur les forces aéromotrices résiduelles de V_2 et V_3 ;
OP	= débit du ventilateur V_2 ;
OQ	= débit du ventilateur V_3 ;
PS	= force aéromotrice du ventilateur V_2 ;
QU	= force aéromotrice du ventilateur V_3 ;
PR	= perte de charge du circuit 2;
QT	= perte de charge du circuit 3;
RS=UT=PM=QN=OL=	excédent de force aéromotrice de V_2 et V_3 sur les pertes de charges de leur circuit respectif, formant l'appoint de la force aéromotrice de V_1 pour compenser les pertes de charges du circuit 1.

Une seule différence existe avec le cas traité au chapitre précédent. Ici, c'est le ventilateur qui travaille sur le circuit commun qui est au fond. Ce circuit commun se décompose en deux éléments en série (voir fig. 24) : le puits d'entrée AB (circuit 1a) et les travaux BCDE (circuit 1b). Pour obtenir surpression du puits d'entrée au niveau inférieur, il faut que la chute de pression entre B et E (fig. 24), due à la perte de charge dans les travaux (circuit 1b), soit plus grande que le relèvement de cette pression dû à la force aéromotrice du ventilateur V_1 . Si nous traçons la courbe des pertes de charges du circuit $r_{1b} q^2$ (en série avec 1a pour former le circuit 1), nous voyons que pour le volume OI passant dans le circuit 1 la chute de pression totale de ce circuit IH se décompose comme suit : dans le puits d'entrée 1a : HW; dans les travaux : 1b : WI. Or, WI, perte de charge de 1b ou chute de pression de B à E (fig. 24), est inférieure à IJ, relèvement de pression dû à la force aéromotrice de V_1 .

Le potentiel pneumatique de la borne E dépasse donc celui de la borne B de JW. Sous l'influence de cette différence de potentiel pneumatique, l'air soufflé en V_1 descendra en partie la zone neutre du puits de retour, sous E, et par les fuites des portes de la communication entre puits rentrera dans l'entrée de 1b en B. Pour que le fond du puits d'entrée soit en surpression, il faut que la perte de charge $r_{1b} q^2$ soit plus grande que V_1 . Il faut donc que le point de fonctionnement de V_1 soit à droite du point de rencontre de la courbe des pertes de charges du circuit des travaux $r_{1b} q^2$ et

de V_1 . Il faut noter toutefois que ce point de fonctionnement doit correspondre à une partie positive de la courbe $E_2 + E_3$. Sinon, la perte de charge totale du circuit 1 complet serait plus petite que la force aéromotrice de V_1 pour le même débit et il y aurait surpression du puits de retour.

VIII. — CONCLUSIONS

Le passage de l'air dans un circuit occasionne une perte de pression du fluide. Cette perte de pression est compensée par un relèvement de celle-ci, dû à l'action du ventilateur. Suivant le langage courant, nous avons dénommé perte de charge la perte de pression du circuit. La pression motrice développée par le ventilateur a été appelée force aéromotrice. La perte de charge d'un circuit varie comme le carré du débit qui y circule et suivant la résistance, invariable, de ce dernier. Son expression graphique en mm d'eau h, en fonction des débits q, est donc une parabole. La force aéromotrice d'un ventilateur est également fonction du débit engendré, mais la courbe qui représente graphiquement cette fonction n'est pas pratiquement susceptible d'expression analytique. On peut admettre que la perte de charge d'un circuit est égale à la force aéromotrice qui la compense. On en déduit que, sur un diagramme qh de coordonnées rectangulaires, le point de fonctionnement d'un dispositif d'aéragé comportant un circuit unique dans lequel est inséré un ventilateur est figuré par le point de rencontre des deux courbes précitées, l'ordonnée de ce point donnant la valeur de la perte de charge du circuit et de la force aéromotrice qui l'équilibre et son abscisse donnant le débit d'air correspondant.

En règle générale, les travaux souterrains des mines constituent des circuits associés en série-parallelé, un circuit étant défini par un réseau de galeries, tailles, etc..., dans lequel passe le même volume d'air, sous l'action d'une différence de potentiel pneumatique aux deux extrémités, constituant les bornes du circuit. Le schéma le plus simple est celui constitué de deux puits (entrée et retour d'air) en série avec deux quartiers groupés en parallelé. Les communications entre puits constituent également des circuits dérivés sur les circuits collecteurs des puits. Les courbes des pertes de charges des circuits en parallelé peuvent être rassemblées en une courbe unique, obtenue en ajoutant algébriquement leur abscisse (débit) pour une même ordonnée (pression). Lorsque les circuits sont associés en série, leurs courbes de pertes de charges peuvent être réunies en une courbe commune, obtenue en ajoutant leurs ordonnées respectives (pressions) pour une même abscisse (débit).

Il en est de même des courbes des forces aéromotrices de ventilateurs, associés en série dans un même circuit ou en parallelé dans des circuits distincts. Pour les ventilateurs en série, les ordonnées (pressions) s'ajoutent pour une même abscisse (volume). Pour les ventilateurs en parallelé, les abscisses (volumes) s'ajoutent pour une même ordonnée (pression). Lorsque des ventilateurs sont

insérés dans un réseau formé de circuits groupés en série parallèle, on n'associe pas les courbes des forces aéromotrices proprement dites des ventilateurs en parallèle, mais le solde, positif ou négatif, de leurs forces aéromotrices sur les pertes de charges des circuits dans lesquels ils sont insérés. Ce solde, que nous avons dénommé force aéromotrice résiduelle, exerce son action sur les circuits en série avec le groupe parallèle. Lorsque les circuits en série ne possèdent pas de force aéromotrice propre, la force aéromotrice résiduelle du groupe parallèle constitue la seule force aéromotrice des circuits en série. Elle doit dans ce cas être positive. Lorsqu'un ventilateur est inséré dans les circuits en série, la force aéromotrice résiduelle des circuits en parallèle forme appoint de la force aéromotrice propre des circuits en série, à laquelle elle s'ajoute en série si elle est positive. Lorsqu'elle est négative, cette force aéromotrice résiduelle doit être soustraite de la force aéromotrice propre des circuits en série, qui en est réduite d'autant.

L'aérage naturel est une force aéromotrice au même titre que les forces aéromotrices produites par les ventilateurs. Cet aérage naturel peut être considéré, pour l'ordre de grandeur habituel des volumes d'air en cause, comme indépendant du débit. Il sera donc représenté, sur le diagramme des débits-pressions, par une parallèle à l'axe des débits dont l'ordonnée aura sa valeur exprimée en mm d'eau. L'aérage naturel s'ajoutera, en série, aux forces aéromotrices des circuits intéressés.

En application de ce qui précède, nous avons explicité quelques solutions de couplage de ventilateurs, en nous en tenant aux cas les plus courants et à des réseaux simplifiés afin de ne pas compliquer exagérément l'exposé. Les principes développés sont également d'application pour des cas plus complexes et des réseaux plus ramifiés. Il suffit de condenser les nombreux diagrammes, dont l'étude du problème donnerait lieu à établissement, en quelques diagrammes récapitulatifs, par le jeu des associations en série ou en parallèle, pour ramener le cas envisagé dans le cadre des cas traités dans la présente note.

Les cas courants examinés sont les suivants :

- 1) *Deux circuits en parallèle, influencés chacun par un ventilateur, en série avec un circuit libre, sans ventilateur.*

Les forces aéromotrices résiduelles des ventilateurs sont associées en parallèle. La courbe des forces aéromotrices résiduelles globales constitue la courbe de force aéromotrice disponible pour le circuit commun, en série avec les deux circuits parallèles. Le point de rencontre de cette courbe avec la courbe des pertes de charges de ce circuit commun est le point de fonctionnement du dispositif d'aérage. L'association est stable pour des ordonnées de ce point, inférieures à l'ordonnée maxima de la courbe de force aéromotrice résiduelle du ventilateur le plus faible. Pour des ordonnées du point de fonctionnement supérieures à celle-ci, il y a renversement du courant d'air dans le circuit du ventilateur le plus faible. L'intensité du courant d'air

inversé peut être mesurée sur le diagramme. L'aérage naturel étend la limite de la zone d'association stable.

- 2) *Un circuit unique avec un ventilateur au fond et un ventilateur de surface.*

Le circuit unique peut être décomposé en deux parties, en série : le circuit des puits et le circuit des travaux. Les courbes des pertes de charges de ces deux tronçons s'ajoutent en série pour former la courbe des pertes de charges totales du circuit. Les ventilateurs étant en série sur un circuit unique, leurs forces aéromotrices respectives s'ajoutent également en série. La rencontre de la courbe des pertes de charge totales du circuit avec la courbe de force aéromotrice totale donne le point de fonctionnement du dispositif.

Le puits d'entrée d'air sera en surpression sur toute sa hauteur, par rapport au puits de retour, si la perte de pression dans le circuit des travaux est supérieure au relèvement de cette même pression provoqué par le ventilateur souterrain. Il y aura donc surpression permanente et continue du puits d'entrée d'air lorsque le point de fonctionnement du ventilateur du fond sera situé, sur la courbe de force aéromotrice, en dessous (ou à droite) du point de rencontre de cette courbe avec la courbe de perte de charges des travaux.

L'aérage naturel agit favorablement en ce qui concerne la surpression du puits d'entrée. En effet, son action provoque le renforcement du débit d'air circulant dans les travaux, d'où il résulte, par suite de l'allure divergente des courbes de perte de charge et de force aéromotrice, une augmentation des pertes de charges des travaux et une diminution de la pression motrice du ventilateur du fond, ce qui est favorable à la réalisation de la condition énoncée ci-avant pour l'obtention d'une surpression du puits d'entrée d'air.

L'égalité des pertes de charges des travaux et de la pression motrice du ventilateur du fond, qui conditionne l'équilibre des pressions entre puits, postule l'égalité des pertes de charges des puits et de la force aéromotrice globale affectée à ce tronçon du circuit, laquelle se compose de la force aéromotrice du ventilateur superficiel et de l'aérage naturel, en série avec cette dernière. L'aérage naturel étant essentiellement variable, il faudrait, pour obtenir un équilibre permanent des pressions entre puits, disposer d'une force aéromotrice superficielle variant en fonction de l'aérage naturel et de telle manière que la somme de ces deux forces soit toujours une constante, égale à la perte de charge des puits pour le débit correspondant à l'égalité des pertes de charges des travaux et de la force aéromotrice du ventilateur souterrain. Du point de vue strictement théorique, il est impossible de réaliser intégralement ce desideratum, mais il n'est pas exclu que l'on puisse se rapprocher assez fort de l'objectif visé, en ayant recours à un type de ventilateur convenablement adapté, dont la caractéristique débit-pression serait très redressée dans sa partie inférieure.

3) *Deux circuits en parallèle, l'un influencé par un ventilateur, l'autre libre, en série avec un circuit influencé par un ventilateur superficiel.*

Les deux circuits du fond en parallèle ont leurs bornes communes. Pour qu'il n'y ait pas de renversement de courant d'air dans le circuit libre, il faut que la borne théorique d'aval soit à une pression moindre que la borne théorique d'amont. Ceci implique, pour le circuit influencé par un ventilateur, un excédent de la perte de pression dans ce circuit sur le relèvement de pression dû à la force aéromotrice du ventilateur. Le système doit donc être établi dans la partie négative de la courbe de force aéromotrice résiduelle du ventilateur sur la perte de charge de son circuit propre, laquelle partie négative figure, au diagramme, dans la zone des h (pressions) négatifs et des q (débits) positifs. Cette partie négative, qui doit être compensée par un excédent de la force aéromotrice du ventilateur superficiel sur les pertes de charges du circuit commun des puits, peut être assimilée à une perte de charge du circuit souterrain influencé. Pour pouvoir l'associer, en parallèle, avec les pertes de charges du circuit souterrain libre, il faut tracer la courbe de ces dernières dans la région des h négatifs et des q positifs.

La courbe totale, à ordonnées négatives, qui résulte de cette association sera déduite de la courbe de force aéromotrice du ventilateur superficiel. La courbe résultante constitue la force aéromotrice disponible pour le circuit commun des puits. Sa rencontre avec la courbe des pertes de charges de ce circuit donnera le point de fonctionnement du dispositif d'aéragé. On en déduira la pression motrice du ventilateur superficiel, le débit de ce dernier, égal au volume total passant dans les puits, la différence de pression aux bornes communes des deux circuits en parallèle, le débit dans le circuit libre, le débit dans le circuit influencé par le ventilateur auxiliaire souterrain et la pression motrice de ce dernier.

Si la force aéromotrice du ventilateur auxiliaire est supérieure à la perte de charge de son circuit propre, la borne théorique d'aval commune aux deux circuits parallèles sera à une pression supérieure à la borne théorique d'amont, également commune aux deux quartiers, et il y aura circulation d'air en sens inverse du sens normal dans le quartier libre du groupe parallèle. L'excès de force aéromotrice du ventilateur souterrain sur les pertes de charges de son circuit est caractérisé par la partie positive de la courbe de force aéromotrice résiduelle disponible pour le circuit commun. Cette courbe devant être associée en parallèle à la courbe des pertes de charges du circuit libre, dans lequel passe un courant d'air inversé, il faudra tracer, sur le diagramme, la courbe de ces pertes de charges dans la région des h (pressions) positifs et des q (débits) négatifs. La courbe totale à ordonnées positives, qui résulte de l'association en parallèle des deux courbes susdites, sera ajoutée à la courbe de force aéromotrice du ventilateur superficiel. La courbe résultante constituera la force aéromotrice disponible pour le circuit commun des puits. La

rencontre avec la courbe des pertes de charges de ce circuit donnera le point de fonctionnement du dispositif d'aéragé. On en déduira la pression motrice du ventilateur superficiel (inférieure à la perte de charge du circuit commun des puits), le débit du ventilateur superficiel (égal au volume d'air passant dans les puits), la différence de pression, positive, entre la borne théorique d'aval et la borne théorique d'amont des deux circuits en parallèle, le débit inversé dans le circuit libre, le débit dans le circuit influencé par le ventilateur souterrain et la pression motrice de ce dernier (supérieure à la perte de charge de son circuit propre).

On voit qu'il y aura circulation normale ou nulle de l'air dans le circuit libre lorsque la perte de charge dans le circuit influencé en parallèle avec lui sera respectivement plus grande ou égale à la force aéromotrice du ventilateur y inséré ou, ce qui revient au même, lorsque la perte de charge du circuit commun des puits, en série avec le groupe parallèle, sera respectivement plus petite ou égale à la force aéromotrice du ventilateur superficiel.

La limite de fonctionnement normal du dispositif d'aéragé est donc donnée par le point de rencontre de la courbe de force aéromotrice du ventilateur superficiel et de la courbe des pertes de charges du circuit commun des puits. La zone de fonctionnement normal est située à gauche (ou au-dessus) de ce point de rencontre, sur la courbe de force aéromotrice du ventilateur superficiel.

L'action de l'aéragé naturel, qui s'ajoute à la force aéromotrice du ventilateur superficiel, a pour résultat de rendre plus étendue la zone de fonctionnement normal de ce système d'aéragé. Le tirage naturel rend même possible un fonctionnement normal du système, en cas d'arrêt du ventilateur superficiel, pourvu que sa valeur dépasse la valeur de la perte de charge des puits pour un débit de ce circuit égal au débit du ventilateur souterrain auxiliaire, correspondant à l'équivalence de sa force aéromotrice et de la perte de charge de son circuit propre.

4) *Deux circuits en parallèle, influencés chacun par un ventilateur, en série avec un circuit influencé par un ventilateur superficiel.*

Nous devons encore construire, pour chacun des ventilateurs souterrains, la courbe de sa force aéromotrice résiduelle (excès ou défaut de sa force aéromotrice sur les pertes de charges de son circuit). L'association en parallèle de ces deux courbes fournira la courbe de force aéromotrice globale résiduelle du groupe parallèle (positive et négative), afférente au circuit commun des puits, en série avec le groupe. Cette dernière courbe, pour des ordonnées supérieures à l'ordonnée maxima de la courbe de force aéromotrice résiduelle du ventilateur le plus faible, sera obtenue en retranchant, des débits du ventilateur le plus fort, les débits du circuit à ventilateur le plus faible pour des ordonnées égales à la différence entre l'ordonnée considérée et l'ordonnée maxima de la courbe de force aéromotrice résiduelle de ce dernier ventilateur. L'association en série de la courbe de force aéromotrice globale résiduelle du groupe parallèle affé-

rente au circuit commun et de la courbe de force aéromotrice du ventilateur de surface donnera la courbe de force aéromotrice totale disponible pour ce circuit commun. La rencontre de cette dernière courbe avec la courbe des pertes de charges du circuit commun donnera le point de fonctionnement du dispositif d'aéragé. On en déduira, comme dans le cas précédent, la pression motrice du ventilateur superficiel, son débit, égal au débit total circulant dans les puits, la différence de pression aux bornes communes des deux circuits en parallèle, les débits dans ces deux circuits et la pression motrice de leurs ventilateurs respectifs.

On aura renversement du courant d'air dans le circuit à ventilateur le plus faible, si la perte de charge des puits est supérieure à l'ordonnée maxima de la courbe de force aéromotrice résiduelle de ce ventilateur. Dans les autres cas, il y aura circulation normale du courant dans les deux circuits parallèles. Le puits de retour sera en surpression, si la perte de charge des puits est plus grande que la force aéromotrice du ventilateur superficiel (partie positive des courbes de forces aéromotrices résiduelles). Le puits d'entrée d'air sera en surpression si la perte de charge des puits est plus faible que la force aéromotrice du ventilateur superficiel (partie négative des courbes de forces aéromotrices résiduelles). L'équilibre des pressions entre puits sera réalisé lorsque la perte de charge des puits sera égale à la force aéromotrice du ventilateur superficiel (point d'ordonnée nulle des courbes de forces aéromotrices résiduelles). Cette égalité sera caractérisée par le point de rencontre de la courbe des pertes de charges du circuit des puits et de la courbe de forces aéromotrices du ventilateur superficiel. A gauche (ou au-dessus) de ce point, sur cette dernière courbe, il y aura surpression du puits d'entrée d'air. A droite (ou en dessous) de ce point, il y aura surpression du puits de retour d'air.

Comme dans les cas précédents, l'aéragé naturel étend la zone de fonctionnement avec surpression du puits d'entrée. Cette surpression peut même être obtenue en cas d'arrêt du ventilateur superficiel, lorsque la valeur du tirage naturel dépasse la valeur de la perte de charge des puits.

Il y a lieu de remarquer que, dans le cas d'un circuit libre et d'un circuit influencé du groupe parallèle, l'augmentation du débit ne peut être obtenue dans le circuit influencé qu'en consentant une réduction du débit initial dans le circuit libre. Cette augmentation du débit dans le circuit influencé est limitée à un maximum, correspondant au débit pour lequel la perte de charge des puits est égale à la force aéromotrice du ventilateur superficiel. Pour ce maximum, le débit dans le circuit libre est nul. Pour un débit du circuit influencé supérieur à ce maximum, il y aura renversement du courant d'air dans

le circuit libre. Lorsque tous les circuits parallèles sont influencés par des ventilateurs auxiliaires, on peut obtenir n'importe quel débit imposé dans chacun des circuits, à condition d'admettre une surpression du puits de retour lorsque le débit total circulant dans les puits est supérieur au débit caractérisant l'égalité des pertes de charges dans ceux-ci et de la pression motrice du ventilateur superficiel.

- 5) *Un circuit souterrain, influencé par un ventilateur souterrain, en série avec deux circuits de puits en parallèle, influencés chacun par un ventilateur superficiel.*

Ce cas est tout à fait analogue au précédent. Toutefois, ici il y aura surpression du puits d'entrée d'air pour un excédent des forces aéromotrices résiduelles des ventilateurs de surface sur les pertes de charges des puits (partie positive des courbes de force aéromotrice résiduelle) ou, ce qui revient au même, pour un déficit de la force aéromotrice du ventilateur souterrain par rapport à la perte de charge du circuit du fond. Le fonctionnement en régime de surpression du puits d'entrée aura lieu pour tous les points de la courbe de force aéromotrice du ventilateur souterrain, situés à droite (ou en dessous) du point de rencontre de cette courbe avec la courbe des pertes de charges du circuit du fond.

On voit, par les considérations exposées dans la présente note, que le recours aux ventilateurs souterrains associés à des ventilateurs superficiels permet de résoudre beaucoup de problèmes d'aéragé qui, jusqu'à présent, n'avaient pu trouver de solution pratique. Toutefois, il importe de bien connaître les principes généraux qui régissent l'association des différents engins moteurs de ventilation, si l'on veut éviter à priori des mécomptes fâcheux, tels le renversement du courant dans des chantiers, la surpression du puits de retour d'air, etc. Ces principes généraux sont très simples. Ils sont basés sur les relations existant entre les pertes de charges et les forces aéromotrices. Ces relations sont celles de fournisseurs à consommateurs, les forces aéromotrices étant les fournisseurs d'énergie et les pertes de charges, les consommateurs. On peut les concevoir aussi sous la forme d'un combat dans lequel les adversaires s'affrontent en cohortes marchant de front, en parallèle, ou à la file, en série. La température joue aussi son rôle dans le combat. Il appartient à l'ingénieur de bien connaître les règles de cette stratégie spéciale, afin de plier à sa loi les adversaires en présence et de donner au combat une issue favorable à la sécurité et à la salubrité du travail souterrain.

SAMENVATTING

De uitbreiding van het gebruik van ondergrondse ventilatoren voor de luchtverversing der mijnen heeft een aantal belangrijke problemen doen rijzen in verband met de relatieve drukking tussen de schachten of tussen de werkplaatsen. Aan deze problemen dient een passende oplossing gegeven, rekening houdend met de veiligheid en de economie der ontginning. Om een voldoende en rationele ventilatie der mijnen te bekomen is het dikwijls nodig verschillende turboventilatoren te gebruiken, opgesteld op den bovengrond en in den ondergrond, in serie, in paraleel of in serie-paraleel werkend. Daarom hebben wij het nuttig geoordeeld de praktische regels van de samenschakeling der mijnventilatoren bijeen te brengen, te condenseren en de nodige en voldoende voorwaarden te bepalen die a priori moeten verwezenlijkt worden om een veilige en economische werking dezer apparaten te verzekeren. Dit is het doel van de huidige nota.

Zij bevat eerst en vooral een herinnering van de algemene noties over de ladingsverliezen in de omlopen die door een luchtstroom doorlopen worden, over de invloed van de natuurlijke ventilatie, over de invloed der lekken langs de afsluitkleppen der schachten, langs de bij-passen en verbindingen tussen de schachten, en ontwikkelt ten slotte enkele beschouwingen over de tegengestelde actie van de ladingsverliezen en van de verhoging der drukking door een ventilator, en van de positieve of negatieve resultante van deze acties.

Vervolgens worden in de nota enkele type-gevallen van samenschakeling van ventilatoren op uitgebreide wijze behandeld, na de elementaire regels van de associatie van deze turbomachines bij werking op een zelfde omloop herinnerd te hebben. De onderzochte gevallen zijn de volgende:

1) Twee omlopen in de werken in paraleel, ieder beïnvloed door een ventilator, in serie geschakeld met een vrije omloop van schachten, zonder ventilator;

2) Een enkelvoudige omloop, met schachten en werken, met een ventilator in den ondergrond en een op den bovengrond;

3) Twee omlopen in de werken in paraleel, waarvan een beïnvloed door een ventilator, de andere vrij, in serie met een omloop met schachten, beïnvloed door een bovengrondse ventilator;

4) Twee omlopen in de werken, ieder beïnvloed door een ventilator, in serie met een schacht-circuit, beïnvloed door een bovengrondse ventilator;

5) Een omloop in de werken, beïnvloed door een ondergrondse ventilator, in serie met twee omlopen met schachten in paraleel, ieder beïnvloed door een bovengrondse ventilator.

De nota sluit door een uitgebreide samenvatting van de voorgaande uiteenzetting en enkele besluiten van algemenen aard.