

Théorie du sens des courants d'aérage au cours d'un incendie de mine

par H. BYSTRON,

Directeur-Adjoint du département Aérage, Climatisation et Incendies
à l'Institut Central des Mines de Pologne.

Traduction résumée par R. STENUIT,

Directeur Divisionnaire des Mines.

RESUME

Le problème du sens des courants d'air dans une mine où se développe un incendie est capital pour la sécurité.

« La pratique polonaise, éprouvée par une longue expérience, repose sur une théorie générale élargie par l'expérience personnelle des spécialistes », écrit Krupinski en 1932.

Parmi les spécialistes, on doit citer notamment : Czczott (1910), Kogut (1927), Budryk (1930), Barczyk (1954) et Bystron (1957).

« Le recul des fumées, observé par Barczyk au cours de certains incendies, n'est pas traité dans ma théorie des mouvements des fumées dans une mine incendiée, écrivait Budryk en 1956 ; cette question a été résolue par Bystron dans un travail non encore publié qui ouvre de nouvelles perspectives sur le développement de la théorie des phénomènes de l'incendie ».

En 1957, Bystron publiait ce travail.

La présente étude, parue dans le n° 4 de Przegląd Gorniczy de 1962, est un « essai d'approfondissement et de coordination des théories connues à ce jour et qui traitent des courants d'air dans la mine. »

Elle prolonge la théorie de Budryk en tenant compte de l'accroissement du débit engendré par le foyer d'incendie et permet d'agir à bon escient sur les ventilateurs et les portes en vue d'éviter ou d'entraver les phénomènes de recul du courant dans

SAMENVATTING

Het probleem van de richting van de luchtstromen in een mijn waarin een brand woedt is van het grootste belang voor de veiligheid.

« De methoden der Polen, steunend op een langdurige ondervinding, berust op een algemene theorie die voortdurend verbeterd wordt door de persoonlijke ervaring der specialisten terzake », schreef Krupinski in 1932.

Tussen deze specialisten vinden wij namelijk : Czczott (1910), Kogut (1927), Budryk (1930), Barczyk (1954) en Bystron (1957).

« Het achteruitkomen van de rookgassen dat door Barczyk bij sommige branden werd waargenomen werd niet behandeld in mijn theorie over de bewegingen der rookgassen in een brandende mijn », schreef Budryk in 1956 ; « dit probleem werd opgelost door Bystron in een nog niet uitgegeven werk dat nieuwe perspectieven opent met betrekking tot de theorie der brandverschijnselen ».

Bystron heeft dit werk in 1956 gepubliceerd.

Bijgaande studie die verschenen is in het n° 4 van Przegląd Gorniczy van 1962, « betracht een verdiepen en coördineren van de verschillende tot op heden bestaande theorieën over de luchtstromen in de mijn ».

Ze betekent een verlengstuk van de theorie van Budryk en houdt daarbij rekening van het debiet dat door de vuurhaard wordt voortgebracht ; dank zij haar kan men met kennis van zaken oordelen over het gebruik van de ventilatoren en deuren zodoende dat een achteruitkomen van de luchtstroom in de aangetaste gang of een omkering in de andere gangen kan vermeden worden. Ze stelt enige een-

l'artère en feu ou d'inversion dans les artères latérales. Elle propose quelques formules et diagrammes simples et pratiques, utilisés et vérifiés plusieurs fois dans les mines polonaises.

N.B. — Le document original de cette étude comprend 43 références bibliographiques qui n'ont pas été traduites mais qui sont à la disposition du lecteur (R.S.).

INHALTSANGABE

Die Richtung der Wetterströme in einer Grube, in der sich ein Brand entwickelt, ist für die Sicherheit von grösster Bedeutung.

« Die in langen Erfahrungen bewährte Praxis im polnischen Bergbau », erklärte Krupinski hierzu im Jahre 1932, « beruht auf einer allgemeinen Theorie, die durch persönliche Erfahrungen von Spezialisten weiter ausgebaut worden ist ».

Unter diesen Spezialisten sind vor allem Czczott (1910), Kogut (1927), Budryk (1930), Barczyk (1954) und Bystron (1957) zu nennen.

« Das von Barczyk bei mehreren Grubenbränden beobachtete Zurückströmen der Schwaden habe ich in meiner Theorie der Bewegung der Brandschwaden in einer Grube nicht behandelt », erklärte Budryk 1956. « Dieses Problem hat Bystron in einer bisher noch nicht veröffentlichten Arbeit gelöst, die neue Ausblicke auf die Weiterentwicklung der Theorie der Branderscheinungen eröffnet ».

Diese Arbeit von Bystron ist im Jahre 1957 erschienen.

Die neue im Przegląd Gorniczy (Jahrgang 1962, Nr. 4) veröffentlichte Untersuchung stellt einen Versuch dar, « die bisher bekannten Theorien über die Wetterströme in einer Grube zu vertiefen und miteinander in Einklang zu bringen ».

Sie bedeutet eine Weiterführung der Budryk'schen Theorie unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Brand eine Verstärkung des Wetterstroms verursacht und eröffnet die Möglichkeit, durch planmässige Umstellung von Lüftern und Wettertüren ein Zurückströmen der Wetter in der brennenden Strecke oder eine Umkehr des Wetterstroms in den Seitenstrecken zu unterbinden oder jedenfalls zu erschweren. Die Arbeit enthält einige einfache und praktische Formeln und Diagramme, die in polnischen Gruben Anwendung finden und mehrfach überprüft worden sind.

Anmerkung. — Das Original des Aufsatzes gibt in einem Anhang 43 Literaturtitel an, die nicht übersetzt worden sind, jedoch auf Wunsch zur Verfügung stehen (R.S.).

voudige en praktische formules en diagrammen voor, die verschillende malen in de Poolse mijnen mijnen werden aangewend en aan de werkelijkheid getoetst.

N.B. — Het oorspronkelijk document dezer studie bevat 43 tekstverwijzingen die niet vertaald werden maar ter beschikking van de lezer staan (R.S.).

SUMMARY

The problem of the direction of air currents in a mine where a fire is spreading is of prime importance for safety.

« Polish practice, which has been tested by long experience, is based on a general theory enlarged by the personal experience of the experts », said Krupinski writing in 1932.

Among the experts special mention must be made of : Czczott (1910), Kogut (1927), Budryk (1930), Barczyk (1954) and Bystron (1957).

« The retreat of smokes, observed by Barczyk during certain fires, is not dealt with in my theory of the movement of smokes in a mine on fire, wrote Budryk in 1956 ; this question has been solved by Bystron in an unpublished report which opens up new prospects for the development of the theory of the phenomena of fires ».

In 1957, Bystron published this report.

The present paper, which appeared in n° 4 of the Przegląd Gorniczy in 1962, is an « experiment in the extension and coordination of the theories known so far, dealing with air currents in the mine ».

It continues Budryk's theory while taking into account the increased output engendered by the seat of the fire and enables intelligent action to be taken on the ventilators and doors so as to avoid or impede the phenomena of the retreat of the current in the road which is afire or the phenomena of inversion in the side roads. It suggests some simple, practical formulae and diagrams, which have been used and checked several times in Polish mines.

N.B. — The original document of this report includes 43 bibliographical references which have not been translated but which are at the disposal of the reader (R.S.).

AERAGE ASCENDANT

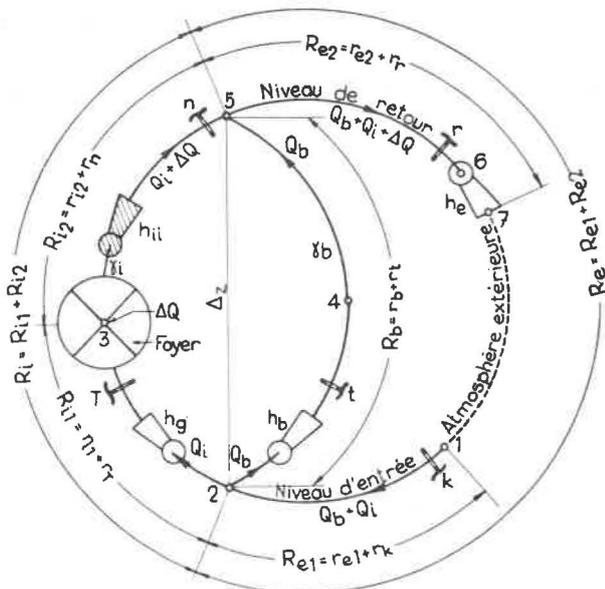


Fig. 1. — Courants normaux : principal intérieur (Q_i) et latéral (Q_b), dans une mine à aérage ascendant.

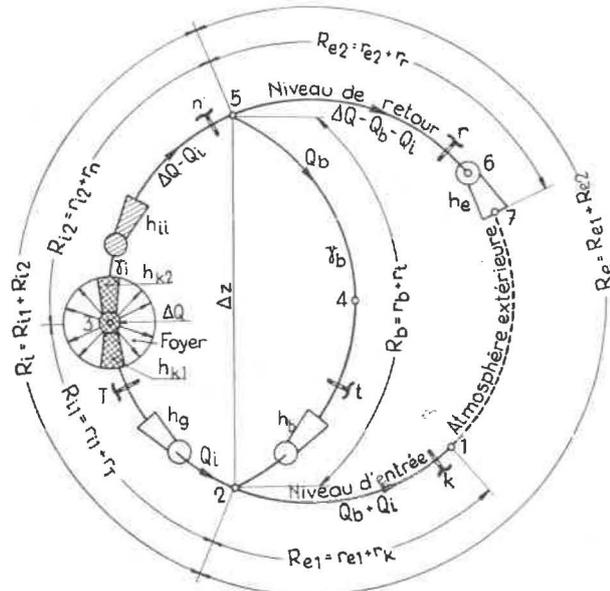


Fig. 2. — Recul du courant principal intérieur (Q_i) en avant du foyer et inversion du courant latéral (Q_b), dans une mine à aérage ascendant.

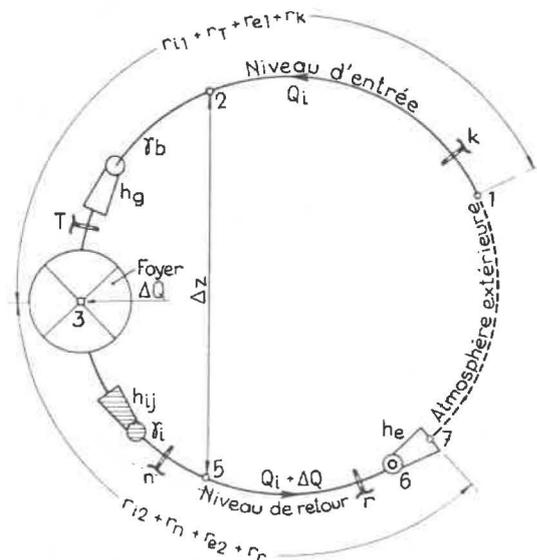


Fig. 4. — Courant principal entier dans une mine à aérage ascendant.

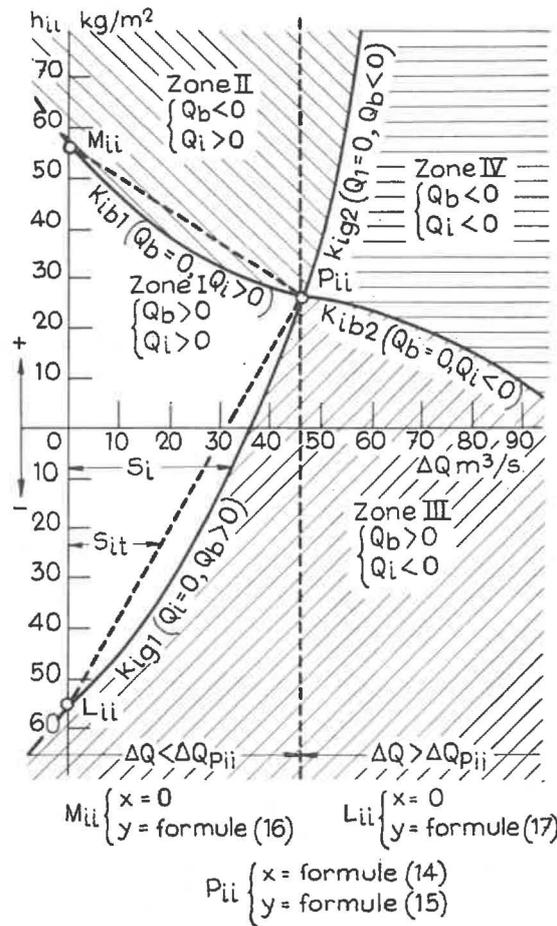


Fig. 3. — Critères graphiques du sens des courants, principal intérieur (Q_i) en avant du foyer, et latéral (Q_b) dans une mine à aérage ascendant.

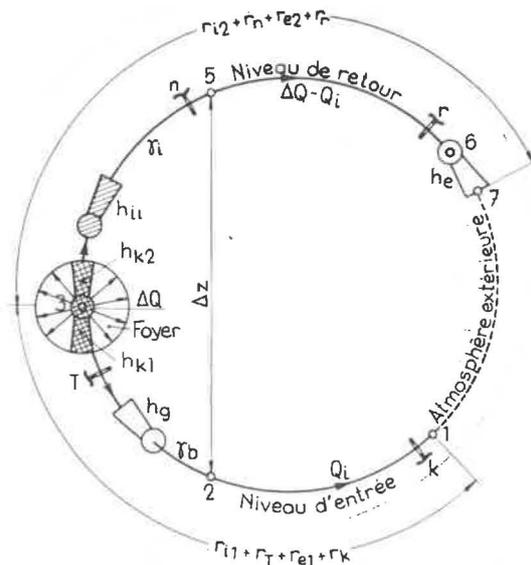


Fig. 5. — Recul du courant principal entier (Q_i) en avant du foyer dans une mine à aérage ascendant.

AERAGE DESCENDANT

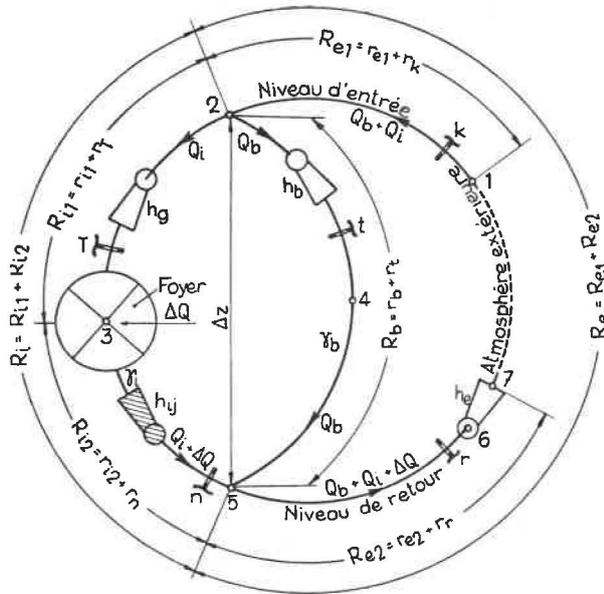


Fig. 6. — Courants normaux : principal intérieur (Q_i) et latéral (Q_b), dans une mine à aérage descendant.

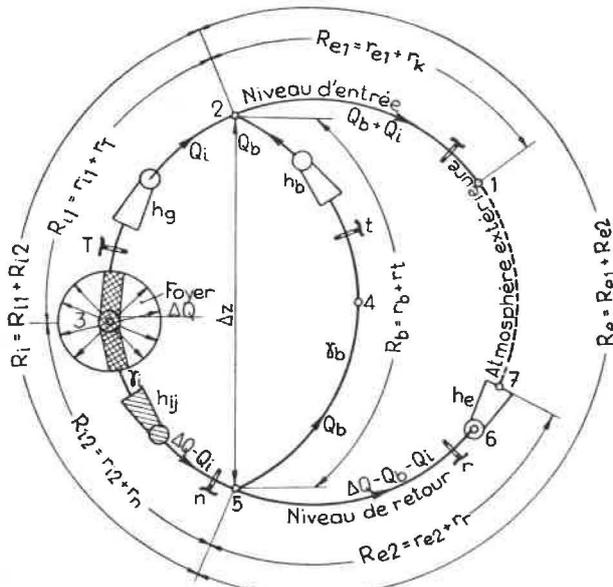


Fig. 7. — Recul du courant principal intérieur (Q_i) en avant du foyer et inversion du courant latéral (Q_b) dans une mine à aérage descendant.

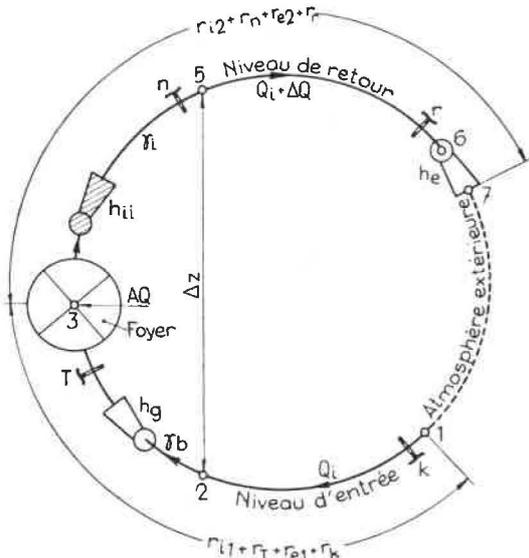


Fig. 9. — Courant principal entier dans une mine à aérage descendant.

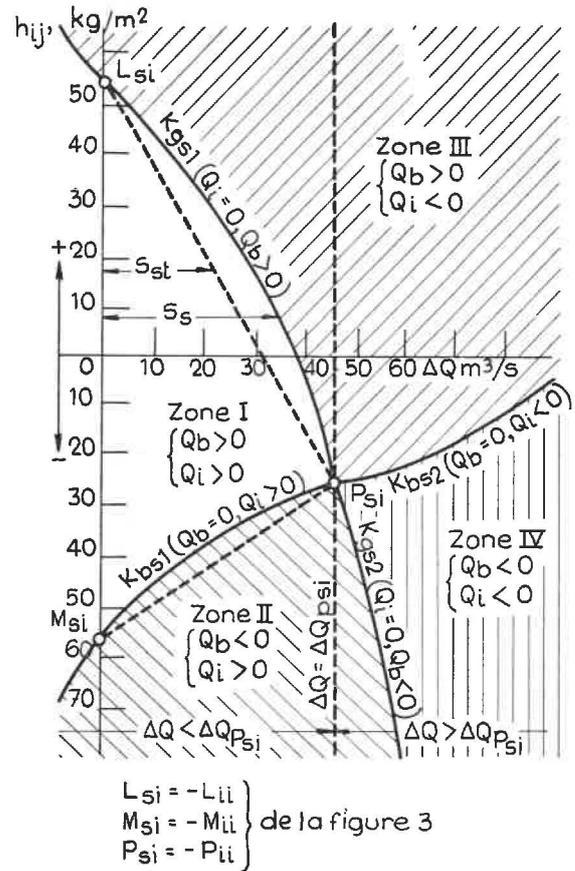


Fig. 8. — Critères graphiques du sens des courants, principal intérieur (Q_i) en avant du foyer, et latéral (Q_b) dans une mine à aérage descendant.

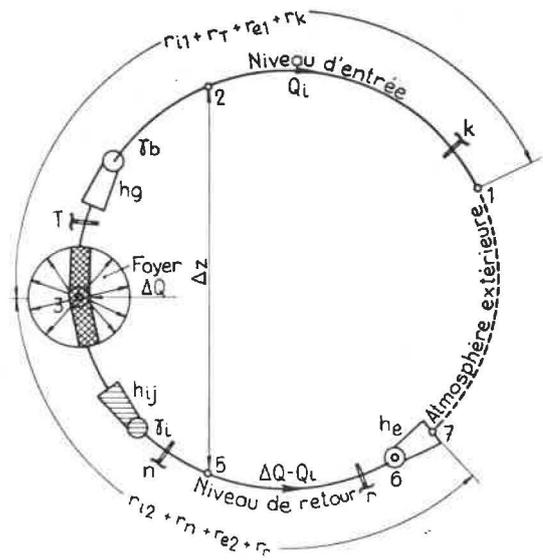


Fig. 10. — Recul du courant principal entier (Q_i) en avant du foyer dans une mine à aérage descendant.

I. DEFINITION ET PRINCIPES

Budryk a introduit et défini des termes adoptés partout en Pologne, dans la pratique comme dans les travaux scientifiques de la mine.

Courant principal entier : allant du puits d'entrée d'air au foyer d'incendie et de là au puits de sortie d'air (p. ex. courant 1, 2, 3, 5, 6, 7 des figures 1, 4 et 6).

Courant principal intérieur : partie du courant principal entier comprise dans le circuit intérieur du système (p. ex. courant 2, 3, 5 de la fig. 1) ; le circuit intérieur est celui qui contient le foyer d'incendie.

Courant principal extérieur : partie du courant principal entier appartenant au circuit extérieur du système (p. ex. courants 1, 2 et 5, 6, 7 de la fig. 1).

Courants latéraux : tous autres courants ramifiés à partir du courant principal (p. ex. courants 2, 4, 5 des fig. 1, 2, 6 et 7).

Courant normal par rapport à la source de dépression : tout courant, principal ou latéral, dont le sens est en accord avec le sens de la dépression de cette source (p. ex. courant 1, 2, 3, 5, 6, 7 de la fig. 1, courant principal intérieur 2, 3, 5, courant principal extérieur 1, 2 ou 5, 6, 7, courant latéral 2, 4, 5, tous normaux par rapport à la source de dépression h_0).

Courant inversé : courant latéral dont le sens n'est pas en accord avec le sens de la dépression de la source : (p. ex. courant 2, 4, 5 des fig. 2 et 7).

Courant en recul : courant principal qui n'est plus normal : ne pas confondre avec le courant inversé propre aux circuits latéraux seulement (p. ex. courant 2, 3 des fig. 2 et 7, courant 1, 2, 3 de la fig. 5).

Un débit sera positif lorsqu'il correspondra à un courant normal :

$$\begin{aligned} Q_i &> 0 \text{ aux figures 1 et 6} \\ Q_b &> 0 \text{ ibidem} \end{aligned}$$

Un débit sera négatif dans le cas contraire et nul en cas d'immobilité ou d'arrêt du courant correspondant.

On distingue, dans ce travail, des courants d'air « établis », à une dimension et indépendants du temps, et des courants d'air « non établis » que l'on peut se présenter comme des changements continus se produisant constamment dans un état stationnaire du réseau. Traiter les courants comme « uni-dimensionnels » est une simplification que l'on peut admettre vis-à-vis des mouvements de l'air dans la mine.

Au cours des incendies dans les mines se produisent différents mouvements des gaz, variables dans le temps, et imputables à des modifications de la dépression d'incendie, à des fluctuations du volume des gaz dans le foyer d'incendie et à l'érection pro-

gressive ou à la fermeture des barrages. On considère dans cette étude que ces phénomènes, s'ils ne sont pas brusques, provoquent uniquement des courants non établis qu'on peut approximativement considérer comme des états différents se succédant constamment dans l'état stationnaire du réseau d'aérage de la mine (*). Selon S.J. Lugowskij, (Moscou 1958) la méthode des modifications se succédant dans l'état stationnaire est employée avec succès pour résoudre différents problèmes dans plusieurs branches des sciences appliquées. Cette méthode est simple et donne une précision suffisante.

Mais le problème des courants d'air non établis conduit à une équation différentielle dont la solution n'est pas satisfaisante actuellement. Par contre, le problème des courants d'air établis dans la mine conduit à une équation algébrique du deuxième degré. Cette équation est obtenue en appliquant le deuxième principe de Kirchhoff aux mailles du réseau de ventilation de la mine. On obtient les éléments de ces équations en posant l'hypothèse que les pertes de charge totales se produisant dans les voies du réseau sont directement proportionnelles au carré du débit volumétrique des courants, d'après la formule semi-empirique universellement employée de Girard et d'Aubuisson.

Dans ce travail, la résolution des équations de pertes de charge est recherchée par la méthode dite paramétrique. On pose que, dans le foyer de l'incendie et son voisinage, se produit une augmentation de volume des gaz donnant un débit ΔQ (m^3 par s), que l'on traite comme une variable indépendante. L'expérience confirme, en effet, que le volume des produits consommés est supérieur à celui qui correspondrait au débit d'air amené.

L'accroissement du volume des gaz dû au foyer d'incendie dans la mine a été pris en considération par Czezcott dans l'analyse des risques de catastrophe lors d'un incendie de mine ayant un système de ventilation direct diagonal. Jusqu'à présent, le problème de l'accroissement du volume de gaz dans le foyer d'incendie a été étudié en Pologne sur base de considérations théoriques, mais en U.R.S.S. on l'a étudié dans une mine expérimentale. Les résultats de ces recherches ont été publiés.

L'augmentation du volume des gaz ΔQ (m^3 par s) diminue d'habitude progressivement le long du trajet parcouru par les fumées jusqu'au ventilateur principal, surtout à cause de la diminution de température de ces fumées au fur et à mesure de leur éloignement du foyer d'incendie. Nous adopterons ici l'hypothèse simplificatrice selon laquelle, tout

(*) Par exemple : Accroissement du volume des gaz en dehors du foyer, modification de la résistance des voies latérales ou des barrages, variations de la dépression du ventilateur (cfr. IX, 5).

le long du parcours du courant enfumé (du foyer au ventilateur principal - fig. 1), l'augmentation de volume ΔQ (m^3 par s) a une valeur moyenne définie qui est fixe à un instant donné, sans être localisée dans l'espace.

En conformité avec les travaux d'auteurs anglais et polonais, on admet que la dépression calorifique de l'incendie se manifeste dans un circuit fermé (maille) du réseau, par exemple 2, 3, 5, 4, 2 ou dans la maille du réseau 1, 2, 4, 5, 6, 7, 1 (fig. 1), de telle sorte que la dépression calorifique dans la maille peut être approximativement calculée par la formule connue du tirage statique d'une cheminée. On suppose que l'endroit de localisation de la dépression calorifique dans une maille du réseau est la taille dans laquelle se trouvent les gaz ayant un poids spécifique faible. Dans une taille de ce type, la dépression calorifique agit du bas vers le haut. La dépression calorifique se situant dans une voie enfumée du circuit fermé dans lequel se trouve le foyer d'incendie est appelée, selon Budryk, *dépression calorifique d'incendie* et est indiquée par h_1 avec le signe correspondant. Sur le schéma de ventilation, la dépression est représentée graphiquement par le symbole hachuré du ventilateur (fig. 1). Le circuit fermé enfumé tel que 2, 3, 5, 4, 2 contenant le foyer d'incendie au point 3 (fig. 1) est dénommé par Budryk *partie intérieure* du système, et tout le reste du réseau, par exemple 2, 1, 7, 6, 5, *partie extérieure* du système.

L'influence de la dépression mécanique h_g d'un ventilateur auxiliaire placé dans le courant intérieur principal par exemple dans la voie 2, 3 (fig. 1), est envisagée séparément à côté de la dépression calorifique d'incendie h_1 de la partie intérieure du système (fig. 1).

On supposera, en outre, que dans le courant latéral, par exemple dans la voie latérale 2, 4, 5 (fig. 1), se trouve un ventilateur auxiliaire de dépression mécanique h_b , mais que la dépression calorifique n'y est pas localisée.

Dans le cas de la figure 1, comprenant au moins 2 mailles, on appellera h_e la dépression totale résultante se manifestant dans la partie extérieure du système comprenant la dépression mécanique du ventilateur principal et la dépression calorifique localisée dans l'une ou l'autre branche du circuit extérieur, par exemple 1, 2 ou 5, 6. Dans un réseau à simple maille (fig. 4, 5, 9, 10), h_e désignera la dépression totale du seul ventilateur principal.

Par R_b , R_1 et R_e , on désigne les résistances des voies y compris les résistances des barrages de ventilation. Dans la présente étude, les résistances des barrages r_T , r_l , r_n , r_k et r_r sont distinguées des résistances des voies et travaux r_b , r_{11} , r_{12} , r_{e1} et r_{e2} (fig. 1, 2, 6, 7).

a) *Résistance des travaux sans résistances des barrages de ventilation (fig. 1).*

r_b : résistance des travaux dans lesquels circule le courant d'air latéral de débit Q_b .

r_{11} : résistance des travaux dans lesquels circule, en amont du foyer d'incendie, le courant d'air principal intérieur de débit Q_i .

r_{12} : résistance des travaux dans lesquels circule, en aval du foyer d'incendie, le courant d'air principal intérieur.

r_{e1} : résistance des travaux dans lesquels circule, en amont du foyer d'incendie, le courant d'air principal extérieur.

r_{e2} : résistance des travaux dans lesquels circule, en aval du foyer d'incendie, le courant d'air principal extérieur.

b) *Résistances des barrages de ventilation (fig. 1).*

r_T : barrage principal dans le courant principal intérieur en amont du foyer d'incendie.

r_l : barrage auxiliaire dans le courant latéral.

r_n : barrage régulateur dans le courant principal intérieur en aval du foyer d'incendie.

r_k : barrage régulateur dans le courant principal extérieur en amont du foyer d'incendie.

r_r : barrage régulateur dans le courant principal extérieur en aval du foyer d'incendie.

La somme de ces résistances partielles donnera :

$$\begin{aligned} R_b &= r_b + r_l, R_{11} = r_{11} + r_T, R_{12} = r_{12} + r_n, \\ R_1 &= R_{11} + R_{12} = r_{11} + r_T + r_{12} + r_n, \\ R_{e1} &= r_{e1} + r_k, R_{e2} = r_{e2} + r_r \text{ et } R_e = \\ &R_{e1} + R_{e2} = r_{e1} + r_k + r_{e2} + r_r \text{ (fig. 1, } \\ &2, 6, 7). \end{aligned}$$

Dans ce travail, on emploie les unités suivantes : Résistance des voies et des barrages R et r :

$$\text{kg} \cdot \text{m}^{-8} \cdot \text{s}^2 \text{ (kilomurgue)}$$

Débits des courants Q et accroissement du volume des gaz dans le foyer d'incendie ΔQ : m^3 par s.

Dépressions calorifiques et dépressions des ventilateurs : kg/m^2 .

II. CRITERES DE CALCUL

Méthode de Budryk.

Suivant le deuxième principe de Kirchhoff et la formule de Girard et d'Aubuisson, on écrit deux équations de pertes de charge correspondant aux circuits fermés d'un système de ventilation normal (fig. 1). Ces équations sont groupées et divisées membre à membre de façon à obtenir, d'une part, le rapport de la dépression h_1 se manifestant dans la partie intérieure du système à la dépression h_e dans sa partie extérieure et, d'autre part, le rapport de la somme des pertes de charge de la partie intérieure

du système à la somme des parties de charge de la partie extérieure. L'utilisation des propriétés fondamentales des fractions simples conduit directement au critère mathématique correspondant au sens du courant latéral.

Méthode de Barczyk.

On part du principe que, dans le système d'aéragé représenté par un circuit fermé (fig. 4) dans lequel se trouve un foyer d'incendie, intervient un écoulement subsidiaire correspondant à une augmentation du volume des gaz. On admet que la valeur moyenne du débit d'écoulement subsidiaire est constante le long du trajet du courant entre le foyer d'incendie et le ventilateur principal. En accord avec le principe de Kirchhoff et la formule de Girard et d'Aubuisson, on forme une équation de pertes de charge et, en utilisant les propriétés fondamentales des équations et des inégalités, on obtient les critères mathématiques correspondant au sens du courant principal résultant en amont du foyer d'incendie, c'est-à-dire du courant dans le tronçon 1, 2, 3 (fig. 4).

Méthode de Bystron.

On considère un système normal simple d'aéragé (fig. 1) et, dans sa partie intérieure, on localise la dépression calorifique d'incendie h_{i1} et le foyer dans lequel se produit l'augmentation de volume des gaz ΔQ . Le courant principal intérieur (débit Q_i , en amont du foyer d'incendie) dans ce circuit fermé est supposé arrêté, c'est-à-dire que $Q_i = 0$, pour différentes valeurs de l'augmentation ΔQ et de la dépression calorifique h_{i1} . Une série de valeurs ($\Delta Q, h_{i1}$) est donnée par la résolution du système d'équations posé. A une valeur de la dépression calorifique h_{i1} correspond une valeur de l'augmentation ΔQ . Un nombre suffisant de couples de valeurs (ΔQ et h_{i1}) est traité comme des coordonnées de points, portés dans un système de coordonnées rectangulaires d'abscisses ΔQ et d'ordonnées h_{i1} . Les lignes définies par ces points, appelées *lignes critiques*, représentent la variation de la dépression h_{i1} par rapport à l'accroissement ΔQ correspondant à l'arrêt (l'immobilité) du courant principal intérieur ($Q_i = 0$), aux valeurs des résistances de voies et aux dépressions de ventilateurs adoptées. Par une méthode analogue, on obtient les lignes critiques représentant la relation entre la dépression calorifique h_{i1} et l'accroissement ΔQ pour l'arrêt du courant latéral ($Q_b = 0$) et pour les mêmes valeurs des résistances des voies et des dépressions de ventilateurs que précédemment. Les lignes critiques tracées dans un simple système de coordonnées constituent l'essentiel du critère graphique des sens du courant latéral (Q_b) et du courant intérieur principal Q_i (fig. 1 et 3).

En partant de ce critère graphique, l'auteur est passé à des critères mathématiques.

D'une manière analogue à celle de Budryk, on considère un système libre, normal, simple d'aéragé (fig. 1). Sans faire de calculs, mais suivant l'essentiel du critère graphique, on trace à la main un critère graphique quelconque (fig. 3). L'abscisse du point P_{i1} est dénommé $\Delta Q = \Delta Q_{P_{i1}}$. L'équation des pertes de charge donne, pour $\Delta Q \leq \Delta Q_{P_{i1}}$ (fig. 1), les équations des deux premières lignes critiques K_{b11} et K_{g11} (fig. 3); ensuite, pour $\Delta Q \geq \Delta Q_{P_{i1}}$ (fig. 2) les équations des deux autres lignes critiques K_{b12} et K_{g12} (fig. 3).

Les équations des lignes susdites sont rigoureuses. A partir de ces équations, on trouve les ordonnées des différents points de ces lignes et en particulier les coordonnées des points M_{i1}, L_{i1} et P_{i1} (fig. 3), de même que l'expression de l'aire comprise entre l'axe des ordonnées et les lignes K_{b11} et K_{g11} .

De l'analyse des équations des lignes $K_{b11}, K_{g11}, K_{b12}$ et K_{g12} (fig. 3), on déduit les critères mathématiques des sens du courant latéral (Q_b) et du courant principal intérieur Q_i (fig. 1, 2). L'exactitude de ces critères se vérifie par comparaison avec les critères mathématiques de Budryk et avec sa théorie de la ventilation des mines pour des effets concordants et non concordants de deux ventilateurs. D'autre part, l'application à des valeurs numériques de la dépression des foyers d'incendie, des résistances des voies et des barrages de ventilation, de l'accroissement du volume des gaz dans le foyer d'incendie et des débits du courant latéral et du courant principal intérieur, conduit à la solution d'un système d'aéragé normal, simple, ascendant ou descendant (fig. 1, 2, 6, 7). Les résultats des calculs de vérification sont illustrés par les critères graphiques (fig. 14 à 22).

III. VENTILATION ASCENDANTE

(fig. 1 à 5).

III.1. Soit une mine à ventilation ascendante (fig. 1) ayant des courants d'air « établis » normaux, tout au plus arrêtés.

$$Q_b \geq 0, \text{ latéral}$$

$$Q_i \geq 0, \text{ principal intérieur en avant du foyer.}$$

En désignant par h_{i1} la dépression calorifique d'incendie, dont le sens est en concordance avec celui de la dépression de la source extérieure h_e , et en accord avec le deuxième principe de Kirchhoff et la formule de Girard et d'Aubuisson, on écrit l'équation des pertes de charge pour les circuits fermés 2, 3, 5, 4, 2 et 1, 2, 4, 5, 6, 7, 1 :

$$h_{i1} - h_b + h_g = - (r_b + r_t) Q_b^2 + (r_{i1} + r_n) Q_i^2 + (r_{i2} + r_n) (Q_i + \Delta Q)^2 \tag{1}$$

$$h_e + h_b = (r_b + r_t) Q_b^2 + (r_{e1} + r_K) (Q_b + Q_i)^2 + (r_{e2} + r_r) (Q_b + Q_i + \Delta Q)^2 \tag{2}$$

Dans ces équations, on traite ΔQ comme variable indépendante. Les résistances sont des paramètres indépendants de ΔQ et h_{i1} sera la variable dépendante, obtenue après division des 2 équations membre à membre.

Envisageons deux cas particuliers : l'immobilité de Q_i et l'immobilité de Q_b .

a) En cas d'immobilité du courant principal intérieur en avant du foyer ($Q_i = 0$) et si l'on appelle h_{ig1} la dépression calorifique correspondante, l'opération donne :

$$\frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} \equiv A = \frac{-(r_b + r_t) Q_b^2 + (r_{i2} + r_n) \Delta Q^2}{(r_b + r_t + r_{e1} + r_k) Q_b^2 + (r_{e2} + r_r) (Q_b + \Delta Q)^2} \quad (3)$$

d'où l'on tire

$$h_{ig1} = A (h_e + h_b) + h_b - h_g \quad (4)$$

équation de la ligne K_{ig1} (fig. 3), appelée « la première ligne critique d'arrêt du courant principal intérieur (avant le foyer) dans une incendie de la mine ayant une ventilation ascendante ».

L'équation (4) est valable pour

$$Q_i = 0 \text{ et } Q_b \geq 0$$

La variable dépendante est la dépression calorifique h_{ig1} , la variable indépendante est l'accroissement ΔQ compris dans l'expression A, formules (3) et (4), dans le but de simplifier les formules citées ci-après dans cette étude.

b) En cas d'immobilité du courant latéral ($Q_b = 0$) et si l'on appelle h_{ib1} la dépression calorifique correspondante, les équations (1) et (2) donnent cette fois

$$\frac{h_{ib1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} \equiv B = \frac{(r_{i1} + r_T) Q_i^2 + (r_{i2} + r_n) (Q_i + \Delta Q)^2}{(r_{e1} + r_k) Q_i^2 + (r_{e2} + r_r) (Q_i + \Delta Q)^2} \quad (5)$$

soit

$$h_{ib1} = B (h_e + h_b) + h_b - h_g \quad (6)$$

équation de la ligne K_{ib1} (fig. 3) appelée « la première ligne critique de l'arrêt du courant latéral dans un incendie de la mine ayant une ventilation ascendante ».

L'équation (6) est valable pour $Q_b = 0$ et $Q_i \geq 0$.

La variable dépendante est la dépression calorifique h_{ib1} , la variable indépendante est l'accroissement ΔQ compris dans l'expression B, formules (5) et (6).

III.2. Soit une mine à ventilation ascendante (fig. 2) ayant un courant d'air latéral inversé ou

tout au plus arrêté ($Q_b \leq 0$) et un courant d'air principal intérieur (en avant du foyer) en recul ou tout au plus arrêté ($Q_i \leq 0$).

Par analogie avec le processus suivi ci-dessus sous III.1, et au moyen des équations de pertes de charge des circuits fermés 2, 3, 5, 4, 2 et 1, 2, 4, 5, 6, 7, 1, on trouve pour expression de la dépression calorifique h_{ib2} correspondant à $Q_b = 0$:

$$h_{ib2} = C (h_e + h_b) + h_b - h_g \quad (10)$$

équation de la ligne K_{ib2} (fig. 3) appelée « la deuxième ligne critique d'arrêt du courant latéral dans un incendie de la mine ayant une ventilation ascendante » et dans laquelle

$$C \equiv \frac{h_{ib2} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = \frac{(r_{i1} + r_T) Q_i^2 - (r_{i2} + r_n) (\Delta Q - Q_i)^2}{(r_{e1} + r_k) Q_i^2 - (r_{e2} + r_r) (\Delta Q - Q_i)^2} \quad (9)$$

L'équation (10) est valable pour

$$Q_b = 0 \text{ et } Q_i \leq 0.$$

La variable dépendante est la dépression calorifique h_{ib2} , la variable indépendante est l'accroissement ΔQ compris dans l'expression C, formules (9) et (10).

Pour $Q_i = 0$, immobilité du courant principal intérieur en avant du foyer, on trouverait, en appelant h_{ig2} la dépression calorifique :

$$D = \frac{h_{ig2} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = \frac{(r_b + r_t) Q_b^2 + (r_{i2} + r_n) \Delta Q^2}{-(r_b + r_t + r_{e1} + r_k) Q_b^2 + (r_{e2} + r_r) (\Delta Q - Q_b)^2} \quad (11)$$

d'où l'équation de la ligne K_{ig2} :

$$h_{ig2} = D (h_e + h_b) + h_b - h_g \quad (12)$$

appelée « la deuxième ligne critique d'arrêt du courant principal intérieur (avant le foyer) dans un incendie de la mine ayant une ventilation ascendante ».

L'équation (12) est valable pour

$$Q_b \leq 0 \text{ et } Q_i = 0.$$

La variable dépendante est la dépression calorifique h_{ig2} , la variable indépendante est l'accroissement ΔQ compris dans l'expression de D, formules (11) et (12).

III.3. Les lignes critiques K_{ib1} , K_{ib2} , K_{ig1} , K_{ig2} , les formules (4), (6), (10) et (12) ont un point commun P_{i1} et partagent le plan du graphique

(fig. 3) en 4 zones ayant des surfaces indéfinies. Ces zones se caractérisent comme suit :

Zone I : courant principal intérieur normal ($Q_i > 0$) et courant latéral normal ($Q_b > 0$).

Zone II : courant intérieur normal ($Q_i > 0$) et courant latéral inversé ($Q_b < 0$).

Zone III : recul du courant principal intérieur avant foyer ($Q_i < 0$) et courant latéral normal ($Q_b > 0$).

Zone IV : recul du courant principal intérieur avant foyer ($Q_i < 0$) et courant latéral inversé ($Q_b < 0$).

La zone I est caractérisée par les directions normales du courant principal intérieur (en amont du foyer) et du courant latéral ; aussi présente-t-elle une importance fondamentale dans la théorie et dans la pratique. Pendant les incendies de mine, l'accroissement de volume des gaz ΔQ prend en principe des valeurs non négatives $\Delta Q \geq 0$, aux

quelles correspond une aire limitée qui est une partie de la zone I non limitée, définie par l'axe des ordonnées h_{i1} , par la ligne critique K_{ig1} et la formule (4) et par la ligne critique K_{ib1} et la formule (6), fig. 3. La surface de cette zone S_i (kg.m.s^{-1}) est définie par la formule :

$$S_i = \int_0^{\Delta Q_{P_{i1}}} (h_{ib1} - h_{ig1}) d(\Delta Q) = (h_e + h_b) \int_0^{\Delta Q_{P_{i1}}} (B - A) d(\Delta Q) \quad (13)$$

Dans la formule (13), h_{ib1} représente le membre droit de la formule (6), h_{ig1} le membre droit de la formule (4) ; les autres définitions sont les mêmes que dans les formules (1) à (6).

Les lignes critiques K_{ib1} , K_{ig1} et l'axe des ordonnées h_{i1} (fig. 3) se coupent aux points P_{i1} , L_{i1} et M_{i1} ayant les coordonnées suivantes :

$$P_{i1} \begin{cases} \text{abscisse} = \sqrt{\frac{h_e + h_b}{r_{e2} + r_r}} = \Delta Q_{P_{i1}} & (14) \\ \text{ordonnées} = h_b - h_g + (h_e + h_b) \frac{r_{i2} + r_n}{r_{e2} + r_r} & (15) \end{cases}$$

$$M_{i1} \begin{cases} \text{abscisse} = 0 \\ \text{ordonnée} = h_b - h_g + (h_e + h_b) \frac{r_{i1} + r_r + r_{i2} + r_n}{r_{e1} + r_K + r_{e2} + r_r} & (16) \end{cases}$$

$$L_{i1} \begin{cases} \text{abscisse} = 0 \\ \text{ordonnée} = h_b - h_g - (h_e + h_b) \frac{r_b + r_t}{r_b + r_t + r_{e1} + r_K + r_{e2} + r_r} & (17) \end{cases}$$

Sur la figure 3, on a tracé les lignes droites pointillées joignant le point P_{i1} aux points L_{i1} et M_{i1} . Ces lignes droites et l'axe des ordonnées h_{i1} délimitent le triangle $P_{i1} - L_{i1} - M_{i1} - P_{i1}$ de surface S_{it} (kg.m.s^{-1}) exprimée par la formule :

$$S_{it} = 0,5 (h_{iL_{i1}} - h_{iM_{i1}}) \Delta Q_{P_{i1}} \quad (18)$$

Les formules (14) à (18) permettent d'établir les critères graphiques approximatifs ayant la forme d'un triangle $P_{i1} - L_{i1} - M_{i1} - P_{i1}$ (fig. 3).

Au point P_{i1} correspond l'arrêt (immobilité) du courant latéral ($Q_b = 0$) et l'arrêt du courant principal intérieur avant le foyer $Q_i = 0$.

La ligne droite pointillée verticale tracée par le point P_{i1} partage le champ du graphique (fig. 3) en un demi-plan gauche ($\Delta Q < \Delta Q_{P_{i1}}$) et un demi-plan droit ($\Delta Q > \Delta Q_{P_{i1}}$). Pour les valeurs

d'accroissement ΔQ appartenant à ces demi-plans et pour la valeur d'accroissement $\Delta Q_{P_{i1}}$, formule (14), on déduit par la suite dans cette étude 3 groupes distincts de critères de sens des courants d'air pendant l'incendie d'une mine à ventilation ascendante.

III.4. Critères pour $\Delta Q < \Delta Q_{P_{i1}}$.

De l'analyse des formules (1) à (6) sur le demi-plan gauche ($\Delta Q < \Delta Q_{P_{i1}}$) (fig. 3) résultent les critères mathématiques de sens du courant principal intérieur Q_{i1} et du courant latéral Q_b vis-à-vis de la source de dépression h_e dans une mine à ventilation ascendante (fig. 1).

a) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$A > \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < B \quad (19)$$

b) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$A = \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < B \quad (20)$$

c) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$A < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < B \quad (21)$$

d) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$A < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = B \quad (22)$$

e) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (inversé) :

$$A < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = B \quad (23)$$

En introduisant dans les critères (19) à (23) les valeurs : $R_b = r_b + r_i$, $R_i = r_{i1} + r_T + r_{i2} + r_n$, $R_e = r_{e1} + r_k + r_{e2} + r_r$, on obtient pour l'accroissement $\Delta Q = 0$ un cas particulier de ces critères, à savoir :

a₁) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{-R_b}{R_b + R_e} > \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < \frac{R_i}{R_e} \quad (24)$$

b₁) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{-R_b}{R_b + R_e} = \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < \frac{R_i}{R_e} \quad (25)$$

c₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{-R_b}{R_b + R_e} < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < \frac{R_i}{R_e} \quad (26)$$

d₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$\frac{-R_b}{R_b + R_e} < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = \frac{R_i}{R_e} \quad (27)$$

e₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (inversé) :

$$\frac{-R_b}{R_b + R_e} < \frac{h_{i1} - h_b + h_g}{h_e + h_b} > \frac{R_i}{R_e} \quad (28)$$

Les critères (19) à (28) sont exprimés par une double inégalité dont l'inégalité simple de gauche est appelée première inégalité et celle de droite deuxième inégalité. La première inégalité de chaque critère se rapporte au courant énoncé en premier lieu dans le texte, et la deuxième inégalité se rapporte au courant cité en deuxième lieu ; par exemple, la première inégalité de gauche dans la formule (28) donne une condition de conservation du courant principal intérieur ($Q_i > 0$), la deuxième inégalité donne la condition d'existence du courant latéral inversé ($Q_b < 0$).

Remarque : Dans le cas où $h_{i1} = h_i$ et $h_b = h_g = 0$ les critères (24 à (28) rejoignent les critères mathématiques des sens du courant latéral (Q_b) donnés par la méthode de Budryk indiquée au chapitre II pour une mine à ventilation ascendante (fig. 1) :

a₂, b₂, c₂) courant latéral normal ($Q_b > 0$) :

$$\frac{h_i}{h_e} < \frac{R_i}{R_e} \quad (29)$$

d₂) arrêt (immobilité) du courant latéral ($Q_b = 0$) :

$$\frac{h_i}{h_e} = \frac{R_i}{R_e} \quad (30)$$

e₂) courant latéral inversé ($Q_b < 0$) :

$$\frac{h_i}{h_e} > \frac{R_i}{R_e} \quad (31)$$

On retrouve semblablement les critères mathématiques donnés dès 1927 par Kogut.

Critères approximatifs. Des équations des lignes droites tracées par les points M_{i1} , L_{i1} et P_{i1} (fig. 3) ayant les coordonnées indiquées au paragraphe III.5, formules (14) à (17), on déduit les *critères mathématiques approximatifs* des sens du courant principal intérieur (Q_i) et du courant latéral (Q_b) vis-à-vis de la source de dépression h_e dans une mine à ventilation ascendante (fig. 1). Les critères approximatifs sont, formellement, les mêmes que les critères rigoureux donnés par les formules (19) à (23). Pour obtenir les critères approximatifs, on pose $A = A_0$ et $B = B_0$, d'où

$$A_0 = \frac{-R_b}{R_b + R_e} + \Delta Q \sqrt{\frac{R_{e2}}{h_e + h_b} \left(\frac{R_{i2}}{R_{e2}} + \frac{R_b}{R_b + R_e} \right)} \quad (3A)$$

$$B_0 = \frac{R_i}{R_e} + \Delta Q \sqrt{\frac{R_{e2}}{h_e + h_b} \left(\frac{R_{i2}}{R_{e2}} - \frac{R_i}{R_e} \right)} \quad (5A)$$

Si l'on applique aux critères mathématiques approximatifs la condition $\Delta Q = 0$, on obtient les critères (24) à (31); mais si l'on introduit l'augmentation $\Delta Q = \Delta Q_{P_{11}}$, formule (14), on obtient les critères (32) à (34). Les critères approximatifs ont même importance et sont en pratique aussi facilement utilisés que les critères de Czechtzot, Kogut et Budryk. Sur les critères graphiques des figures 14 à 22, les distances suivant la verticale entre les lignes droites pointillées et les lignes critiques rigoureuses représentent graphiquement l'écart entre les critères mathématiques approximatifs et les critères rigoureux.

III.5. Critères pour $\Delta Q = \Delta Q_{P_{11}}$.

S'il y a dans le foyer d'incendie une augmentation du volume des gaz $\Delta Q = \Delta Q_{P_{11}}$ (formule 14, fig. 3), on déduit des équations (3) et (5) les critères mathématiques des directions du courant principal intérieur (Q_i) et du courant latéral (Q_b) vis-à-vis de la source de dépression h_e dans une mine ayant la ventilation de la figure 1 ou 2.

a) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < \frac{r_{12} + r_n}{r_{e2} + r_r} = A_{P_{11}} \quad (32)$$

b) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$\frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = \frac{r_{12} + r_n}{r_{e2} + r_r} = A_{P_{11}} \quad (33)$$

Au point P_{11} (fig. 3) correspondent l'arrêt (l'immobilité) du courant principal intérieur en avant du foyer ($Q_i = 0$) et l'arrêt du courant latéral ($Q_b = 0$); donc, pour les valeurs des débits $Q_b = Q_i = 0$, on obtient à partir des formules (3) et (5) l'égalité $A = B = A_{P_{11}}$.

c) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (en recul) :

$$\frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} > \frac{r_{12} + r_n}{r_{e2} + r_r} = A_{P_{11}} \quad (34)$$

Les critères (32) à (34) sont déduits des formules (9) et (11). Pour des débits $Q_b = Q_i = 0$, on obtient $C = D$ et $h_{1b2} = h_{1g2}$ d'où $h_{1b1} = h_{1b2} = h_{1g1} = h_{1g2} = h_{1P1}$ (fig. 3).

III.6. Critères pour $\Delta Q > \Delta Q_{P_{11}}$.

De l'analyse des formules (7) à (12) sur la demi-aire de droite ($\Delta Q > \Delta Q_{P_{11}}$, fig. 3) résultent les critères mathématiques des sens du courant principal intérieur en avant du foyer (Q_i) et du courant latéral (Q_b) par rapport à la source de dépression h_e dans une mine à ventilation ascendante (fig. 1, 2) :

a) $Q_b > 0$ (normal) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$C > \frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < D \quad (35)$$

b) $Q_b = 0$ (immobile) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$C = \frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < D \quad (36)$$

c) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$C < \frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} < D \quad (37)$$

d) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i = 0$ (immobile) :

$$C < \frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} = D \quad (38)$$

e) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i > 0$ (normal) :

$$C < \frac{h_{11} - h_b + h_g}{h_e + h_b} > D \quad (39)$$

III.7. Circuit unique (formules de Barczyk).

En accord avec le deuxième principe de Kirchhoff et avec la formule de Girard et d'Aubuisson, on forme une équation de pertes de charge (40) pour le circuit fermé d'aérage de la figure 4 et l'équation (41) pour le circuit de la figure 5, toujours dans une mine à ventilation ascendante.

$$h_{11} + h_s + h_o = (r_{11} + r_T + r_{e1} + r_K) Q_i^2 + (r_{12} + r_n + r_{e2} + r_r) (Q_i + \Delta Q)^2 \quad (40)$$

$$h_{11} + h_s + h_o = -(r_{11} + r_T + r_{e1} + r_K) Q_i^2 + (r_{12} + r_n + r_{e2} + r_r) (\Delta Q - Q_i)^2 \quad (41)$$

Les équations (40) et (41) peuvent aussi être obtenues en additionnant membre à membre les équations (1) et (2) et les équations (7) et (8) dans lesquelles on fait $Q_b = 0$.

Des équations (40) et (41), on obtient les critères mathématiques des sens du courant principal entier, en avant du foyer d'incendie (Q_i) dans le système (fig. 4, 5) d'une mine à ventilation ascendante :

a) Courant principal entier normal $Q_i > 0$, (fig. 4)

$$h_{11} + h_s + h_o > (r_{12} + r_n + r_{e2} + r_r) \Delta Q^2 \equiv a \quad (42)$$

- b) Arrêt (immobilité) du courant principal entier, $Q_i = 0$

$$h_{i1} + h_g + h_e = a \quad (43)$$

- c) Recul du courant principal entier, $Q_i < 0$, (fig. 5)

$$h_{i1} + h_g + h_e < a \quad (44)$$

Enfin, si l'on pose dans les équations (42) à (44) : $H = h_{i1} + h_g + h_e$, $c = r_{12} + r_n + r_{e2} + r_r$, $q = \Delta Q$, on retrouve les critères mathématiques de Barczyk des sens du courant principal entier, en avant du foyer d'incendie Q_i :

- a₁) $Q_i > 0$:

$$\frac{H}{C} > q^2 \quad (45)$$

- b₁) $Q_i = 0$:

$$\frac{H}{C} = q^2 \quad (46)$$

- c₁) $Q_i < 0$:

$$\frac{H}{C} < q^2 \quad (47)$$

Les critères mathématiques (42) à (47) sont valables pour un système d'aérage en circuit fermé (fig. 4, 5) et une valeur quelconque de l'accroissement ΔQ . Ainsi la théorie de Barczyk rejoint-elle celle de l'auteur, par des voies différentes.

IV. VENTILATION DESCENDANTE

(fig. 6 à 10).

IV.1. Soit une mine à ventilation descendante (fig. 6) ayant des courants d'air « établis » normaux, tout au plus arrêtés.

$$Q_b \geq 0 \text{ latéral}$$

$$Q_i \geq 0 \text{ principal intérieur en avant du foyer.}$$

On peut écrire, dans les deux circuits fermés représentés :

$$h_{ij} + h_b - h_g = (r_b + r_t) Q_b^2 - (r_{i1} + r_r) Q_i^2 - (r_{12} + r_n) (Q_i + \Delta Q)^2 \quad (48)$$

$$h_e + h_b = (r_b + r_t) Q_b^2 + (r_{e1} + r_K) (Q_b + Q_i)^2 + (r_{e2} + r_r) (Q_b + Q_i + \Delta Q)^2 \quad (49)$$

Dans l'équation (48), h_{ij} désigne la dépression calorifique d'incendie dont le sens est en opposition avec le sens de la dépression de la source extérieure h_e (fig. 6). Les autres symboles sont les mêmes que dans les équations (1) et (2).

a) En cas d'immobilité du courant principal intérieur en avant du foyer, soit $Q_i = 0$: appelons h_{igs1} la dépression calorifique correspondante. Les équations (48) et (49) divisées membre à membre donnent, rapprochées de l'équation (3) :

$$\frac{h_{igs1} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = E = -A \quad (50)$$

De la transformation de (50) et de la comparaison avec la formule (4) résulte l'équation de la ligne K_{gs1} (fig. 8) ; appelée « la première ligne critique d'arrêt du courant principal intérieur (avant le foyer) dans un incendie de la mine ayant une ventilation descendante ».

$$h_{igs1} = E(h_e + h_b) - h_b + h_g$$

$$= -[A(h_e + h_b) + h_b - h_g] = -h_{ig1} \quad (51)$$

L'équation (51) est valable pour les débits $Q_b \geq 0$ et $Q_i = 0$.

b) En cas d'immobilité du courant latéral, soit $Q_b = 0$: appelons h_{ibs1} la dépression calorifique correspondante.

Les équations (48), (49) et (5) donnent cette fois :

$$\frac{h_{ibs1} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = F = -B \quad (52)$$

soit

$$h_{ibs1} = F(h_e + h_b) - h_b + h_g$$

$$= -[B(h_e + h_b) + h_b - h_g] = -h_{ib1} \quad (53)$$

équation de la ligne K_{bs1} (fig. 8), appelée « la première ligne critique d'arrêt du courant latéral dans un incendie de la mine ayant une ventilation descendante ». L'équation (53) est valable pour $Q_b = 0$ et $Q_i \geq 0$.

IV.2. Soit une mine à ventilation descendante (fig. 7) ayant un courant d'air latéral inversé ou tout au plus arrêté ($Q_b \leq 0$) et un courant d'air principal intérieur (en avant du foyer) en recul ou tout au plus arrêté ($Q_i \leq 0$).

Par analogie avec le processus suivi plus haut sous IV.1, on trouve pour expression de la dépression calorifique h_{ibs2} lorsque $Q_b = 0$:

$$h_{ibs2} = G(h_e + h_b) - h_b + h_g$$

$$= -[C(h_e + h_b) + h_b - h_g] = -h_{ib2} \quad (57)$$

équation de la ligne K_{bs2} appelée « la deuxième ligne critique d'arrêt de courant latéral dans l'incendie d'une mine ayant une ventilation descendante ».

L'équation (57) est valable pour $Q_b = 0$ et $Q_i \leq 0$.

Pour $Q_i = 0$, immobilité du courant principal intérieur en avant du foyer, on trouverait en appelant h_{igs2} la dépression calorifique :

$$\frac{h_{igs2} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = H = -D \quad (58)$$

d'où

$$h_{igs2} = H(h_e + h_b) - h_b + h_g = -[D(h_e + h_b) + h_b - h_g] = -h_{ig2} \quad (59)$$

équation de la ligne K_{gs2} , appelée « la deuxième ligne critique d'arrêt du courant principal intérieur (avant le foyer) dans un incendie de la mine ayant une ventilation descendante ».

L'équation (59) est valable pour $Q_b \leq 0$ et $Q_i = 0$.

IV.3 Comme dans le paragraphe III, l'accroissement du volume des gaz ΔQ est la variable indépendante des équations des lignes critiques (51), (53), (57) et (59), les dépressions calorifiques h_{ibs1} , h_{ibs2} , h_{igs1} et h_{igs2} en sont les variables dépendantes, et les autres grandeurs conservent leurs valeurs.

Les lignes critiques K_{bs1} , K_{bs2} , K_{gs1} et K_{gs2} , tracées sur base de leurs équations respectives (51), (53), (57) et (59), constituent l'essentiel du critère graphique des sens du courant d'aérage pendant l'incendie dans une mine à ventilation descendante. Ces lignes ont un point commun P_{si} et elles divisent l'aire du graphique en 4 zones I, II, III et IV (fig. 8).

De la comparaison des lignes critiques K_{b1} , K_{b2} , K_{g1} et K_{g2} (fig. 3), et des formules (4), (6), (10), (12), avec les équations des lignes critiques K_{bs1} , K_{bs2} , K_{gs1} et K_{gs2} (fig. 8) et les formules (51), (53), (57), (59), on déduit que le critère graphique (fig. 8), des sens des courants dans une mine à ventilation descendante (fig. 6, 7) est une image réfléchie (effet de miroir) du critère graphique (fig. 3) des sens des courants dans une mine à ventilation ascendante (fig. 1, 2), si toutefois les autres paramètres déterminant les systèmes d'aérage de ces mines sont identiques. Ainsi, la surface S_s du champ compris entre l'axe des ordonnées h_{ij} et les lignes K_{bs1} et K_{gs1} (fig. 8) peut être trouvée sur base de la formule (13), et de même la surface du triangle S_{st} ayant les sommets M_{si} , L_{si} et P_{si} (fig. 8) peut être trouvée sur base de la formule (18). Dans les formules (13) et (18), il suffit de poser $h_{ib1} = h_{ibs1}$, $h_{ig1} = h_{igs1}$, $A = -E$; $B = -F$, $\Delta Q_{i1} = \Delta Q_{P_{si}}$, formule (14). Les ordonnées des points P_{si} , M_{si} , L_{si} (fig. 8), peuvent être calculées en se servant des formules (15), (16) et (17),

dans lesquelles il faut appliquer $h_{iP_{wi}} = -h_{iP_{si}}$, $h_{iM_{ii}} = -h_{iM_{si}}$ et $h_{iL_{ii}} = -h_{iL_{si}}$ (§ III.3).

Au point P_{si} (fig. 8) dont l'abscisse est $\Delta Q = \Delta Q_{P_{si}} = \Delta Q_{P_{ii}}$, (formule 14), correspond l'arrêt du courant latéral ($Q_b = 0$) et l'arrêt du courant principal intérieur avant le foyer ($Q_i = 0$). La ligne droite verticale en traits pointillés tracée par le point P_{si} partage la demi-aire du graphique (fig. 8) en une demi-aire gauche ($\Delta Q < \Delta Q_{P_{si}}$) et une demi-aire droite ($\Delta Q > \Delta Q_{P_{si}}$). Pour les valeurs de l'accroissement de volume des gaz ΔQ appartenant à ces demi-aires et au point P_{si} , on déduit ci-après 3 groupes distincts de critères mathématiques des sens de courants d'air pendant l'incendie dans une mine avec ventilation descendante.

IV.4. Critères pour $\Delta Q < \Delta Q_{P_{si}}$.

De l'analyse des formules (48) à (53) sur la demi-aire gauche $\Delta Q < \Delta Q_{P_{si}}$ (fig. 8), on déduit les critères des sens du courant principal intérieur (avant le foyer) de débit Q_i et du courant latéral de débit Q_b , par rapport à la source de dépression h_e dans une mine à ventilation descendante (fig. 6, 7) :

a) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$-A = E < \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > F = -B \quad (60)$$

b) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$-A = E = \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > F = -B \quad (61)$$

c) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$-A = E > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > F = -B \quad (62)$$

d) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$-A = E > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = F = -B \quad (63)$$

e) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (inversé) :

$$-A = E > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} < F = -B \quad (64)$$

Si l'on introduit dans les critères (60) à (64) les valeurs : $R_b = r_b + r_t$, $R_i = r_{i1} + r_{i2} + r_n$, $R_e = r_{e1} + r_{e2} + r_r$ (fig. 6, 7), on obtient, dans le cas où $\Delta Q = 0$:

a₁) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{R_b}{R_b + R_e} < \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > \frac{-R_i}{R_e} \quad (65)$$

b₁) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{R_b}{R_b + R_e} = \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > \frac{-R_i}{R_e} \quad (66)$$

c₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{R_b}{R_b + R_e} > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > \frac{-R_i}{R_e} \quad (67)$$

d₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$\frac{R_b}{R_b + R_e} > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = \frac{-R_i}{R_e} \quad (68)$$

e₁) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (inversé) :

$$\frac{R_b}{R_b + R_e} > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} < \frac{-R_i}{R_e} \quad (69)$$

Dans le cas particulier où $h_b = h_g = 0$ et si l'on pose $h_{ij} = h_i$, on obtient les critères mathématiques des sens du courant principal avant le foyer Q_i dans une mine à ventilation descendante (fig. 6 et 7) :

a₂) $Q_i < 0$ (en recul) :

$$\frac{h_i}{h_e} > \frac{R_b}{R_b + R_e} \quad (70)$$

b₂) $Q_i = 0$ (immobile) :

$$\frac{h_i}{h_e} = \frac{R_b}{R_b + R_e} \quad (71)$$

c₂ - d₂ - e₂) $Q_i > 0$ (normal) :

$$\frac{h_i}{h_e} < \frac{R_b}{R_b + R_e} \quad (72)$$

Le critère (72) que l'on peut écrire

$$\frac{h_e}{h_i} > 1 + \frac{R_e}{R_b} \quad (73)$$

est identique, aux symboles près, au critère de Budryk pour le maintien du sens du courant principal avant foyer Q_i (> 0) dans une mine à ventilation descendante, c'est-à-dire où les dépressions ne sont pas concordantes.

Remarque. — Le lecteur aura constaté que les critères s'adaptent indifféremment à la ventilation ascendante ou à la ventilation descendante. Il suffit de poser $h_{ij} = -h_{i1}$ et de multiplier tous les termes par -1 pour passer des formules (19) à (28) aux formules (60) à (69). Le sens physique de ces signes négatifs résulte de l'antagonisme des dépressions calorifiques d'incendie dans le système des figures 1 et 2 et dans celui des figures 6 et 7.

D'une manière analogue à celle du paragraphe III.4, on trace des lignes droites $M_{s1} - P_{s1}$ et $L_{s1} - P_{s1}$ (fig. 8) qui donnent les critères mathématiques approximatifs des sens du courant principal intérieur avant foyer Q_i et du courant latéral Q_b vis-à-vis de la source de dépression extérieure h_e dans une mine ayant une ventilation descendante (fig. 6 et 7). Ces critères approximatifs sont, formellement, identiques aux critères rigoureux exposés dans les formules (60) à (64). Pour obtenir les critères mathématiques approximatifs, il suffit de poser dans les formules (60) à (64) : $E = -A = -A_0$ et $F = -B = -B_0$, avec A_0 et B_0 donnés par les formules (3 A) et (5 A).

IV.5. Critères pour $\Delta Q = \Delta Q_{Ps1}$.

Pour l'accroissement du volume des gaz dans le foyer d'incendie $\Delta Q = \Delta Q_{Ps1}$ (fig. 8), les formules (50) et (52) donnent les critères mathématiques des sens du courant principal intérieur avant le foyer Q_i et du courant latéral Q_b par rapport à la source de dépression h_e de la mine ayant une ventilation descendante (fig. 6, 7) :

a) $Q_i < 0$ (en recul) et $Q_b > 0$ (normal) :

$$\frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > -\frac{r_{i2} + r_n}{r_{e2} + r_r} = E_{Ps1} = -A_{P11} \quad (75)$$

b) $Q_i = 0$ (immobile) et $Q_b = 0$ (immobile) :

$$\frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = -\frac{r_{i2} + r_n}{r_{e2} + r_r} = E_{Ps1} = -A_{P11} \quad (76)$$

Au point P_{s1} se produit l'arrêt (immobilité) du courant principal intérieur avant le foyer ($Q_i = 0$) et l'arrêt du courant latéral ($Q_b = 0$), entraînant, à partir des formules (50) et (52) : $E = F = E_{Ps1}$.

c) $Q_i > 0$ (normal) et $Q_b < 0$ (inversé) :

$$\frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} < -\frac{r_{i2} + r_n}{r_{e2} + r_r} = E_{Ps1} = -A_{P11} \quad (77)$$

De la comparaison des critères (75) à (77) avec les critères (32) à (34) résulte l'égalité $E_{Ps1} = -A_{P11}$. Les critères (75) à (77) peuvent également être déduits des formules (56) et (58) dans lesquelles, pour les débits $Q_b = Q_i = 0$, on obtient $G = H$ et $h_{ibs2} = h_{igs2}$, d'où $h_{ibs1} = h_{igs1} = h_{ibs2} = h_{igs2} = h_{iPs1}$ (fig. 8).

IV.6. Critères pour $\Delta Q > \Delta Q_{Psi}$.

De l'analyse des formules (54) à (59) sur la demi-surface de droite $\Delta Q > \Delta Q_{Psi}$ (fig. 8), résultent les critères mathématiques des sens du courant principal intérieur avant le foyer (Q_i) et du courant latéral (Q_b) par rapport à la source de dépression h_e dans une mine à ventilation descendante (fig. 6 et 7).

a) $Q_b > 0$ (normal) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$-C = G < \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > H = -D \quad (78)$$

b) $Q_b = 0$ (immobile) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$-C = G = \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > H = -D \quad (79)$$

c) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i < 0$ (en recul) :

$$-C = G > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} > H = -D \quad (80)$$

d) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i = 0$ (immobile) :

$$-C = G > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} = H = -D \quad (81)$$

e) $Q_b < 0$ (inversé) et $Q_i > 0$ (normal) :

$$-C = G > \frac{h_{ij} + h_b - h_g}{h_e + h_b} < H = -D \quad (82)$$

En posant $h_{ij} = -h_{i1}$ et en multipliant par -1 , on retrouve les formules (35) à (39), en les interprétant d'une façon analogue à celle du paragraphe IV.4.

IV.7. Circuit unique.

Comme dans le § III.7, on forme l'équation de pertes de charge (83) pour le circuit d'aérage de la figure 9 et l'équation (84) pour le circuit d'aérage de la figure 10 :

$$h_{ij} - h_g - h_e = -(r_{i1} + r_r + r_{e1} + r_k) Q_i^2 - (r_{i2} + r_n + r_{e2} + r_r) (Q_i + \Delta Q)^2 \quad (83)$$

$$h_{ij} - h_g - h_e = (r_{i1} + r_r + r_{e1} + r_k) Q_i^2 - (r_{i2} + r_n + r_{e2} + r_r) (\Delta Q - Q_i)^2 \quad (84)$$

Les équations (83) et (84) peuvent aussi être obtenues en soustrayant membre à membre l'équation (49) de l'équation (48) et l'équation (55) de l'équation (54) en y posant $Q_b = 0$.

Des équations (83) et (84), on obtient les critères mathématiques des sens du courant d'air principal entier devant le foyer (Q_i) dans le système (fig. 9, 10) d'une mine à ventilation descendante :

a) Sens normal du courant principal entier $Q_i > 0$ (fig. 9) :

$$h_{ij} - h_g - h_e < -(r_{i2} + r_n + r_{e2} + r_r) \Delta Q^2 = b = -a \quad (85)$$

b) Arrêt (immobilité) du courant principal entier $Q_i = 0$:

$$h_{ij} - h_g - h_e = -(r_{i2} + r_n + r_{e2} + r_r) \Delta Q^2 = b = -a \quad (86)$$

c) Recul du courant principal entier $Q_i < 0$ (fig. 10) :

$$h_{ij} - h_g - h_e > -(r_{i2} + r_n + r_{e2} + r_r) \Delta Q^2 = b = -a \quad (87)$$

En posant $h_{ij} = -h_{i1}$ et en multipliant par -1 , on peut, à partir des critères (85) à (87), obtenir les critères (42) à (44) et les interpréter de la même façon qu'au paragraphe IV.4.

Il existe également une liaison entre les critères (85) et (87) et la théorie de Budryk sur l'effet résultant de ventilateurs travaillant en sens opposés.

V. INFLUENCE DE L'INCENDIE SUR LE REGIME D'AERAGE

Cette influence est double : d'une part, apparition d'une dépression calorifique dans la partie intérieure du système et aussi dans la partie extérieure, d'autre part, augmentation du volume des gaz ΔQ .

D'après les recherches de l'auteur, faites durant plusieurs années, un foyer d'incendie considéré comme source de compression peut être assimilé à un ventilateur fictif possédant une turbine et deux diffuseurs. Ce ventilateur aspire l'accroissement du volume des gaz ΔQ m³/s, développé par le foyer. Si l'on suppose que ΔQ est supérieur au courant principal et le fait reculer, on peut dire que de l'un des diffuseurs sort le courant principal en recul Q_i m³/s sous l'impulsion d'une dépression h_{K1} et que de l'autre diffuseur sort un courant $\Delta Q - Q_i$ sous l'impulsion d'une dépression h_{K2} et de la dépression h_{i1} (fig. 11).

Remarquons que les 2 diffuseurs fictifs constituent une représentation symbolique et que, en réalité, la compression des gaz du foyer agit dans toutes les directions. On a vu, au chapitre I, que l'on pouvait admettre que les courants d'air fussent « unidimensionnels ».

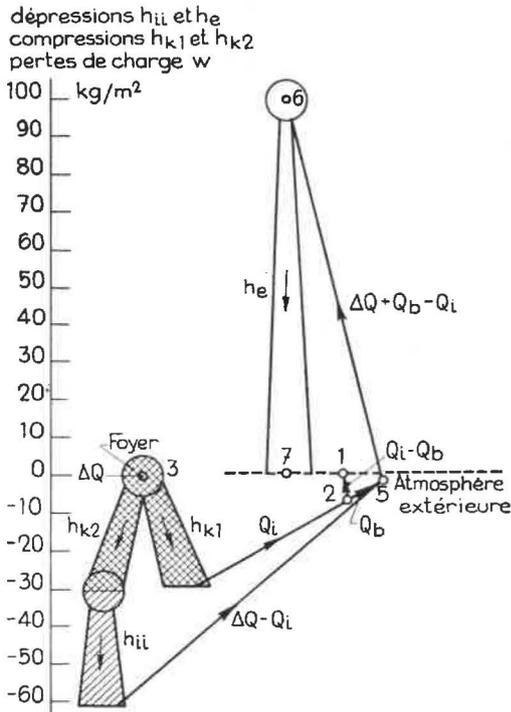


Fig. 11. — Mécanisme du foyer d'incendie.

Dans ces conditions, on peut écrire

$$h_{K1} - h_{K2} = 0 \tag{88}$$

et

$$h_{K1} = \sum_1 (r Q^2 \pm h) \tag{89}$$

Dans cette dernière formule, r représente la résistance ($\text{Kg m}^{-8} \text{s}^2$) d'une voie par laquelle passe le courant principal en recul Q_i . Le nombre de voies allant de 1 à n . Par h , on représente la dépression résultante de toutes les sources localisées dans ce courant principal en recul. Le signe $+$ de la formule correspond à la non-concordance, le signe $-$ à la concordance de cette dépression résultante avec le sens du courant en recul.

Dans les systèmes d'aérage (fig. 2, 5, 7, 10), on a représenté par un ventilateur avec deux diffuseurs, les compressions h_{K1} et h_{K2} dans le foyer d'incendie. Eu égard à (88), on n'a pas explicité la compression h_{K1} et h_{K2} dans les équations de pertes de charge (7), (41), (54) et (84).

Si dans le système représenté à la figure 1 on suppose : les dépressions $h_{i1} = 30$, $h_e = 100$, $h_b = h_g = 0$ (kg par m^2), les résistances $r_b = r_{i1} = r_{i2} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$, $r_T = r_t = r_n = r_K = r_r = 0$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-8} \cdot \text{s}^2$) et $\Delta Q = 40$ (m^3/s), on obtient de la solution du système correspondant à cette figure 1 les valeurs des débits $Q_i = -15,5$ et $Q_b = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (tableau I). Dans ces conditions

de Q_i en recul et de Q_b demeuré normal, les pertes de charge dans les voies sont (fig. 11) :

$$w_b = r_b Q_b^2 = 5,5, w_{i1} = r_{i1} Q_i^2 = 24,0, w_{i2} = r_{i2} (\Delta Q - Q_i)^2 = 60,0, w_{e1} = r_{e1} (Q_i - Q_b)^2 = 6,6 \text{ et } w_{e2} = r_{e2} (\Delta Q + Q_b - Q_i)^2 = 101,2 \text{ (kg par m}^2\text{)}.$$

La valeur de la compression h_{K1} dans le foyer d'incendie (89) est en accord avec les calculs effectués et atteint $h_{K1} = r_{i1} Q_i^2 + r_{e1} (Q_i - Q_b)^2 = w_{i1} + w_{e1} = 30,6$ (kg/m^2).

VI. AERAGE DIAGONAL SIMPLE

VI.1. Par la méthode de l'auteur, signalée à l'étranger (*), on assimile un système d'aérage simple (fig. 12) à un système équivalent normal composé de deux ventilateurs (fig. 13). Les ventilateurs h_i et h_e possèdent des caractéristiques telles que $h = h_i = h_e = \text{constante}$.

Les équations de pertes de charge pour les mailles : 1, 2, 4, 1 et 1, 6, 3, 2, 4, 5, 6, 1, avec $h_i = h_e$ (fig. 13) sont :

$$(r_{i1} + r_a) Q_i^2 = (r_{e1} + r_c) Q_e^2 - (r_p + r_p') Q_p^2 \tag{90}$$

$$(r_{i2} + r_b) (Q_i - Q_p)^2 = (r_{e2} + r_d) (Q_e + Q_p)^2 + (r_p + r_p') Q_p^2 \tag{91}$$

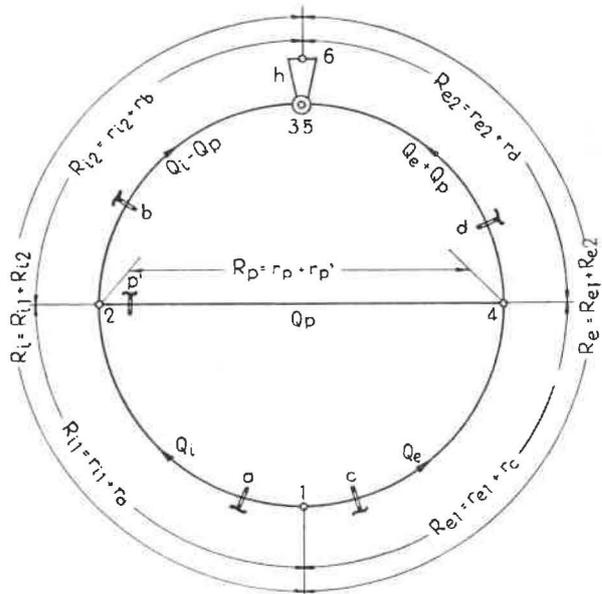


Fig. 12. — Aérage diagonal simple.

(*) O. LENZ: Verfahren der Wetternetzrechnung « Bergbau Archiv » 22 (1961), Heft 1.

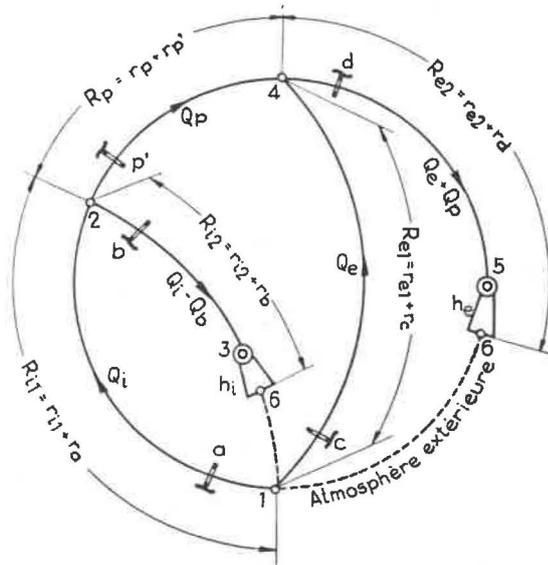


Fig. 13. — Aérage normal composé.

En accord avec le paragraphe I, on appelle courant diagonal direct de débit \$Q_p\$ (fig. 12, 13) le courant \$Q_p > 0\$ par rapport au ventilateur \$h_e\$ (fig. 13), c'est-à-dire le courant qui va du nœud 2 au nœud 4 (fig. 12, 13) ; on l'appelle courant latéral inversé (\$Q_p < 0\$) quand il va du nœud 4 au nœud 2. On obtient, à partir des équations (90 et (91), les critères de Czezcott :

a) Courant diagonal direct (\$Q_p > 0\$) :

$$\frac{r_{i1} + r_a}{r_{i2} + r_b} < \frac{r_{e1} + r_c}{r_{e2} + r_d} \quad (92)$$

b) Arrêt (immobilité) du courant diagonal (\$Q_p = 0\$) :

$$\frac{r_{i1} + r_a}{r_{i2} + r_b} = \frac{r_{e1} + r_c}{r_{e2} + r_d} \quad (93)$$

c) Courant diagonal inversé (\$Q_p < 0\$) :

$$\frac{r_{i1} + r_a}{r_{i2} + r_b} > \frac{r_{e1} + r_c}{r_{e2} + r_d} \quad (94)$$

Et si l'on pose \$r_{i1} + r_a = a\$, \$r_{i2} + r_b = a'\$, \$r_{e1} + r_c = b\$, \$r_{e2} + r_d = b'\$, on retrouve, dans les relations (92) à (94), les formules données par Budryk dans ses cours de ventilation des mines.

VI.2. Les équations de pertes de charge pour les mailles 1-2-3-6-1, 1-4-5-6-1 et 1-2-4-5-6-1 (fig. 13) sont

$$h_i = (r_{i1} + r_a) Q_i^2 + (r_{i2} + r_b) (Q_i - Q_p)^2 \quad (95)$$

$$h_e = (r_{e1} + r_c) Q_e^2 + (r_{e2} + r_d) (Q_e + Q_p)^2 \quad (96)$$

$$h_e = (r_{i1} + r_a) Q_i^2 + (r_p + r_{p'}) Q_p^2 + (r_{e2} + r_d) (Q_e + Q_p)^2 \quad (97)$$

En appliquant la méthode de Budryk, on obtient à partir des équations (95) à (96) les critères suivants (fig. 12, 13) :

a) Courant diagonal direct (\$Q_p > 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} < \frac{r_{i1} + r_a + r_{i2} + r_b}{r_{e1} + r_c + r_{e2} + r_d} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (98)$$

b) Arrêt (immobilité) du courant diagonal (\$Q_p = 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} = \frac{r_{i1} + r_a + r_{i2} + r_b}{r_{e1} + r_c + r_{e2} + r_d} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (99)$$

c) Courant diagonal inversé (\$Q_p < 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} > \frac{r_{i1} + r_a + r_{i2} + r_b}{r_{e1} + r_c + r_{e2} + r_d} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (100)$$

En posant \$R_i = R_{i1} + R_{i2} = r_{i1} + r_a + r_{i2} + r_b\$, \$R_{e1} + R_{e2} = r_{e1} + r_c + r_{e2} + r_d\$ (fig. 12, 13), on obtient, à partir des équations (98) à (100), les critères suivants :

a) Courant diagonal direct (\$Q_p > 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} < \frac{R_i}{R_e} \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (101)$$

b) Arrêt (immobilité) du courant diagonal (\$Q_p = 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} = \frac{R_i}{R_e} \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (102)$$

c) Courant diagonal inversé (\$Q_p < 0\$) :

$$\frac{h_i}{h_e} > \frac{R_i}{R_e} \left(\frac{Q_i}{Q_e}\right)^2 \quad (103)$$

De la comparaison des critères (101) à (103) et des critères (29) à (31), il résulte que le courant diagonal dans le système diagonal simple de la figure 12 doit être considéré comme courant latéral et non comme courant principal. Le courant de débit \$Q_p\$ passant par la voie latérale 2-4 de la figure 13 doit de même, d'après la définition de Budryk, être appelé courant latéral. La maille 1-2-3-6-1 (fig. 13) ou l'artère indépendante 1-2-3 (fig. 12) devrait être appelée la partie intérieure du système simple diagonal d'aérage, et la maille 1-4-5-6-1 (fig. 13) ou l'artère indépendante 1-4-5 (fig. 12) devrait être appelée la partie extérieure de ce système.

La similitude de ces formules indique que les théories de Czczott et de Budryk sont liées entre elles d'une certaine manière. Mais ces théories, de même que la théorie de Kogut intimement liée avec ces dernières, supposaient nul l'accroissement des gaz ΔQ .

Le système normal de la figure 13 est équivalent, avons-nous dit, au système diagonal direct de la figure 12 à condition que les dépressions h_i et h_e soient égales. Posant donc $h_i = h_e$ et soustrayant membre à membre l'équation (96) de (97) et l'équation (95) de (97), on obtient les équations (90) et (91) qui conduisent aux critères de Czczott, formules (92) à (94).

Par extension et en accord avec la théorie de Budryk sur le travail commun des ventilateurs, les formules (101 à (103) peuvent être considérées comme les critères du sens du courant latéral (Q_p) dans un système d'aérage normal, que la dépression h_i soit égale à la dépression h_e ou qu'elle en soit différente (fig. 13).

Prenant en considération, par exemple, les systèmes (fig. 1, 4, 13) et les accroissements $\Delta Q = 0$ ou $\Delta Q \geq 0$, on peut affirmer que les théories de Czczott, Kogut, Budryk, Barczyk et de l'auteur sont liées entre elles.

Bien entendu, ces théories ne concernent que les systèmes simples d'aérage et on n'est pas près de trouver une théorie des sens de courant d'air dans un système quelconque.

En attendant, il est possible dès maintenant de recourir aux critères graphiques ci-dessus exposés pour une maille quelconque d'un système d'aérage quelconque.

VII. APPLICATION PRATIQUE DES CRITERES GRAPHIQUES

VII.1. Admettons que, avant l'incendie dans la mine schématisée à la figure 1, les courants d'air soient normaux, c'est-à-dire que les conditions données par la formule (21) soient réalisées. Si un incendie se déclare, l'activité du feu ainsi que l'action de l'équipe chargée, entre autres, de l'installation des barrages de ventilation (fermeture et ouverture) peuvent être telles que les conditions correspondant à la formule (21) soient de moins en moins réalisées jusqu'à ce qu'elles ne le soient plus du tout. Il en résulte une stabilité (permanence) de plus en plus précaire des courants normaux, jusqu'à leur arrêt (immobilité) ou leur inversion ou leur recul. L'opération de l'équipe de sauvetage qui assure les sens normaux des courants est appelée « la stabilisation » de ces courants ou du système d'aérage. Le degré d'accomplissements normaux des courants est appelé « la stabilisation » de ces courants ou du système d'aérage. Le degré d'accomplissement de la for-

mule (21) ainsi que des autres critères peut être analysé, soit quantitativement (*), soit qualitativement en se servant des critères graphiques (fig. 14 à 22). L'essentiel de la stabilisation repose sur l'augmentation adéquate de la zone I du critère graphique (fig. 3, 8).

VII.2. On appelle « défumage » de la mine l'opération qui consiste à supprimer les courants en recul ou inversés lors d'un incendie.

Supposons qu'une mine à ventilation ascendante (fig. 2) soit enfumée par le courant principal en recul et par le courant latéral inversé : on se trouve dans les conditions de la formule (37), où l'accroissement des gaz ΔQ_0 est supérieur à l'accroissement $\Delta Q_{P_{II}}$, formule 14. En admettant que ΔQ_0 reste constante, la condition qu'il faut remplir : $\Delta Q_0 < \Delta Q_{P_{II}}$ est obtenue, suivant la formule (14), par exemple en augmentant la dépression du ventilateur principal h_e ou bien en diminuant la résistance de barrage r_r dans le circuit de ce ventilateur.

De manière générale, en réalisant la condition $\Delta Q_0 < \Delta Q_{P_{II}}$, on provoque le déplacement des courants (Q_b) et (Q_i) (fig. 1, 2) de la zone IV vers la zone I, II ou III (fig. 3). Ensuite le « défumage » de la mine, c'est-à-dire le retour aux courants normaux, est obtenu par le passage dans la zone I, critère (21). Tout en observant la condition $\Delta Q_b < \Delta Q_{P_{II}}$ (fig. 3), les sens des courants dans les zones II et III sont définis pour la mine (fig. 1) par les critères (23) et (19) lesquels, rapprochés du critère (21) et des formules (5) ou (3), dictent l'action sur les moyens de ventilation (barrages, ventilateurs, propres à provoquer la réalisation des conditions voulues par ce critère (21).

La méthode de « défumage » de la mine donnée par Budryk consiste dans le déplacement de la zone II vers la zone I (fig. 3) ou bien dans le passage de la zone III vers la zone I (fig. 8) pour un accroissement $\Delta Q = 0$, c'est-à-dire sur l'axe des ordonnées h_{II} . C'est donc un cas particulier (très important dans la pratique) de la méthode de « défumage » présentée ici.

VII.3. Une ventilation rationnelle doit donc tendre à réaliser une zone I aussi étendue que possible (fig. 3) en vue d'éviter ou d'entraver les phénomènes de recul ou d'inversion.

Dans ce but, on applique la ventilation ascendante (fig. 1) avec de grandes dépressions des ventilateurs principaux, un emploi rationnel de ces dépressions, c'est-à-dire de grandes pertes de charge dans la partie intérieure et de petites dans la partie extérieure (fig. 14 à 22), de même qu'avec des barrages

(*) Cfr. BYSTRON : La dépression du ventilateur principal lors d'un incendie dans un courant d'air ascendant (A.M.B. 1963, n° 5).

de sécurité et surtout des barrages dans les voies latérales présentant une faible résistance.

VII.4. En accord avec les hypothèses énoncées au paragraphe 2, on admet la formule approximative suivante pour définir la dépression calorifique de l'incendie dans la partie intérieure du système d'aéragé (fig. 1 ou 6, aéragé ascendant ou descendant) :

$$h_{i1} = h_{ij} = \Delta Z (\gamma_b - \gamma_i) \quad (105)$$

h_{i1}, h_{ij} , kg/m² : valeurs naturelles des dépressions calorifiques d'incendie sans considération du sens de leur action,

Δz m : différence de niveau des nœuds 2 et 5 de la partie intérieure du système,

γ_b kg/m³ : poids spécifique moyen de l'air dans le courant latéral (Q_b),

γ_i kg/m³ : poids spécifique moyen des gaz dans le courant principal intérieur.

Le poids spécifique γ_b peut être approximativement : $\gamma_b = 1,2$. Le poids spécifique minimum des gaz d'incendie dans l'atmosphère de la mine s'élève théoriquement à 0,2. D'après les observations faites au cours de l'incendie dans la mine A, il faudrait adopter $\gamma_i = 0,8$.

Cette formule introduite dans l'équation (21), donne les limites supérieure et inférieure de la différence de niveaux Δz , dans une mine à ventilation ascendante (fig. 1) pour un ΔQ quelconque mais inférieur à ΔQ_{P11} , c'est-à-dire pour la plage de la figure 3 qui seule est intéressante (III, 4) :

$$\begin{aligned} A \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} + \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} &< \Delta z \\ &< B \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} + \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} \end{aligned} \quad (106)$$

Dans le cas particulier de $\Delta Q = 0$ (formule 26), on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{-R_b}{R_b - R_e} \cdot \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} &< \Delta z \\ &< \frac{R_i}{R_e} \cdot \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} + \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} \end{aligned} \quad (107)$$

Dans une mine à ventilation descendante (fig. 6), les formules (62), (67) et (105) donneraient :

$$\begin{aligned} E \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} - \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} &> \Delta z \\ &> F \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} - \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} \end{aligned} \quad (108)$$

$$\begin{aligned} \frac{R_b}{R_b + R_e} \cdot \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} - \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} &> \Delta z \\ &> \frac{-R_i}{R_e} \cdot \frac{h_e + h_b}{\gamma_b - \gamma_i} - \frac{h_b - h_g}{\gamma_b - \gamma_i} \end{aligned} \quad (109)$$

Dans les formules (106) à (109) les symboles sont les mêmes que dans les formules (21), (26), (62), (67) et (105) et les valeurs de A, B, E et F sont données par les formules (5), (5), (50) et (52).

Rappelons que les inégalités de gauche des formules (106) à (109) donnent les conditions pour que Q_i reste > 0 et que celles de droite donnent les conditions pour que Q_b reste > 0 .

Exemples d'application.

A. Incendie dans un puits de retour d'air (fig. 1 A).

Si dans la mine représentée à la figure 1 A, on suppose

$$\begin{aligned} r_b = r_{i1} = r_{i2} = r_{e1} = r_{e2} &= 0,10 \\ r_T = r_t = r_n = r_K = r_r &= 0 \\ h_b = h_g = 0, h_e = h_{e1} + h_{e2} &= 100 ; \end{aligned}$$

on établit la figure 14 et son tableau I.

Supposons, par exemple, que $\Delta Q = 20$ m³. Pour rester dans la plage exempte de recul de Q_i et d'inversion de Q_b , il faut prendre comme limites supérieure et inférieure sur la figure 14 les points C₄O et C₂O. Ces points donnent (tableau I) :

$$\begin{aligned} \text{point } C_2O : Q_i = 0, Q_b = 9 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{point } C_4O : Q_i = 10 \text{ m}^3/\text{s}, Q_b = 0 \end{aligned}$$

valeurs qui permettent de calculer que $A = 0,319$ et $B = 1,000$.

La formule (106) donne alors :

$$79 < \Delta z < 250,$$

ce qui veut dire que, dans les conditions d'incendie figurées, avec $\Delta Q = 20$, $\gamma_b = 1,2$ et $\gamma_i = 0,8$, il faut que Δz soit supérieur à 79 m pour éviter un recul de Q_i et que Δz soit inférieur à 250 m pour éviter une inversion de Q_b .

Quelles sont les valeurs-limites de h_{i1} correspondant à ces limites de Δz ?

Elles sont données par la formule (21), où l'on introduit $A = 0,319$, $B = 1,000$, $h_b = h_g = 0$, $h_e = 100$:

$$31,9 < h_{i1} < 100$$

la valeur 31,9 étant celle du point C₂O (ligne Kig) et la valeur 100 étant celle du point C₄O (ligne Kib). Ces valeurs sont inscrites dans le tableau I.

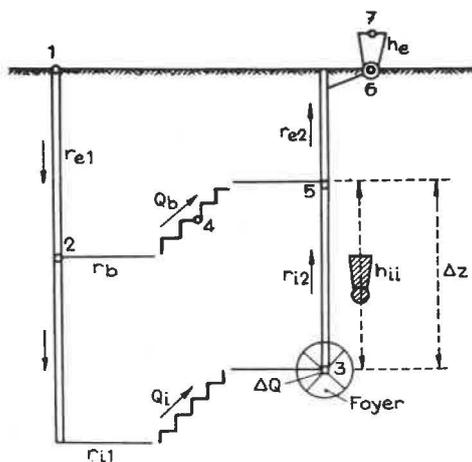


Fig. 1 A. — Incendie dans le puits de retour d'air d'une mine à aérage ascendant.

B. Incendie dans un quartier sous niveau (fig. 1 B).

Mêmes hypothèses que dans le cas de la figure

1 A, donc même figure 14 et même tableau I.

Quelles sont les conditions pour que $\Delta Q = 0$?

La formule (107) donne :

$$-83 < \Delta z < 250$$

ce qui veut dire que, dans les conditions figurées, avec $\Delta Q = 0$, $\gamma_b = 1,2$ et $\gamma_i = 0,8$, il faut que Δz soit supérieur à -83 m, c'est-à-dire inférieur à 83 m sous le niveau, pour éviter un recul de Q_i et que Δz soit inférieur à 250 m pour éviter une inversion de Q_b .

Ici encore, la formule (21) donne les valeurs-limites de h_{ii} : $-33,3 < h_{ii} < 100$ que l'on peut lire dans le tableau I, aux points L_{10} et M_{10} (*).

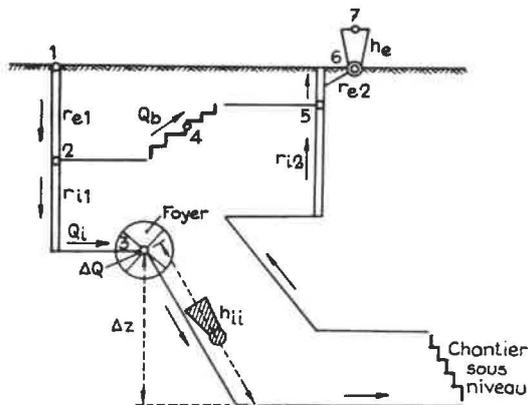


Fig. 1 B. — Incendie dans un quartier sous niveau d'une mine à aérage ascendant.

(*) Remarquons que ce cas est assimilable à celui de la fig. 6 (aérage descendant) et donc à la fig. 21 assortie du tableau 8 (mêmes dépressions et résistances). On peut par conséquent lui appliquer la formule (109), qui donne :

$$83 > \Delta z > -250$$

et ensuite la formule (62) pour connaître les valeurs-limites de h_{ii} :

$$33,3 > h_{ii} > -100$$

ces deux limites étant les ordonnées des points L_{s7} et M_{s7} . Les conclusions sont identiques (R.S.).

Ces exemples illustrent les formules (106) à (109). Dans les formules (106) et (107), les valeurs positives de Δz se rapportent à des travaux montants et les valeurs négatives à des travaux descendants. Dans les formules (108) et (109), c'est le contraire.

VII.5. Les formules (106) à (109) permettent de faire l'examen quantitatif de l'influence des ventilateurs auxiliaires h_b et h_g sur l'aérage du compartiment sous le niveau. Les ventilateurs auxiliaires h_b et h_g sont employés dans les mines métalliques espagnoles. Dans les mines polonaises, on a employé le ventilateur auxiliaire pour égaliser les pressions dans le champ d'un incendie et on a établi la théorie de son application. Les critères mathématiques introduits dans cette thèse permettent d'étudier l'influence des ventilateurs auxiliaires h_b et h_g sur le sens des courants d'air dans des conditions quelconques.

VIII. VERIFICATION DE LA VALIDITE DES CRITERES

VIII.1. Les théories de Cieczott, de Kogut, de Budryk et de Barczyk sont admises et vérifiées dans la pratique des mines. Elles sont liées entre elles et avec la théorie de l'auteur. Cette constatation est déjà un argument important en faveur de la validité des critères mathématiques de l'auteur.

VIII.2. Pour la vérification quantitative des critères mathématiques, l'auteur a exécuté 133 solutions du système des figures 1 et 2 et 46 solutions du système des figures 6 et 7. Les hypothèses et les résultats de calculs ont été réunis dans les tableaux 1 à 9 et sur cette base ont été tracés les critères graphiques (fig. 14 à 22). Ensuite sur la base de ces tableaux et critères graphiques, on a effectué les calculs de vérification qui ont démontré la validité des critères mathématiques donnés par les formules (19) à (28), (32) à (39), (60) à (69) et (75) à (82).

Remarque : Les critères graphiques des figures 14 à 22 impliquent que les caractéristiques des ventilateurs h_e , h_b et h_g sont horizontales. L'auteur a établi, en 1957 et 1959, que les critères graphiques, basés sur des caractéristiques non horizontales, sont peu différents, que l'aérage soit soufflant ou aspirant. Pour réaliser la conformité entre critères graphiques et critères mathématiques, il suffit d'assimiler à des dépressions de ventilateurs les dépressions calorifiques locales de l'artère latérale et du courant principal extérieur avant foyer.

IX. — CONDITIONS D'APPLICATION DES CRITERES

IX.1. Les critères de Barczyk, les formules (45) à (47), de même que les formules analogues données par les critères (85) à (87), peuvent être appliqués

en pratique, qualitativement et quantitativement, dans un incendie avec courant extérieur aspirant ou soufflant dans une mine ayant un seul ventilateur principal. Le système d'aéragé d'une pareille mine peut être réduit à un système simplement maillé.

IX.2. Les critères mathématiques de Kogut, Budryk et de l'auteur ont été établis pour un système normal d'aéragé. On réduit à ce type les systèmes composés normalement avec un seul ventilateur. Le premier essai de réduction approximative mathématique d'un système diagonal complexe d'aéragé a permis à l'auteur d'effectuer une analyse quantitative du problème de la dépression du ventilateur principal pendant l'incendie dans la mine A (*). Mais l'existence fréquente de systèmes diagonaux d'aéragé dans les mines justifie des recherches approfondies en vue de la transformation mathématique du système d'aéragé d'une mine quelconque. Il est à noter que le réseau d'aéragé d'une mine à production concentrée est moins compliqué que le réseau d'une mine à production dispersée.

IX.3. Dans le cas d'une mine aérée à l'aide d'un ventilateur soufflant, on obtient des équations de pertes de charge identiques à celles d'une mine aérée par ventilateur aspirant (fig. 1), (formules (1) et (2)). Par suite, si l'on respecte les données du chapitre I, tous les critères valables pour les ventilateurs aspirants sont également valables dans le cas des ventilateurs soufflants (chapitre VIII.2).

IX.4. Les critères graphiques et mathématiques rigoureux pendant l'incendie conviennent en principe pour analyser qualitativement l'efficacité de l'action de l'équipe de sauvetage; pour l'analyse quantitative, les critères approximatifs graphiques ou mathématiques (chapitre III.4) de l'auteur conviennent, à condition de disposer au moins d'un système équivalent, obtenu par transformation du système de la mine dans laquelle on combat l'incendie. Pour obtenir rapidement un système équivalent, il est indispensable d'élaborer une méthode simple de transformation d'un système quelconque (chapitre VI.2).

IX.5. Dans une note publiée en 1957, l'auteur a introduit la notion de caractéristique de l'activité de l'incendie: diagramme, en fonction du temps, de Δq et de h_{i1} et de leur influence sur le sens des courants principal intérieur Q_i et latéral Q_b .

A un point quelconqué (Δq , h_{i1}) de cette caractéristique correspondent des valeurs déterminées de Q_i et de Q_b qui caractérisent un certain état sta-

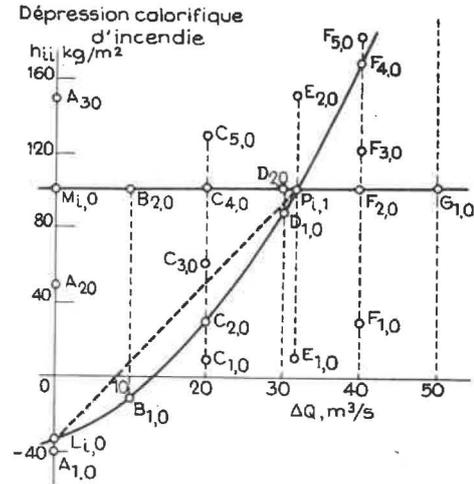


Fig. 14. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 1).

TABLEAU I.
Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 100$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{i1} = r_{i2} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_r = r_t = r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = h_g = 0, h_e = 100$			
ΔQ m³/s	h_{i1} kg/m²	Résultats		Point sur la fig. 14	
		h_{i1g} kg/m²	h_{i1b} kg/m²		Q_i Q_b m³/s
0	-40			-2,3 19,8 A _{1,0}	
0	-33,3			0 18,2 L _{1,0}	
0	50			16,3 5,7 A _{2,0}	
0		100		22,4 0 M _{1,0}	
0	150			27,2 -4,6 A _{3,0}	
10	-10,4			0 14,3 B _{1,0}	
10		100		16,8 0 B _{2,0}	
20	10			-4,0 12,0 C _{1,0}	
20		31,9		0 9,0 C _{2,0}	
20	60			4,6 5,0 C _{3,0}	
20		100		10,0 0 C _{4,0}	
20	130			13,5 -3,2 C _{5,0}	
30		89,8		0 1,5 D _{1,0}	
30		100		1,6 0 D _{2,0}	
31,6	10			-12,4 10,7 E _{1,0}	
31,6		100	100	0 0 P _{1,1}	
31,6	150			6,2 -5,7 E _{2,0}	
40	30			-15,5 7,4 F _{1,0}	
40		100		-7,5 0 F _{2,0}	
40	120			-5,1 -2,4 F _{3,0}	
40		164,8		0 -6,9 F _{4,0}	
40	180			1,6 -8,3 F _{5,0}	
50		100		-15,0 0 G _{1,0}	
50		267,4		0 -13,2 G _{2,0}	

(*) BYSTRON: La dépression du ventilateur lors d'un incendie dans un courant d'air ascendant, Annales des Mines de Belgique, 1963, n° 5.

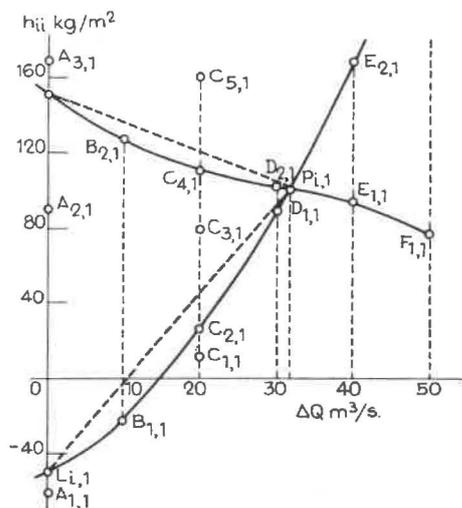


Fig. 15. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 1).

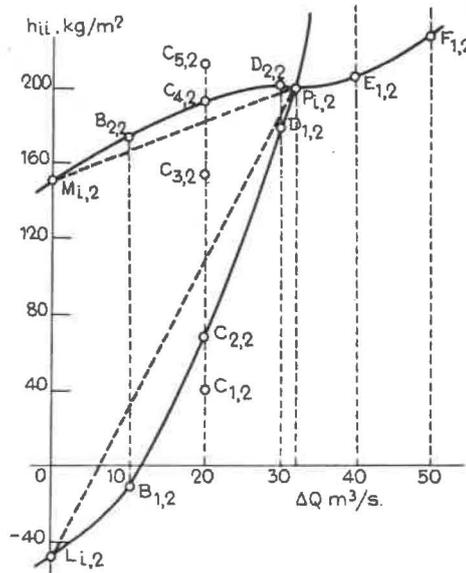


Fig. 16. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 1).

TABLEAU II.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 100$, $r_T = r_t = 0,10$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_r = r_t = 0,10, r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = 0, h_g = 0, h_e = 100$				
ΔQ m^3/s	h_{i1}	Résultats				Point sur la fig. 15
		h_{ig} kg/m^2	h_{ib}	Q_i	Q_b	
0	-60			-2,6	17,1	A _{1,1}
0		-50		0	15,8	L _{1,1}
0	90			17,7	4,3	A _{2,1}
0		150		22,4	0	M _{1,1}
0	170			23,8	-1,4	A _{3,1}
10		-22,2		0	12,7	B _{1,1}
10			128,2	16,8	0	B _{2,1}
20	10			-2,6	9,9	C _{1,1}
20		26,6		0	8,2	C _{2,1}
20	80			6,9	2,9	C _{3,1}
20		110		10,0	0	C _{4,1}
20	160			14,2	-3,8	C _{5,1}
30		89,6		0	1,5	D _{1,1}
30			100,3	1,6	0	D _{2,1}
31,6		100	100	0	0	P _{1,1}
40			94,4	-7,5	0	E _{1,1}
40		168,4		0	-6,5	E _{2,1}
50			77,5	-15,0	0	F _{1,1}
50		279,3		0	-12,1	F _{2,1}

TABLEAU III.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 100$, $r_n = r_t = 0,10$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_n = r_t = 0,10, r_r = r_k = r_r = 0$ $h_b = 0, h_g = 0, h_e = 100$				
ΔQ m^3/s	h_{i1}	Résultats				Point sur la fig. 16
		h_{ig} kg/m^2	h_{ib}	Q_i	Q_b	
0		50		0	15,8	L _{1,2}
0			150	22,4	0	M _{1,2}
10		-12,3		0	12,7	B _{1,2}
10			171,8	16,8	0	B _{2,2}
20	40			-2,6	9,9	C _{1,2}
20		66,6		0	8,2	C _{2,2}
20	150			7,0	2,9	C _{3,2}
20		190		10,0	0	C _{4,2}
20	210			11,4	-1,4	C _{5,2}
30		179,6		0	1,5	D _{1,2}
30			200	1,6	0	D _{2,2}
31,6		200	200	0	0	P _{1,2}
40			205,6	-7,5	0	E _{1,2}
40		328,4		0	-6,5	E _{2,2}
50			222,5	-15,0	0	F _{1,2}
50		529,3		0	-12,1	F _{2,2}

tionnaire du réseau pendant un laps de temps suffisamment court des opérations d'extinction.

Pour des valeurs fixes de ces paramètres ($\Delta q =$ constante, $h_{11} =$ constante), les débits Q_i et Q_b peuvent se modifier dans le temps en fonction des différentes valeurs des résistances des barrages (stabilisation ou isolement) ou des dépressions des sources h_e, h_b, h_g (tableaux I à IX). En d'autres termes, à chaque point ($\Delta q, h_{11}$) de la caractéristique d'activité de l'incendie peuvent correspondre, au cours des différentes périodes du temps, un grand nombre d'états stationnaires du réseau différents.

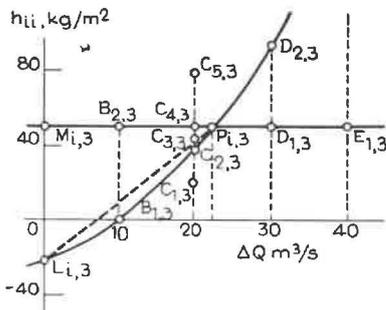


Fig. 17. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 1).

TABLEAU IV.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 100, r_k = r_r = 0,10$.

Hypothèses de calcul		Résultats				Point sur la fig. 17
$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_k = r_r = 0,10, r_T = r_t = r_n = r_c = r_a = 0$ $h_b = 0, h_g = 0, h_e = 100$		h_{1g}	h_{1b}	Q_i	Q_b	
ΔQ	h_{11}	kg/m ²		m ³ /s		
m ³ /s						
0	-20			0	14,1	L _{1,3}
0		50		15,8	0	M _{1,3}
10	1,4			0	9,3	B _{1,3}
10		50		10,0	0	B _{2,3}
20	20			-4,1	6,0	C _{1,3}
20		39,5		0	2,2	C _{2,3}
20	45			1,2	1,1	C _{3,3}
20		50		2,2	0	C _{4,3}
20	80			7,1	-4,6	C _{5,3}
22,4		50	50	0	0	P _{1,3}
30		50		-6,7	0	D _{1,3}
30	94,0			0	-6,3	D _{2,3}
40		50		-13,8	0	E _{1,3}
40	176,1			0	-12,7	E _{2,3}

En vertu des principes énoncés au chapitre I et si l'on analyse les tableaux I à IX, on peut dire qu'un courant ayant un volume caractéristique de 1.000 m³ par exemple, prend quelques minutes pour passer d'un état stationnaire à un autre. Dans un processus

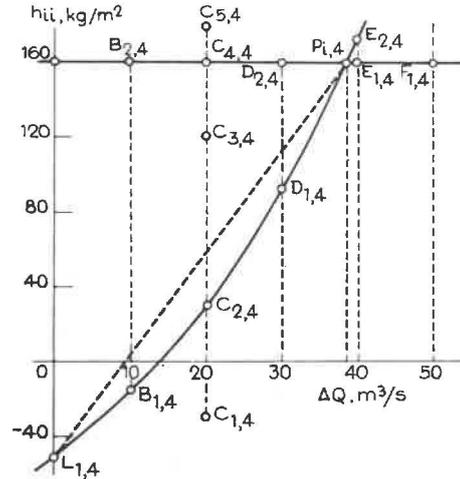


Fig. 18. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 1).

TABLEAU V.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 100, h_b = 50, h_g = 40$.

Hypothèses de calcul		Résultats				Point sur la fig. 18
$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_T = r_t = r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = 50, h_g = 40, h_e = 100$		h_{1g}	h_{1b}	Q_i	Q_b	
ΔQ	h_{11}	kg/m ²		m ³ /s		
m ³ /s						
0	-40			0	22,4	L _{1,4}
0		160		27,4	0	M _{1,4}
10	-14,2			0	18,5	B _{1,4}
10		160		21,9	0	B _{2,4}
20	-30			-9,5	20,5	C _{1,4}
20		31,5		0	13,6	C _{2,4}
20	120			11,4	4,0	C _{3,4}
20		160		15,5	0	C _{4,4}
20	180			17,4	-1,8	C _{5,4}
30	94,7			0	7,3	D _{1,4}
30		160		7,9	0	D _{2,4}
38,7		160	160	0	0	P _{1,4}
40		160		-1,2	0	E _{1,4}
40	170,1			0	-1,2	E _{2,4}
50		160		-10,0	0	F _{1,4}
50	268,5			0	-9,2	F _{2,4}

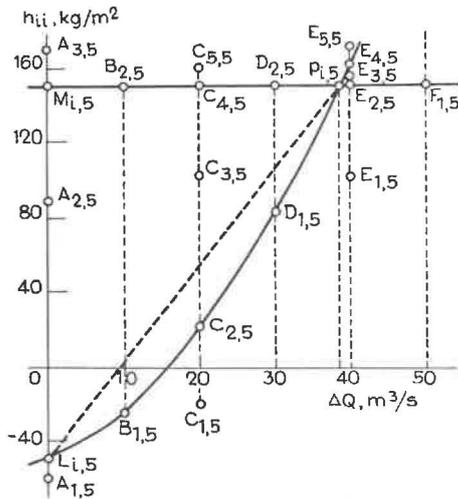


Fig. 19. — Critères graphiques du sens des courants Q_1 et Q_b (fig. 1).

TABLEAU VI.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 150$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_r = r_t = r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = 0, h_g = 0, h_e = 150$			
ΔQ m ³ /s	h_{11} kg/m ²	Résultats		Point sur la fig. 19	
		h_{1g} h_{1b}	Q_1 Q_b		
0	— 60		— 2,9 24,2	A _{1,5}	
0	— 50		0 22,4	L _{1,5}	
0	90		21,5 5,6	A _{2,5}	
0	150		27,4 0	M _{1,5}	
0	170		29,1 — 1,7	A _{2,5}	
10	— 24,2		0 18,5	B _{1,5}	
10	150		21,9 0	B _{2,5}	
20	— 20		— 0,3 13,8	C _{1,5}	
20	21,5		0 13,6	C _{2,5}	
20	100		10,5 5,0	C _{3,5}	
20	150		15,5 0	C _{4,5}	
20	160		16,5 — 1,0	C _{5,5}	
30	84,7		0 7,3	D _{1,5}	
30	150		7,9 0	D _{2,5}	
38,7	150	150	0 0	P _{1,5}	
40	100		— 7,1 5,5	E _{1,5}	
40	150		— 1,2 0	E _{2,5}	
40	155		— 0,5 — 0,6	E _{2,5}	
40	160,1		0 — 1,2	E _{4,5}	
40	170		1,1 — 2,2	E _{5,5}	
50	150		— 10,0 0	F _{1,5}	
50	258,5		0 — 9,2	F _{2,5}	

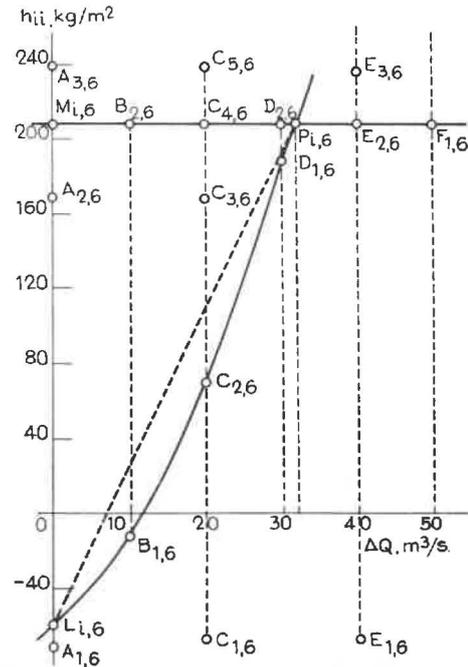


Fig. 20. — Critères graphiques du sens des courants Q_1 et Q_b (fig. 1).

TABLEAU VII.

Critères mathématiques du système de la figure 1 avec $h_e = 150, h_b = 50, h_g = 40,$
 $r_r = r_t = r_n = r_k = r_r = 0,10.$

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_r = r_t = r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = 50, h_g = 40, h_e = 150$			
ΔQ m ³ /s	h_{11} kg/m ²	Résultats		Point sur la fig. 20	
		h_{1g} h_{1b}	Q_1 Q_b		
0	— 70		— 2,3 19,8	A _{1,6}	
0	— 56,7		0 18,2	L _{1,6}	
0	170		20,1 3,2	A _{2,6}	
0	210		22,4 0	M _{1,6}	
0	240		24,0 — 1,6	A _{3,6}	
10	— 10,9		0 14,3	B _{1,6}	
10	210		16,8 0	B _{2,6}	
20	— 70		— 12,1 17,7	C _{1,6}	
20	73,8		0 9,0	C _{2,6}	
20	170		7,5 3,5	C _{3,6}	
20	210		10,0 0	C _{4,6}	
20	240		11,7 — 1,7	C _{5,6}	
30	189,6		0 1,5	D _{1,6}	
30	210		1,6 0	D _{2,6}	
31,6	210	210	0 0	P _{1,6}	
40	— 70		— 22,8 13,2	E _{1,6}	
40	210		— 7,5 0	E _{2,6}	
40	240		— 5,7 — 1,8	E _{2,6}	
40	339,5		0 — 6,9	E _{4,6}	
40	350		0,6 — 7,4	E _{5,6}	
50	210		— 15,0 0	F _{1,6}	
50	544,8		0 — 13,2	F _{2,6}	

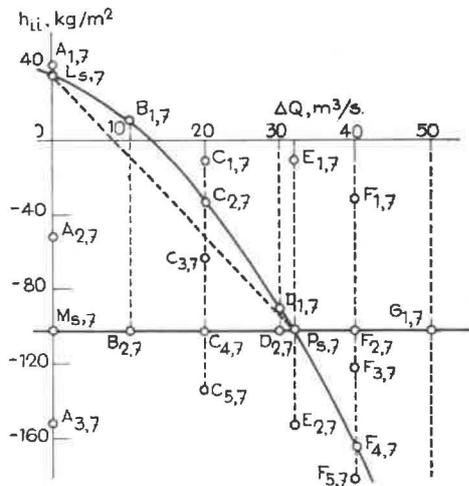


Fig. 21. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 6).

TABLEAU VIII.

Critères mathématiques du système de la figure 6 avec $h_e = 100$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_T = r_t = r_n = r_k = r_r = 0$ $h_b = 0, h_g = 0, h_e = 100$				
ΔQ m³/s	h_{li} kg/m²	Résultats		Point sur la fig. 21		
		h_{lg} kg/m²	h_{lb} kg/m²		Q_i m³/s	Q_b m³/s
0	40			- 2,3	19,8	A _{1,7}
0		33,3		0	18,2	L _{s,7}
0	- 50			16,3	5,7	A _{2,7}
0		-100		22,4	0	M _{s,7}
0	-150			27,2	- 4,6	A _{2,7}
10		10,4		0	14,3	B _{1,7}
10		-100		16,8	0	B _{2,7}
20	- 10			- 4,0	12,0	C _{1,7}
20		-31,9		0	9,0	C _{2,7}
20	- 60			4,6	5,0	C _{3,7}
20		-100		10,0	0	C _{4,7}
20	-130			13,5	- 3,2	C _{5,7}
30		-89,8		0	1,5	D _{1,7}
30		-100		1,6	0	D _{2,7}
31,6	- 10			-12,4	10,7	E _{1,7}
31,6		-100	-100	0	0	P _{s,7}
31,6	-150			6,2	- 5,7	E _{2,7}
40	- 30			-15,5	7,4	F _{1,7}
40		-100		- 7,5	0	F _{2,7}
40	-120			- 5,1	- 2,4	F _{3,7}
40		-164,8		0	- 6,9	F _{4,7}
40	-180			1,6	- 8,3	F _{5,7}
50		-100		-15,0	0	G _{1,7}
50		-267,4		0	-13,2	G _{2,7}

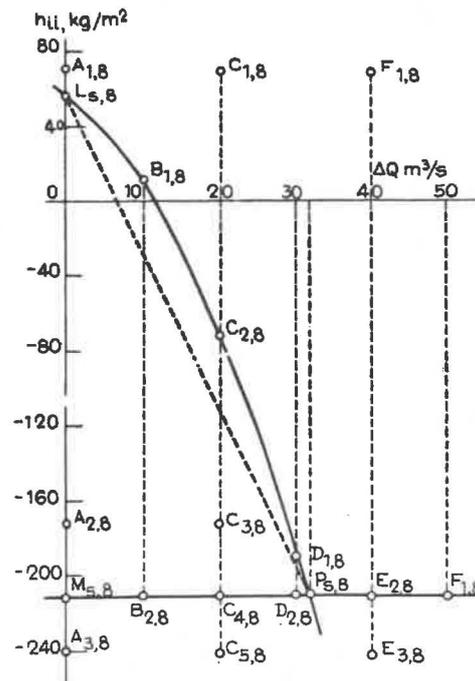


Fig. 22. — Critères graphiques du sens des courants Q_i et Q_b (fig. 6).

TABLEAU IX.

Critères mathématiques du système de la figure 6 avec $h_e = 150, h_b = 50, h_g = 40$,
 $r_T = r_t = r_n = r_k = r_r = 0,10$.

Hypothèses de calcul		$r_b = r_{11} = r_{12} = r_{e1} = r_{e2} = 0,10$ $r_T = r_t = r_n = r_k = r_r = 0,10$ $h_b = 50, h_g = 40, h_e = 150$				
ΔQ m³/s	h_{li} kg/m²	Résultats		Point sur la fig. 22		
		h_{lg} kg/m²	h_{lb} kg/m²		Q_i m³/s	Q_b m³/s
0	70			- 2,3	19,8	A _{1,8}
0		56,7		0	18,2	L _{s,8}
0	-170			20,1	3,2	A _{2,8}
0		-210		22,4	0	M _{s,8}
0	-240			24,0	- 1,6	A _{2,8}
10		10,9		0	14,3	B _{1,8}
10		-210		16,8	0	B _{2,8}
20	70			-12,1	17,7	C _{1,8}
20		- 73,8		0	9,0	C _{2,8}
20	-170			7,5	3,5	C _{3,8}
20		-210		10,0	0	C _{4,8}
20	-240			11,7	- 1,7	C _{5,8}
30		-189,8		0	1,5	D _{1,8}
30		-210		1,6	0	D _{2,8}
31,6		-210	-210	0	0	P _{s,8}
40	70			-22,8	13,2	E _{1,8}
40		-210		- 7,5	0	E _{2,8}
40	-240			- 5,7	- 1,8	E _{2,8}
40		-339,5		0	- 6,9	E _{4,8}
40	-350			0,6	- 7,4	E _{5,8}
50		-210		-15,0	0	F _{1,8}
50		-544,8		0	-13,2	F _{2,8}

normal, les variations de Δq , de h_{11} et des résistances des barrages se font sans interruption et assez lentement.

Cependant le changement de résistance d'une voie consécutif à un choc thermique subit (éboulement) ou le changement de résistance d'un barrage consécutif à la fermeture brusque de la porte (p. ex. 0,1 seconde) peut survenir subitement.

Il faut donc distinguer 2 sortes de courants non établis : ceux qui sont provoqués par une modification *lente* des paramètres Δq , h ou r et ceux qui sont provoqués par une modification *brusque* de ces paramètres. Les premiers peuvent être approximativement considérés comme des changements de l'état stationnaire de réseau qui se succèdent sans interruption et les critères exposés dans la présente étude leur sont applicables. Les seconds ne peuvent pas être considérés comme des changements sans interruption et les critères exposés ci-dessus ne peuvent être appliqués. Dans la mine K, l'auteur a provoqué des dizaines de fois le changement apériodique des courants par la fermeture lente d'un barrage de ventilation, de même qu'il a provoqué la fixation oscillatoire des courants par une fermeture rapide (brusque) de la porte d'un barrage.

Dans la pratique se manifestent assez rarement des courants non établis que l'on ne puisse considérer comme des changements de l'état stationnaire du réseau se succédant sans interruption. Néanmoins, il est toujours indispensable, dans la lutte contre l'incendie, de fermer *lentement* les portes des barrages de ventilation (de stabilisation, de sécurité), et, dans les mines exposées aux éboulements, d'éviter d'effectuer des actions d'extinction directe de longue durée.

Résumé pratique (R.S.).

A. Aérage ascendant.

En cas de feu ou incendie intéressant un réseau représenté par la figure 1 ou ramené au cas de la figure 1 :

1) Former le triangle M_{11} P_{11} L_{11} de la figure 3 au moyen des données suivantes :

M_{11} : abscisse : 0
ordonnée : formule (17)

P_{11} : abscisse : formule (14)
ordonnée : formule (15)

L_{11} : abscisse : 0
ordonnée : formule (16).

2) Agir sur les ventilateurs et les portes de façon à réaliser une aire de triangle aussi étendue que possible, en vue d'éviter ou d'entraver les phénomènes de recul ou d'inversion.

3) Si l'on connaît Q_i et Q_b ou que l'on dispose des courbes de la fig. 3 et du tableau correspondant (tel l'ensemble fig. 14 - tableau I), calculer Δz (formules 106 ou 107) pour lequel Q_i avant foyer ne reculera pas et pour lequel Q_b ne s'inversera pas.

4) Appliquer les formules (21) ou (26) si l'on veut connaître les limites de la dépression du foyer.

B. Aérage descendant.

En cas de feu ou incendie intéressant un réseau représenté par la figure 6 ou ramené au cas de la figure 6 :

1) Former le triangle M_{s1} P_{s1} L_{s1} de la figure 8 au moyen des données suivantes :

M_{s1} : abscisse : 0
ordonnée : — ordonnée M_{11}

P_{s1} : abscisse : abscisse P_{11}
ordonnée : — ordonnée P_{11}

L_{s1} : abscisse : 0
ordonnée : — ordonnée L_{11} .

2) Comme ci-dessus.

3) Si l'on dispose des courbes de la figure 8 et du tableau correspondant, calculer Δz au moyen des formules 108 ou 109.

4) Appliquer les formules (62) ou (67) si l'on veut connaître les limites de la dépression du foyer.

C. Circuit unique.

En cas de feu ou incendie intéressant un circuit unique montant (fig. 4) ou descendant (fig. 9), recourir aux formules (42) ou (85).

Corrigendum.

Article de M. BYSTRON paru dans les Annales des Mines de Belgique, mai 1963 « La dépression du ventilateur principal lors d'un incendie dans un courant d'air ascendant ».

A la page 607, la formule (17) doit se lire comme suit :

$$G = 0,0144 \frac{Q_e}{c} (2,220 \gamma \text{ CO}_2 \cdot \text{CO}_e^2 + 1,050 \gamma \text{ CO} \cdot \text{CO}^e)$$