

**Zeitschrift:** Le Tracteur et la machine agricole : revue suisse de technique agricole  
**Herausgeber:** Association suisse pour l'équipement technique de l'agriculture  
**Band:** 31 (1969)  
**Heft:** 4

**Rubrik:** Le courrier de l'IMA

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



---

Supplément du no 4/69 de «LE TRACTEUR et la machine agricole»

## **Notions fondamentales concernant l'écoulement de l'air et l'emploi de ce fluide pour la ventilation et le transport de certains produits**

par F. Zihlmann, ingénieur agronome

(1ère partie)

Les ventilateurs sont de plus en plus utilisés dans l'agriculture. On les emploie principalement pour la ventilation du foin et du grain, le transport à l'horizontale et à la verticale des fourrages verts, préfanés, mi-secs et secs ainsi que du grain, de même que pour assurer la climatisation des étables. Contrairement à ce qui se passe avec les machines en général, le processus d'écoulement de l'air ne peut être observé directement et il faut recourir à des instruments de mesure spéciaux pour connaître le comportement de ce fluide lorsqu'il est mis en mouvement. Les résultats ainsi obtenus ne peuvent toutefois se montrer de quelque utilité que pour ceux qui savent quel sens leur donner. Ce serait trop exiger de l'agriculteur que de lui demander de comprendre les lois fondamentales qui régissent la mécanique des fluides et les diverses conséquences qu'elles entraînent. C'est la raison pour laquelle nous nous bornerons ici à expliquer quelques notions de base représentant une sorte d'abc technique et qui devrait permettre à chacun de saisir tout au moins le sens des termes dont on se sert lors de mesurages relatifs au comportement de courants d'air forcés.

## 1. Mesurages concernant la pression des fluides

Le processus d'écoulement des fluides, qu'il s'agisse d'air ou d'eau, est presque toujours mesuré à l'aide d'indicateurs de pression. Ceux qu'on emploie le plus couramment sont le manomètre et le baromètre.

### 1.1 Le baromètre

La majorité des agriculteurs sont familiarisés avec le baromètre. En été, ils frappent souvent plusieurs fois par jour contre cet instrument afin de savoir s'il a tendance à descendre ou à monter. Dans ce dernier cas, on peut s'attendre à du beau temps. Quoi qu'il en soit, cet instrument ne mesure que la pression de l'air. Comme chacun le sait, l'état du baromètre ne dépend pas seulement des variations climatiques locales temporaires, mais aussi de l'altitude au-dessus du niveau de la mer de l'endroit où se trouve l'instrument. Au niveau de la mer, l'état moyen du baromètre représente 760 mm Hg (hauteur de la colonne de mercure). A l'altitude de 500 m au-dessus de ce niveau, la colonne de mercure baisse jusqu'à 716 mm, et à 1000 m d'altitude jusqu'à 674 mm. Une pression de l'air correspondant à 760 mm Hg (ou à 760 Torr) a été désignée sous le nom d'atmosphère (atm). Cette unité de pression est numériquement égale au poids de 1033 grammes d'une colonne cylindrique de mercure ayant pour hauteur 76 cm et pour base 1 cm<sup>2</sup>. Dans la pratique, on ne se sert toutefois pas de l'atmosphère dite physique (atm) pour effectuer les mesurages, mais de l'atmosphère dite technique (at), laquelle représente la pression de 1000 grammes exercée sur une surface d'une centimètre carré, soit 1 kg/cm<sup>2</sup> ou mieux 1 kp/cm<sup>2</sup>. \*)

#### Unités de pression et leurs équivalents

1 atm = 760 mm Hg = 760 mm Torr = 1,033 kp/cm<sup>2</sup> = 10 332 mm CE  
(colonne d'eau)

1 mm Hg = 1 Torr = 0,00136 kp/cm<sup>2</sup> = 13,6 mm CE

1 at = 1 kp/cm<sup>2</sup> = 735,6 mm Hg = 735,6 Torr = 10 000 mm CE

1 mm CE = 1 kp/m<sup>2</sup> = 0,0001 kp/cm<sup>2</sup> = 0,0001 at

\*) La notion poids revêt une double signification dans la pratique. On l'emploie aussi bien pour désigner une quantité que pour représenter une force. Quand une ménagère achète 1 kg de pain ou de viande, elle veut obtenir une quantité déterminée. Lorsqu'un agriculteur charge du foin ou du gravier sur un char, il désire savoir par exemple si la capacité de charge des pneus se montre suffisante. A ce moment-là, il ne s'intéresse pas à la quantité de foin ou de gravier chargée, mais seulement à la pression — autrement dit à la force — qui agit sur les pneus. Si l'on veut appeler poids une quantité, on utilise l'unité kg (kilogramme). Si l'on veut appeler poids une force, on emploie l'unité kp (kilopond). D'après le système technique d'unités et le système international d'unités (système Si) qui sont actuellement en vigueur, ces deux symboles sont définis comme suit:

$$1 \text{ kp} = 9,81 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 9,81 \text{ N (Newton)}$$

$$1 \text{ kg} = 0,102 \frac{\text{kp s}^2}{\text{m}}$$

## 1.2 Les différentes pressions que l'on distingue lors des mesurages relatifs à l'écoulement d'air forcé

Les pressions dont il s'agit sont mesurées au moyen du manomètre et en général en mm CE (à la colonne d'eau), ce qui correspond à des  $\text{kp/m}^2$ . Le manomètre utilisé est souvent constitué par un tube de verre transparent en forme d'U qui a été préalablement rempli d'eau jusqu'à mi-hauteur. Ce que l'on mesure, c'est plus exactement dit la différence de pression existant par rapport à la pression atmosphérique. Elle correspond à la différence en mm existant entre les deux niveaux de l'eau dans le tube en U. Etant donné qu'on mesure toujours des différences de pression, il faut écrire  $\Delta P$  (delta P).

### 1.2.1 La pression totale $P_t$

Si l'on tient un tube de mesure de ce genre dans le courant d'air et de telle façon que son extrémité ouverte soit dirigée contre le courant, le manomètre fixé à l'autre extrémité du tube indique la pression totale  $\Delta P_t$  (voir la figure 1).

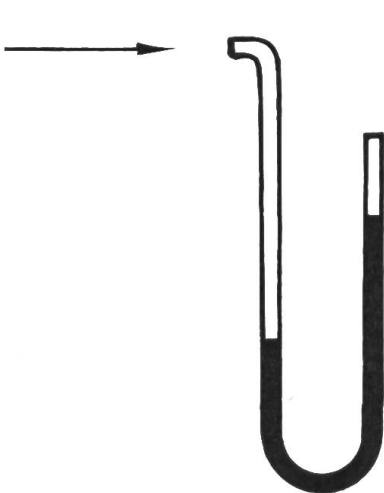


Fig. 1:  
Aspect du tube de Pitot en forme d'U — Le courant d'air va donner en plein contre l'extrémité ouverte du tube et engendre ainsi une surpression à l'intérieur de ce dernier.

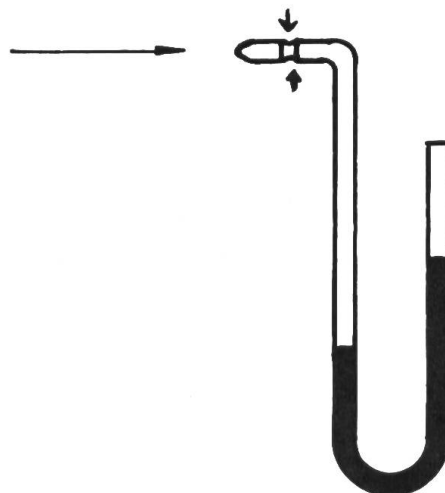


Fig. 2:  
Aspect de la sonde dite de pression — Le flux d'air passe le long des côtés de la tête de la sonde en exerçant simultanément une pression perpendiculairement à son sens d'écoulement, laquelle pression agit sur le liquide contenu dans le tube à travers les fentes que comporte la tête de la sonde.

### 1.2.2 La pression statique $P_{st}$

Si l'on tient une sonde dite de pression dans le courant d'air de telle manière que sa tête fermée soit dirigée contre le courant (cette tête comporte de petits trous ou de petites fentes), ce qu'on mesure dans ce cas est

la pression agissant perpendiculairement au sens de déplacement du courant d'air (voir la figure 2). La même pression peut être également constatée si, après avoir pratiqué une ouverture sur le côté du canal de ventilation, on mesure la pression latérale exercée contre la conduite. Il s'agit de la pression statique. Comme seules des différences de pression sont mesurées dans ce cas, la désignation convenant ici est  $\Delta P_{st}$ .

### 1.2.3 La pression dynamique $P_d$

La pression dynamique équivaut à la différence existant entre la pression totale et la pression statique, autrement dit  $\Delta P_d = \Delta P_t - \Delta P_{st}$  (voir la fig. 3). Etant donné que les caractéristiques du processus d'écoulement de l'air sont généralement en relation directe avec la pression dynamique, il convient d'examiner cette dernière de plus près. La pression dynamique est égale à la pression exercée par un courant d'air sur une plaque disposée perpendiculairement au sens de déplacement de ce courant. Chacun a certainement déjà eu l'occasion d'observer l'effet de la pression dynamique lors d'une bourrasque. La pression dynamique augmente proportionnellement à la moitié de la masse et au carré de la vitesse. A cet égard, l'équation fondamentale du système international d'unités (système Si) est  $P_d = \frac{\rho}{2} v^2$  ( $\rho = r\hat{o}$ ). Exprimée en valeurs du système technique d'unités, la même équation de base s'énonce:

$$P_d = \frac{\gamma v^2}{2 g} \quad \text{Equation 1}$$

$P_d$  = Pression dynamique en mm CE ou  $\frac{kp}{m^2}$

$\gamma$  = Poids spécifique en  $\frac{kp}{m^3}$  ( $\gamma$  = gamma)

$g$  = Accélération de la pesanteur =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$v$  = Vitesse en m/s

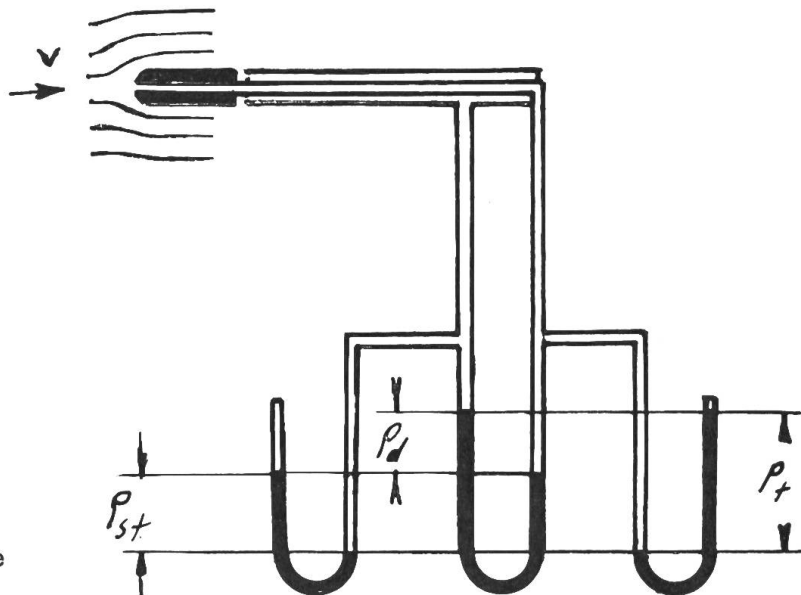


Fig. 3:  
Aspect de la sonde de Prandtl — Elle représente une combinaison du tube de Pitot et de la sonde de pression en un seul instrument.

$P_t$  = Pression totale  
 $P_{st}$  = Pression statique  
 $P_d$  = Pression dynamique

Le poids spécifique  $\gamma$  dépend de l'état du baromètre, de la température et du taux d'humidité de l'air. Afin de disposer de chiffres comparables, les résultats obtenus lors de mesurages avec le poids spécifique effectif sont généralement rapportés à la valeur correspondante de  $\gamma$ , soit  $1,2 \frac{\text{kp}}{\text{m}^3}$ . Au tableau 1 sont mentionnés une série de chiffres appariés concernant la pression dynamique et la vitesse de l'air calculées. Ces chiffres sont représentés en tant que courbe à la fig. 4.

Fig. 4:  
Représentation graphique  
de la pression dynamique  
( $P_d$ ) en fonction de la  
vitesse du courant d'air  
forcé.

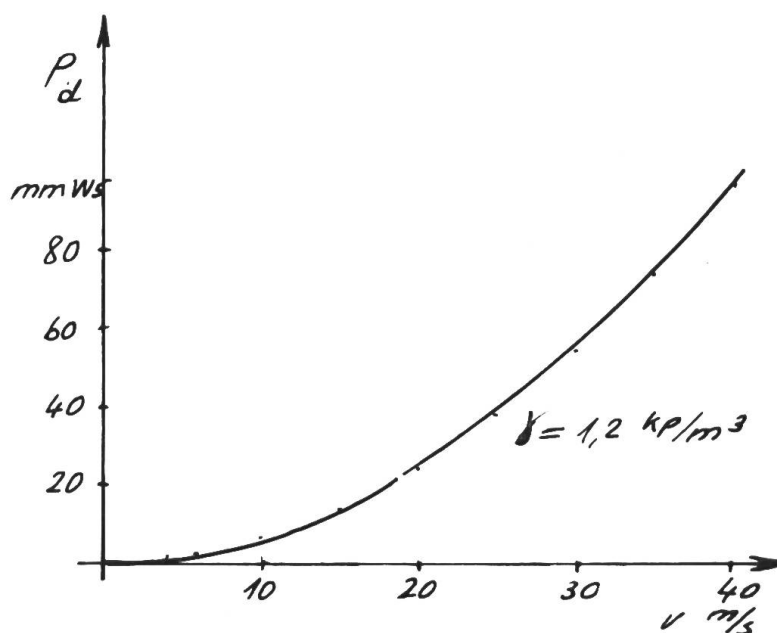


Tableau 1:

**Pression dynamique  $P_d$  (en mm CE) et vitesse de l'air  $v$  (en m/s)**

Vitesse $v$ m/s	Pression $P_d$ mm CE	Vitesse $v$ m/s	Pression $P_d$ mm CE
1,0	0,06	15	13,8
1,5	0,14	20	24,5 <sup>2)</sup>
2	0,24	25	38,2
4	0,98	30	55,1 <sup>3)</sup>
6	2,20	35	74,9
8	3,91 <sup>1)</sup>	40	97,9
10	6,12		

<sup>1)</sup> Vent léger

<sup>2)</sup> Bourrasque

<sup>3)</sup> Ouragan

La fig. 5 montre le comportement des trois diverses pressions (pression totale, pression statique, pression dynamique) sur un parcours de mesure déterminé. Pour des motifs d'ordre technique, les mesurages ne doivent pas être exécutés juste derrière le ventilateur, comme il serait normal de le faire, mais à une certaine distance de ce dernier. C'est la raison pour laquelle les valeurs obtenues lors des mesurages doivent être rapportées à ce point-là par calcul.

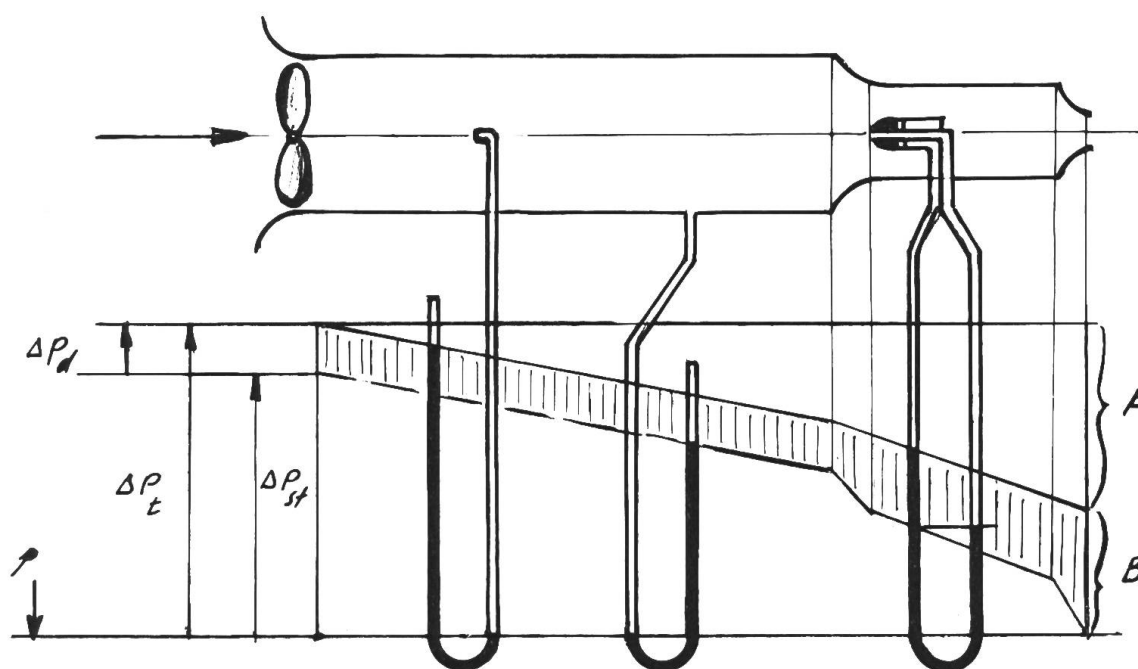


Fig.5: Représentation graphique du comportement caractéristique des trois sortes de pressions ( $\Delta P_t$  = Pression totale,  $\Delta P_{st}$  = Pression statique,  $\Delta P_d$  = Pression dynamique) sur un parcours de mesure déterminé – Etant donné que les mesurages s'effectuent du côté refoulement, les différences de pression constatées sont toujours des surpressions par rapport à la pression atmosphérique (P).

A = Pertes totales par frottement se produisant sur le parcours de mesure

B = Pression dynamique au point rétréci du canal de refoulement

## 2. Emploi de l'air forcé dans l'agriculture

Lorsqu'il s'agit d'utiliser des courants d'air forcé soit pour ventiler des locaux ou sécher des produits, soit pour transporter horizontalement ou verticalement telle et telle marchandise, il s'avère nécessaire, tant lors de l'établissement de plans que de l'appréciation des installations susceptibles d'entrer en considération, de connaître les pertes de pression les plus importantes. Au cours des lignes suivantes, nous tenterons de montrer à l'aide d'exemples pris dans la pratique les rapports qui existent entre les divers facteurs et l'importance de ces pertes.

## 2.1 Pertes de pression dans les conduites

La plupart des installations de ventilation comportent des conduites devant ou derrière le ventilateur, voire des deux côtés. Il faut compter avec certaines pertes de pression dans la conduite même si le courant ne sert pas à exécuter un travail. Ainsi une disposition irrationnelle des gaines de ventilation lors du séchage complémentaire de fourrages mi-secs sous toit peut déjà entraîner des pertes de pression si importantes que le meilleur aérateur de grange s'avère inopérant. Il s'agit donc ici d'un problème pratique et concret qu'il ne nous est possible de résoudre qu'en connaissant bien l'interdépendance des facteurs techniques en jeu.

Si nous mesurons la pression totale en deux endroits d'une conduite de ventilation, la pression régnant au second endroit (le plus éloigné du ventilateur) se montre plus faible. La différence constatée entre les deux pressions correspond à la perte de pression qui se produit sur le trajet représenté par ce tronçon de conduite. Avec une conduite rectiligne, la perte de pression augmente dans une mesure proportionnelle à la longueur de la conduite. En comparant la perte de pression intervenant dans deux conduites de diamètre différent mais où la vitesse du courant d'air est la même, on s'aperçoit que c'est dans la conduite de moindre diamètre que la perte de pression s'avère la plus élevée. Si l'on désigne par  $P_L$  la perte de pression se produisant dans une conduite, on a l'équation

$$P_L = \lambda \frac{1}{d} P_d \quad \text{Equation 2}$$

Dans cette équation 2, la lettre grecque  $\lambda$  (lambda) représente une résistance. Il s'agit d'un facteur qui correspond à 0,014 pour une conduite à parois lisses et à environ 0,028 pour une conduite à parois rugueuses en bois. Le diamètre est désigné par la lettre  $d$ . La fraction  $\frac{1}{d}$  indique que la perte de pression diminue dans une mesure proportionnelle à l'augmentation du diamètre de la conduite.  $P_d$  représente la pression dynamique telle qu'elle est définie par l'équation 1. Ainsi que nous l'avons constaté plus haut (voir le tableau 1 et la fig. 4), la pression dynamique augmente proportionnellement au carré de la vitesse du flux d'air. En d'autres termes, cela signifie que la perte de pression dépend en premier lieu de la vitesse de l'air. Si l'on veut un débit d'air important et que les pertes de pression soient en même temps aussi faibles que possible — ce qui est par exemple le cas lors de la déshydratation complémentaire du foin mi-sec en grange —, il faut disposer d'une conduite de ventilation à grand diamètre. Cela pour deux raisons. La première est que les pertes sont bien moindres dans une grosse conduite, la seconde que la vitesse du flux d'air y est peu élevée. Pour le séchage du foin sous toit par air forcé, on conseille de choisir un canal d'aspiration d'une section égale au double de celle du canal de ven-



tilation (canal de refoulement). Examinons maintenant dans quel rapport se trouvent les pertes de pression. Supposons que la vitesse du courant d'air soit de 5 m/s du côté aspiration (ce qui correspond à une pression dynamique de 1,53 mm CE) et de 10 m/s du côté refoulement (ce qui représente une pression dynamique de 6,12 mm CE). Si le canal de ventilation a un diamètre de 1 m, il faut que le diamètre du canal d'aspiration (section carrée) soit de 1,414 m.

Perte de pression dans une conduite par mètre courant:

$$\text{côté aspiration: } P_L = 0,028 \times \frac{1}{1,414} \times 1,53 = 0,0303 \text{ mm CE}$$

$$\text{côté refoulement: } P_L = 0,028 \times \frac{1}{1} \times 6,12 = 0,1710 \text{ mm CE}$$

Il ressort de ce qui précède que 0,0303 est à 0,1710 comme 1 est à 5,64. Cela veut dire que les pertes de pression se produisant à l'intérieur de la conduite sont 5,64 fois plus grandes dans le canal de refoulement (par mètre courant) que dans le canal d'aspiration. Ce rapport est le même en ce qui concerne les autres pertes de pression occasionnées notamment par les coudes et les tronçons rétrécis de la conduite.

Dans les élévateurs pneumatiques, le transport du fourrage ne peut être assuré que si le courant d'air a une vitesse minimale constante déterminée. Quand il s'agit de fourrages verts, il faut que la vitesse du flux d'air soit supérieure à celle qui se montre nécessaire dans le cas du transport de fourrages secs. C'est la raison pour laquelle on utilise par exemple fréquemment (avec le même ventilateur) une conduite de 400 mm de diamètre pour les fourrages secs et une autre d'un diamètre de 310 mm pour les fourrages verts. Les phénomènes qui interviennent au cours de ces transports sont plus compréhensibles si on les explique à l'aide de la parabole dite de résistance. Nous sommes obligés d'entrer ici dans les détails, car cette parabole joue un rôle d'importance primordiale quand il s'agit de juger de la valeur pratique d'un élévateur pneumatique ou d'interpréter correctement des rapports d'essais. Les paraboles de résistance sont toujours proportionnelles à la parabole de la pression dynamique lorsque cette pression est indiquée en fonction de la vitesse du courant d'air pulsé. La parabole de la pression dynamique a été représentée graphiquement à la figure 4. Pour les conduites rectilignes, le facteur de proportionnalité se compose des deux membres  $\lambda \times \frac{1}{d}$ , conformément à l'équation 2, laquelle s'énonce:

$$P_L = \lambda \frac{1}{d} P_d$$

Ces deux valeurs sont toujours constantes dans une conduite déterminée. Seule la pression dynamique varie suivant la vitesse du flux d'air. Cette interdépendance est représentée graphiquement à la figure 6, laquelle

montre les paraboles de résistance de deux conduites d'élévateur pneumatique ayant un diamètre différent (400 mm et 310 mm). Les paraboles en cause se rapportent à 10 m de conduite. Etant donné le diamètre plus faible de la conduite de 310 mm, sa parabole de résistance doit s'élever plus rapidement que celle de la conduite de 400 mm. Supposons maintenant qu'un ventilateur refoule le même volume d'air dans les deux conduites en question, soit 2,5 m<sup>3</sup>/s, par exemple. Dans la conduite de 400 mm de Ø, la vitesse moyenne du courant d'air est alors de 19,9 m/s, tandis qu'elle atteint 33,2 m/s dans celle de 310 mm de Ø. En ce qui concerne la conduite de 400 mm, la perte de pression représente 8,5 mm CE avec une pression dynamique de 24,2 mm CE, si cette conduite a 10 m de long. En ce qui touche la conduite de 310 mm, la perte de pression correspond à 30,2 mm CE avec une pression dynamique de 67,4 mm CE, si la longueur de cette conduite est également de 10 m. La résistance totale rencontrée par l'air dans une conduite de 10 m, avec un débit de 2,5 m<sup>3</sup>/s, équivaut à  $8,5 + 24,2 = 32,7$  mm CE lorsque cette conduite a un diamètre de 400 mm. Avec le même débit, elle représente  $30,2 + 67,4 = 97,6$  mm CE si cette conduite a 310 mm de diamètre.

Par ailleurs, il se trouve que plus la contre-pression s'accroît, moins le ventilateur débite d'air à la seconde. On obtient la pression de service effective régnant dans l'une et l'autre des conduites précitées en portant leurs paraboles de résistance sur le diagramme de puissance du ventilateur, comme c'est le cas à la fig. 6. La parabole de résistance de la conduite de 400 mm de Ø (longueur: 10 m) coupe la courbe pression-volume du ventilateur au point B<sub>1</sub>, lequel correspond au point de travail. Le débit du ventilateur est de 3,37 m<sup>3</sup>/s et la vitesse du flux d'air de 26,7 m/s. Quant à la conduite d'un diamètre de 310 mm (longueur: 10 m), sa parabole de résistance vient couper la courbe pression-volume du ventilateur au point B<sub>2</sub> (point de travail), ce qui représente un débit d'air de 2,42 m<sup>3</sup>/s et une vitesse de l'air égale à 32 m/s. (A suivre)

---

**Les agriculteurs progressistes deviennent membres collaborateurs de l'IMA. Grâce à l'envoi (gratuit) de tous les rapports d'essais et d'études pratiques, ils sont assurés d'être constamment bien informés.**

**Cotisation annuelle Fr. 15.—.**

---