

# OPTIMISATION DES CANAUX D'ÉVACUATION DE L'AIR DANS LES BUSES DE SOUFLAGE DE CONTRÔLE PNEUMATIQUE DIMENSIONNEL

A. BETTAHAR<sup>(1)\*</sup>, M. MENDAS<sup>(2)</sup>, A. ZAARAOUI<sup>(3)</sup>, H. ZAHLOUL<sup>(2)</sup>  
(1) Professeur, (2) Doctorant, (3) Dr. N. Thèse

Département de mécanique, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université  
Hassiba Benbouali de Chlef, BP 151, 02000, Chlef, Algérie

(1) E-mail : *Bettahara@Yahoo.fr*

Received May 2007, Accepted October 2007  
No. 07-CSME-26, E.I.C. Accession 2995

---

## RÉSUMÉ

On confectionne des pièces que l'on appellera tampons, sur lesquels on exécutera des fentes selon diverses configurations comme il sera indiqué plus loin. Ces fentes permettront l'évacuation de l'écoulement de l'air et seront appelées tout au long de cet article "canaux d'évacuations". On mesure la vitesse d'écoulement d'air à la sortie du canal d'évacuation à l'aide d'un anémomètre à fil chaud de type DISA 55M et on mesure également la pression en paroi le long du canal. Les paramètres d'influence sont le retrait  $\delta_0$  de la buse de soufflage vis-à-vis de la surface frontale du tampon, la distance  $\delta$  de ce dernier vis-à-vis de la surface de la paroi à mesurer et la profondeur  $Pr$  du canal. La buse utilisée sera celle classique à surface frontale plane désignée industriellement par « buse N°02 ». La largeur  $L$  des canaux d'évacuation est 1.5 mm.

**Mots clés :** Contrôle pneumatique, Buse de soufflage, Canaux d'évacuation, Vitesse/ Paroi.

---

## AIR EVACUATION CHANNELS OPTIMIZATION IN THE DIMENSIONAL PNEUMATIC CONTROL BLOWING NOZZLES

### ABSTRACT

We make parts called tampons on which one executes grooves with different configurations as shown further in the text. These grooves allow the airflow evacuation and they will be called in the article "evacuation channels". One measure the airflow velocity at the evacuation channel exit by means of a hot wire anemometer of a DISA 55M type and one measure also the wall pressure along the channel. The main influence parameters are the  $\delta_0$  retreat of the blowing nozzle towards the tampon frontal surface, the  $\delta$  distance of this last one towards the wall surface to be measured and the channel depth  $Pr$ . The used nozzle is a classical one which has a plane frontal surface, called the "Number 02 nozzle" in the industry. The width of the evacuation channels is 1.5 mm.

**Keywords:** pneumatic control, blowing nozzle, evacuation channels, velocity, wall

## 1. INTRODUCTION

Lorsqu'une paroi plane se trouvant à une distance  $\delta$  de l'orifice de soufflage de diamètre  $d$ , subit l'impact d'un jet d'écoulement fluide, tel que  $\delta \ll d$ , il y a interaction jet-paroi (Fig. 1). On est dans la condition dite de contrôle pneumatique [11].

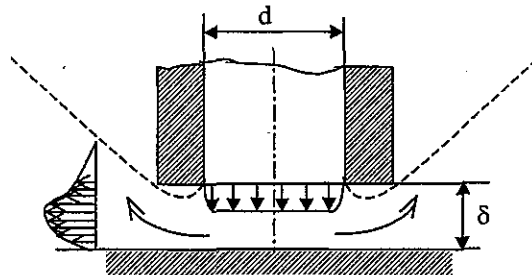


Fig. 1. Jet sur paroi telle que  $\delta \ll d$

L'application de la métrologie pneumatique pour contrôler la précision des machines-outils à travers les pièces usinées, est basée sur la mesure de la résistance d'un écoulement gazeux (de l'air) traversant une section très faible, limitée par le diamètre extérieur de la buse de soufflage  $d_e$  [1, 2, 3 et 4] et la distance séparant l'orifice de soufflage et la surface contrôlée.

L'écoulement que l'on observe est du type radial. Ce dernier a fait l'objet de plusieurs études dans les dernières décennies [5, 6, 7, 8].

Très peu d'études sont actuellement recensées en matière d'application de ces écoulements dans le domaine de la métrologie pneumatique, aussi bien sur le plan expérimental [9] que sur le plan numérique [10, 11] où la distance tampon-paroi est considérée comme très faible ( $100 \mu\text{m} < \delta < 200 \mu\text{m}$ ) devant la géométrie intérieure de l'orifice de soufflage. Ce type d'écoulement est actuellement rencontré dans le domaine de la métrologie pneumatique [9, 10, 11, 13].

La géométrie des buses de soufflage a une importance notable sur l'existence de la zone dépressionnaire qui a pour conséquence d'encrasser les surfaces frontales des buses. La présente étude est donc faite en vue d'une optimisation de l'évacuation de l'air, au moyen des dits canaux d'évacuation. Des mesures de vitesses à la sortie de ces canaux ainsi que des mesures de pression en paroi le long de l'axe du canal y ont été effectuées pour diverses configurations. Ces dernières sont illustrées par la figure -2-.

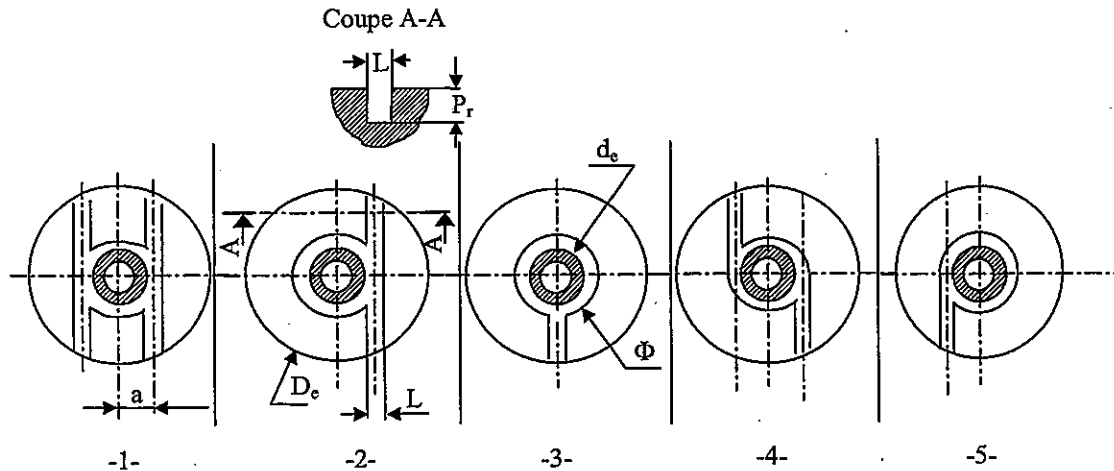


Fig. 2. Configurations de canaux d'évacuation

## 2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

La figure -3- illustre le principe de mesure de la vitesse d'évacuation et de la pression en paroi. Un comparateur pneumatique ETAMIC dont le schéma de principe est basé sur l'appareil différentiel de FORTIER (1950), est l'élément clé du dispositif expérimental.

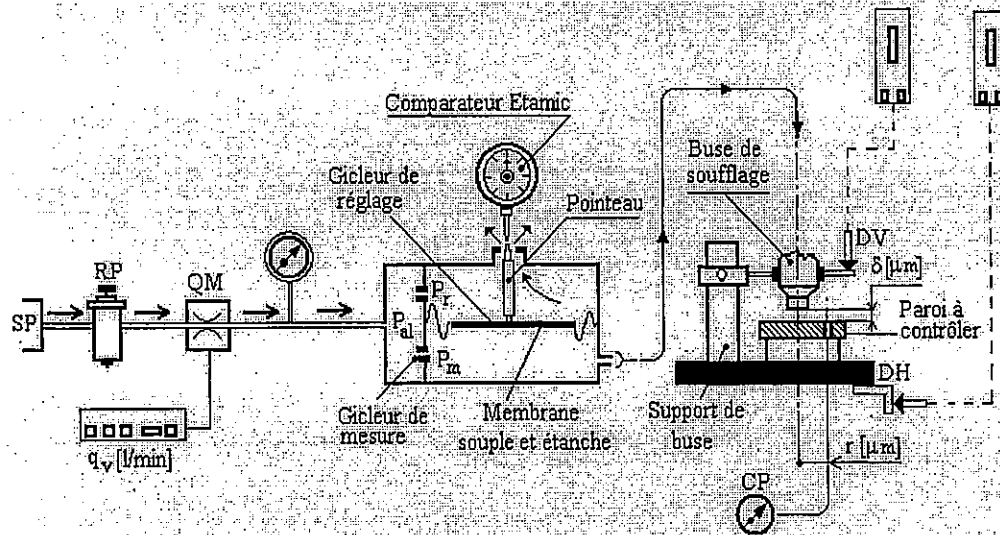


Fig. 3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental comporte essentiellement une source de pression  $SP$ , suivie d'un régulateur de pression  $RP$  qui renseigne sur la pression d'alimentation  $P_{al}$  [bar] régnant dans le comparateur Etamic. Un débitmètre  $QV$  pour mesure de débit volumique  $q_v$  [l/min] dans la tuyère de la buse de soufflage à travers laquelle l'air

sortant de l'orifice de soufflage, vient heurter la paroi plane à contrôler, distante de  $(\delta+\delta_0)$  [ $\mu\text{m}$ ] du centre de soufflage. Les conditions de contrôle pneumatique exigent que cette distance soit nettement plus petite devant le diamètre extérieur de la buse. Elle sera choisie dans l'intervalle 100 à 200  $\mu\text{m}$  selon les recommandations industrielles. On dispose également de deux systèmes de déplacement horizontal DH et vertical DV, doté chacun d'un capteur. Le premier capteur est destiné à détecter le déplacement horizontal  $r$  [ $\mu\text{m}$ ] de la plaque plane. Quant à l'autre capteur, il est destiné à détecter le déplacement vertical  $\delta$  [ $\mu\text{m}$ ] du système buse-tampon, à travers lequel est injecté de l'air sortant de l'orifice de soufflage à température ambiante ( $20^\circ\text{C}$ ). La précision de ces deux capteurs est de  $\pm 1\mu\text{m}$ . Un capteur de pression CP (série GA 64 – Schlumberger Industries-), relié à la plaque par une prise de pression de 1/10 mm de diamètre, est destiné à mesurer la pression en paroi le long de l'axe du canal.

### 3. PRINCIPE DES CANAUX D'ÉVACUATION

Une bonne évacuation de l'air entre la buse de soufflage et paroi à contrôler, permet un bon contrôle de pièces donc une garantie assurée de la production. On a étudié cinq configurations de tampons, doté chacun de ses propres canaux, tels que présentées (Fig. 2). La buse étant placée dans un tampon (Fig. 4) à surface frontale plane dans lequel on réalise un ou plusieurs canaux d'évacuation selon la configuration utilisée. Ces canaux permettront l'évacuation de l'air qui sort de la buse de soufflage [12].

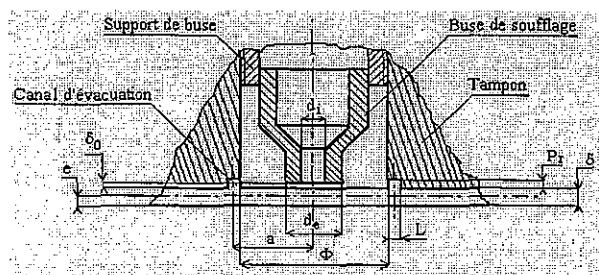


Fig.4. Canaux d'évacuation (Exemple de la configuration -1- ici présenté)

L'utilisation des tampons d'évacuation permet d'éviter tout contact de la buse avec la surface à contrôler, autrement dit, éviter toute obturation de l'air à la sortie de la buse. Ceci est bien entendu à condition que la buse soit toujours positionnée en retrait ( $\delta_0$ ) par

rapport à la surface frontale du tampon. Les principaux paramètres d'influence dont nous parlerons sont donc le retrait ( $\delta_0$ ) de la buse de soufflage vis-à-vis de la surface frontale du tampon, la distance  $\delta$  de ce dernier vis-à-vis de la surface de la paroi à mesurer et la profondeur du canal Pr. La buse utilisée sera la buse classique à surface frontale plane désignée industriellement par « buse N°2 » de diamètre intérieur  $d_i = 2$  mm et de diamètre extérieur  $d_e = 4$  mm. La pression d'alimentation sera de 4 bars conformément aux données industrielles. La largeur des canaux d'évacuation sera de 1,5 mm.

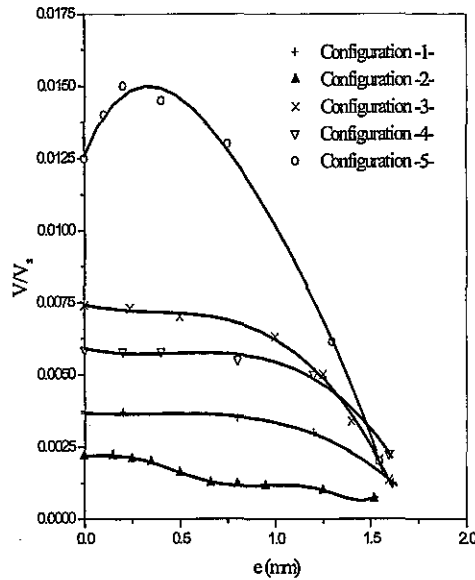
#### 4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSIONS

On a mesuré la vitesse d'écoulement d'air à la sortie des canaux à l'aide de l'anémométrie à fil chaud de type DISA 55M. Des mesures de pression en paroi le long des canaux y ont été également mesurées. On va voir dans ce qui suit comment se comporteront-elles la vitesse d'évacuation ainsi que la pression en paroi sous l'influence du retrait  $\delta_0$  de la buse et de la profondeur Pr du canal.

##### 4.1. Influence de la géométrie des canaux d'évacuation sur le profil de vitesse à la sortie du tampon

Pour les cinq configurations présentées (Fig. -2-), on étudie d'abord pour un retrait et une profondeur donnés, l'importance du nombre de canaux et leur géométrie sur l'évolution de la vitesse (Fig. -5-). Le résultat illustré par la figure -5- permet déjà de faire une présélection quant à la configuration qui sera probablement la plus apte à assurer une meilleure évacuation de l'air.

En effet, on y constate à première vue que la configuration -1- est meilleure que la configuration -2-. La configuration -4- comparée à ces deux dernières, améliore sensiblement le résultat. Quant aux configurations -3- et -5-, elles semblent les mieux classées, notamment la configuration -5- à cause de la forme cyclonique du canal qui présente sans doute l'avantage d'obtenir des vitesses à la sortie nettement beaucoup plus importantes comme cela est bien explicité sur la figure -5-.



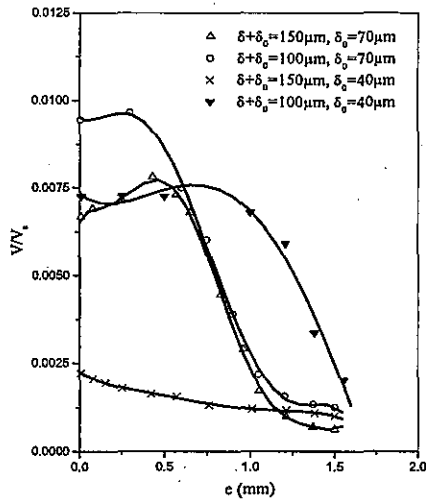
**Fig. 5. Influence de la géométrie des canaux d'évacuation sur la vitesse à la sortie pour les diverses configurations ( $\delta_0 + \delta = 100 \mu\text{m}$  et  $\text{Pr} = 1,5\text{mm}$ )**

Une importante chute de pression (dépression) entraînerait sans doute un dépôt d'encrassement [9,10,11,12]. Ceci nécessite alors une augmentation de vitesse pour faire face à toute éventualité de dépôt d'impuretés sur la surface frontale de la buse de soufflage. Plus la vitesse y sera grande, plus le risque d'encrassement sera faible.

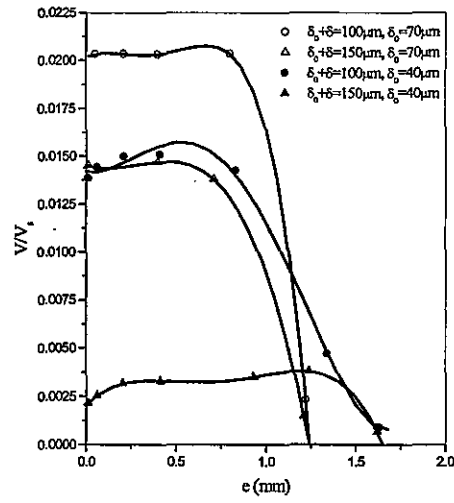
À l'issue du résultat de la figure -5-, on se limitera aux seules configurations -3- et -5- qui semblent les plus privilégiées par rapport aux autres. Ensuite, on verra plus loin, laquelle des deux sera définitivement celle qui conviendrait le mieux pour répondre au problème posé.

#### **4.2. Influence du retrait de la buse sur la variation de la vitesse à la sortie du canal pour une profondeur du canal constante pour une profondeur $\text{Pr}=1,5\text{mm}$**

Le retrait  $\delta_0$  a une influence notable sur l'augmentation de la vitesse. Mais cette augmentation a tendance à ne pas concerner l'intégralité du canal comme on le constate (Fig. 6 et fig. 7) où les deux tiers (2/3) seulement du canal semblent pratiquement concernés par l'écoulement. Il s'ensuit qu'un encrassement risquerait fortement de se produire lors d'une utilisation prolongée. Compte tenu des vitesses dans les canaux d'évacuation, une solution de type Configuration -5- pourrait alors s'imposer.

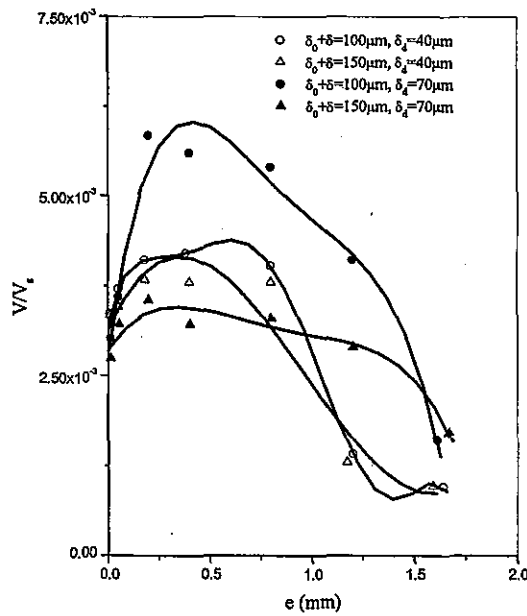


**Fig. 6 : Influence du retrait de la buse sur la variation de la vitesse à la sortie du canal Configuration -3-**



**Fig. 7 : Influence du retrait de la buse sur la variation de la vitesse à la sortie du canal Configuration -5-**

Un retrait  $\delta_0$  compris entre  $40\mu\text{m}$  et  $70\mu\text{m}$  pourrait être un compromis acceptable. En revanche, il est beaucoup moins significatif par exemple pour la configuration -1- (Fig.



8).

**Fig. 8. Influence du retrait de la buse sur la variation de la vitesse à la sortie du canal Configuration -1-**

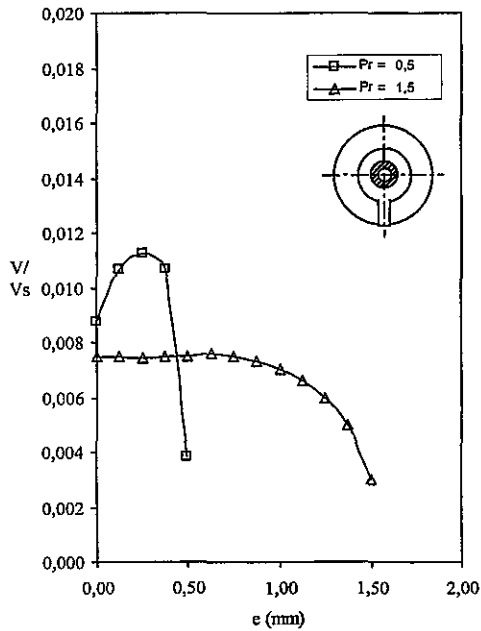


Fig. 9. Influence de la profondeur du canal sur la vitesse d'évacuation Configuration -3-

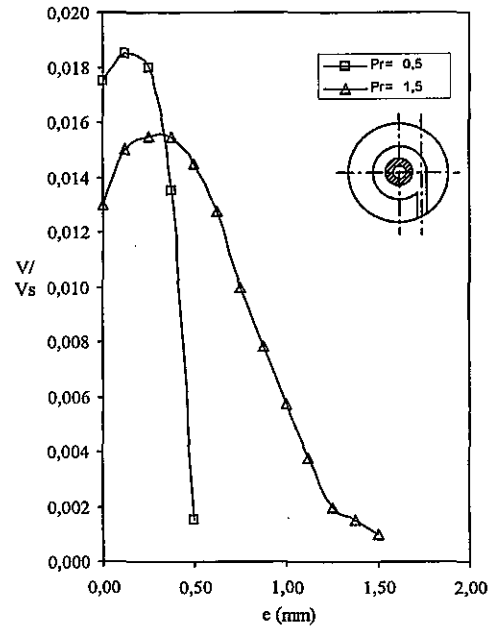


Fig. 10. Influence de la profondeur canal sur la vitesse d'évacuation Configuration -5-

#### 4.3. Influence de la profondeur $P_r$ du canal sur le profil de la vitesse à la sortie du tampon pour un retrait donné

On a procédé jusque là (§ 4.2.) à des mesures de vitesse avec une profondeur de canal  $P_r = 1.5$  mm. Les résultats obtenus, comparés à ceux du canal dont la profondeur est 0.5 mm pour les configurations -3- et -5- montrent pour un retrait constant, l'importance de la profondeur  $P_r$  sur les vitesses dans le canal d'évacuation (Figs. -9- et -10-). En effet, avec une profondeur  $P_r = 0.5$  mm, on constate que l'air semble s'évacuer plus rapidement qu'avec une profondeur  $P_r = 1.5$  mm. De plus, on note que l'intégralité du canal semble concernée par l'écoulement pour une profondeur plus faible. En comparant les deux configurations, on voit clairement que la configuration -5- donne de meilleurs résultats quant à l'évacuation de l'air.

#### 4.4. Influence de la profondeur $P_r$ du canal sur le profil de la pression en paroi le long du canal pour un retrait donné

Comparativement aux profils des vitesses (Figs. 9 et 10), on constate que les profils de pressions (Figs. 11 et 12) n'affichent pas une différence notable entre eux. Ce qu'il faut par contre retenir ici, l'absence de dépression pour les deux configurations, où le



risque d'encrassement est complètement écarté contrairement au cas de la buse sans tampon.

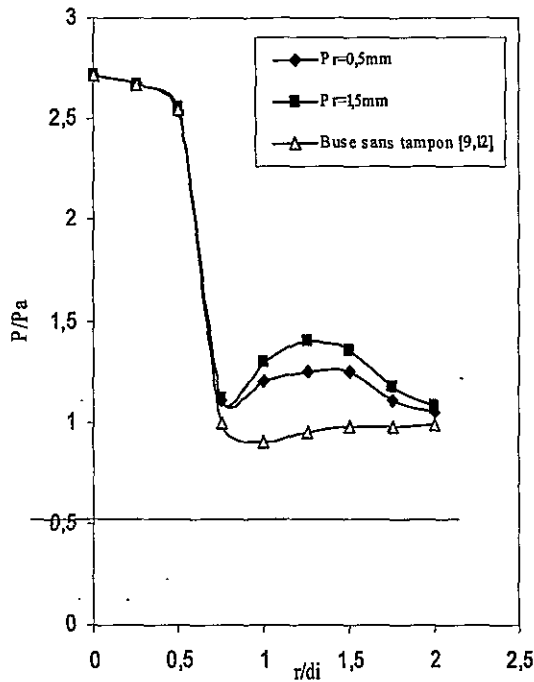


Fig. 11. Influence de la profondeur du canal sur la pression en paroi Configuration -3-

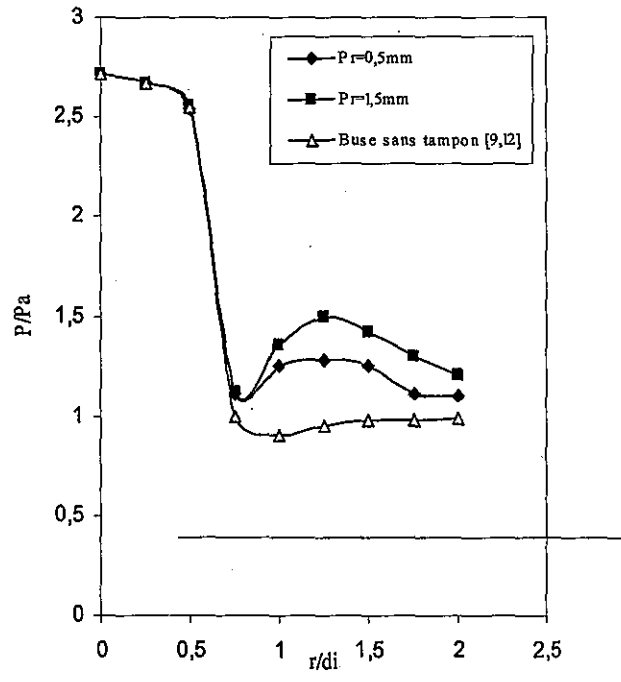


Fig. 12. Influence de la profondeur du canal sur la pression en paroi Configuration -5-

## 5. CONCLUSION

Comme nous l'avons annoncé en introduction de cet article, l'efficacité du contrôle pneumatique est désormais conditionnée par une bonne évacuation de l'air entre la buse de soufflage et la paroi à mesurer. A partir des mesures de vitesse effectuées pour les différentes configurations proposées, l'évacuation semble meilleure en utilisant la configuration -5- avec une profondeur de canal  $P_r = 0,5$  mm et un retrait  $\delta_0$  de la buse de  $40 \mu\text{m}$ . Si le risque d'encrassement semble écarté, ce ne serait probablement pas pour un emploi court de l'appareil. Mais pour une longue utilisation de l'appareil de mesure, une grande vitesse d'évacuation éviterait ce risque sinon l'éloignerait. Ce qui justifie à notre sens la préférence de la configuration -5-.

## RÉFÉRENCES

- [1] R. Molle, Les récentes tendances de la métrologie pneumatique, Communication présentée à la 4<sup>ème</sup> biennale de la Mécanique de haute précision, Microtecnic, Vol. X, N°4, Paris, 1955.
- [2] R. Molle, Etude comparée des dispositifs à écoulement à vitesse subsonique et sonique utilisés en métrologie pneumatique, Microtecnic, Vol. X, N°1, Paris, 1955.
- [3] A. Fortier, Perfectionnement aux appareils pneumatiques différentiels de mesure et d'asservissement, Paris, 1967.
- [4] L. Wattebot, L'amplification pneumatique -Principe et théorie-, Journal de Mécanique, 1973.
- [5] P. Florent, J. L. Peube, Ecoulement laminaire d'un fluide visqueux incompressible entre deux disques poreux, J. de Mécanique, Vol. 14, N°3, 1975.
- [6] V. Ngoc D., Contribution à l'étude numérique de l'écoulement radial entre disques, Thèse de doctorat ès sciences, Laval, Québec, 1977.
- [7] C. J. Hawang, J. L. Liu, Numerical study of two-dimensional impinging jets flow fields, AIAA Journal, Vol. 27, N°7, July 1989.
- [8] C. C. Landreth, R. J. Adrian, Impinging of Reynolds number turbulent circular jet onto a flat a normal incidence, *Experim. In Fluid* 9, pp. 74-84, 1990.
- [9] A. Bettahar, Application des écoulements radiaux à la métrologie pneumatique dimensionnelle, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France, 1993.
- [10] G. Roy, V. Ngoc D., C. R. Nguyen, Laminar radially outward flow between finite rotating disks, *Proc. 14<sup>th</sup>, Canadian Congress of Applied Mechanics*, Vol.1, pp. 297-298, 1993.
- [11] G. Roy, C. Crnojevic, A. Bettahar, T. Florent, V. Ngoc, Influence of nozzle geometry in pneumatic metrology applications, *International conference on Fluid and Thermal Energy Conversion'94*, Proceedings pp. 363-368, Kuta-Denpasar, Bali, Indonesia, December 12-15, 1994.
- [12] C. Crojevic, G. Roy, A. Bettahar, P. Florent, The influence of regulator diameter and injection nozzle geometry on the flow structure in pneumatic dimensional control systems, *Journal of Fluids Engineering*, Sept. 1997, pp 609-615.
- [13] A. Bettahar, P. Florent, G. Roy, L. Loukarfi, Contribution expérimentale à l'élimination de la dépression dans le domaine de l'écoulement radial sur paroi cylindrique : Application au contrôle pneumatique dimensionnel, *Transaction of CSME/de la SCGM*, Vol. 28, N° 1, 2004.

## NOMENCLATURE DES SYMBOLES:

### Latins :

$d_i$ [mm]	Diamètre intérieur de la buse de soufflage
$d_e$ [mm]	Diamètre extérieur de la buse de soufflage
$e$ [mm]	Position du fil chaud (sonde anémométrique) par rapport à la surface de la paroi à contrôler
$L$ [mm]	Largeur du canal d'évacuation
$p_a$ [bar]	Pression atmosphérique
$Pr$ [mm]	Profondeur du canal d'évacuation
$r$ [mm]	Coordonnée radiale
$V_s$ [mm]	Vitesse de référence

### Grecques:

$\delta$ [mm]	Distance entre la surface frontale du tampon et celle de la paroi à contrôler
$\delta_0$ [mm]	Retrait de la buse par rapport à la surface frontale du tampon
$\Phi$ [mm]	Diamètre extérieur de la chambre annulaire délimitée par de et le canal
$a$ [mm]	Distance entre l'axe du canal et celui de soufflage