

ETUDE DES CONDITIONS DE DEPOLLUTION D'UN LOCAL A L'AIDE D'UN SYSTEME DE VENTILATION MECANIQUE

D. BLAY, J.L. TUHAULT
Laboratoire d'Etudes Thermiques
U.R.A. C.N.R.S. 1403

40, Avenue du Recteur Pineau 86022 POITIERS Cedex

INTRODUCTION

Lors de l'extraction à l'aide d'un système de ventilation mécanique de gaz polluants légers et stratifiés en partie haute d'un local, il peut se produire une aspiration parasite d'air frais à travers les couches polluées. Cette aspiration qui peut atteindre jusqu'à 50% du débit total extrait, est due à un phénomène de mécanique des fluides communément appelé "poinçonnement". Cet effet encore mal connu est au centre de cette étude réalisée pour le Ministère de l'Intérieur, dans le cadre de l'Action Feu-Incendie-Sécurité.

On présente ici des résultats obtenus dans le cas particulier où les gaz polluants sont des gaz chauds générés par un feu, mais ces résultats peuvent bien sûr être généralisés à toute autre situation de même nature impliquant des polluants de nature variée.

Une double démarche à la fois expérimentale et numérique a été mise en oeuvre pour mettre en évidence ce phénomène, en comprendre son mécanisme et déterminer les paramètres physiques qui le contrôlent.

Dans la première partie de cette étude, expérimentale, on décrit d'abord les résultats d'une série de visualisations effectuées sur différentes configurations puis, à partir de mesures de débits et de températures, on met en évidence certains phénomènes engendrés par l'extraction.

La deuxième partie, plus quantitative, concerne la simulation numérique effectuée à partir d'un logiciel 3D de type volumes finis. Les résultats numériques sont confrontés à quelques résultats expérimentaux puis analysés.

I ETUDE EXPERIMENTALE

L'étude expérimentale présentée ici a été réalisée sur le banc d'essais schématisé sur la figure ci-dessous:

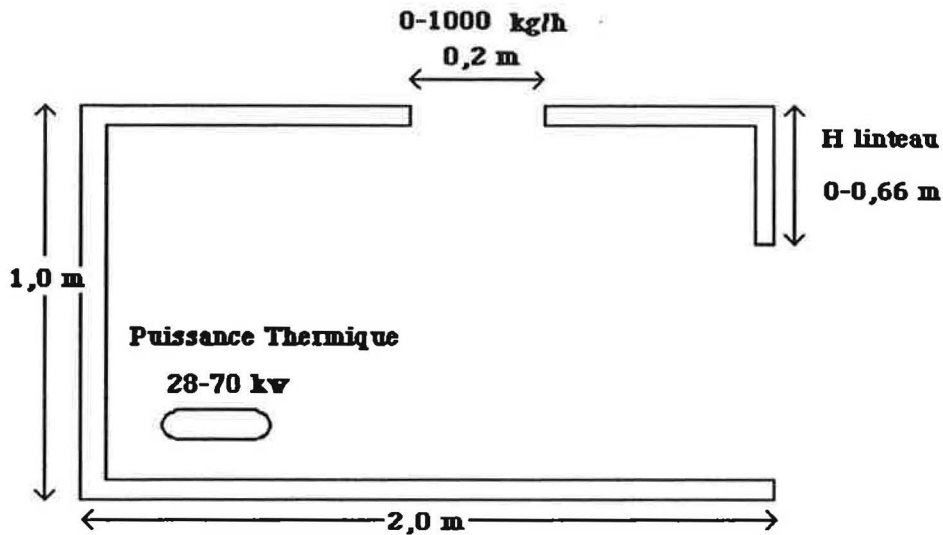


Schéma de la configuration étudiée

Ce banc est équipé :

- d'un brûleur à gaz de puissance thermique variable de 0 à 70kw
- d'un extracteur mécanique à débit variable de 0 à 1000 kg/h permettant l'extraction des gaz chauds à travers un orifice situé au centre de la cavité en plafond et de section carrée de 20cm de côté.
- d'un système optique de tomographie laser pour permettre la visualisation de l'écoulement dans le plan médian de la cavité
- d'une chaîne d'anémométrie laser à deux couleurs pour la mesure simultanée des deux composantes longitudinale et verticale de la vitesse
- d'un ensemble de 30 thermocouples disposés sur une canne mobile dans le plan médian de la cavité.

Les différentes configurations étudiées se différencient par la puissance thermique, par la présence d'un linteau en sortie de hauteur variable et par le débit d'extraction mécanique imposé. Nous nous sommes en effet limités à l'étude de l'extraction mécanique, car étant donné la trop faible hauteur de la maquette expérimentale, l'extraction naturelle était tout à fait insuffisante pour provoquer l'effet de poinçonnement.

Ces différents cas sont résumés dans le tableau ci-dessous:

CONFIGURATIONS CALCULEES		
PUISSANCE THERMIQUE	HAUTEUR DU LINTEAU	VITESSE D'EXTRACTION
kw	m	m/s
28	0	0/2/4/6/8
28	0,15	0/2/4/6/8
28	0,50	0/2/4/6/8
70	0	0/2/4/6/8
70	0,15	0/2/4/6/8
70	0,31	0/2/4/6/8

I-1 VISUALISATION

Une série de visualisations a été effectuée sur l'ensemble de ces cas afin de déterminer qualitativement l'existence ou non du phénomène de poinçonnement. Pour une configuration donnée (puissance et hauteur de linteau), on augmente progressivement le débit d'extraction jusqu'à l'apparition du phénomène. Celui-ci se caractérise nettement par l'apparition d'un cône d'air frais centré sous l'orifice d'extraction et qui "traverse" les couches plus chaudes de fumées.

Outre l'aspect didactique important de ces visualisations, celles-ci ont permis de mieux comprendre le mécanisme de l'effet de poinçonnement. L'extracteur mécanique est en effet caractérisé par une zone d'influence dont la dimension augmente avec le débit d'extraction. Dès que cette dimension, appelée hauteur d'influence, devient plus grande que la hauteur de la couche de fumées, il y a apparition du phénomène de poinçonnement.

Enfin, les résultats de visualisation ont permis de montrer le degré de dépendance du phénomène aux principaux paramètres. Ainsi l'apparition du poinçonnement s'est avérée peu sensible à la puissance thermique mais fortement liée à la hauteur du linteau. Ces différents points seront repris de façon plus approfondie plus loin.

I-2 MESURES DE DEBIT

Les outils expérimentaux à notre disposition ne nous permettaient pas de déterminer directement et de façon précise cette hauteur d'influence. Quantifier les quantités d'air frais "poinçonnées" nous obligeait donc à effectuer des mesures de débit massique en différents plans transverses et à en suivre l'évolution le long de la cavité. Ces mesures de débit entreprises sur un essai se sont avérées extrêmement lourdes à réaliser puisqu'obtenues à partir de mesures de vitesse locale par vélocimétrie laser. De plus, compte-tenu des niveaux de précision atteints, ce procédé est vite apparu décevant pour une exploitation quantitative. Pour l'ensemble de ces raisons, lourdeur du procédé et manque de précision, ces mesures systématiques de débit ont été arrêtées.

Finalement, les seules mesures de débit effectuées ont concerné le plan d'entrée/sortie de la cavité ainsi que le débit global d'extraction.

I-3 MESURES DE TEMPERATURE ET DE PUISSANCE

Parallèlement à ces mesures de débit, on a relevé différents profils verticaux de température dans le plan médian de la cavité et notamment sous et dans l'orifice d'extraction. Ces indications couplées aux mesures de débit extrait nous ont permis de déterminer les puissances extraites en fonction du débit d'extraction.

I-4 CONCLUSIONS

L'étude expérimentale a surtout permis une bonne compréhension qualitative du phénomène de poinçonnement par un ensemble de visualisations sur un nombre important de configurations. L'exploitation quantitative du banc a été limitée à la détermination des quelques grandeurs accessibles tels que les débits d'air entrant, les débits de gaz sortant et extrait ainsi que les puissances thermiques correspondantes.

Très vite, il est apparu indispensable de recourir à la simulation numérique directe pour compléter cette partie expérimentale.

II SIMULATION NUMERIQUE

La simulation numérique a été effectuée à l'aide du logiciel 3D SIMEC. Il repose sur une méthode itérative de type volumes finis et est associé à un modèle de turbulence de type k- ϵ ,[5].

On rappelle qu'il permet l'intégration des équations locales de Navier-Stokes et de l'énergie et donc le calcul des champs de vitesse, température, pression, production et dissipation d'énergie turbulente en tout point de l'écoulement. Ce logiciel - déjà validé dans le cas d'écoulements sans extraction [6]- a été modifié pour tenir compte de la présence d'un extracteur mécanique et immédiatement confronté aux quelques résultats expérimentaux quantitatifs disponibles. Ensuite on a procédé à une étude paramétrique systématique. Chaque cas étudié, caractérisé par la puissance thermique, la hauteur du linteau en sortie, la position et le débit de l'extracteur a été analysé de façon à fournir:

- les champs de vitesse et de température
- le débit massique d'air frais entrant, Q_e
- le débit massique de gaz chaud sortant (non extrait), Q_s
- le débit massique extrait total, Q_{ex}
- le débit massique d'air frais directement extrait (poinçonné), Q_p
- l'efficacité de l'extraction, $e = 1 - Q_p / Q_{ex}$
- la puissance thermique extraite, P_{ex}

Les différents cas simulés sont donnés dans le tableau ci-dessous:

CONFIGURATIONS EXPERIMENTALES		
PUISSANCE THERMIQUE	HAUTEUR DU LINTEAU	VITESSE D'EXTRACTION
kw	m	m/s
28	0	0 / 3,3 / 4,7 / 7,4
28	0,16	0 / 3,5 / 4,1 / 5,1 / 7,2 / 7,4
28	0,31	0 / 3,7 / 5,4 / 7,2 / 7,4
28	0,50	0 / 3,9 / 5,4 / 7,1 / 7,4
28	0,66	0 / 3,6 / 5,4 / 7,1 / 7,4
42	0	0 / 3,4 / 5,5 / 7,1 / 7,6
70	0	0 / 4 / 6,3 / 7,3 / 7,4
70	0,15	0 / 4,5 / 5,1 / 6,5 / 7,4
70	0,31	0 / 5,5 / 6,8 / 7,4

II-1 CONFRONTATION AVEC L'EXPERIENCE

Quelques résultats de la simulation numérique ont été comparés aux résultats expérimentaux correspondants de façon à s'assurer de la validité du code de calcul en situation d'extraction. Nous présentons ici les résultats de cette confrontation .

La figure 1 montre deux profils verticaux de température relevés sous l'exutoire (à 5 cm de chaque bord, dans le plan médian, pour le cas 70 kw sans linteau, débit d'extraction 680 kg/h).

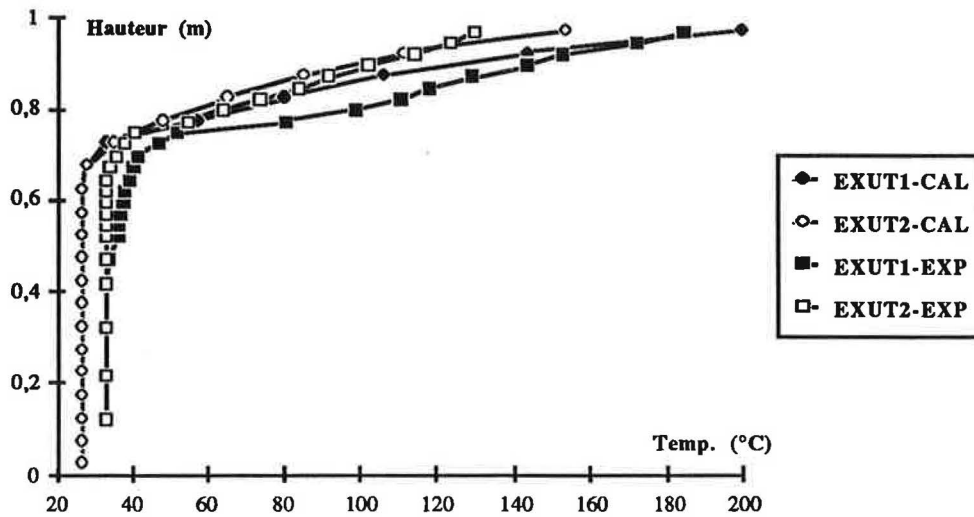


Figure 1 Profils verticaux de température
Comparaison calcul-expérience

La figure 2 montre l'évolution du débit d'air frais entrant en fonction du débit d'extraction pour deux niveaux de puissance, 28 et 70 kw sans linteau.

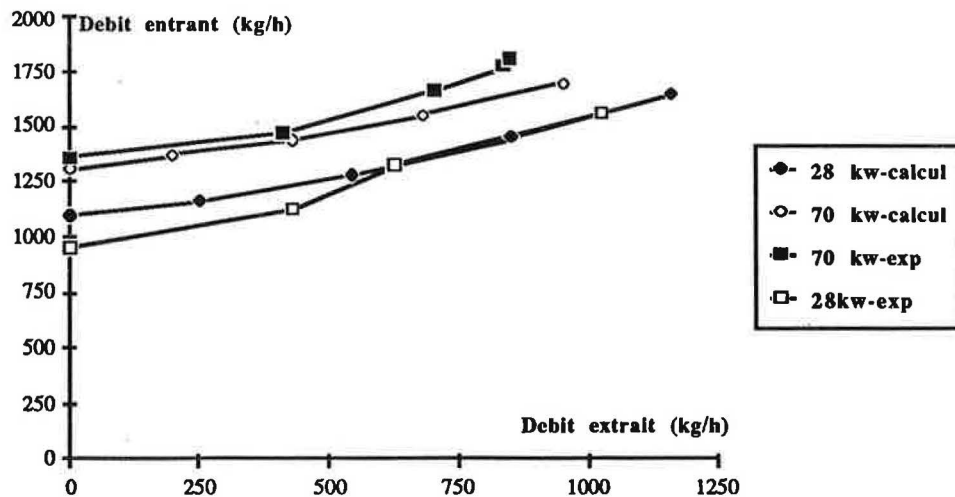


Figure 2 Débit entrant en fonction du débit extrait
Comparaison calcul-expérience

L'ensemble des comparaisons effectuées s'est avéré tout à fait satisfaisant. Ceci nous a permis de continuer l'exploitation numérique dans les meilleures conditions.

II-2 TRAJECTOGRAPHIE

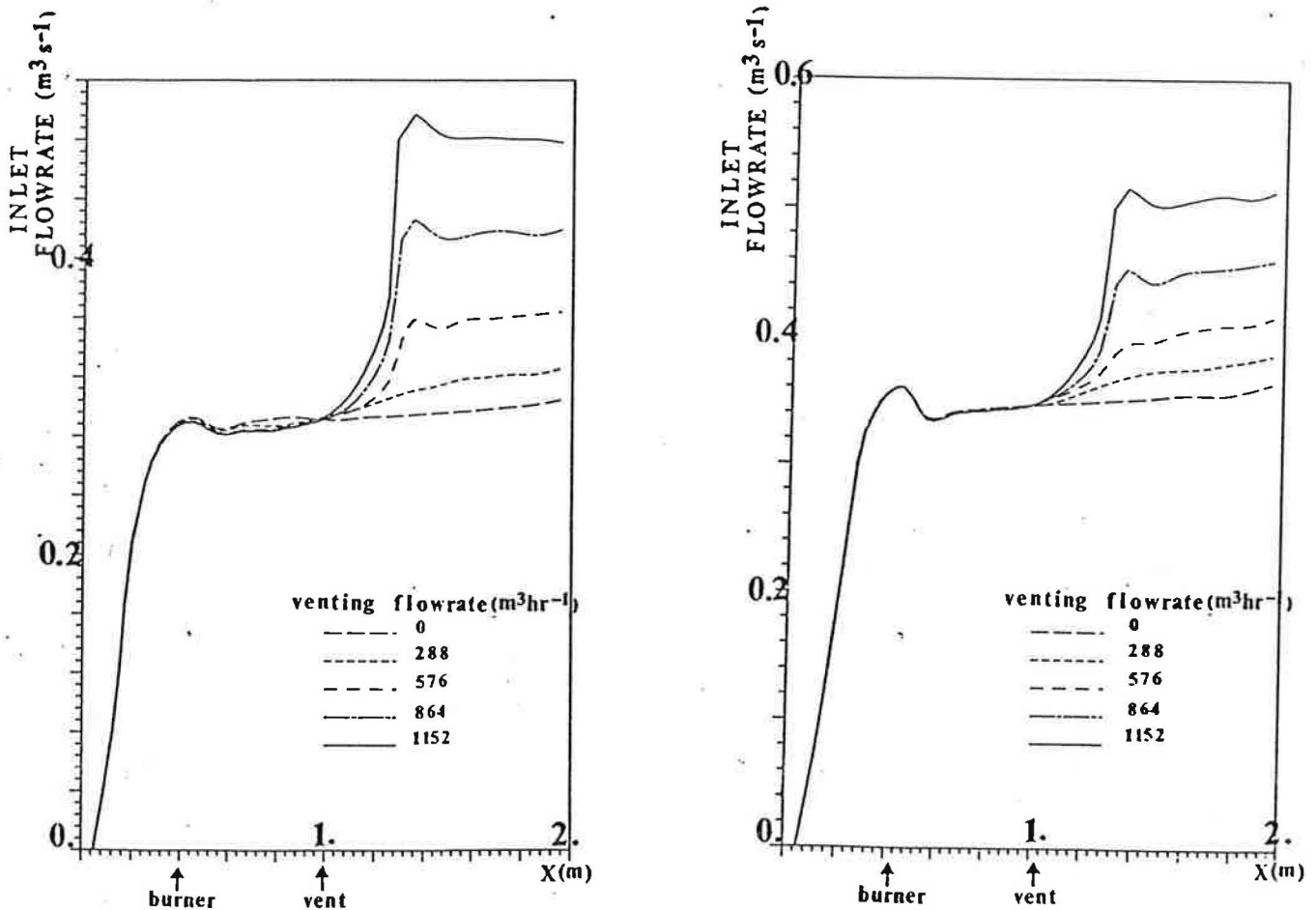
L'ensemble des grandeurs définies plus haut (débits et puissances) est facilement accessible à partir des champs de vitesse et de température, par simple intégration, à l'exception toutefois du débit d'air frais directement extrait (débit poinçonné). Pour déterminer ce dernier, il a été nécessaire de recourir à une méthode de trajectographie dont le principe consiste à lâcher une particule en un point paramétrable du plan d'entrée de la cavité et de suivre la trajectoire de cette particule. On balaie ainsi le plan d'entrée et on obtient finalement un faisceau de trajectoires dont une partie se dirige directement vers l'exutoire. On en déduit alors aisément le débit correspondant.

Cette méthode de trajectographie nous a ainsi permis de déterminer l'efficacité de l'extracteur .

II-3 RESULTATS

II-3-1 Débit entrant

Les figures 3a et 3b montrent l'évolution du débit d'air frais entrant en fonction de la coordonnée longitudinale. On y voit nettement l'influence de l'extraction qui se traduit par une augmentation du débit entrant jusqu'au niveau de l'orifice de l'extraction. Au-delà, le débit d'air frais n'est plus affecté par l'extraction: le débit entraîné par le panache thermique reste constant.



Figures 3 Evolution du débit entrant le long de la cavité
3a - 28 kw 3b - 70 kw

Cette augmentation du débit d'air frais entrant avec l'extraction est portée sur la figure 4 sous une forme réduite (l'ensemble des valeurs est rapporté au débit entrant sans extraction appelé "débit feu").

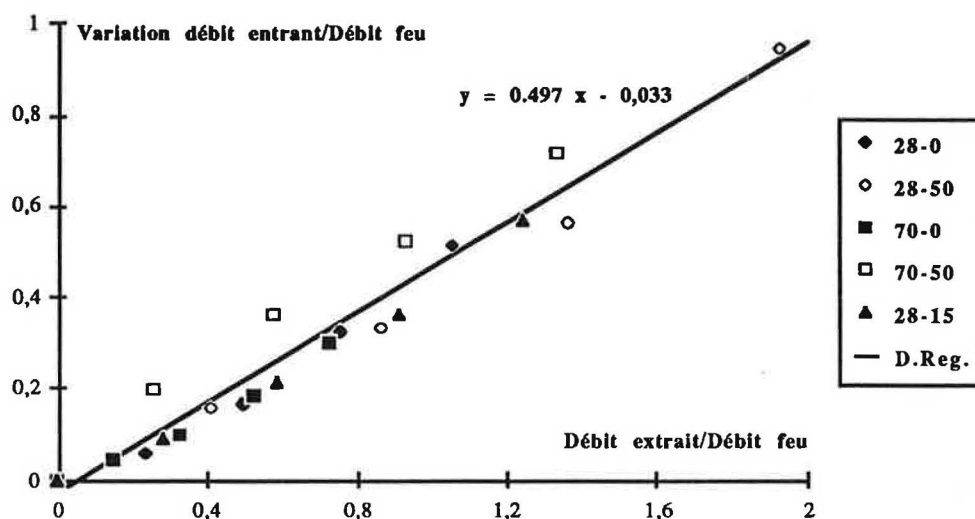


Figure 4 Variation du débit entrant réduit en fonction du débit extrait réduit

On peut noter que l'ensemble des points portés sur cette courbe tant calculés que mesurés se situent sur une droite de pente 1/2 environ.

Ces résultats nous montrent donc que l'extraction n'affecte pas le débit d'air frais entraîné par le panache thermique mais par contre provoque une augmentation du débit entrant et une diminution du débit sortant égaux chacun à la moitié du débit extrait. Une partie du débit entrant supplémentaire est poinçonnée, l'autre est entraînée avec les gaz chauds sortant par l'ouverture (la répartition entre débits poinçonné et entraîné dépend du débit extrait).

II-3-2 Puissance thermique extraite

La figure 5 montre la puissance thermique extraite réduite à la puissance du feu en fonction du débit d'extraction réduit. On remarque que l'ensemble des points tant numériques qu'expérimentaux se regroupent bien autour d'une courbe unique. On notera également que pour extraire la totalité des gaz chauds, il faut imposer un débit d'extraction égal à deux fois le débit du panache thermique (débit d'air frais sans extraction).

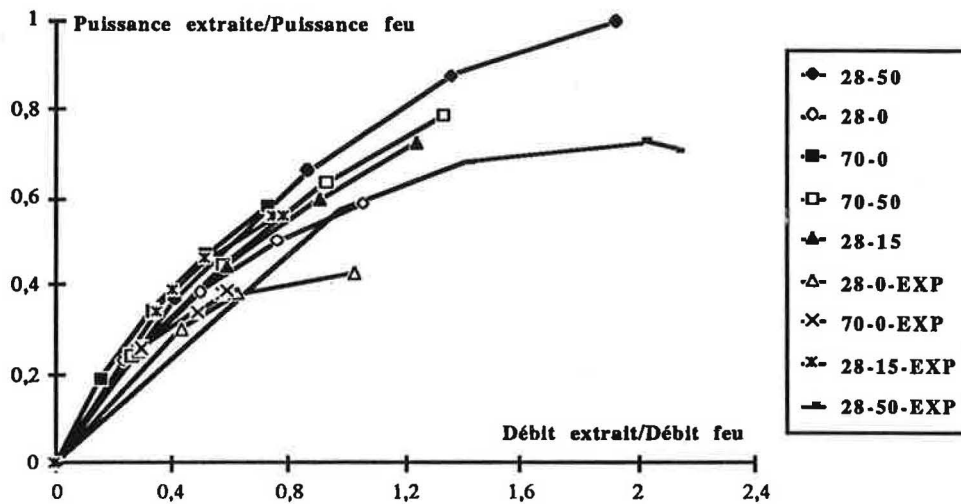


Figure 5 Puissance réduite extraite en fonction du débit extrait réduit

II-3-3 Débit poinçonné

Comme on vient de le voir, toute extraction provoque une augmentation du débit d'air frais entrant. Une partie de ce surplus d'air frais est aspirée avec les fumées à travers l'extracteur, le reste est entraîné vers la sortie de la cavité. La fraction poinçonnée dépend évidemment de la position de l'extracteur et de son débit. Pour un extracteur situé au centre de la cavité, la figure 6 montre l'évolution de ce débit poinçonné en fonction du débit extrait. Une fois le seuil de poinçonnement dépassé, l'évolution se fait de façon linéaire.

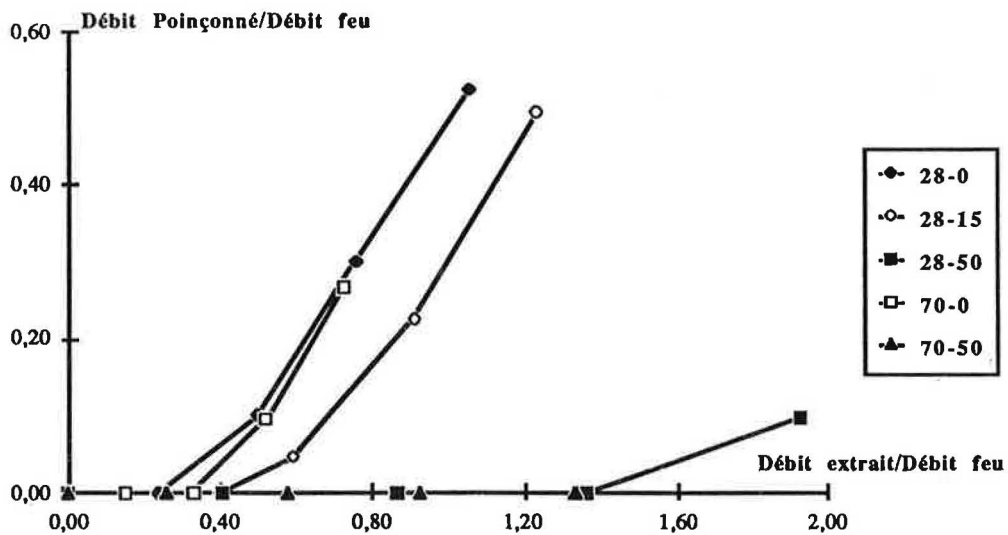


Figure 6 Débit poinçonné réduit fonction du débit extrait

II-3-4 Efficacité

On définit l'efficacité de l'extraction par le rapport entre le débit de fumées extrait et le débit d'extraction total. Là encore cette information n'a pu être obtenue qu'à partir de la simulation numérique et du dépouillement par trajectographie.

Les résultats sont montrés sur la figure 7. Tant que le débit extrait reste en-deçà du seuil de poinçonnement, l'efficacité est de 100%, celle-ci décroît ensuite et tend vers une valeur

limite de 50% pour les cas sans linteau. La présence du linteau affecte beaucoup l'efficacité dans la mesure où la présence du linteau augmente sensiblement l'épaisseur de la couche chaude ce qui repousse donc le seuil de poinçonnement.

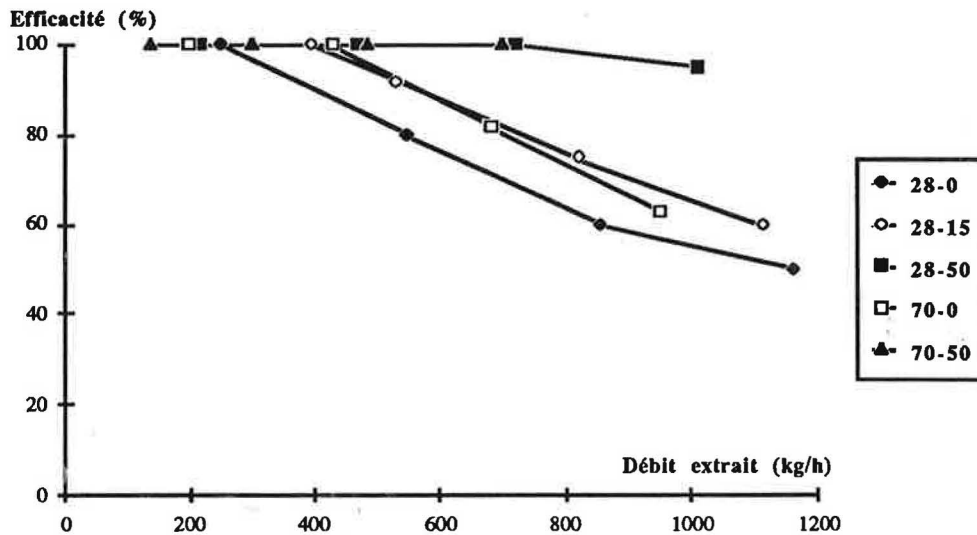


Figure 7 Efficacité de l'extraction en fonction du débit extrait

CONCLUSIONS

Les principales conclusions à tirer de cette étude sur le phénomène de poinçonnement due à une extraction mécanique sont les suivantes:

- l'extraction provoque une augmentation du débit d'air frais entrant égale à la moitié du débit extrait dont une fraction seulement (variable avec le débit d'extraction) est poinçonnée.

- le débit d'air frais entraîné par le panache thermique reste inchangé quel que soit le débit d'extraction.

- le niveau de température a peu d'importance sur l'efficacité de l'extraction

- la hauteur de la zone d'influence de l'extracteur varie proportionnellement à la racine carrée du débit massique d'extraction.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par la Direction de la Sécurité Civile du Ministère de l'Intérieur dans le cadre de l'Action Feu-Incendie-Sécurité.

REFERENCES

1. Zukovski, E.E. and Kubota, T., Two-layer modelling of smoke movement in building fires, Fire and Materials, vol.4, n°17, 1980

2. Klote, J.H. and Cooper, L.Y. Model of a simple fan-resistance ventilation system and its application to fire modelling, report NISTIR-89/4141, Nat. Inst. of Standards and Technology, US Dept. of Commerce, Gaithersburg, 1989.

3. Cooper, L.Y., Calculating flows through vertical vents in zone fire models under conditions of arbitrary cross-vent pressure difference, report NBSIR-88/3732, Nat. Inst. of Standards and Technology, US Dept. of Commerce, Gaithersburg, 1989.

4. Cooper, L.Y., Calculation of the flow through a horizontal ceiling/floor vent, report NIST-89/4052, Nat. Inst. of Standards and Technology, US Dept. of Commerce, Gaithersburg, 1989.

5. Patankar, S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Mac Graw Hill, (1980).

6. Blay, D., Tuhault, J.L., Experimental study of a convective turbulent flow created by a heat source in an open cavity. Proc. of the 9th Int. Heat Transfer Conference, 19-24 Aug.1990, Jerusalem, Israel.

7. Blay, D., Tuhault, J.L., Etude des conditions de désenfumage à travers un exutoire en milieu semi-confiné. Rapport Action Feu-Incendie-Sécurité, Nov.89.

ETUDE DES CONDITIONS DE DEPOLLUTION D'UN LOCAL A L'AIDE D'UN SYSTEME DE VENTILATION MECANIQUE

D. BLAY, J.L. TUHAULT
Laboratoire d'Etudes Thermiques
U.R.A. C.N.R.S. 1403

40, Avenue du Recteur Pineau 86022 POITIERS Cedex

RESUME

Lors de l'extraction à l'aide d'un système de ventilation mécanique de gaz polluants légers et stratifiés en partie haute d'un local, il peut se produire une aspiration parasite d'air frais à travers les couches polluées. Cette aspiration qui peut atteindre jusqu'à 50% du débit total extrait, est due à un phénomène de mécanique des fluides communément appelé "poinçonnement". Cet effet encore mal connu est au centre de cette étude réalisée pour le Ministère de l'Intérieur, dans le cadre de l'Action Feu-Incendie-Sécurité.

On présente ici des résultats obtenus dans le cas particulier où les gaz polluants sont des gaz chauds (fumées) générés par un feu, mais ces résultats peuvent bien sûr être généralisés à toute autre situation de même nature impliquant des polluants de nature variée.

Une double démarche à la fois expérimentale et numérique a été mise en oeuvre pour mettre en évidence ce phénomène, en comprendre son mécanisme et déterminer les paramètres physiques qui le contrôlent.

Dans la première partie de cette étude, expérimentale, on décrit d'abord les résultats d'une série de visualisations effectuées sur différentes configurations puis, à partir de mesures de débits et de températures, on met en évidence certains phénomènes engendrés par l'extraction.

La deuxième partie, plus quantitative, concerne la simulation numérique effectuée à partir d'un logiciel 3D de type volumes finis. Les résultats numériques sont confrontés à quelques résultats expérimentaux puis analysés.

Mots-clés: Aéraulique; ventilation; poinçonnement.

ABSTRACT

When purging smoke from a room where a fire is established, using a mechanical venting device, undesired suction of fresh air may simultaneously occur. This can significantly diminish venting efficiency. The present paper aims to study this problem in order to gain greater insights into the phenomenon and to quantitatively determine the influence of the governing physical parameters.

Both experimental and numerical results are given. The experimental results were obtained on a test facility from flow visualizations and flowrate measurements. Numerical flow simulations were achieved for numerous values of the main parameters namely the heat release rate and the venting flowrate. It is shown that the venting efficiency is a decreasing function of the venting flowrate and can drop to as low as 50%. A simple criterion is then proposed for predicting this undesired effect.

Keywords: aerualics; smoke flow; mechanical venting.