

Influence des conditions d'entrée/sortie pour un jet plan impactant une surface concave en milieu confiné

Thi-Kim-Dung HOANG⁽¹⁾⁽²⁾, Laurent-Emmanuel BRIZZI⁽¹⁾ & Eva DORIGNAC⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques
SP2MI, Téléport 2, Bd Marie et Pierre Curie
BP 30179
86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

⁽²⁾ Laboratoire d'Etudes Thermiques
ENSMA, Téléport 2, 1 Avenue Clément Ader
BP 40109
86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

dung.hoang@lea.univ-poitiers.fr

Résumé :

L'étude de l'influence des conditions d'entrée/sortie pour un jet plan impactant une surface concave au milieu confiné est présentée. L'écoulement est décrit à partir des champs moyens de vitesse et des valeurs turbulentes obtenues par vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) classique (≈ 5000 champs). Les paramètres fixés de cette étude sont le nombre de Reynolds ($Re_b = 3200$), la hauteur d'impact ($H/b = 7$) et la courbure relative ($Dc/b = 5$). Les résultats mettent clairement en évidence l'influence des conditions d'entrée/sortie pour un jet plan impactant une surface concave au milieu confiné. Le changement de condition de sortie (e passant de 0 à 10 mm) modifie fortement la structure du jet et la position moyenne du point d'impact. Du point de vue instationnaire cela se caractérise par un jet qui oscille fortement lorsque la sortie est libre alors que le jet se stabilise en position basse dans le cas d'une sortie obstruée.

Abstract:

The effect of input/output conditions for a single slot impingement jet over a concave surface is presented. So flow visualisations, velocity measurements by classical PIV (≈ 5000 samples) are carried out. The studied parameters are the Reynolds number ($Re_b = 3200$), the impinging height ($H/b = 7$) and the relative curvature of the wall ($Dc/b = 5$). The results underline the effect of input/output conditions for a single slot impingement jet over a concave surface. The changes of the output conditions (e from 0 to 10mm) modify strongly the jet behaviour and the position of stagnation point. At the instant point of view, that characterizes by a flapping jet when the exist is opened, while the jet stabilizes at the low position for the closed exist.

Mots-clefs :

Jet impactant ; PIV ; surface concave

1 Introduction

Depuis de nombreuses années beaucoup d'études ont porté sur l'impact du jet simple ou multiple sur des parois planes en raison de leur fort potentiel concernant les transferts thermiques. Récemment [Choi et al. (2000), Gau et Chung (1991), Lee et al. (1999)] l'intérêt s'est déplacé sur l'impact en présence de parois courbes (convexe/concave). En effet le rôle exact de la courbure sur le transfert de masse et/ou de chaleur reste encore mal connu. Pour aborder cette problématique nous avons entrepris depuis quelques années l'étude aérothermique de l'écoulement généré par l'impact d'un ou plusieurs jets sur une surface concave.

Dans une étude à caractère plus fondamentale, Gilard & Brizzi (2005) ont observé l'existence d'un phénomène de battement du jet pour le cas d'un jet plan confiné frappant une surface d'impact de petite courbure relative. Ce phénomène de battement provoque une modification importante de la structure de l'écoulement qui se traduit par une modification de l'efficacité du refroidissement. Dans l'optique d'utiliser ce type de jet pour l'optimisation du

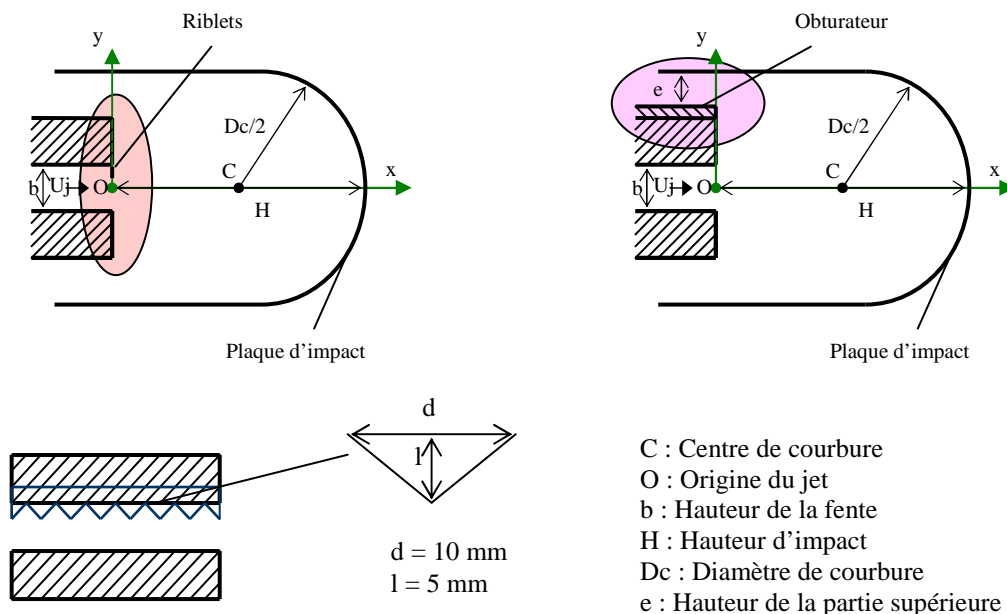
refroidissement d'une paroi concave, nous nous sommes intéressés à l'influence des conditions aux limites pour ce type d'écoulement : l'idée étant de pouvoir « vectoriser » le jet au moyen d'un dispositif simple. Parmi les différentes voies qui ont été explorées (vent ionique, riblets, obturateur, ...) nous allons, dans le cadre de cet article, présenter les résultats concernant l'influence de la modification des conditions d'entrée/sortie sur la dynamique du jet.

L'analyse de l'écoulement est obtenue à partir de champs de vitesse (moyenne et fluctuante) par vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) (≈ 5000 champs). La configuration retenue est présentée sur la FIG. 1.

2 Dispositif expérimental et technique d'essai

2.1 Dispositif expérimental

Le jet plan est réalisé grâce à un canal parallélépipédique rectangle de 955 mm de longueur, 300 mm de largeur et une hauteur de 10 mm constitué de parois transparentes en Altuglas de 10 mm d'épaisseur. En amont du canal se trouvent une grille et un nid d'abeilles afin d'uniformiser l'écoulement. Le jet plan a une hauteur b fixe de 10 mm et une largeur L de 300 mm. Le rapport d'allongement du jet bidimensionnel est donc de $L/b = 30$.



a) Condition d'entrée (zone colorée) et vue de face des riblets

b) Condition de sortie (zone colorée)

FIG. 1 – Détails du dispositif expérimental.

La paroi d'impact est composée de deux parties. Une est de forme demi-cylindrique (450 mm de long et 50 mm de diamètre), géométrie simple pour la modélisation, et correspond à la partie concave de la paroi d'impact, l'autre est droite (450 mm de long et 150 mm de large) et permet d'éviter les perturbations extérieures qui contamineraient le jet (FIG. 1). Enfin, l'ensemble est fermé latéralement par des plaques d'épaisseur de 10 mm. L'élément de la surface d'impact est constitué de paroi transparente en Altuglas de 10 mm d'épaisseur afin de faciliter la réalisation des visualisations et des mesures par vélocimétrie laser.

Pour ce montage, la paroi d'impact est fixée sur un système de déplacement permettant de faire varier la hauteur d'impact H (H étant la distance entre la sortie du canal et le centre de la

paroi d'impact). Ce dispositif d'essais est alimenté grâce à un ventilateur FA 802 (2 m³/min sous 1000 mm CE, 3.9 kW, 2910 tr/min). Le débit Q_j est régulé à l'aide de vannes manuelles et mesuré grâce à un ensemble de trois débitmètres à flotteur Fischer & Porter de caractéristiques différentes. Ces trois débitmètres permettent une mesure entre 0.58 m³/h et 133.3 m³/h. Enfin un régulateur thermique placé entre les débitmètres et le canal permet de contrôler la température de l'écoulement. Tous les éléments de ce système d'alimentation (ventilateur, vannes, débitmètres et régulateur thermique) sont reliés à l'aide de tuyaux souples (80 mm de diamètre). Le système d'alimentation est relié au canal grâce à un convergent métallique rond/rectangle.

En résumé, pour cette étude sont fixés le nombre de Reynolds, $Re_b = U_j \cdot b / \nu = 3200$, la hauteur d'impact $H/b = 7$, la courbure relative $Dc/b = 5$. Les paramètres d'influence sont les conditions d'entrée/sortie. En conditions d'entrée, nous utiliserons des riblets qui sont collés sur la partie supérieure d'injection (FIG. 1b). En conditions de sortie, nous obstruerons la partie supérieure, cette obstruction sera variable, $e = 0$ à 10 mm ($e = 0$ correspond à une obstruction totale de la partie supérieure, $e = 10$ mm à une ouverture maximale, FIG. 1a).

2.2 Mesures de vitesse par PIV

Pour la création du plan lumineux nécessaire à l'éclairage de l'écoulement, nous avons utilisé un LASER Nd-Yag double cavité QUANTEL (2*120 mJ maxi). La cadence maximum de chaque cavité est de 10 Hz. Le faisceau LASER d'une longueur d'onde de 532 nm entre dans la veine d'essais à travers la paroi d'impact via un système de lentille afin d'obtenir un plan lumineux relativement fin (environ 1.5 mm). L'écoulement estensemencé en utilisant un générateur de gouttelettes d'huile d'olive (diamètre moyen $\approx 1\mu\text{m}$).

Les images sont prises à partir d'une caméra CCD de Flowmaster 12 bits, 1376x1040 pixel² travaillant à une fréquence d'environ 4-5 Hz. Les images sont analysées en vue d'obtenir le déplacement des traceurs. Pour ce traitement, nous utilisons une inter-corrélation avec multi-passes (4 passes, la dernière étant doublée), partant d'une taille de fenêtre de 128x128 et aboutissant à une taille de fenêtre finale de 32x32 avec un taux de recouvrement de 50% x 50%.

Au préalable, et afin de minimiser l'influence de reflets ou autres artefacts, une « image de fond » est soustraite à chaque image avant le calcul des vecteurs. Cette « image de fond » est obtenue avant (ou après) l'enregistrement de la séquence dans les mêmes conditions expérimentales que pour les mesures mais en absence d'ensemencement.

Afin d'effectuer un traitement statistique des mesures nous avons, pour chaque configuration, fait l'acquisition de 5000 champs de vitesse instantanée répartis en séries de 200 champs afin d'obtenir une décorrélation des données. A partir des champs instantanés, une validation et un processus statistique sont utilisés pour obtenir les grandeurs moyennes (U, V) et les valeurs de tension de Reynolds ($\langle uu \rangle, \langle vv \rangle, \langle uv \rangle$). Pour les zones où il existe moins de 1000 vecteurs validés par le programme aucun résultat n'est présenté.

3 Résultats

La FIG. 2a présente le champ moyen de vecteur vitesse obtenu par PIV pour les paramètres $Re_b = 3200$; $H/b = 7$ et $Dc/b = 5$ (cas de référence). On observe que le jet, provenant de la gauche, vient frapper la paroi courbe en son centre ($x/b = 7$; $y/b = 0$) puis se sépare en deux. Chaque partie suit ensuite la partie courbe, une partie vers le haut et l'autre vers le bas. L'écoulement est symétrique par rapport à l'axe longitudinal \bar{x} . Des zones de faible vitesse, situées de chaque côté du jet, sont observées et correspondent au fluide ambiant.

L'influence des conditions d'entrée/sortie est étudiée par comparaison au cas de référence ($Re_b = 3200$; $H/b = 7$; $Dc/b = 5$).

3.1 Condition d'entrée

En collant des riblets sur la partie supérieure de l'injection, la structure de l'écoulement est fortement modifiée (FIG. 2). Pour le cas avec riblets, nous notons que le jet frappe la partie inférieure de la paroi incurvée ($x/b = 3$ et $y/b = -2.5$) puis se sépare alors en deux (FIG. 2b). Une partie significative du jet longe la paroi courbe vers le haut et une partie plus petite sort directement sur la gauche. Dans ce cas, l'écoulement n'est plus symétrique par rapport à l'axe horizontal.

La FIG. 2 présente les valeurs du taux de fluctuations longitudinales (RMSu) pour le cas avec/sans riblets. Ainsi, on observe, pour le cas avec riblets, des modifications importantes des positions et des niveaux du RMSu par rapport au cas référence. En effet, pour le cas sans riblets, deux zones de forte intensité ($\text{RMSu} \approx 0.63U_j$) sont localisées symétriquement par rapport à l'axe \bar{x} , à ($x/b = 4.5$; $y/b = \pm 2.5$) (FIG. 2a), tandis qu'une seule zone de fortes fluctuations longitudinales ($\text{RMSu} \approx 0.9U_j$) située à ($x/b = 3.8$; $y/b = -2.5$) est observée (FIG. 2b) pour le cas avec riblets. Cette différence s'explique par le fait que les riblets créent des structures longitudinales dont les fluctuations augmentent l'intensité de turbulence de l'écoulement du jet. On voit donc que la vectorisation du jet (avec une augmentation des transferts) est possible par ce dispositif. Cependant la mise en œuvre et la modification en temps réel du dispositif (changer géométrie des riblets et/ou modifier leur position) semblent relativement complexes.

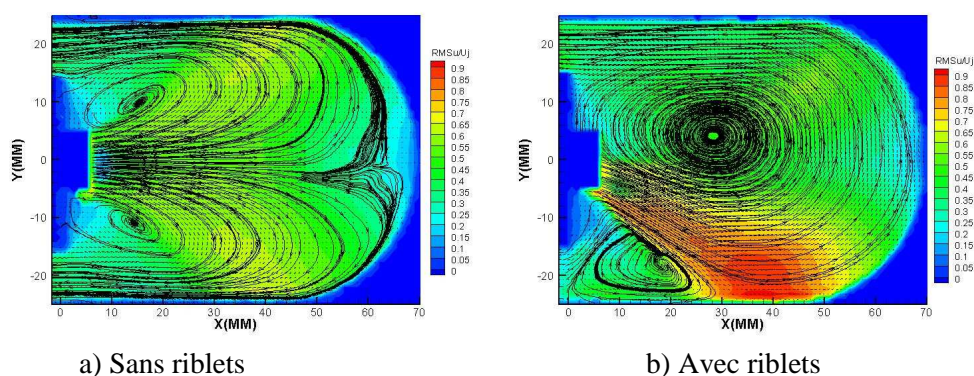


FIG. 2 – Champ moyen et RMSu de différente condition d'entrée.

3.2 Condition de sortie

En revanche, la condition de sortie est très plus facile à réaliser et à gérer. Ainsi, pour avoir différentes conditions de sortie, nous utilisons un obturateur d'épaisseur différente placé dans la partie externe supérieure de la paroi. Un sensible changement de condition de sortie peut modifier fortement la structure du jet et la position du point d'impact (FIG.3). Du point de vue instationnaire, cela se caractérise par un jet qui est bloqué en position basse lorsque la sortie est presque obstruée (e de 0 à 4mm) alors que le jet oscille dans le cas d'une sortie presque libre (e de 6 à 10mm). Pour le cas où e est de 6 à 10 mm, l'écoulement oscille autour de trois positions semi-stables différentes qui modifient de manière significative (en niveau et en position) les valeurs turbulentes (Gilard & Brizzi (2005)).

Quand la partie supérieure est obstruée ($e = 0$ mm, FIG. 3a), l'écoulement de cette partie revient vers la droite longeant la paroi du canal puis est entraîné par le jet. Choi et al. (2000), Gau & Chung (1991) et Lee et al. (1999) ont également observé ce phénomène (du fluide provenant du jet de paroi entraîné dans le jet principal) et indiquent que cet "écoulement retour" perturbe la formation des structures dans la couche de cisaillement. Ainsi, la probabilité d'obtenir des tourbillons stables dans le jet principal s'en trouve réduite. Cela crée une zone de

recirculation (ou troisième tourbillon) correspondant à la partie obstruée et le jet est bloqué en position la plus basse ($x/b = 16.1$ et $y/b = -24.5$). Plus e augmente, plus la partie de “écoulement retour” est réduite et la position du point de stagnation tend vers la position symétrique ($x/b = 7$ et $y/b = 0$) du cas $e = 10$ mm (FIG. 3a, b, c, d, e, f).

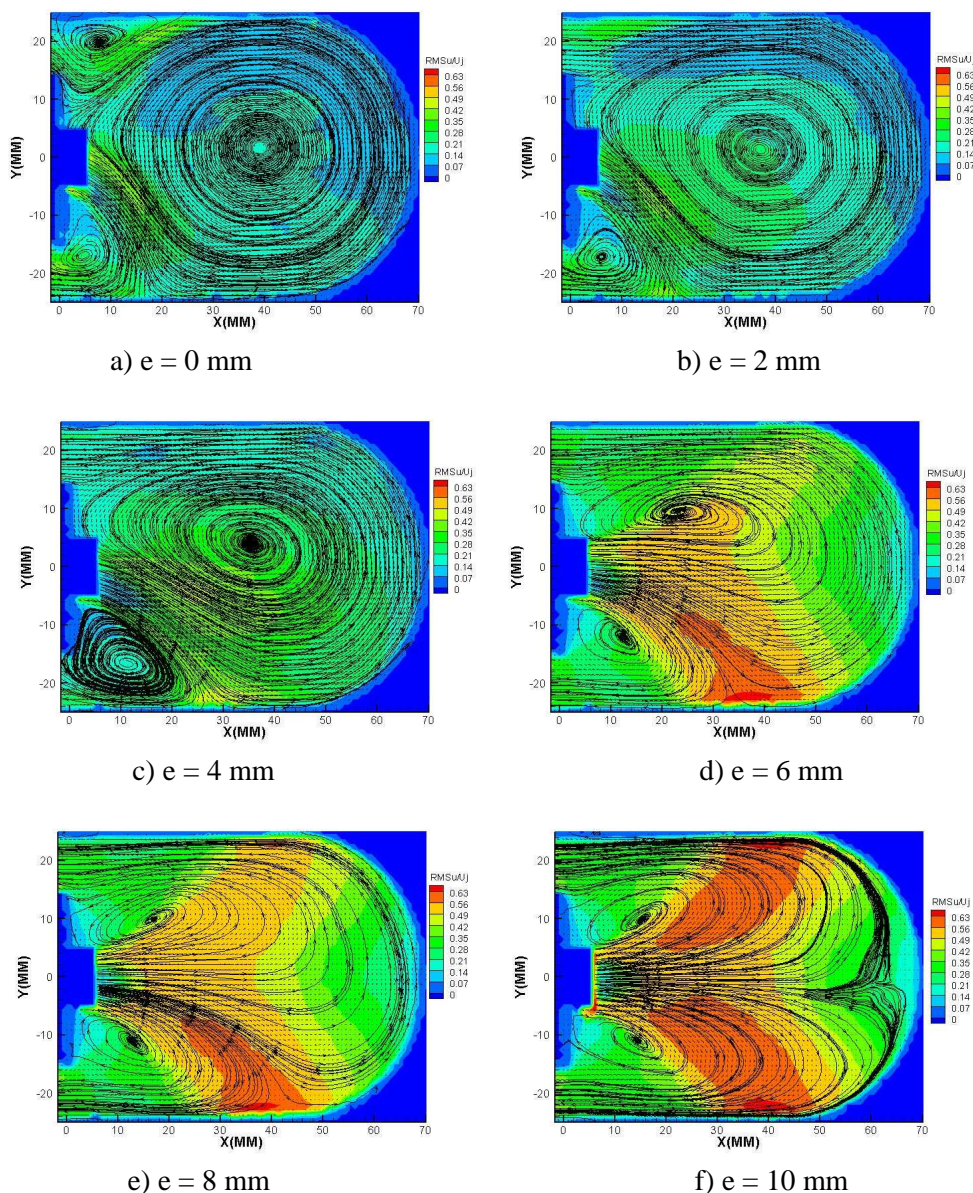


FIG. 3 – Champ moyen et RMSu de différentes conditions de sortie.

De plus, une seule zone de fortes fluctuations longitudinales autour du point d’impact est observée pour e inférieur à 8 mm. La valeur maximum de RMSu est $0.37 U_j$ (pour e de 0 à 4) et $0.63 U_j$ (pour e de 6 à 10). Ces différences s’expliquent par le fait que pour e inférieur à 4 mm le jet est stabilisé en position basse alors qu’il oscille autour de trois points semi-stables dans le cas où $e > 6$ mm. Cela nous explique pourquoi le débit en haut et en bas sont très différents entre la configuration $e = 4$ mm et $e = 6$ mm (FIG. 4). Le bilan du débit sortant du canal est réalisé aux plans ($x/b=0$; $y/b \in [-2.5 ; -1.5] \cup [1.5 ; 2.5]$). Le débit en haut augmente pour e de 0 à 4 mm et diminue progressivement pour e de 6 mm à 10 mm. On remarque que pour $e=0$, nous avons

quand même une certaine valeur de débit car la section de calcul ne correspond pas à la section obstruée (présence d'une zone de recirculation). Pour $e=10$ mm, nous n'obtenons pas une valeur symétrique du débit haut/bas en raison des incertitudes de mesures (3%).

Afin de faciliter la comparaison entre les différentes configurations d'étude, la position du point d'impact est définie comme un angle entre le point d'impact et l'axe longitudinal \bar{x} et l'origine est le centre de la courbure (FIG.1). La FIG. 5 nous présente l'influence de la condition de sortie au point de stagnation. Plus la partie supérieure est ouverte, plus la position du point d'impact tend vers un angle nul et nous retrouvons un écoulement symétrique par rapport à l'axe horizontal. Et plus la partie supérieure est obstruée, plus l'écoulement est dissymétrique et la position du point d'impact s'éloigne de la position $x/b = 7$ et $y/b = 0$. Alors, nous pouvons conclure que, la condition de sortie est très efficace pour modifier la dynamique du jet et a l'avantage d'être très simple à réaliser. De plus, la courbe de tendance (FIG 5) nous permet de prévoir la position du point d'impact d'une condition de sortie souhaitée.

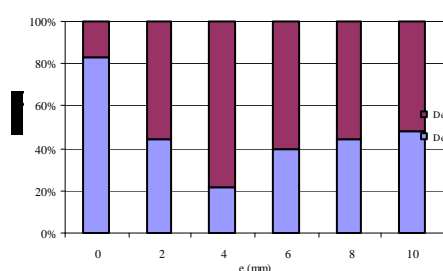


FIG. 4 – Bilan de débit sortie

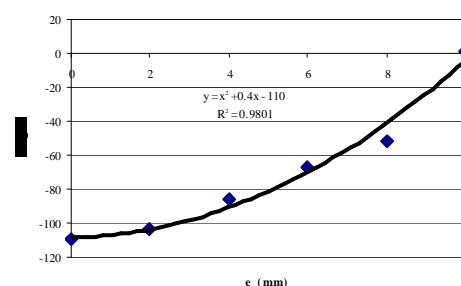


FIG. 5 – Influence de la condition de sortie au point d'impact

4 Conclusions

Les conditions d'entrée/sortie ont une forte influence sur la dynamique du jet. Elles peuvent perturber l'écoulement et modifier fortement la position du point de stagnation. A partir du suivi du contrôle de ces deux conditions, nous trouvons que la condition de sortie est plus intéressante à considérer du fait de sa facilité de mise en œuvre et du fait qu'elle nous permet de prévoir la position du point d'impact.

Pour les petites hauteurs de la partie supérieure, le jet se stabilise en position basse et l'écoulement n'est plus symétrique. Particulièrement pour le cas obstrué ($e = 0$), nous observons une zone de recirculation supplémentaire correspondant à la partie obstruée. Plus e augmente (e de 6 à 10 mm), plus le jet oscille autour de trois positions semi-stables et l'écoulement devient symétrique.

Références

- Choi, M., Yoo, H.S., Yang, G., Lee, J.S. & Sohn, D.K. 2000 Measurement of impinging jet flow and heat transfer on a semi-circular concave surface. *Journal of Heat and Mass Transfer* **43** n°10, 1811-1822
- Gau, C. & Chung, C.M. 1991 Surface curvature effect on slot-air-jet impingement cooling flow and heat transfer process. *Journal of Heat Transfer Transactions of ASME* **113**, 858-864
- Lee, D.H., Chung, Y.S. & Won, S.Y. 1999 The effect of concave surface curvature on heat transfer from a fully developed round impinging jet. *Journal of Heat and Mass Transfer* **42**, 2489-2497
- Gilard, V. & Brizzi, L.E. 2005 Slot jet impinging on a concave curved wall. *Journal of Fluids Engineering* **127**, 595-603