

Effet de l'espacement entre les diffuseurs d'air sur l'amélioration du mélange dans un système multi-jets

Walid Medaouar^a, Mohamed Braikia^a, Larbi Loukarfi^a, Ali Khelil^a, and Hassane Naji²

a. Université de Hassiba Ben Bouali Chlef (LCEMSM UHBCHLEF) - Algérie-
walidmedaouar@gmail.com

b. Civil Engineering Geo-Environment Laboratory (LGCgE- EA 4515), Artois University, France –
Universite' d'Artois – France- hassane.naji@univ-artois.fr

Résumé :

Une étude expérimentale et numérique du champ dynamique d'une configuration de jet d'air multiple lobé appliqué au confort dans les locaux à usage d'habitation est présentée dans ce travail. L'objectif visé est l'amélioration de l'efficacité de la diffusion d'air et l'homogénéisation dynamique et thermique dans la zone d'occupation par un moyen passif à moindre coût. Trois configurations du jet multiple lobé ayant le même nombre de jets et le même flux de quantité de mouvement sont étudiées pour examiner l'effet de l'espacement entre le diffuseur central et les diffuseurs périphériques sur l'amélioration de l'homogénéisation thermique et dynamique de l'ambiance traitée. Les configurations étudiées sont des configurations à 5 jets lobés dont l'espacement entre le jet central et les jets périphériques varie de 100mm à 160 mm. Après conception et réalisation du banc d'essai, nous avons mené une série de mesures expérimentales pour étudier l'effet du paramètre espacement entre le jet central et les jets périphériques sur l'augmentation du mélange du jet d'air injecté avec l'air ambiant. La vitesse est utilisée pour quantifier ce mélange, sa distribution dans la direction axiale et radiale indiquera sa qualité. Numériquement, le modèle de premier ordre SST K- ω a été utilisé. Le modèle SST K- ω a pu prédire proprement la décroissance axiale de la vitesse normalisée ainsi que sa distribution radiale pour le cas d'un jet multiple lobé sur tout le domaine étudié. Les résultats expérimentaux et numériques ont montré l'influence qu'engendre La modification de l'espacement entre les jets latéraux et le jet central sur la diffusion de l'air et sur l'homogénéisation de l'ambiance traitée. Il s'est avéré que lorsque l'espacement est de 100 mm (soit 2.5 Diamètre équivalent de la buse lobée), la vitesse diminue plus rapidement dans la direction axiale que dans les deux autres cas étudiés et la fusion entre les jets est plus précoce, ce qui conduit dans ce cas, à une augmentation plus importante de la diffusion latérale et donc à une meilleure homogénéisation et stabilité dynamique.

Abstract:

In this study, an experimental and numerical study of the dynamic field of a multiple lobed air jets configuration applied for comfort in residential premises is presented. The objective is to improve the efficiency of air diffusion and thermal homogenization in the occupation zone by passive means at a

lower cost. Three configurations of multiple lobed jets having the same number of jets and the same momentum flux are studied to examine the effect of the spacing between the central jet and the peripheral jets on improving thermal homogenization of the treated atmosphere. The spacing between the central jet and the peripheral jets ranges from 100 mm to 160 mm. After the design and construction of the experimental installation, we conducted a series of experimental measurements to study the effect of the spacing parameter between the central jet and the peripheral jets on mixing augmentation of the injected air jet with the ambient air. The velocity is to quantify dynamic homogenization, its distribution in the axial and radial direction will indicate the quality of the mixture. Numerically, the first-order numerical model SST $K-\omega$ was used. The SST $K-\omega$ model was able to predict properly the axial decrease of the reduced velocity as well as its distribution in the radial direction in the case of a multiple lobed jet over the whole studied domain. Experimental and numerical results have shown that the modification of the spacing between the lateral jets with respect to the central jet causes an influence on the diffusion and the dynamic homogenization. It appears that when the spacing is 100 mm (or 2.5 equivalent diameter of the lobed nozzle), the velocity decreases more rapidly in the axial direction and the fusion between the jets is earlier which increases the lateral diffusion and therefore a better homogenization.

Mots clefs : jet multiple, jet lobé, ventilation, expérimentation, turbulence, simulation numérique

1 Introduction

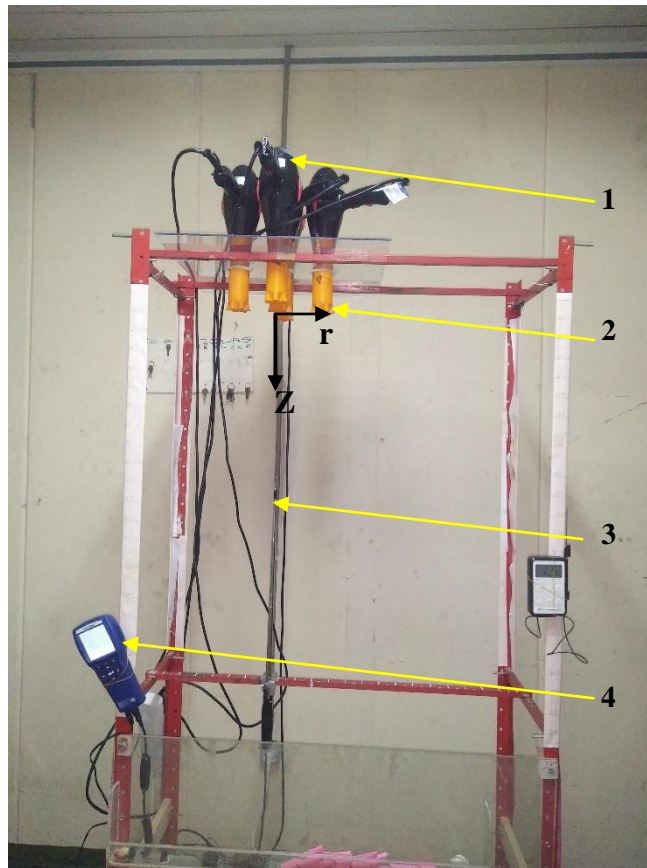
Les jets multiples sont largement rencontrés dans les installations d'ingénierie. La configuration d'un jet multiple comprend deux ou plusieurs jets issus du même plan de sortie, séparés par une distance finie. L'une des principales applications des jets multiples est d'augmenter le mélange des écoulements. Un jet d'air lobé consiste à souffler de l'air à travers une buse asymétrique dite lobée. Une buse lobée a une section circulaire à l'entrée et une forme enroulée à la sortie. Les jets multiples sont souvent utilisés pour améliorer le transfert de chaleur dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de refroidissement des locaux Braikia[1], Khelil [2], Medaouar[3]. Nastas et al [4] ont démontré que le jet issu d'une grille rectangulaire de diffusion d'air avec des ailettes lobées assure un meilleur mélange dans une chambre qu'une grille avec des ailettes droite. Numériquement, Depuru Mohan et al [5] ont comparé numériquement la performance du mélange d'un jet unique lobé à deux autres configurations de jets multiples : circulaire et lobés pour le même flux de quantité de mouvement à l'entrée de la buse en utilisant le modèle de turbulence utilisé était le Standard $k-\epsilon$. Ils ont conclu qu'il est plus efficace d'avoir de multiples jets de petite section au lieu d'un seul de grande section jet pour le même flux de quantité de mouvement à l'entrée de la buse.

Dans ce travail nous avons étudié expérimentalement et numériquement l'effet de l'espacement entre les jets latéraux et le jet centrale pour une configurations de jet multiple à 5 jets lobés.

2 Installation expérimentale

Les expériences ont été réalisées dans un local de dimensions 3.5m de longueur, 3.8m de largeur et 2.9m de hauteur. Ces dimensions permettent de réaliser au mieux des essais dans des conditions de jets verticaux libres à forces de poussées défavorables. Le dispositif expérimental réalisé est composé d'un châssis en métal de dimensions 90cm de longueur, 40cm de largeur et 200cm de hauteur sur lequel est

fixé le dispositif de soufflage, ce dernier comprend sept appareils avec des diffuseurs lobés soufflant de l'air chaud sont placés et dirigés vers le bas (figure 1). Les vitesses (U_i) du jet sont mesurées par un thermo-anémomètre multifonctionnel (type Velocicalc Plus). Les données peuvent être visualisées sur un écran, imprimées, ou téléchargées sur un tableur, ce qui nous permet de transférer facilement ces données à un ordinateur pour un traitement statistique. La sonde est supportée par une tige guidée verticalement et horizontalement pour balayer le maximum d'espace.



1- Sèche-cheveux 2- Buses lobées 3-Sonde du thermoanémomètre 4- Thermo anémomètre

Figure 1: Schéma descriptif de l'installation expérimentale

3 Dispositif de soufflage

La figure 2 montre la géométrie des diffuseurs lobés utilisés ainsi que la configuration du jet multiple étudié. La buse consiste en un tube circulaire de diamètre $D=40$ mm avec une sortie lobée en forme de marguerites à 6 lobes inclinés avec des angles de pénétration externe et interne θ_{out} et θ_{in} de 14° et 22° respectivement. La longueur des lobes H est de 15 mm tandis que la largeur W est de 6 mm.

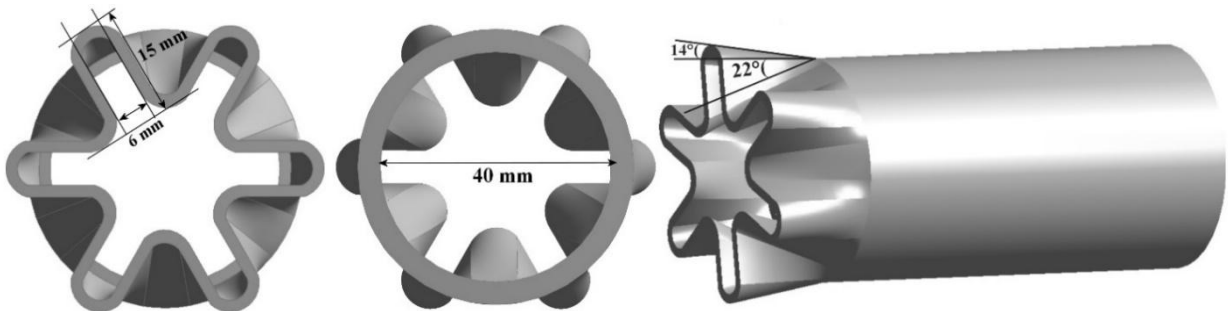


Figure 2 : schématique de la buse lobée

4 Configurations étudiées

Trois configurations de jet multiples lobés ont été testées expérimentalement (figure 3). Chaque configuration comprend 5 jets lobés, dont un jet central entouré par 4 jets périphériques. Les valeurs de l'espacement S entre les jets latéraux et le jet central pour les configurations 1, 2 et 3 sont 100mm, 113mm et 116mm respectivement ce qui donne des taux d'espacement S/D de 2.5, 3 et 4 ; où D est le diamètre d'une buse lobée. La vitesse de référence U_0 mesurée à la sortie des jets vaut 9.20 m/s. Le nombre de Reynolds du jet (Re) en fonction du diamètre des buses D et de la vitesse moyenne à l'entrée des buses U_{in} est de $1.8 \cdot 10^4$.

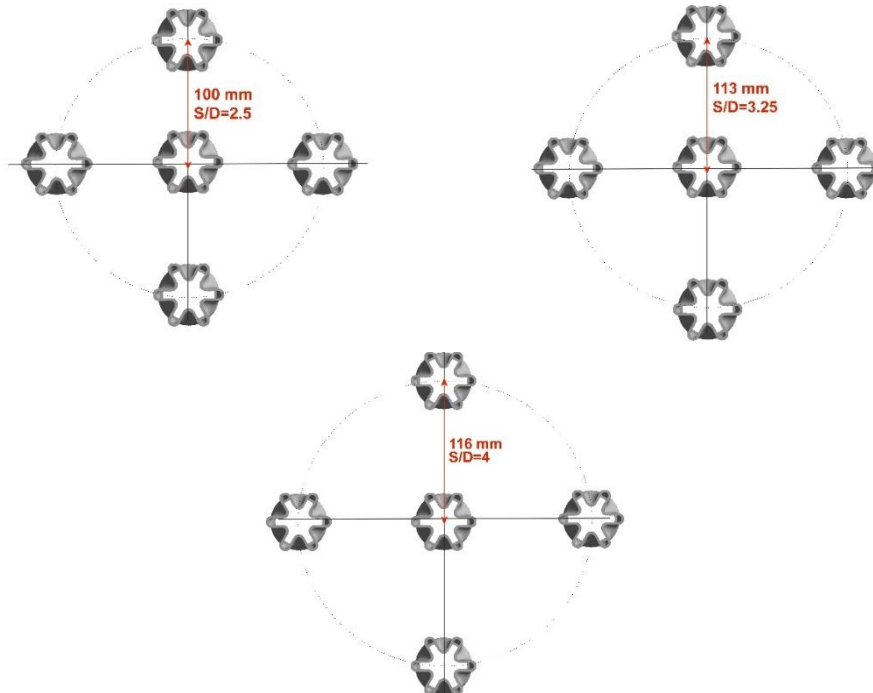


Figure 3 : Configurations testées (5 jets)

5 Simulation numérique

Les équations gouvernantes de la conservation de la masse, du moment et de l'énergie pour un écoulement turbulent stationnaire incompressible et tridimensionnel sont écrites respectivement en notations tensorielle dans les coordonnées cartésiennes comme suit :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (U_i) &= 0 \\ \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (U_i U_j) &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right] \\ \rho C_p U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho C_p \overline{u_i T} \right] \end{aligned}$$

Où U , P et T dénote les quantité moyennes de la vitesse, la pression et la température respectivement. μ Est la viscosité dynamique, C_p est la capacité thermique, et λ est la conductivité thermique. Les contraintes moyennes de Reynolds et les flux de chaleur turbulents $\rho \overline{u_i u_j}$ et $\rho C_p \overline{u_i T}$ résultants de l'opération de moyennage doivent être modélisés à l'aide du modèle de turbulence pour fermer les équations.

Numériquement, Le modèle choisi dans cette étude est le modèle de premier ordre SST K- ω . L'analyse numérique est performée en utilisant un solveur ANSYS FLUENT 18.1 basé sur la méthode des volumes finis. Un solveur implicite Pressure-based est adopté. L'algorithme SIMPLE est utilisé pour le couplage pression-vitesse. La solution est considérée convergée lorsque tous les résidus sont en dessous de 10^{-5} .

Une étude d'indépendance du maillage a été faite pour toutes les configurations en variant le nombre de cellules (Tableau 1). Le modèle de turbulence SST K- ω a été testé avec différentes tailles de maillage en vue d'étudier leurs effets sur la solution.

	Grid1	Grid2	Grid3	Grid4	Grid5
Configuration1	691 911	2,522,342	2,576,125	4,115,139	
Configuration2	946 477	1,999,254	2,896,374	4,974,123	5,904,336
Configuration3	955 639	2,201,658	3,541,863	4,958,369	5,208,124

Tableau 1: Différents maillages utilisés

6 Résultats expérimentaux

6.1 La direction axiale

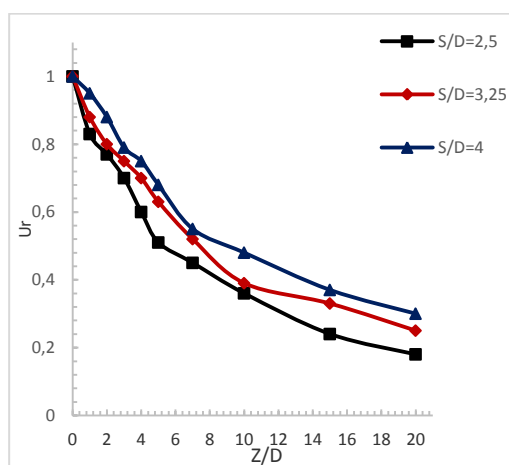


Figure 4 : Mesures de la vitesse (direction axiale)

Dans la figure 4 on représente les résultats expérimentaux de la vitesse axiale pour les trois configurations étudiées. On constate que la décroissance de la vitesse axiale est plus rapide pour la configuration ayant un taux d'espacement $S/D=2,5$ suivie par la configuration ayant le taux d'espacement $S/D=3$ et enfin la configuration ayant le taux d'espacement $S/D=4$. La vitesse est donc inversement proportionnelle à l'espacement entre le jet central et les jets latéraux. Dans notre cas la première configuration avec le plus petit espacement donne des meilleurs résultats en termes d'efficacité de mélange.

6.2 La direction radiale

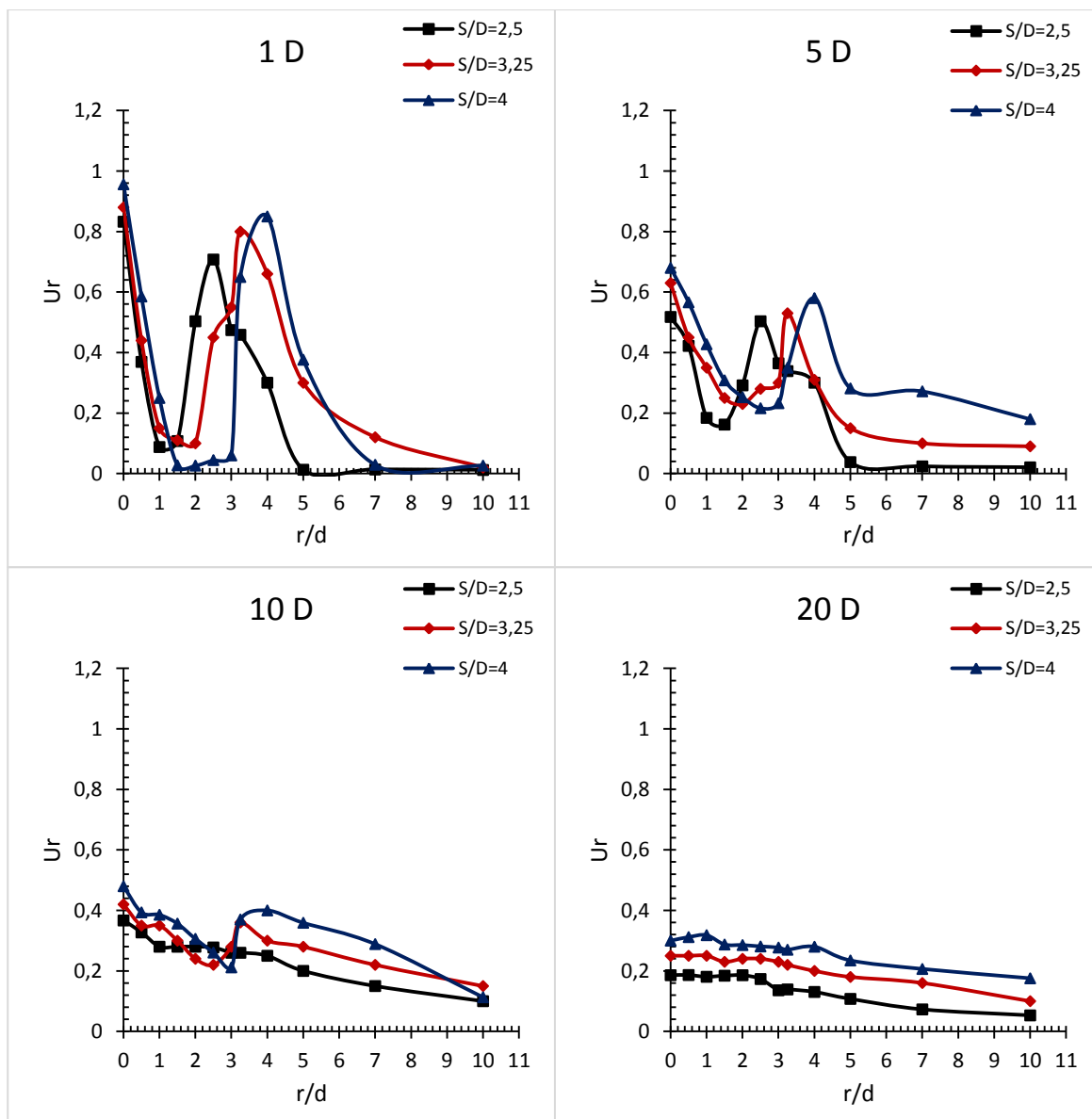


Figure 5 : Mesures de la vitesse (direction radiale)

La figure 5 représente les résultats expérimentaux de la vitesse dans la direction radiale de l'écoulement pour les trois configurations testées sur différentes stations axiales ($Z/D= 1,5,10,20$). Il est clair que la modification de l'espace entre les jets périphériques et le jet central influe sur la distribution de la vitesse. Sur les 5 premières stations, dans la direction axiale de l'écoulement, la distribution radiale de la vitesse est presque similaire pour les trois configurations. A partir de la station $Z/D=5$, les irrégularités dans les courbes représentant la configuration avec le taux d'espace $S/D=2,5$ disparaissent plus rapidement que les autres configurations. Ces résultats peuvent être justifiés par un début plus précoce de l'interaction entre les jets latéraux et le jet central pour la configuration 1 et par conséquent les jets se fusionnent dans un délai plus court à cause de l'espace plus réduit. Ceci est plus évident à partir de la station axiale $Z/D=10$, les courbes de la configuration 1 tendent à s'aplatir plus vite que pour les autres cas de figure ce qui signifie une meilleure homogénéisation de l'ambiance traitée. En s'éloignant des orifices de soufflage avant

d'atteindre 20 diamètres d'un jet, dans la direction axiale de l'écoulement, les courbes de la vitesse sont stabilisées pour toutes les configurations.

7 Résultats numériques

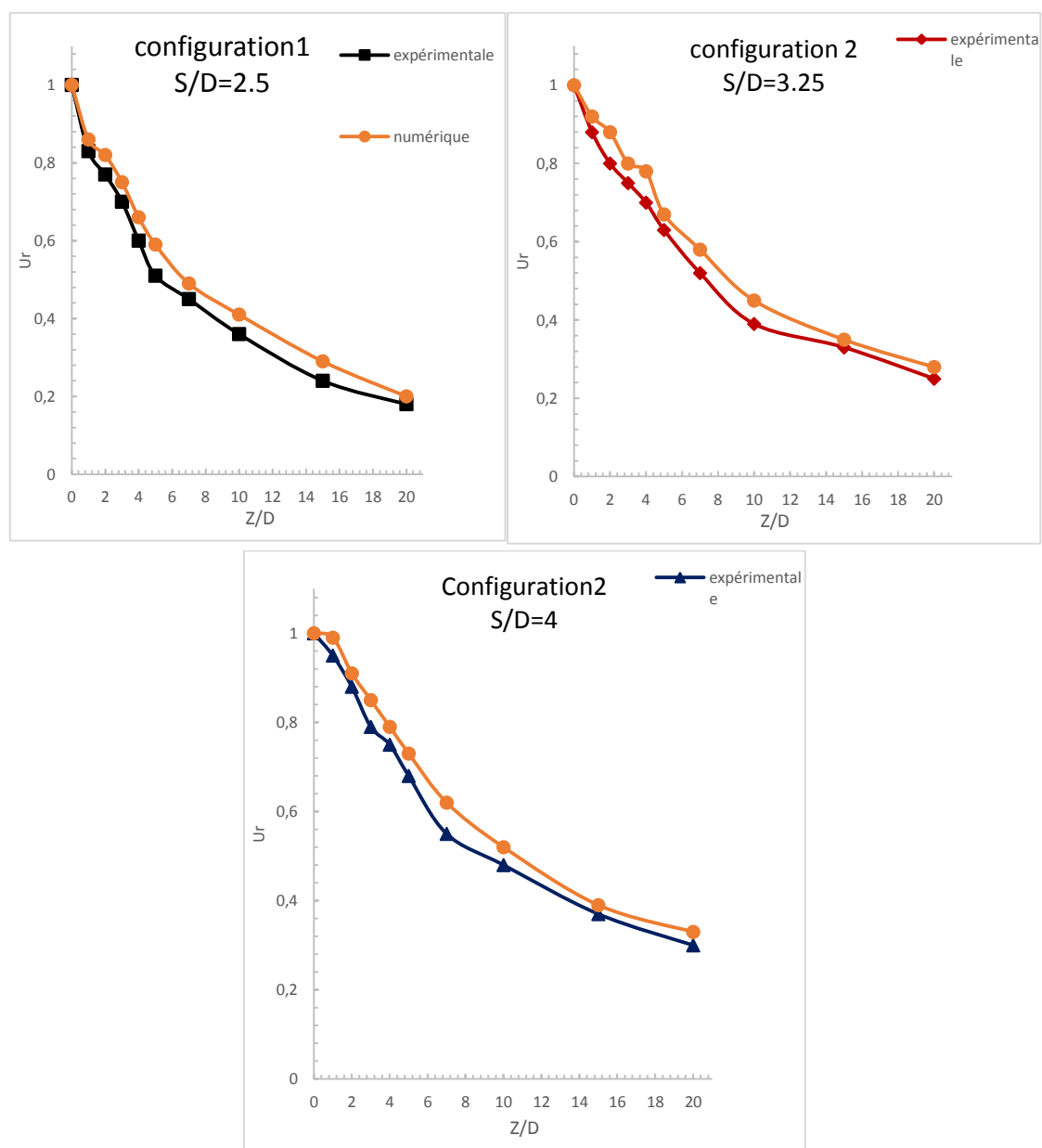


Figure 6 : comparaison des résultats numériques aux résultats expérimentaux (vitesse axiale) pour les trois configurations

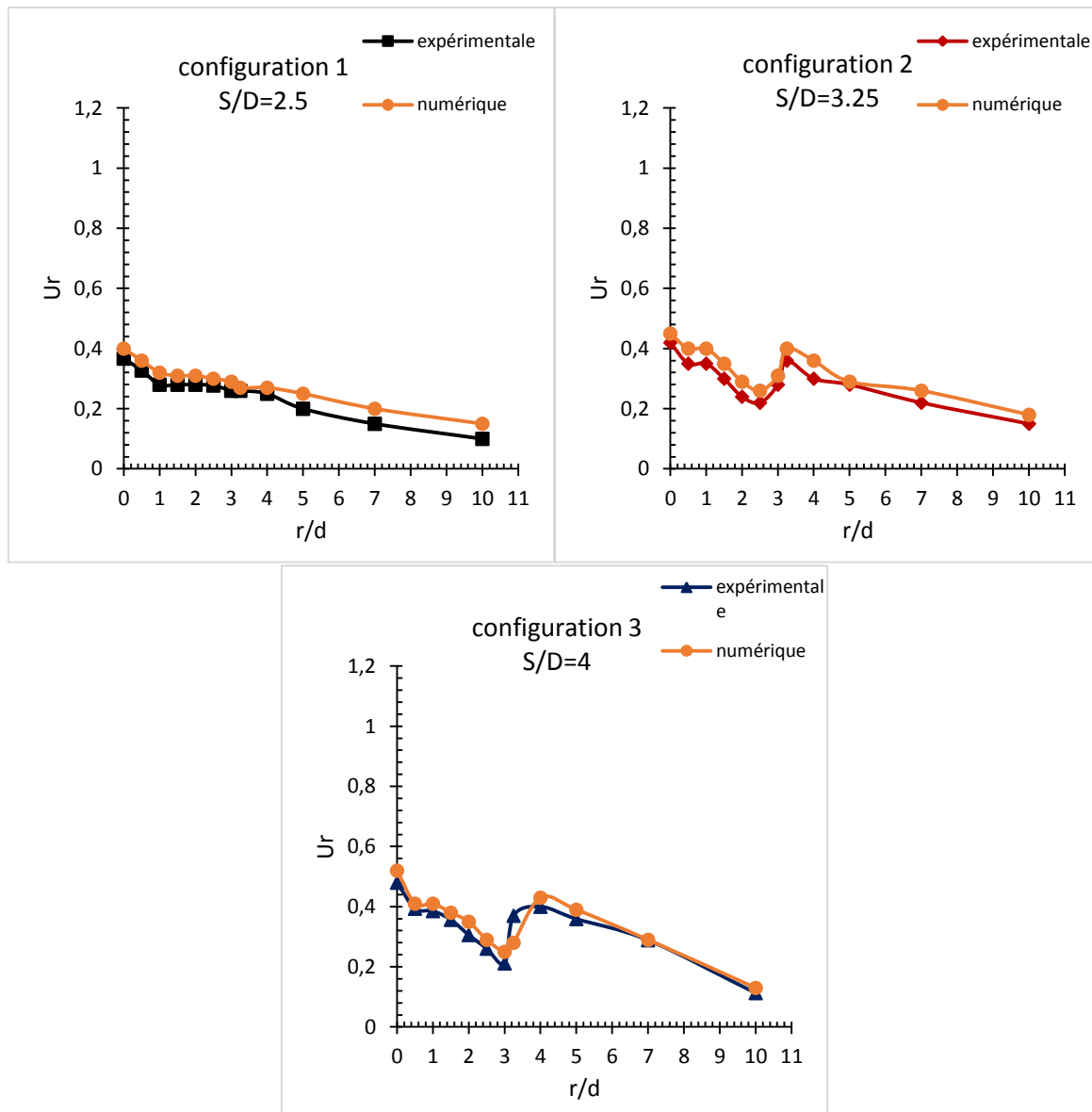


Figure 7 : Comparaison des résultats numériques aux résultats expérimentaux (vitesse radiale à $Z/D=10$) pour les trois configurations

Les figures 6 et 7 représentent la comparaison des résultats numériques de la vitesse par le modèle SST K- ω dans les directions axiale et radiale, respectivement pour les trois configurations étudiées. Les résultats numériques sont en bon accord avec les résultats expérimentaux sur l'ensemble du domaine étudié, on peut suggérer donc que le modèle SST K- ω est approprié à estimer l'évaluation de la vitesse pour ce type de jets.

Conclusion

L'effet de l'espacement entre les jets périphériques et le jet central dans une configuration de jets multiples lobés a été étudié expérimentalement et numériquement. Le champ dynamique de trois configurations de jet multiple dont un jet central entouré par quatre jets latéraux a été mesuré, les valeurs d'espacement entre le jet central et les jets périphériques ont été sélectionné, $S=100\text{mm}$, 113mm et 116mm . Les résultats expérimentaux pour la vitesse dans les directions axiale et radiale de l'écoulement ont montré que la variation de l'espacement S a une influence sur la distribution de la vitesse et donc sur le mélange de l'air des jets avec l'air ambiant. Il s'est avéré que l'augmentation du taux d'espacement S/D à au-delà de 2.5 fait augmenter la vitesse axiale ce qui est contraire au résultat

souhaité, les jets latéraux s'interagissent le plus rapidement avec le jet central dans le cas où le taux d'espacement est de 2.5 contrairement aux deux autres cas ce qui influe sur le mélange. Ainsi, la configuration à 5 jets lobés dont l'espacement est de 100 mm ($S/D=2.5$) nous donne les meilleurs résultats en termes d'homogénéisation dynamique et amélioration du mélange parmi les configurations testées dans ce travail.

Numériquement, le modèle utilisé pour reproduire les résultats expérimentaux était le modèle SST $K-\omega$. Les résultats numériques correspondaient bien aux mesures expérimentales ce qui nous laisse suggérer que ce modèle est approprié à ce type de jets.

Références

- [1] M Braikia, L Loukarfi, A Khelil, H Naji, an experimental investigation of interacting swirling multiple jets, *Thermal science* (2018), pp 247-247.
- [2] A Khelil, H Naji, L Loukarfi, MH Meliani, M Braikia, Numerical simulation of the interactions among multiple turbulent swirling jets mounted in unbalanced positions, *Applied Mathematical Modelling* (2016), pp 3749-3763.
- [3] W Medaouar, L Loukarfi, M Braikia, A Khelil, H Naji, Experimental and Numerical Study of a Turbulent Multiple Jets Issued from Lobed Diffusers, *Journal of Applied Fluid Mechanics* (2019).
- [4] I Nastas, A Meslem, Lobed grilles for high mixing ventilation- An experimental analysis in a full-scale model room, *Building and environment* (2011), pp 547-555.
- [5] D Mohan, R Prakash, R Panchapakesan, Mixing Augmentation by Multiple Lobed Jets, *American Journal of Fluid Dynamics* (2015), pp 55-64.