

# CARACTERISATION THERMIQUE D'UN MULTI JET TOURBILLONNAIRE A ORIFICES DESEQUILIBRES EN TEMPERATURES

M. BRAIKIA <sup>a\*</sup>, A. KHELIL <sup>a</sup>, L. LOUKARFI <sup>a</sup> H. NAJI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Contrôles, Essais, Mesures et Simulations Mécaniques, Université HBC, chlef, Algerie.

<sup>b</sup> Laboratoire Génie Civi & géo-Environnement (LGCgE- EA 4515),  
Université d'Artois/Faculté des Sciences Appliquées, F-62400 Béthune, France.  
Université Lille Nord de France, F-59000, France

## Résumé :

*Le fonctionnement des équipements de conditionnement et de ventilation d'air peut induire certaines nuisances comme l'effet de souffle des climatiseurs usuels, qui peut être tellement désagréable, qu'au-delà d'un seuil de vitesse de soufflage, l'occupant peut avoir des maux de tête et donc serait dans une situation pour le moins "inconfortable". afin de diminuer l'effet de souffle dans les diffuseurs, on cherche à réduire la vitesse axiale de l'air en utilisant des dispositifs atténuateurs mettant en œuvre des moyens de déviation des filets d'air, afin de transformer la composante axiale de ceux-ci en composante radiale, Dans le contexte d'un bâtiment, l'objectif est à la fois de réduire la taille des systèmes de traitement d'air pour réaliser une économie d'énergie et d'améliorer le confort thermique des usagers, en résolvant le problème de la mauvaise répartition des températures et de l'air neuf dans un local. Une série d'études expérimentales a été menée pour déterminer l'influence de différents facteurs sur les caractéristiques et la structure du jet tourbillonnaire multiple permettant d'obtenir un bon mélange et une nette homogénéisation d'ambiance dans les locaux et de même dans les chambres de combustion.*

## Abstract:

*The operation of cooling equipment and air ventilation can induce certain nuisances as usual blowing air conditioners, which can be so rude, that beyond a blowing speed threshold, the occupant can have headaches and would therefore be in a position to say the least "uncomfortable." to reduce blowing effects in diffusers, we seek to reduce the axial velocity of the air using attenuators devices implementing air nets deflection means to transform the axial component of those above radial component in the context of a building, the goal is both to reduce the size of the air treatment systems to achieve energy savings and to improve the thermal comfort of users, solving the problem of poor distribution of temperature and fresh air in a room. A series of experimental studies were conducted to determine the influence of various factors on the characteristics and multiple jet vortex structure to obtain a good mix and a net homogenization atmosphere in the premises and even in the rooms combustion.*

**Mots clefs :** *Jet tourbillonnaire, Multi-jets, Homogénéisation thermique.*

# 1 Introduction

Les jets libres et confinés ont été intensivement étudiés en raison des applications industrielles qu'ils offrent et de leurs larges diffusions dans la nature. Plusieurs applications industrielles engendrent des jets turbulents à l'intérieur d'un milieu confiné. Beaucoup de travaux élaborés sont orientés essentiellement vers la combustion dans les brûleurs ou dans les moteurs afin d'améliorer l'homogénéisation du mélange utilisé [1, 2,3]. D'autres travaux traitent des jets tourbillonnaires ou les fluides sont compressibles ou incompressibles dans des conditions géométriques ou dynamiques divers (jets plans impactant, jets confinés dans les conduites à air variables, jets chauffés initialement, jets laminaire ou turbulent, jets coaxiaux). Selon les conditions expérimentales, et selon la configuration de l'écoulement étudié, divers systèmes générant le swirl sont utilisés [4,5]. Ces travaux ont permis de rendre compte de l'importance du jet tourbillonnaire avec d'intéressantes caractéristiques. Le tourbillonnement favorise les processus de mélange ainsi que les transferts de masse et de chaleur [6]. Le tourbillonnement cause un changement dans l'écoulement moyen ainsi que dans les propriétés de la turbulence. Sous l'effet du tourbillonnement, les particules fluides ont tendance à s'éloigner de l'axe sous l'effet de la force centrifuge [7]. Le jet tourbillonnaire présente donc des avantages certains pour l'homogénéisation des ambiances traitées par brassage, puisqu'il assure une combinaison intéressante du mouvement du jet libre et du mouvement de rotation du fluide. Il s'épanouit plus rapidement qu'un jet libre axisymétrique tout en permettant une meilleure distribution d'air dans les locaux, assurant ainsi des conditions de confort appréciables [8, 9,10]. Différentes campagnes expérimentales ont conduit à l'optimisation de la géométrie des diffuseurs. Ce qui a permis de bien saisir l'importance des paramètres influents comme l'inclinaison des ailettes du diffuseur, l'espacement entre diffuseurs, le contrôle du multi jet par jet central, le nombre de jets périphériques, le nombre de tourbillonnement, le sens de rotation du jet central par rapport aux jets périphériques, le déséquilibre en position et en température du jet central par rapport aux jets adjacents, l'inclinaison de l'axe du jet central par rapport à l'axe des jets latéraux.

Au cours de notre travail, l'interaction de jets libres tourbillonnaires a été étudiée expérimentalement, pour différentes configurations d'écoulements pour caractériser l'interaction entre jets tourbillonnaires, *Il s'agit d'une couronne de 6 jets hélicoïdaux entourant un jet hélicoïdal central. Le débit s'opère à des nombres de Reynolds, allant de  $10^4$  à  $3.10^4$ . L'étude a été réalisée dans des conditions de flux de chaleur uniforme pour chaque diffuseur.*

*L'examen de l'évolution des profils de températures radiales du multi jets tourbillonnaire pour les différentes stations axiales étudiées, montre que L'écart entre diffuseurs permet de diminuer l'amplitude des profils radiaux des températures tout en assurant un étalement, une homogénéisation et une stabilité des températures, conduisant à une destratification thermique. Le jet résultant débouche sur une atmosphère statique générant une zone de recirculation dépendante de l'inclinaison des ailettes et lorsque l'inclinaison des ailettes augmente, la vitesse axiale diminue, le jet s'épanouit mieux pour devenir radial et la similitude des profils est vite retrouvée. Le nombre de jets augmente l'étalement du mélange et d'autant plus que le nombre de jets croît. Le long de l'axe du jet, la température est d'autant plus élevée que le nombre de jets est plus grand. L'homogénéité thermique s'améliore en s'éloignant de l'orifice de soufflage, notamment pour les configurations ayant le plus grand nombre de jets périphériques. La position relative des jets latéraux par rapport au jet central permet d'influencer la température et la vitesse axiale du jet résultant. L'augmentation de la diffusion latérale, conduit à une meilleure homogénéisation.*

*Le jet central joue le rôle de guide dans cette configuration de déséquilibre en position, il pilote les jets adjacents. Cette configuration pourrait intéresser les industriels en vue de sa contribution pour*

*l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments.* Enfin, la diminution relative du débit du jet central conduit à une meilleure homogénéisation par diffusion des jets latéraux vers le jet central.

*Par rapport au jet multiple tourbillonnaire et dans les mêmes conditions, le jet multiple tourbillonnaire déséquilibré en température assure plus d'homogénéisation thermique avec un étalement plus important du jet résultant.* Le jet tourbillonnaire reste moins connu et très complexe, il se différencie du jet turbulent homogène par l'existence de la composante de vitesse tangentielle  $W$ . l'application de la composante de la vitesse tangentielle ( $W$ ), donne à l'écoulement une composante de rotation, présentée par un nombre adimensionnelle ( $S$ ) qui est défini par le rapport du flux tangentiel sur le flux axial :

$$S = G_{\theta} / R G_x = \int_{R_n}^{R_h} U W r^2 dr / \int_{R_n}^{R_h} R_n U^2 r dr \quad (1)$$

Où  $G_{\theta}$  est le flux de quantité de mouvement tangentielle,  $G_x$  le flux de quantité de mouvement axiale, et  $R$  est un rayon caractéristique.  $R_n$  et  $R_h$  sont les rayons du support central et l'orifice d'entrée, respectivement. Il est important de noter ici que si les vitesses axiales et tangentielles sont supposés être uniforme et l'aube sont très minces, le nombre de turbulence peut être exprimée comme suit :

$$S = \frac{2}{3} \left[ \frac{1 - (R_h/R_n)^3}{1 - (R_h/R_n)^2} \right] \tan \alpha \quad (2)$$

Les détails de cette expression est trouvée dans la référence [1].

## 2 DISPOSITIF DE SOUFLAGE ET CONDITIONS EXPERIMENTALES

Le montage expérimental mis en œuvre est essentiellement conçu pour générer des jets d'air tourbillonnaires. Les expériences ont été réalisées dans un local de dimensions : 4,0m de longueur, de 3,5 m de largeur et 3,0m de hauteur. L'installation réalisée est composée d'un châssis sur le quel est fixée le dispositif de soufflage, ce dernier comporte des diffuseurs de soufflage d'air chaud dirigés vers le bas figure 2. Le nombre de diffuseurs peut varier selon la configuration étudiée. Les températures et vitesses de l'écoulement sont mesurées par un thermo-anémomètre multifonctionnel de type « Veloci Calc plus-modèle 8385A », comportant une sonde qui permet la mesure de plusieurs paramètres, comme la température, la vitesse et le débit. La sonde est supportée par des tiges guidées verticalement et horizontalement pour balayer le maximum d'espace, ce qui nous a permis de mesurer les températures en axiales et radiales du jet. Un thermomètre digital est placé à l'extérieur de l'écoulement dans le local pour permettre la mesure instantanée de la température ambiante ( $T_a$ ). Le système multi-jets étudié est une couronne de 6 jets hélicoïdaux entourant un jet hélicoïdal central. Le débit s'opère à des nombres de Reynolds, allant de  $10^4$  à  $3.10^4$ . L'étude a été réalisée dans des conditions de flux de chaleur uniforme pour chaque diffuseur et  $0 < S < 1.3$ ,  $Q_m \leq 54$  g/s,  $r/D=1$  à 8 et  $0 \leq x/D \leq 20$ . Le local a été également isolé du milieu extérieur, lors des expériences de manière à maintenir constante la température ambiante, autour de l'écoulement étudié.

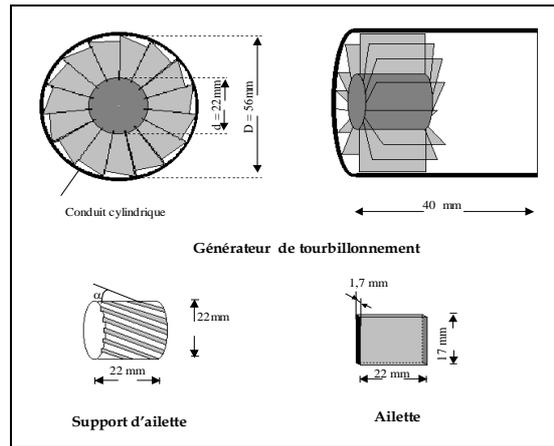
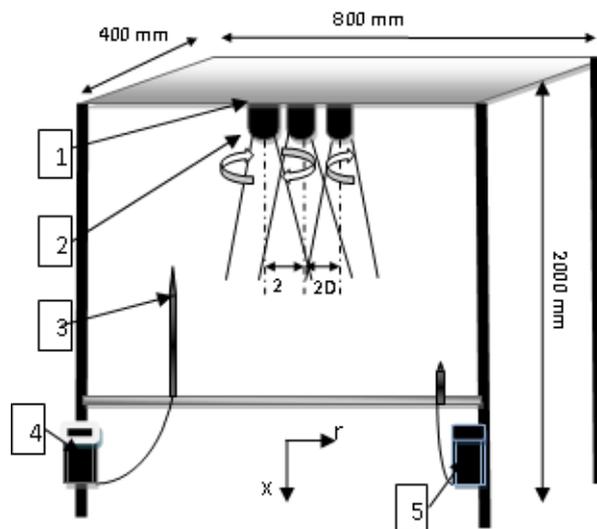


Figure 1 : Schéma constitutif du dispositif de génération de tourbillonnement



1. Dispositif de soufflage d'air, 2. Diffuseur d'air avec ailettes inclinées, 3. Sonde du thermo anémomètre, 4. Thermo anémomètre, 5. Thermomètre

Figure 2: Dispositif de soufflage

### 3 CONDITIONS EXPERIMENTALES

La température maximale à l'origine de soufflage ( $T_m$ ) est relevée pour chaque type de configuration. La température ambiante est relevée lors des mesures de température de l'écoulement ( $T_i$ ) dans les différents points dans l'écoulement du jet, qui se font radialement pour plusieurs stations.

Les températures axiales et radiales de l'écoulement sont obtenues par référence à la température maximale moyenne à la sortie de l'orifice de soufflage et à la température ambiante grâce à une expression adimensionnelle de la forme :

$$Tr = [(T_i - T_a)/(T_{max} - T_a)] \quad (3)$$

Les distances radiales et axiales sont données par référence au diamètre de l'orifice de soufflage sous forme adimensionnelle  $r/D$  et  $x/D$ .

## 4 CONFIGURATIONS ETUDIEES

Le système multi jets étudié est constitué d'une couronne de 6 jets tourbillonnaires entourant un jet central tourbillonnant en sens inverse figure 3. Les principaux paramètres susceptibles d'influer les résultats sont l'inclinaison des jets périphériques par rapport à l'axe central du jet résultant, déséquilibre en position des orifices de soufflages, variation du débit relatif entre jets périphériques et jet central et déséquilibre en température des orifices de soufflages. Pour l'actuelle étude seule l'effet de la différence de température du jet central par rapport aux jets périphériques sur l'évolution des profils de température axiale et radiale est présenté. Comparaison entre les configurations A et B figure 3.

|   |   |
|---|---|
|    |   |
| <p><b>Configuration A</b><br/>Six jets périphériques avec jet central diffusant en sens inverse et dans le même plan.</p> | <p><b>Configuration B</b><br/>Température du jet central (<math>T_0</math>) supérieur à la température des six jets périphériques (<math>T_0/2</math>).</p> |

Figure 3 : Configurations étudiées

## 5 Comparaison des profils de températures axiales.

Les profils de températures axiales mettent en évidence une diminution très rapide pour la configuration B (ou la température du jet central est supérieure à la température des jets périphériques) vis-à-vis de la configuration A, qu'elle s'avère meilleure par rapport aux autres configurations étudiées, quant à la déstratification thermique. On constate qu'à une distance  $r/D=2$  la température axiale chute de plus de 50% de sa valeur maximale à la sortie de l'orifice de soufflage pour la configuration B, cette diminution rapide de la température axiale permet une redistribution de la température et de la totalité de l'énergie du système vers la direction radiale.

Radialement, les températures commencent à se stabiliser pour la configuration B, bien avant celles obtenues avec la configuration A (fig. 4). L'homogénéisation se fait donc à faible distance avec la configuration B, à la station  $x/D=7$ . La température radiale est pratiquement stable à partir de deux diamètres de l'orifice de soufflage, sur toute la section balayée. Avec la configuration B, la surface de température uniforme devient plus importante.

## 6 Comparaison des profils de températures radiales

L'effet de la différence de température du jet central par rapport aux jets périphériques est présenté sur la figure (4). L'évolution des profils de la température axiale et radiale met en évidence que la configuration B avec un flux central, plus chaud, et diffusé en sens inverse des flux périphériques,

assure par rapport à la configuration A, le maximum de stabilité en température radiale. Cette stabilité apparaît très rapidement à partir de 5 diamètres, et avec une amplitude plus importante ainsi qu'une meilleure homogénéisation thermique. En comparant les évolutions des températures axiales et radiales figure 4, la configuration B assure une meilleure stabilité radiale associée à une importante décroissance axiale. Il résulte de cette expérience, qu'avec un système simple dans sa conception et consommant moins d'énergie (telle- que la configuration B), l'ambiance d'un local peut être convenablement homogénéisée on température tout en diminuant les contraintes inconfortables induites par l'effet de souffle et ce, avec un espace traité assez important. Pour une exploitation optimale de l'effet de déséquilibres des températures, il est nécessaire d'affiner le rapport entre la température du jet central et des jets périphériques et étudier l'influence effective sur le rendement du système.

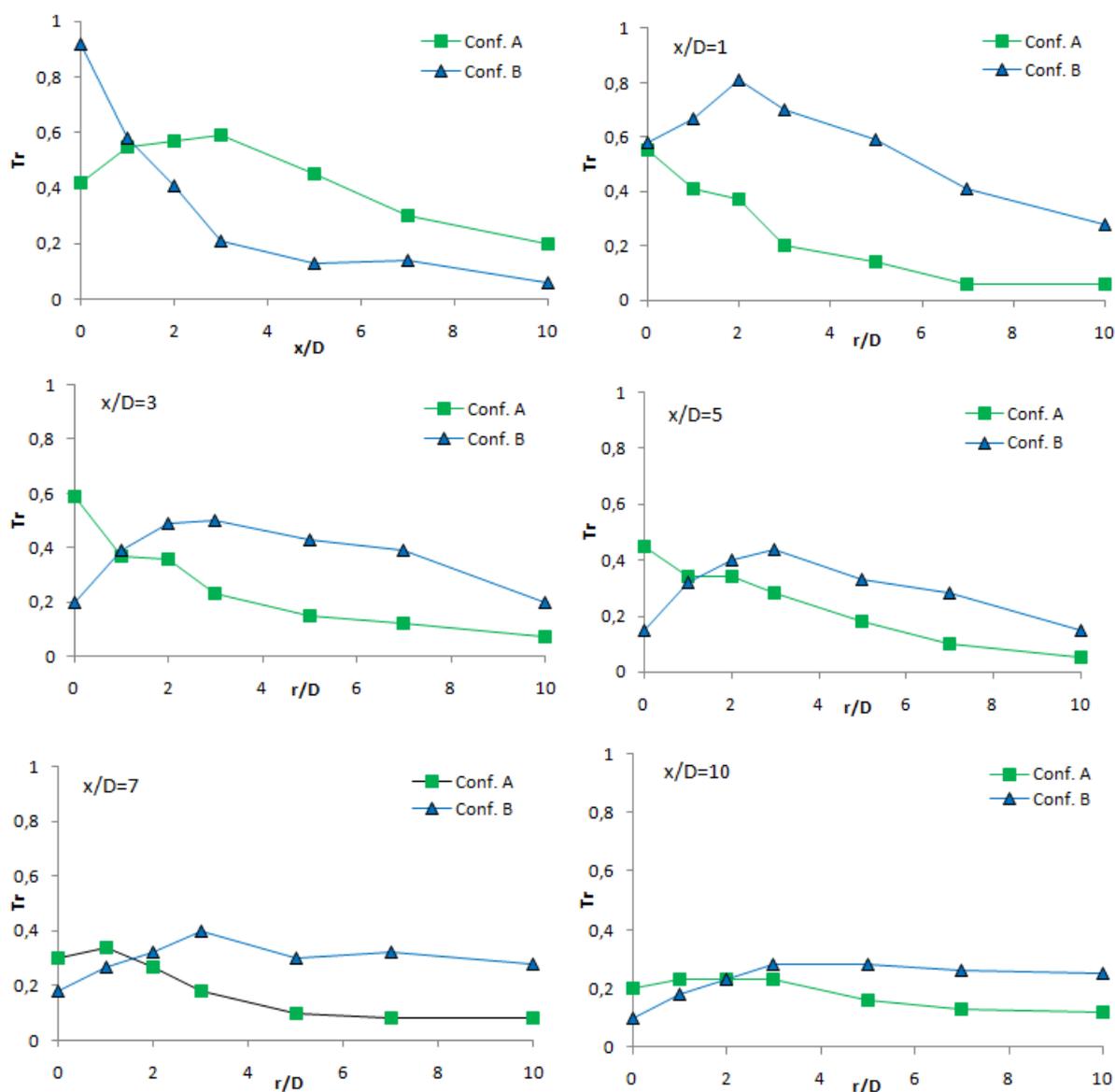


Figure 4 : Effet de la température réduite des jets sur l'évolution de la température axiale et radiale.

## 6 Conclusion

Après avoir mené une série d'études expérimentales pour déterminer l'influence de différents facteurs sur les caractéristiques et la structure du jet tourbillonnaire multiple permettent d'obtenir un bon mélange et une nette homogénéisation d'ambiance dans les locaux et de même dans les chambres de combustion (écoulements libre et confiné). Cette analyse a été menée par l'examen des profils de la distribution axiale et radiale des températures et également, dans certains cas, des profils des vitesses. L'analyse des profils axiaux et radiaux des températures et des vitesses a mis en évidence: l'influence de l'écart entre diffuseurs, de l'inclinaison des ailettes, du nombre de jets, de la position relative des jets et du débit d'air soufflé. La modification de la position relative des jets latéraux par rapport au jet central a une influence sur la diffusion et les résultats montrent que :

La position relative des jets latéraux par rapport au jet central permet d'influencer la température et la vitesse axiale du jet résultant. L'augmentation de la diffusion latérale, conduit à une meilleure homogénéisation. Le jet central joue le rôle de guide dans cette configuration de déséquilibre en position. Il pilote les jets adjacents. On note cependant que cette différence de position entraîne une diminution de vitesse dans les zones proches de l'origine du soufflage. Cette configuration pourrait intéresser les industriels en vue de sa contribution pour l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments. Par rapport au jet multiple tourbillonnaire et dans les mêmes conditions, le jet multiple tourbillonnaire déséquilibré en température assure plus d'homogénéisation thermique avec un étalement plus important du jet résultant. La diminution relative du débit du jet central conduit à une meilleure homogénéisation par diffusion des jets latéraux vers le jet central. En conclusion, il a été établi que l'influence de la géométrie initiale d'un jet ou d'un système de multi-jets est fondamentale et que tous les paramètres étudiés interfèrent, si l'on excepte la position relative des jets latéraux par rapport au jet central. L'étude systématique pour toutes les configurations a mis en évidence l'influence individuelle et l'importance de chaque paramètre.

## Références

- [1] E.P Volchkov,, An experimental study of the flow stabilization in a channel with a swirled periphery jet, *Intentional Journal of Heat and Mass Transfer*, , (2000),. 43, pp. 375-386
- [2] , D. R.Jebamani, Kumar, T. M. N., Studies on variable swirl intake system for diesel engine using computational fluid dynamics, *Thermal Science*, 12, 1, ,(2008) pp. 25-32.
- [3] Huang, Y., Yang, V., Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion, *Progress in Energy and Combustion Science*, 35, (2009).pp. 293-364,
- [4] M. Ahmadvand, , , A. F Najafi., S Shahidinejad,, An experimental study and CFD analysis towards heat transfer and fluid flow characteristic of decaying swirl pipe flow generated by axial vanes, *Meccanica*, 45, (2010). pp. 111-129,
- [5] P.M Nakod,, S.V Prabhu,, , R.P Vedula., Heat transfer augmentation between impinging circular air jet and flat plate using finned surfaces and vortex generators, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32 ,(2008).pp.,1168-1187
- [6] K., Oyakawa, K, Hanashiro,, S Matsuda,, M Yaga,, M Hiwada,, Study on Flow and Heat Transfer of Multiple Impingement Jets, *Heat Transfer-Asian Research*, 34, 6, ,(2005).pp. 419-431
- [7] I Yimer,, H. A Becker,, E. W Grandmaison,, Development of flow from multiple-jet burners, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 74,(1996), pp. 840-851.
- [8] M Braikia,, L Loukarfi,, A Khelil,, H Naji, Improvement of thermal homogenization using multiple swirling jets, *Thermal science*, 16,1, ( 2012) pp. 239-250.
- [9] Felli, M., Falchi M., Pereira, F.G.A., Distance effect on the behaviour of an impinging swirling jet by PIV and flow visualizations, *Experiments in Fluids*, 48, (2010), pp. 197-209.

- [10] M Braikia., A Khelil., L Loukarfi., H Naji., parameters optimization of a multi-swirling jet diffuser , *X<sup>e</sup> Conférence sur la ventilation industrielle*, du 17 au 19 septembre Paris, France,(2012).
- [11] Huang, Y., and Yang, V., Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion, *Progress in Energy and Combustion Science*, 35, (2009) pp. 293-364.