

## SOMMAIRE

-Nomenclature	
- Résumé	
-Liste des figures et tableaux.	
<b>Introduction</b>	1
<b>Chapitre I : LA TURBULENCE</b>	
1) Introduction	4
1.2) Grandeur moyenne, vitesses fluctuantes et énergie cinétique de turbulence	
2) Les échelles de la turbulence	5
2.1) Echelles intégrales	5
2.2) Echelles de Kolmogorov	7
3) Les écoulements à swirl	
3.1) Définition du nombre de "swirl"	7
3.2) Effet du jet d'air à swirl	8
<b>Chapitre II : LA COMBUSTION</b>	
1) Processus de combustion	10
2) Combustion turbulente prémélangée	10
2.1) La structure de la flamme turbulente prémélangée	11
2.2) Nombres caractéristiques de la combustion	12
3) Combustion turbulente non prémélangée	15
4) Equations de conservation pour les écoulements réactifs	
-Introduction	15
4.1) Variables de la thermochimie	15
4.2) Equations de conservation de masse et d'espèces	17
4.3) Equations de la quantité de mouvement	18
4.4) Equation de la conservation d'énergie	18
4.5) Cinétique chimique	19
4.6) Facteurs stœchiométriques	19
<b>Chapitre III : MODÉLISATION DE LA TURBULENCE</b>	
1) Equations de Navier-Stokes moyennes	21
2) Le modèle « k-ε », pour le cas où $\rho$ est constant	22
2.1) Propriétés mathématiques du modèle $k - \varepsilon$	24
2.1.1) Le modèle k-ε standard	25
2.1.2) le modèle k-ε RNG	27
2.1.3) Le modèle k-ε réalisable	28

3) Les modèles de turbulence pour les écoulements à $\rho$ variable	29
3.1) la nouvelle équation d'énergie cinétique	29
3.2) Le taux de dissipation	32

## **Chapitre IV : MODELISATION DE LA COMBUSTION TURBULENTE PREMELANGEE**

1) La position du problème de la modélisation	34
2) le domaine permis à la PDF des espèces réactives	35
3) La Modélisation des flammes à chimie très rapide	37
3.1 Le modèle « Eddy Break-Up »	37
4) L'approche théorique de Bray et Moss	38
5) Le modèle de « flammelettes » BMLC	39
6) Les modèles à équation de taux de réaction	40
7) Modèle Eddy Dissipation	42
8) Eddy-Dissipation-Concept (EDC)	43

## **Chapitre V : PRÉSENTATION DE LA SIMULATION ,RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

1 ) Dispositif expérimental	44
1.1 ) Géométrie du bruleur	44
1.2) Géométrie de la chambre de combustion :	45
2 ) Etude numérique du jet d'air turbulent dans la chambre de combustion	45
2.1) Conditions aux limites	46
2.2 ) Maillage de calcul	47
2.3) Résultats de la simulation « cas non réactif»	48
3 ) Cas de l'écoulement turbulent réactif	54
3.1) introduction	54
3.2) Conditions aux limites	54
3.3 ) résultats et interprétation	55
3.4 ) Champ thermique	58
- Conclusion	59
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60

## NOMENCLATURE

$c$	Variable d'avancement de la réaction [--]
$C_p$	Chaleur spécifique à pression constante du mélange [J/(kg K)]
$C_{pk}$	Chaleur spécifique à pression constante de l'espèce $k$ [J/(kg K)]
$C_{\mu}, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, \sigma_k$ et $\sigma_{\epsilon}$	Constantes du modèle $k-\epsilon$ [--]
$D_k$	Coefficient de diffusion de l'espèce $k$ dans le mélange [m <sup>2</sup> /s]
$Da$	Nombre de Damkhöler [--]
$D_{inj}$	Diamètre de l'injecteur (brûleur) [m]
$e$	Energie interne spécifique du mélange [J/kg]
$f_{k,j}$	Force spécifique de volume agissante sur l'espèce $k$ dans la direction $j$ [m/s <sup>2</sup> ]
$h_{0f,k}$	Enthalpie chimique spécifique de l'espèce $k$ [J/kg]
$h_k$	Enthalpie spécifique de l'espèce $k$ [J/kg]
$h_{s,k}$	Enthalpie sensible de l'espèce $k$ [J/kg]
$k$	Energie de turbulence [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
$Ka$	Nombre de Karlovitz [--]
$l$	Echelle intégrale de longueur [m]
$l_{\delta}$	Epaisseur de la couche interne de la flamme [m]
$l_f$	Epaisseur de la flamme laminaire [m]
$l_{fspa}$	Epaisseur de la flamme laminaire (Spalding) [m]
$l_{fzel}$	Epaisseur de la flamme laminaire (Zeldovitch) [m]
$P$	Pression [N/m <sup>2</sup> ]
$Q$	Source de chaleur [J/(m <sup>3</sup> s)]
$R$	Constante universelle des gaz parfaits [J/(Kg K)]
$Re_t$	Nombre de Reynolds de la turbulence [--]
$s$	Rapport stoechiométrique [--]
$SL$	Vitesse de la flamme laminaire [m/s]
$Sc$	Nombre de Schmidt [--]
$T$	Température [K]
$T_0$	Température maximale (adiabatique) de la flamme laminaire [K]
$\tau_{\eta}$	Echelle de temps de Kolmogorov [s]
$u_i$	Vitesse dans la direction $i$ [m/s]
$u_{\eta}$	Vitesse de retournement du tourbillon de Kolmogorov [m/s]
$u_i'$	Fluctuation de vitesse dans la direction $i$ [m/s]
$V_{k,i}$	Vitesse de diffusion de l'espèce $k$ dans la direction $i$ [m/s]

W <sub>k</sub>	Masse molaire de l'espèce k [mole/kg]
Y <sub>k</sub>	Fraction massique de l'espèce k [--]
Z	Fraction de mélange [--]
u	Vitesse radiale [m/s]
v	Vitesse tangentielle [m/s]
w	Vitesse axiale [m/s]
ω	Vitesse angulaire r[d/s]
r	Coordonnées radiale dans le système de coordonnées cylindrique
q	Coordonnées tangentielle dans le système de coordonnées cylindrique
z	Coordonnées axiale dans le système de coordonnées cylindrique
C <sub>p</sub>	Chaleur spécifique à pression constante. [ J/(kg . °K) ]
C <sub>v</sub>	Chaleur spécifique à volume constant. [J/(kg . °K) ]
k	Conductivité thermique

### Lettres grecques

Δ <sub>ij</sub>	Delta de Krönecér (=1 si i=j, =0 sinon) [--]
η	Echelle de longueur de Kolmogorov [m]
ε	Taux de dissipation de l'énergie de turbulence [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
ξ	Richesse [--]
λ	Coefficient d'excès d'air [--]
μ	Viscosité dynamique [kg/(m s)]
μ <sub>t</sub>	Viscosité turbulente [kg/(m s)]
v' <sub>k</sub>	Coefficient stoechiométrique de l'espèce réactive k [--]
v'' <sub>k</sub>	Coefficient stoechiométrique de l'espèce produite k [--]
χ	Taux de dissipation scalaire [1/s]
χ <sub>q</sub>	Taux de dissipation scalaire critique pour l'extinction [1/s]
κ, κ <sub>lim</sub>	Invariant et invariant limité de la correction de Pope [--]
ρ <sub>k</sub>	Densité de l'espèce k [kg/m <sup>3</sup> ]
σ <sub>ij</sub>	Tenseur de la contrainte dans le plan i et la direction j [N/m <sup>2</sup> ]
τ	Echelle intégrale de temps [s]
τ <sub>ij</sub>	Tenseur des contraintes visqueuses [N/m <sup>2</sup> ]

## Indices

b	Gaz brûlés
f	Gaz frais
o	Oxydant
F	Fuel
k	Espèce k
s	Sensible (enthalpie)
N	Nombre de réactions élémentaires
p A	pression constante

## Résumé

Notre présente étude est en premier lieu, une simulation numérique d'un jet isotherme, turbulent et confiné dans une enceinte cylindrique. L'objectif est d'étudier dans une configuration axisymétrique, les performances du modèle de turbulence basés sur la méthode des moyennes des équations de Navier-Stokes (RANS), par le modèle  $k-\varepsilon$  basé sur le concept de la viscosité turbulente et ses différentes versions a savoir : Standard ,Réalizable et RNG.

Par la suite,on réalisera une simulation d'une combustion turbulente (swirlé) d'une flamme de méthane par le modèle de combustion EDC.

La validation des résultats de calcul est faite pour une intensité de swirl faible avec des mesures réelles [22]. Le code de calcul commercial Fluent a servi d'outil.

## Liste des figures & tableaux

### Chapitre I

Figure I.1 : *Les fluctuations de  $\phi$  pour un écoulement turbulent.*

Figure I.2 : Fonction de corrélation de vitesse.

Figure I.3 : Types d'écoulement observés pour des jets à swirl confinés d'après

### Chapitre II

Figure II.1 schématisation d'une flamme se développant dans foyer de réchauffe d'un turboréacteur.

Figure II.4 : Régimes de combustion turbulente prémélangée identifiés par Borghi et Destriau (1995)

### Chapitre III

Tableau III.3 : Constantes du modèle k- $\epsilon$  standard.

### Chapitre V

Figure V. 1 : Brûleur à swirl coaxial.

Figure V.2 : géométrie détaillée de la chambre de combustion

Tableaux V.3 : conditions au limites.

Figure V.4 : Maillage utilisé dans le calcul.

Figure V.5 : Profils radiaux de la vitesse axial et la vitesse de swirl pour h=2mm et h=24mm(Standard)

Figure V.6 : Profils radiaux de la vitesse axial et la vitesse de swirl pour h=2mm et h=24mm(réalisable).

Figure V.7 : Profils radiaux de la vitesse axial et la vitesse de swirl pour h=2mm et h=24mm (RNG).

Figure V.8 : comparaison entre les résultats expérimentaux et numérique pour h2mm et h=24mm de l'ouvreau de : (A) et (B) la vitesse axiale, (C) et (D) la vitesse swirlé des differents modèles de turbulences de  $k-\epsilon$  (RNG ,Realizable,Standard).

Tableau V.9 : Entrée du brûleur

Tableau V.10 : Entrée du méthane.

Figure V.11 : profil de température et la vitesse axiale dans une flamme 100 % méthane : (a) et (b) la vitesse axiale, (c) et (d) la vitesse swirlé pour h=3 mm et h =33mm.

Figure V.12 : contour de la température (k) dans la chambre de combustion.

# Introduction

## générale



# Chapitre I

Turbulence

# Chapitre II

Combustion

# Chapitre III

Modélisation de la  
Turbulence

# Chapitre IV

Modélisation de la Combustion Turbulente  
Pré-mélangée

# Chapitre v

Présentation de la simulation, résultats et  
discussions