

Effet de l'angle d'inclinaison de l'injecteur sur la combustion et l'émission des polluants dans un moteur diesel

Laid MOKHTARI ^a, Zoubir NEMOUCHI ^b

^a *Département de génie mécanique, Faculté de technologie, Université 20 Aout 1955, Skikda, Algérie.*

E-mail : elmokhtardz@yahoo.fr

^b *LEAP, Département de génie mécanique, Université Constantine 1, Algérie.*

E-mail :Z.Nemouchi@gmail.com

Résumé : La demande continue de réduire la consommation du combustible et les émissions polluantes dans les moteurs à combustion interne a poussé les chercheurs motoristes, ces dernières années, à développer des modèles numériques puissants. Cette tâche permet, avec le développement des codes de calcul des écoulements réactifs turbulents, de maîtriser le phénomène de combustion turbulente dans un moteur à combustion interne.

Le travail qu'on présente dans cet article vise comme objectif l'étude de l'effet de l'angle d'inclinaison du jet de combustible sur le processus de combustion et l'émission du monoxyde d'azote dans un moteur à injection directe de type Caterpillar 3401. L'outil numérique utilisé est le code de calcul KIVAII (Simulateur des écoulements réactifs turbulents et multidimensionnels). Les résultats obtenus révèlent qu'un angle d'inclinaison du jet de combustible élevé augmente le pic de la température moyenne dans le cylindre, ce qui conduit à l'augmentation de la quantité du monoxyde d'azote produite.

Mots clés : *moteur diesel, code KIVAII, monoxyde d'azote, angle d'injection.*

1. Introduction

La réduction des émissions polluantes dans un moteur à combustion interne est un objectif crucial, surtout avec les réglementations de plus en plus sévères des émissions polluantes des moteurs à combustion interne. Il est clair que l'approche expérimentale est le seul moyen qui peut décrire un phénomène quelconque. Cette approche expérimentale qui n'est pas rentable pour des situations simples de la mécanique des fluides ou de transfert de chaleur est plus coûteuse lorsqu'il s'agit d'un phénomène de combustion turbulente dans un moteur à combustion interne. On a alors recours à la simulation numérique, surtout avec le développement des ordinateurs et les codes de calcul des écoulements réactifs turbulents.

Le code de calcul KIVA II (simulateur des écoulements réactifs turbulents et multidimensionnels) est le support numérique de notre présent travail. La validation du code KIVA II modifié, avec des données expérimentales, a été l'objet de nos travaux antérieurs [1].

Le but du présent travail est l'étude de l'effet de l'angle d'inclinaison du jet sur la combustion et l'émission du NO (monoxyde d'azote) dans un moteur diesel Caterpillar 3401.

Parmi les travaux qui ont été consacrés à l'étude de l'influence de différents paramètres sur la combustion et l'émission des polluants dans les moteurs à combustion interne, nous citons:

-Jovanovic et al. [2] ont étudié l'effet combiné de la forme de la géométrie de la chambre de combustion et du 'tumble' sur les variations de la forme du front de flamme et sur sa propagation à travers un mélange homogène d'isooctane et d'air. La forme de la chambre de combustion étudiée contient deux soupapes verticales au niveau d'une culasse plate et un bol cylindrique soumis aux variations de la profondeur et de 'squish'. Les codes de

calcul utilisés sont : KIVA3, KIVA3V, AVLTYCON et AVLBOOST. Il a été trouvé que dans le cas sans soupapes le 'squish' joue un rôle important dans la forme du front de flamme ainsi que dans sa propagation.

-Jafarmadar et al. [3] ont mené une étude numérique sur l'effet de l'impact spray/paroi sur la combustion et les émissions polluantes dans un moteur diesel à différents régimes du moteur. Les résultats indiquent qu'une augmentation dans le régime du moteur provoque un accroissement de l'intensité de l'impact du spray sur la paroi (formation d'un film sur la paroi), de l'intensité de la turbulence et la température moyenne de la paroi. Les auteurs ont trouvé également qu'aux vitesses élevées du moteur la combustion est retardée et le combustible est consommé en une courte période car le mélange combustible-air devient plus intense. Une période courte de combustion ne laisse pas suffisamment du temps pour la formation des suies et des NO_x.

-Han et al.[4] ont étudié expérimentalement et numériquement l'effet de la multiple injection sur la formation de la suie et des NO_x. L'étude numérique est basée sur le code KIVA II avec des améliorations dans les modèles de turbulence, des transferts thermiques aux parois et du spray. Les résultats montrent que la multiple injection permet la réduction de la formation de la suie et des NO_x.

-Uludogan et al. [5] ont testé l'effet de la vitesse du moteur sur le processus de combustion et la formation des polluants en utilisant le code KIVA II. Les résultats montrent que dans le cas des vitesses élevées du moteur, le carburant est consommé dans une période beaucoup plus courte, et que la formation de la suie et des NO_x est plus réduite.

2. Formulation mathématique

Le code KIVA II résout les équations de l'aerothermochimie suivantes :

2.1. Equation de continuité pour l'espèce m

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \underbrace{\text{div}(\rho_m \bar{u})}_{\text{transport convectif}} = \underbrace{\text{div} \left[\rho D \nabla \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right) \right]}_{\text{transport diffusif}} + \dot{\rho}_m^c + \dot{\rho}_m^s \delta_{m1} \quad (1)$$

2.2. Equation de continuité pour le mélange

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{u}) = \dot{\rho}^s \quad (2)$$

2.3. Equation de conservation de quantité de mouvement

$$\frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial t} + \underbrace{\text{div}(\rho \bar{u} \bar{u})}_{\text{transport convectif}} = \underbrace{-\frac{1}{\alpha^2} \nabla p}_{\text{forces dues au pression}} - \underbrace{\nabla \left(\frac{2}{3} \rho k \right)}_{\text{forces générées par la turbulence}} + \underbrace{\text{div} \sigma}_{\text{forces de viscosité}} + \bar{F}^s + \rho \bar{g} \quad (3)$$

2.4. Equation de conservation de l'énergie

$$\frac{\partial(\rho I)}{\partial t} + \underbrace{\text{div}(\rho \bar{u} I)}_{\text{transport convectif}} = \underbrace{-p \text{div} \bar{u}}_{\text{effet de la pression}} + \underbrace{\rho \epsilon}_{\text{dissipation visqueuse}} - \underbrace{\text{div} \bar{J}}_{\text{transport diffusif}} + \dot{Q}^c + \dot{Q}^s \quad (4)$$

Pour l'étude de la turbulence, le code KIVA II utilise le modèle $k-\epsilon$.

3. Géométrie et données du problème

Nous avons utilisé le code KIVA II modifié pour simuler la combustion turbulente dans un moteur diesel de type Caterpillar 3401 dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau 1.

Concernant le maillage nous avons utilisé un secteur de 60° de la chambre de combustion où nous avons pris 20 cellules dans la direction radiale, 15 cellules dans la direction azimutale et 18 cellules dans la direction axiale à la position initiale du vilebrequin (-147° avant le PMH), Fig 1.

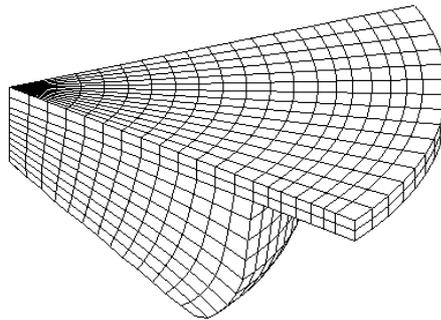


Figure 1 : Maillage du secteur de la chambre utilisé

Tableau 1 : Caractéristiques du moteur Caterpillar 3401[6]

Combustible	Diamètre de cylindre	Course du piston	Longueur de la bielle	Vitesse de rotation du vilebrequin	Début d'injection	Durée d'injection	Masse totale du combustible injectée
C_7H_{16}	$137.6 \times 10^{-3} m$	$165.1 \times 10^{-3} m$	$261.62 \times 10^{-3} m$	1600 tours/minute	à 10° d'angle de rotation de vilebrequin avant le PMH	21.5° d'angle de rotation du vilebrequin	0.1622 g

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Effet de l'angle d'inclinaison du combustible sur la combustion et l'émission de NO

Dans le but d'étudier l'effet de l'angle d'inclinaison du jet de combustible sur l'évolution de la température moyenne et sur l'émission du NO (monoxyde d'azote) nous avons fait deux simulations numériques pour deux différents angles d'inclinaison du jet à savoir : 65 et 68 degrés, Fig 2.

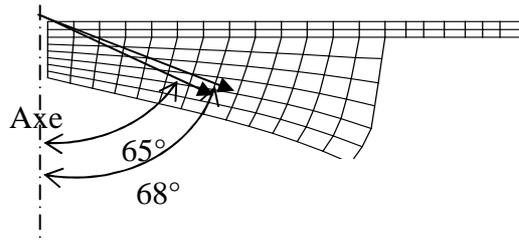


Figure 2 : Différents angles d'inclinaison du jet étudiés

On remarque sur la figure 3 que le pic de la température moyenne obtenu dans le cas d'angle d'inclinaison du jet 68° est supérieur à celui obtenu dans le cas de 65°. Ce résultat est logique, car si on éloigne le jet du combustible de la paroi de la tête du piston, la paroi ne gêne pas le parcours du jet. Ceci sert à augmenter la turbulence (figure 4) qui donne un mélange (combustible-air) et une combustion intenses (figure 5). La conséquence de ceux-ci est un pic de température élevée qui favorise le phénomène de dissociation de l'azote d'air qui se transforme en monoxyde d'azote (figure 6).

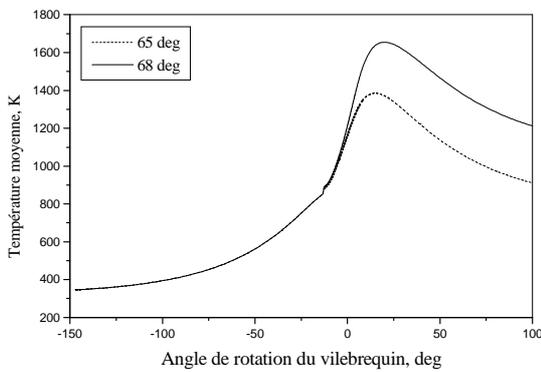


Figure 3 : Evolution de la température moyenne en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin

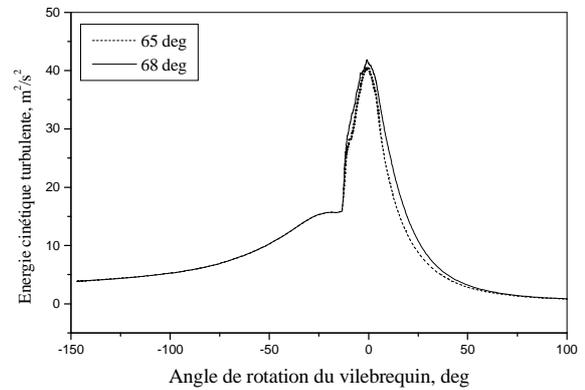
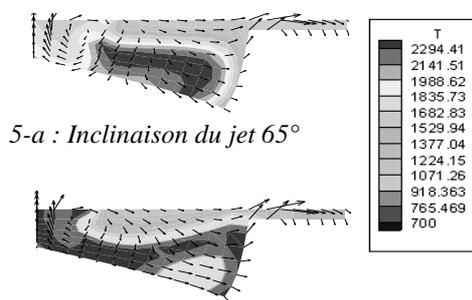


Figure 4 : Evolution de l'énergie cinétique turbulente en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin



5-b : Inclinaison du jet 68°

Figure 5 : les contours des isothermes et les vecteurs des vitesses à la position du piston 11.3° après PMH

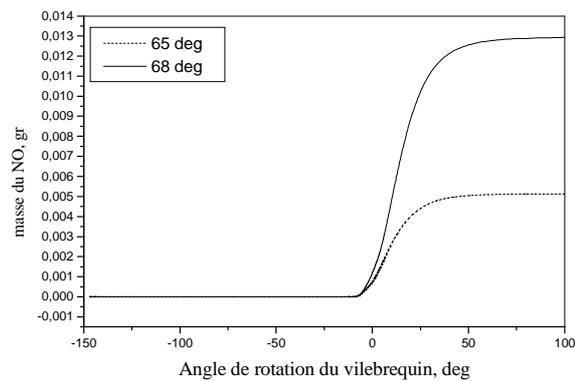


Figure 6 : Evolution du monoxyde d'azote en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin

5. Conclusion

L'effet de l'angle d'inclinaison du jet de combustible a été étudié lors de la simulation de la combustion turbulente tridimensionnelle dans un moteur diesel à injection directe Caterpillar 3401. L'outil numérique utilisé est le code KIVA II modifié. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de l'angle d'inclinaison du jet de combustible permet d'accroître le pic de la température dans le cylindre, ce qui conduit à l'augmentation de la quantité du monoxyde d'azote produite.

Nomenclature

Symboles :

I	énergie interne spécifique du mélange, $J.kg^{-1}$
I_m	énergie interne de l'espèce m , $J.kg^{-1}$
Id_3	matrice identité
\vec{j}	vecteur densité de flux, $W.m^{-2}$
k	énergie cinétique turbulente $m^2.s^{-2}$
K	coefficient de conduction, $W.m^{-1}.K^{-1}$
p	pression du mélange, $N.m^{-2}$
t	variable temps, s
T	température du mélange, K
\vec{u}	vecteur vitesse du mélange de composantes u, v, w , $m.s^{-1}$

Lettres grecques :

ϵ	taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente, $m^2.s^{-3}$
σ	tenseur des contraintes visqueuses, $N.m^{-2}$
ρ	masse volumique du mélange, $kg.m^{-3}$
ρ_m	masse volumique de l'espèce m , $kg.m^{-3}$
$\dot{\omega}_r$	taux de réaction de la réaction chimique $n^{\circ}r$, $mol.m^{-3}.s^{-1}$
δ_{ml}	symbole de Kronecker valant 1 si $m=1$ et 0 si non

Références

- [1] L. MOKHTARI et Z. NEMOUCHI, Effect of fuel injection velocity on combustion and emission of NO in a diesel engine, *12th International combustion symposium*, Kocaeli, Turkey, 2012.
- [2] Z.S. JOVANOVIC, S.V. PETROVIC, et M.V. TOMIC, The effect of combustion chamber geometry layout on combustion and emission, *Thermal science journal*, Vol 12 no1, Pages 7-24, 2008.
- [3] S. JAFARMADAR, S. KHALILARYA, S. SHAFEE, et R. BARZEGAR, Modeling the effect of spray/wall impingement on combustion process and emission of diesel engine, *Thermal science journal*, Vol 13 no 3, Pages 23-34, 2009.
- [4] Z. HAN, A. ULUDOGAN, G.J. HAMPSON, et R.D. REITZ, Mechanism of soot and NOx emission using multiple injection in a diesel engine, *SAE paper*, 960633, 1996.
- [5] A. ULUDOGAN, D.E. FOSTER, et R.D. REITZ, Modeling the effect of engine speed on the combustion process and emissions in a DI diesel engine, *SAE paper*, 962056, 1996.
- [6] A. ULUDOGAN, J. XIN et R.D. REITZ, Exploring the use of multiple injectors and split injection to reduce DI diesel engine emissions, *SAE paper*, 962058, 1996.