



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présentées par : **KHATRI Halima**

MAHDI Messaouda

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie Chimique

Thème

***Réduction des émissions de CO₂ et NO_x par
la combustion sans flamme***

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BENDAHGANE Soumia	MAA	Président
BOUDELLIOUA Hichem	MCB	Examineur
MERIGUI Khaled	MAA	Rapporteur

Promotion : JUIN 2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord le Bon Dieu qui nous a aidé et permis

De réaliser ce travail.

Aussi, nous exprimons notre gratitude au Dr. MERIGUI Khaled Qui a accepté
de nous encadrer, de nous soutenir et de

Nous apporter conseil le long De ce travail.

Aux membres du jury. A l'ensemble des enseignants du département du Génie
Chimie

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et reconnaissance aux professeurs
qui nous ont enseigné pour l'obtention de la licence et du master.

Aussi nous remercions nos familles pour leur soutien dans les moments
difficiles et pour leur encouragement.

Enfin, nous exprimons tout particulièrement notre reconnaissances et notre
profondes sympathies à tous ceux qui nous ont soutenus et encouragés pour la
réalisation du présent mémoire.

Dédicace :

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

A ceux qui m'ont encouragé et soutenue moralement pendant les moments les plus difficiles et durant toute ma vie.

A ma mère et mon père.

A mes frères et mes sœurs.

A tous mes enseignants.

A tous mes camarades et collègues tout au long de mon parcours académique

a tous mes collègues de travail surtout,

Ainsi qu'à tous mes amis et proches.

Dédicace :

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

A ceux qui m'ont encouragé et soutenue moralement pendant les moments les plus difficiles et durant toute ma vie.

A ma mère et mon père.

A mes frères et mes sœurs.

A tous mes enseignants.

A tous mes camarades et collègues tout au long de mon parcours académique

a tous mes collègues de travail surtout,

Ainsi qu'à tous mes amis et proches.

Halima

Nomenclature

Symbole *Unité* *Définition*

Lettre latines

$h_{1,c}$	MJ/ m^3	Pouvoir calorifique inférieur du combustible gazeux.
h_{air}	MJ/ m^3	Enthalpie de l'air préchauffé de combustion.
$h_{flue\ gas,inlet}$	MJ/ m^3	Enthalpie des fumées à l'entrée du récupérateur de chaleur.
$T_{air,outlet}$	°C	Température de l'air à la sortie du récupérateur de chaleur.
$T_{air,inlet}$	°C	Température de l'air à l'entrée du récupérateur de chaleur.
$T_{flue\ gas,inlet}$	°C	Température des fumées à l'entrée du récupérateur de chaleur.
K_v	/	Le taux de recirculation des fumées.
\dot{m}_a	Kg/s	Débit massique de l'air injecté.
\dot{m}_f	Kg/s	Débit massique du combustible injecté.
\dot{m}_r	Kg/s	Débit massique des produits de combustion recirculants.
\dot{w}	/	le taux de production de l'espèce chimique k
u	m/s	vecteur de vitesse.
Y_k	/	La fraction massique de l'espèce Y_k .
v	m/s	la vitesse de convection globale de l'écoulement.
f_k	N	Force massique
P	Pa	pression thermodynamique.
x	m	composantes de direction axiale

h_s	J/kg	L'enthalpie sensible.
$V_{k,i}$	m/s	La vitesse de diffusion de l'espace k dans la direction i
\dot{Q}	J/m^3s	Source de chaleur radiative
\dot{w}_T	J/kg	Le dégagement chaleur du a la réaction chimique.
i,j	/	axes de directions.
t	s	temps.
Re	/	nombre de Reynolds
T	k	Température
D_k	/	Coefficient de diffusion de l'espèce k

Lettre grecques

η	/	Le rendement de la combustion.
ε	/	Taux relatif de préchauffage de l'air
ρ	kg / m^3	La masse volumique du mélange fluide
ψ_G	Pa	Le tenseur des pressions.
δ_{ij}	/	Le tenseur de Kronecker.
λ	W/mk	conductivité thermique.
σ	N/m^2	tenseur des contraintes visqueuses.

Abbreviations

CFD	Computational fluid dynamics
EDM	Eddy dissipation model
RANS	Reynolds average Navier –Stokes
EDC	Eddy dissipation Concept.

Liste des figures

Chapitre II

Figure II.1 : Comparaison d'une combustion avec/sans flamme (Milani et Soprano, 2001).....	8
Figure II.2 : Diagramme de régime de flamme et définition de combustion sans flamme en fonction de la concentration en oxygène et de la température de l'air.....	8
Figure II.3: Variation de la température avec et sans recirculation de la chaleur, dans un système adiabatique 1D.....	10
Figure II.4 : Domaine d'inflammabilité fonction du pouvoir calorifique du combustible (Qf), de la température initiale des réactifs (Ti), et de la richesse	11
Figure II. 5 : Four de réchauffage équipée d'une zone de récupération et d'un récupérateur	12

Chapitre III

Figure III. 1 : Conditions aux limites	16
Figure III. 2 : Géométrie du brûleur 2D	17
Figure III.3 : Structure de maillage.....	18
Figure III .4 : Profil de température dans le brûleur	19
Figure III.5: Validation des Profil de températures en fonction de la position radiale(r) Pour x=30mm	20
Figure III.6: Fraction massique de CO ₂ dégagé au cours de combustion sans flamme en fonction de la position radiale (r)	21
Figure III.7: Validation la fraction massique d'O ₂ en fonction de la position radiale (r).....	22
Figure III.8 : influence d'ajoute H ₂ sur les émissions du CO	23
Figure III.9 : Fractions massique de CO pour (CH ₄ , H ₂).	24
Figure III.10 : influence d'ajout H ₂ sur les émissions du CO.	25
Figure III.11 : Fraction massique de NOX pour (CH ₄ , H ₂).	26
Figure III.12: influence des températures sur la fraction massique de Nox	27

Figure III.13: Influence de la température sur la fraction massique de CO.....	28
Figure III.14 : influence des températures d'admission sur la température combustion.....	29
Figure III.15 : changement des températures du mélange en fonction des températures d'admissions.....	31

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau III.1 : Les conditions de limites.	16
Tableau III.2 : Les nombres des nœuds.	19

Sommaire

<i>Dédicaces</i>	<i>I</i>
<i>Remercîments</i>	<i>II</i>
<i>Abréviations</i>	<i>III</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des tableau</i>	<i>V</i>
Introduction générale	1

Chapitre I : Les Polluants

I.1. Les Polluants	2
I.1.1. monoxyde de carbone	2
I.1.2. Le dioxyde de carbone et les autres gaz à effet de serre.....	2
I.1.2. oxydes d'azote	3
I.2. Effets des oxydes d'azote sur la santé et sur l'Environnement	5

Chapitre II : Combustion Sans Flamme

II.1. Introduction	7
II.2. Définition de la combustion sans flamme	7
II.3. caractéristiques de la combustion sans flamme	9
II.4. Type de la combustion sans flamme	9
II.4.1 Combustion vive et combustion	9
II.4.2 Combustion spontanée.....	9
II.6 Technique de La combustion sans flamme 10.....	

Chapitre III: Résultats et Discussions

III.1. Introduction	15
III.2 .ANSYS Fluent	15
III.3. Géométrie et Maillage.....	16
III.4 .ANSYS Design Mdeler.....	17
III.5. Etude de Maillage optimale	18
III.6.Validation des modèles utilisés	20
III.6.1. Validation des profils de Température.....	20
III.6.2. Validation des profiles de la fraction massique de CO ₂	21
III.6.3. Validation des profils des fractions massiques d'O ₂	22
III.7. Étude de l'influence de la composition du mélange réactif de CH ₄ et H ₂	24
III.7.1. Effet de l'ajout de H ₂ sur l'apparition du Co.....	25
III.7.2 .Effet de l'ajout de H ₂ sur l'apparition du NO _x	27
III.8. Etude de l'influence de la température admission.....	27
III.8.1. Influence sur l'apparition de NO _x	27
III.8.2. Influence sur l'apparition de CO	28
1III.8.3.Influence sur la température du mélange	28
III.8.4. Les contours de températeure.....	29
Conclusion Générale.....	32

Bibliographie

Introduction Générale

Introduction générale

L'air que nous respirons est un mélange complexe composé principalement d'azote (78 %), d'oxygène (21 %) et d'argon (1 %), mais aussi, en faible quantité, de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone, ainsi que de poussières et de gaz divers, polluants naturels ou artificiels,

Pour ce qui concerne les fours industriels les polluants les plus courants sont : les oxydes de soufre (SO_2 et SO_3) formés à partir du soufre contenu dans certains combustibles (fioul, gaz de cokerie, etc....) ; . l'oxydes d'azote (NO_x),dioxyde de carbone(CO_2) et l'oxyde de carbone (CO) dans les fours où la combustion s'effectue avec un défaut d'air.

La combustion sans flamme est donc un régime de combustion innovant et prometteur puisqu'il permet à la fois de réduire les émissions de NO_x et la consommation de combustible.

Les industriels fonctionnent avec des brûleurs dits à combustion sans flamme, principalement dans la sidérurgie. La combustion sans flamme est donc un régime stable parfaitement maîtrisé, en revanche, ses caractéristiques physico-chimiques sont loin d'être entièrement connues. C'est pourquoi, depuis quelques années, les recherches sont très actives dans ce domaine[1].

Le travail que nous représentons dans ce mémoire est subdivisé en trois(03)chapitres et une conclusion générale.

- Le premier est consacré à Les polluants de l'air d'origine industrielle et les effets de la pollution sur la santé.
- Généralité sur la combustion sans flamme.
- Le troisième chapitre les résultats expérimentaux et discussions.
- La conclusion générale sur l'ensemble de travail, viendra clore notre étude



Chpitre I :
Les polluants

I.1. Les Polluants :

Le monoxyde de carbone est un gaz toxique il se forme en CO_2 et le dioxyde de carbone est le principal gaz à effet de serre (GES), quant aux oxydes d'azote, ils ont des effets négatifs sur l'écosystème (pluies acides, pollution photochimique, eutrophisation), sur la destruction de la couche d'ozone stratosphérique ainsi que sur la santé humaine. Ces deux espèces sont les principaux polluants émis par les installations de combustion. C'est pourquoi, les travaux de recherche visant à diminuer les émissions de NO_x et de CO_2 lors de la combustion sont particulièrement importants, d'autant plus que le contexte réglementaire est de plus en plus exigeant. Différents accords internationaux (protocole de Göteborg, accords de Kyoto, directives européennes) amènent les états à réduire de manière significative leurs émissions de polluants atmosphériques. [2]

I.1.1. Monoxyde de carbone :

D'un atome de carbone et d'un atome d'oxygène. Ce corps composé est à l'état gazeux dans les conditions normales de température et de pression.

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore, non irritant. Il est particulièrement toxique pour les mammifères mais indétectable par eux. Chez l'être humain, il est la cause de nombreuses intoxications domestiques, souvent mortelles, qui peuvent être évitées par l'utilisation d'un détecteur de monoxyde de carbone. Son émanation, provenant d'une combustion incomplète de composés carbonés, est accentuée par une mauvaise alimentation en air frais et/ou une mauvaise évacuation des produits de combustion (ventilation). Le mélange avec l'air est facile puisque sa densité est proche de celle de l'air [3]

I.1.2. Dioxyde de carbone et les autres gaz à effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel et indispensable à notre survie, puisqu'il permet de garder une température moyenne sur la planète de 15°C . Sans lui, le flux de rayonnement parvenant du Soleil serait renvoyé intégralement dans l'espace et la température moyenne sur Terre serait de -18°C rendant toute vie impossible. Les activités humaines, depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, ont produit en peu de temps, une grande quantité de gaz à effet de serre supplémentaire, dont le plus important est le dioxyde de carbone (CO_2).

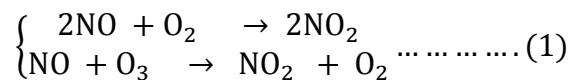
Il est évident que le dioxyde de carbone est le plus important gaz à effet de serre, non par son pouvoir de réchauffement, mais par sa quantité produite et émise dans l'atmosphère. [4]

I.1.3. Oxydes d'azote :

Le dioxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. C'est donc un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Les organes sont alors moins bien oxygénés. Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes, où il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Dès que sa concentration atteint 200 µg/m³, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant. Le dioxyde d'azote se transforme dans l'atmosphère en acide nitrique, qui retombe au sol et sur la végétation. Cet acide contribue, en association avec d'autres polluants, à l'acidification des milieux naturels.

Ils participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

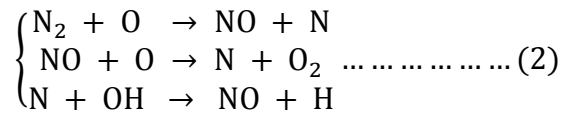
Le monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂) sont des gaz polluants oxydants, qui se forment lors de la combustion. Les oxydes d'azote sont collectivement désignés par NO_x. Le monoxyde d'azote NO est ensuite oxydé en dioxyde d'azote NO₂ par réaction avec d'autres oxydants de l'air (oxygène O₂, ozone O₃, ...) :



Les voies de formation du NO sont: la voie précoce, la voie combustible, la voie thermique, la voie de production via le protoxyde d'azote, la voie de production par NNH et la voie de réduction par précombustion. Dans les réactions de combustion, la voie thermique devient prépondérante pour des températures au dessus de 1600°C.

➤ **NO thermique :**

Le NO thermique se forme par combinaison de l'azote N₂ et de l'oxygène O₂ atmosphériques lors de combustion à haute température. La voie de formation du NO thermique, aussi appelé "mécanisme de Zeldovich", est décrit par les réactions suivantes:



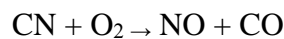
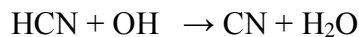
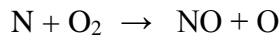
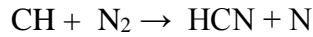
Les réactions (1) sont plutôt favorisées lorsque la combustion a lieu dans des conditions pauvres, tandis que la réaction (2) est plutôt favorisée lors d'une combustion riche. La première réaction conditionne la vitesse globale du mécanisme du fait de son énergie d'activation très élevée (318 kJ/mol). La dissociation du N₂ suivant ce mécanisme demande beaucoup d'énergie. La température d'activation de la réaction de formation du NO thermique est de 1300°C, ce mécanisme ne devient significatif que dans le cas de hautes températures. Les émissions de NO sont considérablement augmentées lorsque l'oxygène et les produits de combustion sont exposés à de hautes températures supérieures à 1600°C pendant quelques secondes, ou 2000°C pendant seulement quelques millisecondes.

➤ **NO combustible / Le « fuel-NO » :**

Ce mécanisme réactionnel est induit dans la flamme par décomposition d'un combustible comportant des atomes d'azote qui libère des composés N_x. Ces derniers vont, sous certaines conditions, former HCN avec des radicaux C_x et CH. HCN ainsi synthétisé va réagir avec O présent dans la zone réactionnelle pour donner NCO, qui va se décomposer en CO et N. Cet atome d'azote va recevoir petit à petit des atomes d'hydrogène issus de la dissociation du combustible et de HCN, pour former NH, NH₂ et NH₃. Mais ce processus lent rentre en concurrence avec la synthèse du NO et des NO_x par capture d'atomes d'oxygène. L'importance de ce type de mécanisme, dans la quantité totale émise, est directement fonction de la teneur en azote du combustible et de la richesse. Les énergies d'activation des différentes réactions sont faibles, il n'y a donc pas de dépendance aux conditions locales de températures.

➤ **NO précoce/ Le « prompt -NO» :**

Le milieu réactionnel est la flamme car il faut des molécules CH et C_x, comme pour le «
fuel NO». En revanche, dans ce cas, la chimie est complètement différente, elle était
considérée depuis de nombreuses années, comme la combinaison des relations suivantes :



Depuis peu, les réactions chimiques mises en jeu dans cette formation sont remises en
cause, et notamment la réaction CH+N₂ qui formerait plutôt NCN + H. Cette réaction
demande des radicaux CH, ce qui implique une combustion localement riche [5].

I.2. Effets des gaz toxiques issus de la combustion sur l'environnement et la santé :

La pollution atmosphérique par la combustion est un phénomène très complexe compte
tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Les niveaux
de pollution au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des
conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces
mêmes polluants [6].

Chaque jour, que ce soit en plein air, à l'intérieur d'un logement ou dans un cadre
professionnel, nous respirons plus de dix mètres cubes d'air. Cet air pénètre directement dans
nos poumons pour passer dans notre sang. S'il est pollué, cet air est source de symptômes ou
de maladies au niveau individuel et peut induire une surmortalité (décès prématurés) et une
réduction de l'espérance de vie au niveau de la population [7].

La pollution de l'air est induite par la présence dans l'atmosphère de substances toxiques,
principalement produites par l'activité humaine au cours de ces dernières années. Ces gaz et
produits chimiques génèrent une quantité de phénomènes et conséquences pour les
écosystèmes et les êtres vivants qui peuplent notre planète [8].

Les gaz polluants ont des répercussions graves sur l'environnement et la santé humaine. Dans une perspective de développement durable, l'amélioration de la qualité de l'air passe par la limitation et à terme le recours à une solution alternative à ces rejets [9].

L'objectif en termes de réduction de gaz polluants, pour chaque secteur industriel, est de limiter les rejets de dioxyde de carbone (CO_2), ozone, oxydes d'azote, hydrocarbures, plomb, particules en suspension... Les « polluants primaires » (CO , NO_2 , SO_2) émis dans l'air ambiant sont diffusés par les courants atmosphériques ; sous l'action du soleil, de l'humidité et des particules en suspension, ils subissent des transformations chimiques donnant naissance à des polluants dits secondaires (par exemple l'ozone O_3). On distingue les polluants atmosphériques des gaz à effet de serre – notamment le dioxyde de carbone (CO_2), et monoxyde de carbone. Le CO est produit par la combustion incomplète : anciennes chaudières, poêles, cheminées à charbon refoulant à l'intérieur, chauffe-eau, ... Il est aussi émis naturellement par la respiration des êtres vivants, les feux de forêts et les éruptions volcaniques [10].

Le protoxyde d'azote (N_2O) et le méthane (CH_4) sont des gaz à effet de serre qui ne sont pas directement dangereux pour l'être humain, mais leurs émissions sont à l'origine du réchauffement climatique, un phénomène qui a lui de nombreuses conséquences néfastes pour l'homme et son environnement [11]



Chapitre II :
Combustion Sans Flamme

II.1. Introduction :

La combustion a eu au XIXe siècle, et plus encore au XXe siècle, de nombreuses applications industrielles (transports, chauffage, production industrielle, production d'électricité...). Cependant, elle conduit à une émission significative de différents polluants nocifs pour les hommes et la nature, tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et le dioxyde de carbone, qui est un gaz à effet de serre. L'augmentation de la population mondiale a amplifié ces effets, et a induit une augmentation de la consommation de combustibles fossiles ainsi qu'une diminution du stock mondial. De multiples réglementations limitant les émissions de polluants ont été élaborées. Maints travaux scientifiques en ont découlé, afin d'améliorer le rendement et la qualité des processus de combustion [6].

II.2. Définition de la combustion sans flamme :

Une combustion plus propre avec un minimum de l'oxyde d'azote et de soufre est importante afin d'éviter les pluies acides et des effets néfastes sur la santé. Également la réduction de dioxyde de carbone est devenue un sujet d'intérêt dans la discussion sur la réduction des effets du réchauffement climatique [10].

La combustion sans flamme est l'une des technologies de combustion qui se développe le plus rapidement (Katsuki et Hasegawa, 1998). Ceci est dû aux très faibles taux de polluants émis et aux économies en combustible que permet cette technologie, atouts indéniables dans le contexte énergétique actuel : la hausse du prix de l'énergie fossile et les normes antipollution de plus en plus sévères expliquent l'engouement pour ce mode de combustion très prometteur. Les applications actuelles de la combustion sans flamme sont les fours industriels (verre, acier, céramiques). Katsuki et Hasegawa (1998) affirment que si ce procédé était appliqué à l'ensemble des fours industriels du Japon, la consommation nationale totale

en énergie diminuerait de 5% [15].

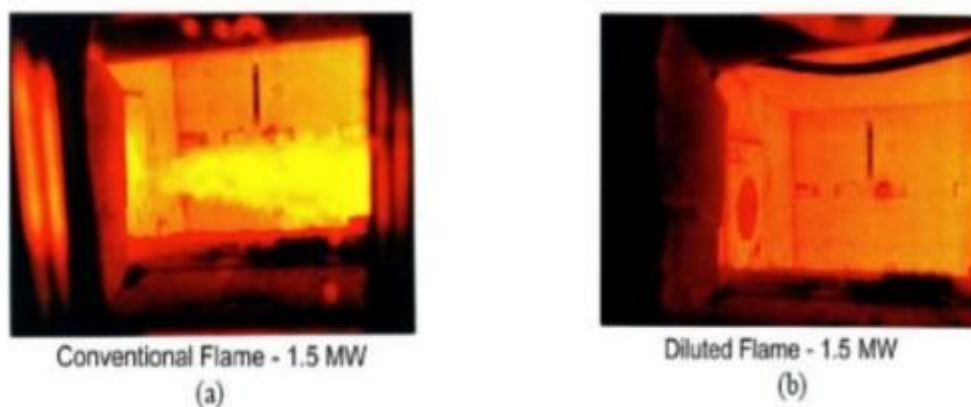


Figure. II.1: Comparaison d'une combustion avec/sans flamme .

Le Japon a été le pionnier dans ce domaine au début des années 90, beaucoup de fours fonctionnent aujourd'hui en combustion sans flamme. Il a été ensuite suivi par les Etats-Unis et l'Europe (Allemagne et Suède principalement). La connaissance scientifique sur ce nouveau mode de combustion est encore limitée. La combustion sans flamme peut être caractérisée par des paramètres globaux (température d'injection, débit, température de sortie) mais la manière dont brûlent les réactifs (propagation de flamme, flamme de diffusion, autoallumage) est encore mal comprise. De multiples définitions du mode de combustion sans flamme ont été déterminées à partir de plage de variation de paramètres globaux [15] :

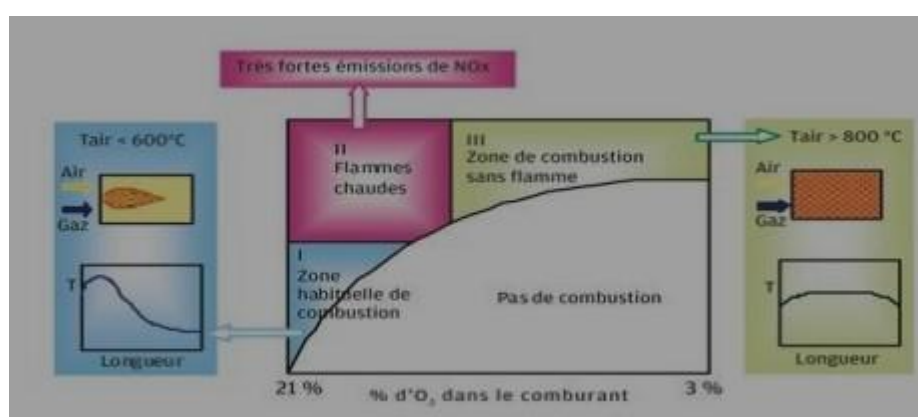


Figure II.2 : Diagramme de régime de flamme et définition de combustion sans flamme en fonction de la concentration en oxygène et de la température de l'air

II.3. caractéristiques de la combustion sans flamme :

Le mode de combustion sans flamme possède plusieurs caractéristiques [16]:

- 1-Gradients de température faibles.
- 2- Très peu polluant (des émissions en monoxyde d'azote réduites).
- 3-Economie de combustible.
- 4- Un bruit de combustion faible.
- 5-Une flamme non visible

II.4. Type de la combustion sans flamme :**II.4.1 Combustion vive et combustion lente :**

La combustion vive est une réaction qui entraîne un dégagement important de calories avec comme conséquences une forte élévation de température et une émission d'un phénomène lumineux (flamme). La combustion lente est une réaction qui entraîne un faible dégagement de calories avec peu d'élévation de température, des phénomènes lumineux presque nuls et une absence totale de flamme. La combustion vive, à l'inverse de la lente consomme rapidement la quantité d'oxygène qui lui est nécessaire.

II.4.2 Combustion spontanée:

La combustion spontanée a lieu sans cause apparente d'échauffement. Certains corps riches en carbone et facilement oxydable produisent de la chaleur sous l'effet de certaines dispositions (amas de chiffons gras, stock de charbon, etc.). L'oxydation peut aussi être engendrée par des micro-organismes (fermentation dans les tas de foin par exemple).

L'oxydation débute lentement, dégageant de la chaleur qui accélère la réaction (réaction exothermique). Cette réaction peut parfois être très vive. [17]

II.6 .Technique de La combustion sans flamme

II.6 Préchauffage

Préchauffage d'air avec les crises énergétiques que le monde a pu connaître depuis quelques décennies, beaucoup d'études ont été lancées afin de trouver de meilleures solutions plus efficaces qui consomment moins d'énergie, tout en produisant moins de polluants, surtout en termes de NO_x, CO₂, CO et suies. Cette technique permet de faire des économies en combustible considérable et donc aussi des rejets de dioxyde de carbone moins importants. Cependant dans le cas d'une flamme classique, elle crée beaucoup de NO_x. Dans la combustion sans flamme, le chauffage de l'air assure l'inflammabilité du mélange de combustible, d'air et de gaz brûlés. Il faut toutefois préciser que ce régime peut être obtenu sans préchauffage si le mélange avec les gaz chauds est suffisamment efficace

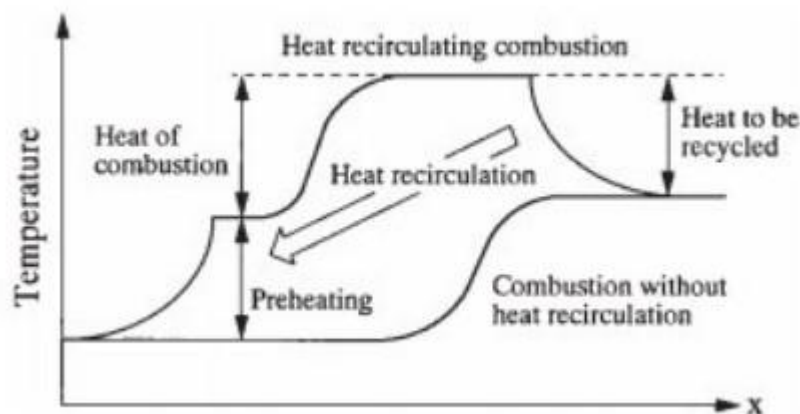


Figure II.3 : Variation de la température avec et sans recirculation de la chaleur, dans un système adiabatique 1D .

Domaine d'inflammabilité

La température d'injection fait varier le domaine d'inflammabilité. Ceci est valable pour une combustion de type pré-mélangée et de type diffusive. La figure montre clairement cette tendance. De plus, il est possible de brûler des carburants à faible dégagement calorifique qui étaient ininflammables à température ambiante

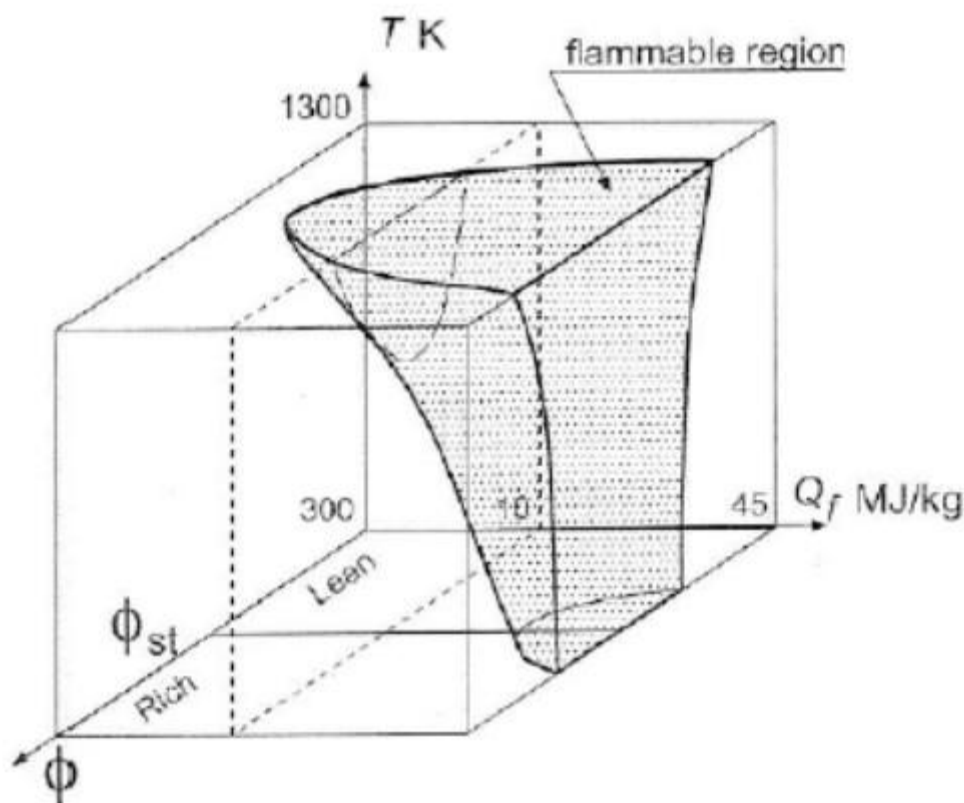


Figure II.4: Domaine d'inflammabilité fonction du pouvoir calorifique du combustible (Q_f), de la température initiale des réactifs (T_i), et de la richesse (ϕ) [16].

Pour ce faire, plusieurs méthodes sont possibles, mais sans qu'elles ne soient toutes capables de l'air comburant par régénérateur comme étant (Flamme, 1998) :

$$\eta = \frac{h_{1,c} + h_{air} - h_{flue, gaz, inlet}}{h_{1,c}}$$

Et le taux relatif de préchauffage de l'air comme étant :

$$\varepsilon = \frac{T_{air, outer} - T_{air, inter}}{T_{flue, gaz, inter} - T_{air, inter}}$$

$h_{1,c}$: Pouvoir calorifique inférieur du combustible gazeux (MJ/m³).

h_{air} : Enthalpie de l'air préchauffé de combustion (MJ/m³).

$h_{flue, gaz, inlet}$: Enthalpie des fumées à l'entrée du récupérateur de chaleur (MJ/m³).

$T_{air, outer}$: Température de l'air à la sortie du récupérateur de chaleur (°C).

$T_{air, inter}$: Température de l'air à l'entrée du récupérateur de chaleur (°C).

$T_{\text{flue.gaz.intler}}$: Température des fumées à l'entrée du récupérateur de chaleur (°C).

Cette technique permet aussi de faire des économies en combustible considérable et donc aussi des rejets de dioxyde de carbone moins importants. Cependant dans le cas d'une flamme classique, elle crée beaucoup de NOx. Dans la combustion sans flamme, le chauffage de l'air assure l'inflammabilité du mélange de combustible, d'air et de gaz brûlés. Permis les systèmes permettant le préchauffage d'air, le bruleur régénératif le plus aboutie et le plus efficace en terme de transfert d'énergie. [20].

Les récupérateurs :

Ces échangeurs de chaleur tubulaires à contre-courant permettent de préchauffer l'air jusqu'à environ 600 C. Cette limitation est fixée par la tenue thermique des matériaux. En effet, pour des raisons économiques, les échangeurs métalliques sont préférés aux échangeurs en céramique résistant à haute température. La figure 2.9 montre un four équipé d'un récupérateur dans les carneaux de cheminée (conduits acheminant les fumées vers la cheminée). Ces installations sont très compactes car elles s'insèrent directement dans les conduits. Il existe d'autres configurations, ou le récupérateur est installé sur la voute du four, ce qui permet de gagner de la surface au sol. L'air de combustion est entraîné par des ventilateurs, il passe à travers le récupérateur avant d'être distribué dans tous les bruleurs par des conduites calorifugées.

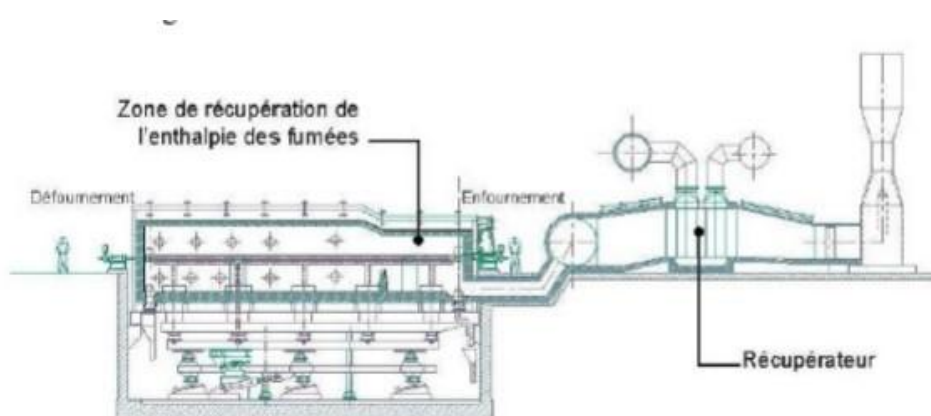


Figure.II.5: Four de réchauffage équipé d'une zone de récupération et d'un récupérateur.



Chapitre III :
Résultats et Discussions

Conclusion générale

Conclusion Générale

Notre étude de simulation numérique a été réalisée afin de mieux comprendre les phénomènes qui régissent la combustion sans flamme pour une flamme diffusion (non-pré mélangé) turbulente de Méthane - Hydrogène –Air.

Dans cette étude, on a utilisé un code numérique ANSYS Fluent avec une configuration axisymétrique 2D.

L'enrichissement en hydrogène a été investigué pour réduire les émissions polluantes. Néanmoins, l'utilisation de l'hydrogène dans les dispositifs industriels est limitée par son coût de production élevé et le danger que ça représente.

- ✓ L'enrichissement de H_2 conduit à une augmentation des émissions NO_x thermique à cause de l'augmentation de la température adiabatique, mais notre résultat de simulation permet d'établir que les NO_x diminuent lorsqu'on a une forte recirculation des produits de combustion et une forte vitesse d'injection. La dilution des produits de combustion permet d'homogénéiser la température au sein de la chambre de combustion permettant la diminution des NO_x thermique.
- ✓ La concentration de l'Hydrogène H_2 augmente les polluants CO diminuent cause de la constitution du carburant.
- ✓ L'augmentation de la température d'air les émissions de CO diminuent.
- ✓ L'augmentation de température d'admission provoque une augmentation pour les émissions NO_x thermique

Les résultats de notre travail permettent de conclure que l'augmentation de la température d'air d'admission permet la diminution de l'apparition du CO , tandis que cette augmentation augmente l'apparition des NO_x .

On propose une concentration de l'hydrogène ($H_2 = 0.15\%$.) Et après avoir essayé d'autre concentration.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] [1]: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/> (GISS Surface Temperature Analysis) ,2011
- [2] Etude expérimentale de l'influence des mélanges gazeux sur la combustion sans flamme (Doctoral dissertation, INSA de Rouen). Rottier, C. (2010).
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Monoxyde_de_carbone
- [4] mémoire Etude expérimentale de l'influence des mélanges gazeux sur la combustion sans flamme Christiane Rottier.
- [6] Thème de fin de cycle : «Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia »2002
- [7] source:<http://www.awac.be/index.php/thematiques/qualite-de-l-air/lesconsequences/effet-sur-la-sante-humaine>
- [8] OMPE | Organisation Mondial pour la Protection de l'Environnement
- [9] <https://uclouvain.be/cps/ucl/doc/reso/documents/Dos38.pdf>
- [10] <http://www.vedura.fr/environnement/air/reduction-gaz-polluants>
- [11] CITEPA «Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique »
- [12] http://www.afes.fr/wp-content/uploads/EGS_15_3_nicolardot.pdf 2017
- [13]
- https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/airnet_effets_polluants_fr.pdf
- [14] P. Clavin, (2000) Dynamics of combustion fronts in premixed gases: from flames to detonations. Proc. Combust. Inst., 28 :569–585.
- [15] Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique CNRS Flamme de diffusion laminaire.
- [16] Techniques de l'Ingénieur Réf : BE8320 v1

[17]: Josiane Roy les type de combustion chimiste M.Sc 2006.

[18]: SUWA, Toshio, KOBAYASHI, Nobuaki, et HIRANO, Takashi. Oxygen heater, hot oxygen lance having an oxygen heater and pulverized solid fuel burner. U.S. Patent No 4, 928,605, 29 Mai 1990.

[19]: Weinberg, F. J. (1971). Combustion temperatures: the future *Nature*, 233, 239-241. Hardesty, D. R., & Weinberg, F. J. (1976).

[20]: Converter Efficiency in Burner Systems Producing Large Excess Enthalpies (Reply by Authors to Comment). *Combustion Science and Technology*, 12(4-6), 153-15.

ملخص :

ان الاحتراق من أهم الظواهر الطبيعية و الصناعية (الغابات, المحركات,...) , و الشرط الأساسي ليتم الاحتراق هو توفر العنصر القابل للاحتراق , الأكسجين و طاقة التفعيل والتي من خلالها يتم الاشتعال . الدراسة الحالية تتمحور حول دراسة رقمية لظاهرة احتراق للميثان في غرفة احتراق بالمحاكاة باستعمال برنامج FLUENT هو حساب السرعات , درجات الحرارة , التراكيز الكتلية للعناصر المختلفة كالميثان CH_4 الأكسجين O_2 والماء H_2O والغازات الملوثة كأول أكسيد الكربون CO_2 و أول أكسيد الازوت NO درجة اختلاط الهواء بالميثان . استعملنا في دراستنا لهذه الظاهرة النموذج $K-\epsilon$ للسريان المضطرب اما فيما يخص الاحتراق فيجب استعمال النموذج **Model Dissipation Eddy** من اجل حساب خواصه . نلاحظ بالجمال تكون مناطق دوران للغازات وأخرى ذات درجة حرارة عالية و توزيع غير منتظم للعناصر الناتجة داخل غرفة الاحتراق

كلمات مفتاحية : لهب الانتشار اللولبي، الاحتراق، المحاكاة الرقمية

Les étudiants : :Khtri Halima Mehdi messaouda

encadreur : MERIGUI KHALED

Résumé :

La combustion est considérée parmi les plus importants phénomènes naturels et industriels (les forêts, les moteurs,). La principale condition pour avoir une combustion c'est de réunir un élément susceptible de bruler l'oxygène et une source d'énergie par laquelle la combustion aura lieu. La présente étude se concentre sur l'étude numérique du phénomène de la combustion du méthane dans la chambre de combustion par simulation en utilisant le logiciel FLUENT Le but c'est de calculer les vitesses, les températures et les fractions massiques des différentes éléments tels que; le méthane CH_4 , l'oxygène O_2 , l'eau H_2O et les gaz polluants tels que dioxyde de carbone CO_2 et le monoxyde d'azote NO . On a utilisé dans notre étude: le modèle $K-\epsilon$ pour l'écoulement turbulent et le modèle EDM (Eddy Dissipation Model) pour la combustion pour calculer ses caractéristiques. On remarque, en général, des zones de turbulence des gaz, d'autres de hautes températures et aussi une distribution désordonnée des éléments résultant dans la chambre de combustion.

Mots clés : Flamme de diffusion turbulente, combustion, simulation numérique

The two students :Khatr Halima Mahdi Messaouda

framed : MERIGUI KHALED

Abstract :

Combustion is considered one of the most important natural and industrial phenomena (forests, engines, etc.). The main condition for having a combustion is to bring together an element capable of burning oxygen and a source of energy by which combustion will take place. The present study focuses on the numerical study of the phenomenon of the combustion of methane in the combustion chamber by simulation using the FLUENT software The goal is to calculate the speeds, temperatures and mass fractions of different elements such as ; methane CH_4 , oxygen O_2 , water H_2O and polluting gases such as carbon dioxide CO_2 and nitrogen monoxide NO . We used in our study: the $K-\epsilon$ model for turbulent flow and the EDM (Eddy Dissipation Model) model for combustion to calculate its characteristics. In general, there are areas of gas turbulence, others of high temperatures and also a disorderly distribution of the resulting elements in the combustion chamber.

Keywords: Turbulent diffusion flame, combustion, numerical simulation