

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
*MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE*  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES**

**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**  
DEPARTEMENT ENERGETIQUE



**POSTGRADUATION ENERGETIQUE MECANIQUE ET MATERIAUX**  
Option Energétique

**MEMOIRE DE MAGISTER**

Présenté par : **TALEB ADEL**

*Intitulé du Sujet :*

**TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONVECTION ET RAYONNEMENT  
ENTRE DES GAZ CHAUDS ET UNE CONDUITE**

Devant le jury d'examen composé de :

<b>Président</b>	<b>M. BOUHADEF</b>	<b>Pr</b>	<b>USTHB</b>
<b>Rapporteur</b>	<b>M. BOUSSAID</b>	<b>M.C.</b>	<b>UMBB</b>
<b>Examineur</b>	<b>K. MOHAMMEDI</b>	<b>M.C</b>	<b>UMBB</b>
<b>Examineur</b>	<b>A. ZIOUCHI</b>	<b>M.C</b>	<b>UMBB</b>
<b>Examineur</b>	<b>M.HEDIBEL</b>	<b>M.C</b>	<b>UMBB</b>

*Soutenu le :23 /05 /2007*

# Remerciements

Je me dois de remercier Allah le tout puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce travail.

Je tiens à remercier, tout particulièrement, le directeur de thèse monsieur M. BOUSSAID, Maître de Conférence à l'Université de Boumerdès, pour le soutien permanent, les précieux aides et conseils.

J'adresse mes vifs remerciements au Professeur BOUHADEF pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire de magister.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur M. HEDIBEL pour ça participation à mon jury de mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur K. MOUHAMMEDI pour s'être intéressé à mon travail et avoir bien voulu être membre du jury.

Aussi je remercie vivement Monsieur A. ZIOUCHI pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je ne peux oublier les enseignants qui ont assuré notre formation de post-graduation avec tant de dévouement. Je remercie Monsieur Denis Lemonnier, Directeur de recherche au laboratoire d'Etude Thermiques, ENSMA–France, pour ses conseils précieux et son aide. J'exprime aussi ma reconnaissance et ma sympathie à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail, en particulier mes collègues d'étude, sans oublier Monsieur HADJ AMEUR pour leur assistance et soutien.

Mes remerciements vont aussi tout particulièrement à l'ensemble du personnel du centre de recherche et développement des Forces Navales ; leur contribution a été essentielle dans la réalisation de ce travail.

Je tiens à adresser une pensée affectueuse à toute ma famille et en particulier à mes parents, pour leur soutien indéfectible durant ces années d'étude. Je suis heureux d'avoir pu lire de la joie et de la fierté dans leur regard.

Enfin mes meilleures pensées et toute ma reconnaissance à tous ceux que je n'ai pas citer et qui se reconnaîtront. Que dieu guide nos pas dans la voie du savoir, de la vérité et de la justice.

## Table des matières



<b>Remerciement</b>	<b>i</b>
<b>Résumé</b>	<b>ii</b>
<b>Nomenclature</b>	<b>iii</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Etude bibliographique</b>	<b>3</b>



### **CHAPITRE 1 : Équation de transfert radiatif et méthodes de résolution**

1. Introduction	7
2. Définitions et concepts	7
2.1. Équilibre thermodynamique local	7
2.2. Luminance	7
2.3. Corps noir	8
2.4. Absorption et émission	9
2.5. Diffusion	9
3. Équation de transfert radiative	10
3.1. Formulation	10
3.2. Conditions aux limites	11
4. Grandeurs radiatives intégrales	12
4.1. Le flux de chaleur rayonné	12
4.2. Le terme source radiatif	12
4.3. Le rayonnement incident	13
4.4. L'éclairement surfacique	13
5. Méthodes de résolution de L'ETR	13
5.1. Méthodes analytiques	14
5.2. Méthodes statistiques	15
5.3. Méthodes approchées	15
5.4. Les méthodes hybrides	17
6. Conclusion	18



**CHAPITRE 2 : Méthode des ordonnées discrètes**

1. Introduction	20
2. Discrétisation angulaire	20
2.1. Calcul des grandeurs radiatives intégrales	21
2.2. Quadratures $S_N$	22
3. Discrétisation spatiale	26
3.1. Redistribution angulaire	28
3.2. Discrétisation de l'ETR	29
4. Algorithme	33



**CHAPITRE 3 : Rayonnement des gaz**

1. Introduction	36
2. Eléments sur le rayonnement des gaz	36
2.1. Base du rayonnement des gaz	36
2.2. L'approche raie par raie	37
3. Modèles approchés	37
3.1. Nécessité d'une modélisation des spectres moléculaires	37
3.2. Modèles de bandes	37
3.3. Modèle exponentiel à bandes larges (MEBL)	41
4. Modèle globaux	42
5. Choix du modèle approché	42
6. Modèle SPGG	43
6.1. Principe de calcul des coefficients $a_j$ et $k_j$	45
6.2. Mise en œuvre de la MOD associée au modèle SPGG	46
7. Validation du modèle SPGG	49
7.1. Cas du profil de température uniforme	49
7.2. Cas du Profil de température de type parabolique	50



**CHAPITRE 4 : Modèle mathématique et numérique**

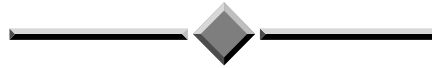
1. Formulation générale du problème	52
2. Modèle mathématique	53
3. Hypothèses	54
4. Ecoulement laminaire	54
4.1. Cas d'un écoulement établi	55

4.2. Cas d'un écoulement non établi	56
4.3. Expressions des Nusselt	58
4.4. Modèles numériques	58



**CHAPITRE 5 : Résultats & analyses**

1. Les données du problème	64
2. Résultats et analyses	65
2.1. Influence du transfert radiatif sur la convection	66
2.2. Effet de la température de la paroi	68
2.3. Effet de l'épaisseur optique du milieu	72
2.4. Effet de la conductivité thermique du milieu	75
2.5. Effet de l'établissement dynamique	76
Conclusion	78



<b>Conclusion générale et perspective</b>	80
---	----

<b>Références bibliographie</b>	82
---------------------------------	----

## ملخص

قمنا في هذه المذكرة بدراسة عددية للتبادل الحراري المقرن (حمل حراري - إشعاع)، خصوصاً سيلان الصفائحي داخل أنبوب لغازات ذات حرارة عالية. أولاً اخترنا طريقة الإحداثيات المنفصلة (MOD) مقترنة بالنموذج الطيفي (SPGG) من أجل نمذجة التبادل الحراري الإشعاعي و في المرحلة التالية، قمنا بتقييم عبارة المصدر الإشعاعي بواسطة ETR قبل أن يتم إدخاله في معادلة الطاقة. هذه الأخيرة تم حلها بواسطة طريقة الفوارق المنتهية. النتائج المتحصل عليها بالنسبة للتبادل الحراري المقرن (حمل حراري - إشعاع) سمحت لنا بتحليل التأثير الإشعاعي على الحمل الحراري. كذلك تم تحليل تأثير حرارة الجدار، السمك الضوئي، الناقلية الحرارية و سيلان الوسط، على تطور درجة الحرارة المتوسطة و في نفس الوقت على التدفق الحراري عند الجدار و العدد المحلي للنسي سالت. النتائج كانت حسنة مقارنة بما هو مطروح في المراجع المعتمدة. النتائج المحققة و المنظور المستقبلي الواعد للتبادلات الحرارية المقترنة دافع لاستمرار البحث في هذا المجال.

**المفردات:** التبادل الحراري المقرن حمل حراري-إشعاع، نموذج الغازات المشعة، طريقة الإحداثيات المنفصلة، سيلان داخل أنبوب.

## Abstract

In this thesis we evaluate with numerical simulation the coupled convection–radiation heat transfer, particularly the laminar flow of hot temperature gas in channel. First we choice the DOM method associate with the spectral model WSGG to modulate radiative transfer. In the second step, the radiative source is evaluated by the RTE before inject theme in energy equation. This latest equation is solved by the finite difference method. The study allowed the effect of radiation on single convection analysis. The effect of wall temperature, the optical thickness, the medium thermal conductivity and medium flows, over the average temperature development as well as the wall heat flux and local Nusselt number, is analyzed. The results of our code are in good agreement compared with those available in literature. The results obtained also the perspective very promising of coupled transfer encourage continuing the investigation.

**Keywords:** coupled transfer, convection-radiation, model of gas radiation, discrete ordinate method, flow in tube.

## Résumé

Dans ce mémoire, une évaluation par simulation numérique des transferts couplés convection–rayonnement à été réalisé, en particulier les écoulement laminaires des gaz à haute température dans une canalisation.

Dans une première étape, le transfert radiatif est modélisé par la méthode MOD associée au modèle spectral SPGG. Dans la deuxième étape, le transfert couplé est résolu par l'évaluation des sources radiatives dans l'équation de l'énergie. Cette dernière est résolue par la méthode des différences finies.

L'étude a permis l'analyse de l'effet du rayonnement sur la convection pure. En outre on analyse l'effet de la température de la paroi, l'épaisseur optique, la conductivité thermique et le régime d'écoulement, sur le développement de la température moyenne du milieu, sur le flux de chaleur à la paroi et sur le nombre de Nusselt local. Au-delà des résultats encourageants l'intérêt et les perspectives prometteuses des transferts couplés incitent à l'approfondissement de cette étude.

**Mots clés :** transfert couplé, convection–rayonnement, modèle de rayonnement des gaz, méthode aux ordonnées discrètes, écoulement dans une canalisation.