

REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'enseignement supérieur  
Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# THESE D'ETAT

*De Monsieur **HAOUI Rabah**  
Chargé de cours et de recherche. USTHB.  
Spécialité génie mécanique, Option énergétique.*

Promoteur : A.GAHMOUSSE    Co-promoteur : S.RECHAK  
Co-promoteur à l'étranger : D.ZEITOUN

Intitulé :

## **Ecoulement à très hautes températures dans une tuyère axisymétrique**

Soutenue le 06 janvier 2003 devant le jury d'examen :

CHITOUR Chems Eddine, professeur, ENP, ..... Président  
GAHMOUSSE Abderrahmane, professeur, INES Tébessa, ..... Rapporteur  
RECHAK saïd, professeur, ENP, ..... Co-rapporteur  
ZEITOUN David, professeur, IUSTI, Marseille (France)..... Co-rapporteur  
BENMANSOUR Saïd, professeur, USTHB..... Examineur  
LARBI Salah, Maître de Conférence, ENP,..... Examineur  
MOULAY Saïd, professeur, USTHB, ..... Examineur

**المخلص :** تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة سيلان الهواء عند درجة حرارة مرتفعة داخل بوق متقارب -متباعد ما فوق الصوتية مع الأخذ بعين الاعتبار عدم التوازن الاهتزازي و الكميائي للجزيئات المكونة للهواء المتفكك. السيلان ذو ثلاثة أبعاد، و المرور إلى سيلان ذو بعدين و محوري تم بطريقة اضطراب المجال. حل المعادلات الغير مرتبطة خطيا تم بطريقة الحجم المتناهية.

بعد الحصول على النتائج، قمنا بالمقارنة ما بين نموذجين للتفاعلات الكميائية الممكن حدوثها أثناء سيلان الهواء: نموذج لثلاث تفاعلات كميائية - نموذج زالدوفيتش- و نموذج لسبعة عشر (17) تفاعل كميائي.

**Résumé :** Cette étude porte sur les écoulements de gaz à hautes températures en tuyère hypersonique et tient compte des processus de non équilibre chimique et vibrationnel des espèces constituant le mélange d'air dissocié. L'écoulement est en général tridimensionnel, le passage des équations 3D à 2D axisymétrique est assuré par une technique de perturbation de domaine. L'intégration est basée sur une méthode de volumes finis. Deux modèles cinétiques : le modèle de Zeldovich à trois réactions chimiques et le modèle à 17 réactions, sont testés et les résultats numériques obtenus mettent en évidence l'importance du modèle cinétique choisi.

**Mots clés :** Ecoulement réactif / cinétique chimique / dissociation / vibration / hors équilibre / figeage / écoulement supersonique / écoulement hypersonique.

**Abstract :** The aim of this work is to analyse the high temperature flow in a hypersonic nozzle taking into account the chemical and vibrational nonequilibrium for the different species of air mixture. The passage from 3D to 2D axisymmetric is assured by the technique of the domain perturbation. The numerical results show the difference between two different models: the model of 3 chemical reactions ( Zeldovich model) and the model of 17 chemical reactions.

**Key words:** Reactive flow / chemical kinetic / dissociation / vibration / nonequilibrium / frozen / supersonic flow / hypersonic flow.

## Remerciements

Ce travail est l'aboutissement de nombreuses années de recherche. Ma passion pour le domaine de l'aérodynamique hypersonique que j'ai découvert lors de ma formation en post-graduation, m'a naturellement conduit à clôturer cette formation par une thèse d'état à l'école nationale polytechnique au département de génie mécanique en traitant le problème des écoulements à très haute température.

La direction de mes travaux de recherche a été assurée par le Professeur Abderrahmane **GAHMUSSE**. Je le remercie très sincèrement de s'être ainsi intéressé à mon travail.

Je voudrais également exprimer toute ma reconnaissance à M. Saïd **RECHAK**, Professeur au Département de Génie Mécanique à l'ENP, qui, malgré ses nombreuses obligations professionnelles, a accepté d'être mon co-promoteur.

Je tiens à remercier vivement M. David **ZEITOUN**, Professeur à l'université de Provence, de m'avoir accueillie au sein de son équipe de recherche dans le Laboratoire des milieux hors équilibre.

Les nombreuses et fructueuses discussions que j'ai eues avec M. Raymond **BRUN**, Professeur et Directeur de recherche au CNRS, m'ont permis de comprendre les processus physico-chimiques particulièrement complexes qui se produisent dans les écoulements hypersoniques. Je voudrais le remercier très particulièrement.

Je suis très honoré que M. Chems Eddine **CHITOUR**, Professeur au département de Chimie à l'ENP, préside mon jury de thèse et je voudrais le remercier pour la confiance qu'il m'a accordée.

M. Saïd **BENMANSOUR**, Professeur à l'USTHB, M. Salah **LARBI**, Maître de Conférence au Département de Génie Mécanique à l'ENP et M. Saïd **MOULAY**, Professeur à l'USTHB, m'ont fait très plaisir en acceptant d'être membres de mon jury de thèse.

**Confidentielle**