



# **Modélisation et simulation du rayonnement dans les jets de moteurs à propergol solide à haute altitude**

Soutenance de thèse de Quentin BINAULD

**vendredi 21 décembre 2018 à 13h30**

Centralesupélec, Bâtiment Eiffel, 8-10 rue Joliot-Curie: 91190 Gif-sur-Yvette  
salle Amphi IV, Eiffel

## **Devant le jury composé de :**

Mme Mouna EL HAFI Ecole des Mines d'Albi Carmaux, Rapporteur

M. Pascal BOULET Université de Lorraine, Rapporteur

M. Anouar SOUFIANI Laboratoire EM2C, CNRS UPR288 et CentraleSupélec, Directeur de thèse

Mme Frédérique LAURENTNÈGRE Laboratoire EM2C, CNRS UPR288 et CentraleSupélec, Examineur

M. Arnaud BULTEL Laboratoire CORIA, Université de Rouen, Examineur

M. Jean-Michel LAMET Département Multi-Physique pour l'Energétique, ONERA, Examineur

M. Philippe RIVIERE Laboratoire EM2C, CNRS UPR288

M. Lionel TESSE Département Multi-Physique pour l'Energétique, ONERA

## **Résumé**

Le rayonnement dans les jets issus de moteurs à propergol solide constitue un phénomène essentiel à l'estimation des flux aux parois et à la prédiction de la signature radiative des engins. À haute altitude, de l'ordre de 100 km, ces jets sont caractérisés par des écoulements compressibles diphasiques, à fort aspect raréfié dans certaines régions, composés de particules d'alumine et de gaz de combustion. Le transfert radiatif y joue un rôle important dans la mesure où il influence fortement le refroidissement et le changement de phase des particules. Afin de simuler numériquement les jets et leur rayonnement, différents modèles ont été développés. Le rayonnement des gaz a été pris en compte à l'aide de modèles statistiques à bandes étroites. Le phénomène de surfusion qui régit le changement de phase de l'alumine et les champs de température associés aux différentes tailles de particules, a été pris en compte. Enfin, une méthode de splitting des puissances radiatives a été mise en oeuvre afin de permettre le couplage entre le rayonnement et l'écoulement dans des milieux en déséquilibre thermique gaz/particules. Ces modèles ont été implémentés dans une plateforme de calcul, permettant de coupler un solveur fluide utilisant une approche Navier-Stokes, un solveur eulérien pour traiter la phase dispersée et un solveur radiatif qui utilise une méthode de Monte Carlo. L'outil numérique développé a été partiellement validé en comparant nos résultats aux mesures obtenues dans le cadre de l'expérience BSUV2. Dans les conditions de cette expérience, le rayonnement des particules est prédominant mais la contribution des gaz s'avère non négligeable. Des simulations sous différentes hypothèses ont permis de mettre en évidence le rôle primordial du transfert radiatif, couplé au phénomène de surfusion, dans l'établissement des champs de température des particules. La dernière partie de ces travaux s'est attachée à l'étude du déséquilibre vibrationnel de la phase gazeuse et de son impact sur le rayonnement dans les jets. Il est montré que le gel partiel des niveaux de vibration de la molécule CO<sub>2</sub> durant la détente du jet peut augmenter de façon significative son rayonnement.

## **Mots clés**

Rayonnement, Transfert thermique, Alumine, Déséquilibre thermodynamique, Énergétique, Monte Carlo,