

Avis de Soutenance

Madame Vincente CARDONA

Physique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Interactions aérodynamiques de débris spatiaux lors de la rentrée atmosphérique : étude expérimentale en régime raréfié

dirigés par Madame Viviana LAGO

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : ICARE - Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité, Environnement

Soutenance prévue le **vendredi 21 avril 2023** à 14h30

Lieu : ICARE, CNRS, 1C, avenue de la recherche scientifique 45071 Orléans Cedex 2, France

Salle : de conférence

Composition du jury proposé

Mme Viviana LAGO	ICARE, CNRS	Directrice de thèse
M. Thierry MAGIN	Karman Institute for Fluid Dynamics	Rapporteur
M. Stuart J. LAURENCE	University of Maryland	Rapporteur
M. Eddy CONSTANT	R.Tech	Examineur
M. Stéphane GALERA	CNES	Examineur
M. Azeddine KOURTA	PRISME - Université d'Orléans	Examineur
Mme Marielle VARENNE	CEA	Examinatrice
M. Thierry DUDOK DE WIT	Université d'Orléans	Examineur

Mots-clés : Interaction choc/choc, Aérodynamique expérimentale, Supersonique / Hypersonique, Régime raréfié, Soufflerie MARHy, Rentrée atmosphérique

Résumé :

Cette thèse porte sur l'étude expérimentale des débris spatiaux pénétrant l'atmosphère à des altitudes de l'ordre de 90 km, où l'air, peu dense, est dit raréfié. A ces altitudes, l'air se densifie peu à peu, menant à d'intenses charges thermiques et de pression. Contraints à ses efforts, les débris vont, dans la majorité des cas, se fragmenter. Si les petits fragments se vaporisent dans l'air, les plus gros vont pénétrer plus amplement l'atmosphère, et possiblement atteindre la surface terrestre. L'inquiétude se pose quant aux risques humains et environnementaux. Il est donc primordial de connaître avec précision la zone et le date d'impact. Deux éléments rendent cette détermination difficile : les interactions entre fragments de débris, et la faible connaissance des écoulements raréfiés. En effet, au sein d'un nuage de débris, les fragments peuvent évoluer à proximité les uns des autres, provoquant des interactions aérodynamiques. Dans le cas d'un débris secondaire évoluant au sein du sillage d'un débris primaire, les interactions aérodynamiques peuvent induire des conditions aérothermodynamiques sévères (pression dynamique, flux thermique), un phénomène de « surf » sur l'onde de choc primaire, ou une modification des coefficients aérodynamiques des débris secondaires. Ces différents impacts sur les débris auront comme conséquence la modification de leur trajectoire et donc de leur impact. Dans le cas d'une fragmentation se produisant à haute altitude, les interactions aérodynamiques vont concerner les régimes d'écoulements raréfiés (de glissement, de transition), caractérisés par le nombre de Knudsen. Ces régimes, encore peu connus, nécessitent toujours un gros effort scientifique pour les caractériser. Les codes de calculs actuels peinent encore à identifier, notamment, les conditions de glissement à la paroi des objets, ce qui rend difficile la prise en compte des effets visqueux provenant directement du niveau de raréfaction. En conséquence, les prédictions d'impacts sont encore peu précises et connues bien trop tardivement. A l'heure actuelle, très peu de travaux ont été menés dans ces conditions d'écoulement et pour des configurations d'intérêt : forme et position des débris, nombres de Mach et de Knudsen. L'objectif de cette thèse est de répondre à ce besoin, en étudiant expérimentalement les interactions aérodynamiques entre deux objets sphériques, et plus particulièrement, les interactions choc/choc en découlant. Cette étude expérimentale est réalisée dans la soufflerie MARHy qui permet de générer des écoulements supersoniques et hypersoniques de faible densité. Grâce à différents dispositifs expérimentaux, les interactions choc/choc ont pu être évaluées visuellement, mais également en termes de

forces aérodynamiques et pressions pariétales. Pour mieux comprendre les effets de raréfaction locale d'un écoulement, différents ratios de diamètres de sphères ont été étudiés. De même, les effets de raréfaction globale ont pu être évalués avec une étude iso-Mach (Mach 4) et différents nombres de Knudsen, rendue possible grâce des tuyères interchangeableables. Enfin, une étude hypersonique (Mach 20) raréfiée a mis en évidence une forte augmentation des effets visqueux. Ces expériences ont permis une meilleure compréhension du rôle des effets de raréfaction sur les interactions aérodynamiques entre deux sphères. L'acquisition de cette importante base de données expérimentales pourra enrichir les codes de calculs considérant les écoulements supersoniques et hypersoniques de hautes altitudes, et à long terme, améliorer la prédiction des impacts terrestres.