

---

# **Experiment, Modeling and Simulation of Gas-Surface Interactions for Reactive Flows in Hypersonic Flights**

## **(RTO-EN-AVT-142)**

### **Executive Summary**

The need for a closer interaction between materials and fluid sciences as a key point of the future progress in space-entry research, rockets and high speed missiles engineering is well known. Indeed, under typical flight conditions the high energetic exchanges cause sharp temperature increases followed by molecule dissociation and particle ionizations governed by chemical reactions. Several empirical models are known for the description of such chemical processes and their differences turn out to affect sensibly the flow behavior mainly through the species composition. Another source of discrepancies arises when computing the interaction of such reactive flow with particles or solid structures using specific models, including catalytic properties, which affect the prediction of the total energy flux experienced by the surface. In order to increase the efficiency of the technologies currently used to sustain these flow conditions it requires on the R & D side a better understanding and control of the complex physico-chemical processes occurring in the external flow fields, wakes and propulsion systems, of such configurations. Therefore, a systematic review of the different aspects of this field appears essential in the development strategies of new technologies, dealing with aerothermochemical phenomena, as well as their military applications and for the more general space transportation domain.

The objectives of the collection of papers are to review the up-to-date experimental techniques, the theoretical models, as well as the numerical simulation developments involved in the treatment of the chemical characters of high temperatures gases. Aspects of both materials and high temperatures fluid sciences will be discussed together, with the aim of enhancing the improvements in the understanding of the processes of heat release on solid surfaces close to reactive gases taking place in re-usable hypersonic flight vehicles. The course notes will then focus on the presentation of the experimental techniques used to determine chemical non-equilibrium reaction rates, on the modeling and on the experimental investigation of gas surface interactions; and, finally, on the application of the previous concepts to both numerical and experimental investigation of flight and ground-test conditions.

We wish to thank the following for their contribution to the success of this RTO-VKI Lecture Series: European Office of Aerospace Research and Development, Air Force Office of Scientific Research, United States Air Force Research Laboratory EOARD.

# **L'expérimentation, la modélisation et la simulation d'interactions gaz-surface pour écoulements réactifs en vol hypersonique (RTO-EN-AVT-142)**

## **Synthèse**

Le besoin d'une interaction plus étroite entre les sciences des matériaux et des fluides comme point clé du progrès futur dans l'ingénierie de recherche en matière d'entrée dans l'espace, de fusées et de missiles à grande vitesse, est bien connu. En effet, dans des conditions de vol particulières, les échanges hautement énergétiques provoquent des augmentations brutales de température suivies d'une dissociation moléculaire et d'une ionisation des particules régies par des réactions chimiques. Plusieurs modèles empiriques sont connus pour décrire ces processus chimiques et leurs différences s'avèrent affecter sensiblement le comportement des flux, principalement par la composition des espèces. Une autre source de divergences apparaît lors du calcul de l'interaction de ce type d'écoulement réactif avec des particules ou des structures solides utilisant des modèles spécifiques, notamment des propriétés catalytiques, qui affectent la prédiction du flux d'énergie total subi par la surface. Augmenter l'efficacité des technologies utilisées à l'heure actuelle pour supporter ces conditions de flux nécessite que la R & D comprenne et contrôle mieux les processus physico-chimiques survenant dans les champs de courants externes, les sillages et les systèmes de propulsion, de ces configurations. Par conséquent, une revue systématique des différents aspects de ce champ semble essentielle dans le cadre des stratégies de développement de nouvelles technologies, traitant des phénomènes aérothermochimiques, et leurs applications militaires ainsi que pour le domaine du transport spatial de manière plus générale.

L'objectif de ce recueil d'articles consiste à revoir les techniques expérimentales de pointe, les modèles théoriques ainsi que les développements de simulations numériques impliqués dans le traitement des caractéristiques chimiques des gaz à température élevée. Les aspects de ces deux sciences des matériaux et des fluides à haute température feront l'objet de discussions communes dont l'objectif sera d'améliorer davantage la compréhension des processus de dégagement de chaleur sur des surfaces solides à proximité de gaz réactifs, se produisant dans des véhicules aériens hypersoniques réutilisables. Le cours portera ensuite sur la présentation des techniques expérimentales utilisées pour déterminer des vitesses de réaction chimiques hors d'équilibre, sur la modélisation et la recherche expérimentale d'interactions gaz-surface, et enfin sur l'application des anciens concepts de recherche numérique et expérimentale des conditions d'essai en vol et au sol.

Nous souhaitons remercier les organismes suivants pour leur contribution au succès de cette série de conférences RTO-VKI : l'EOARD (le bureau européen de recherche et développement aérospatial de l'armée de l'air américaine), l'AFOSR (le bureau de recherche scientifique de l'armée de l'air américaine), l'AFRL (le laboratoire de recherche de l'armée de l'air américaine).