

Fondation de Recherche en Aéronautique et Espace  
7ème appel à projet FNRAE Décembre 2008



## MAITRISE DE L'ENVIRONNEMENT THERMIQUE

### Calendrier de l'appel

- ✧ Septembre 2008 : mise en ligne du thème retenu sur le site Internet
- ✧ Fin Décembre 2008 : lancement officiel de l'appel
- ✧ 20 Février 2009 : date limite pour pré-enregistrement des dossiers
- ✧ **27 Février 2009 : date limite pour soumission des dossiers**
- ✧ Lundi 06 avril 2009 : réception des expertises scientifiques et industrielles
- ✧ Jeudi 23 avril 2009 : Conseil Scientifique N°10 pour première sélection
- ✧ **07 Mai 2009 : Conseil d'Administration N°12 pour sélection finale**

### Vous souhaitez déposer un projet

- ✧ Consultez la procédure à suivre sur le site de la Fondation <http://www.fnrae.org>
- ✧ Contactez Isabelle CHEVALIER ou Stéphanie ALMARCHA à [contact@fnrae.org](mailto:contact@fnrae.org) ou par téléphone au 05 62 88 69 92 du lundi au vendredi.



## **Champ couvert**

Il s'agit de l'ensemble des problèmes relevant de ce que l'on appelle communément « la thermique ». En termes d'applications, les domaines concernés sont les aéronefs (avions hélicoptères...), les fusées (lanceurs, missiles..), les satellites (orbiteurs, véhicules de rentrée ...) et tous les moteurs ainsi que les systèmes électroniques embarqués associés à ces catégories de véhicules.

En termes de disciplines scientifiques le champ couvert s'étend de la modélisation physique (écoulements diphasiques, réactifs, turbulence thermique, couplage thermique fluide/structure, transfert radiatif...) en passant par les aspects expérimentaux et technologiques (caractérisation thermique et thermo-optique des matériaux, essais aérothermiques, métrologie associée, conception de matériaux et structures...) jusqu'à la simulation numérique (maillages et algorithmes adaptés aux couplages multiphysiques, couplages de codes, régimes transitoires et instationnaires, techniques de réduction de modèles, d'accélération de convergence et d'optimisation multicritère, ...)

## **Evolution du contexte**

Le contexte aéronautique est fortement orienté par les aspects environnementaux et la contrainte de réduction des coûts qui conduisent à rechercher des réductions de masse, des réductions de consommation...On assiste ainsi à l'introduction massive des matériaux composites (à matrice organique) dans les structures des aéronefs et certaines parties froides des moteurs et par l'introduction de matériaux plus légers (composites à matrice céramique, composés intermétalliques...) dans les parties chaudes des moteurs pour réduire la masse. De la même façon l'augmentation du rendement des moteurs passe par des matériaux ou des pièces fonctionnant à température plus élevée, des injecteurs et des chambres de combustion adaptables aux différents régimes de fonctionnement etc. Pour les avions, l'optimisation de l'énergie embarquée nécessite aussi une optimisation de toutes les utilisations de l'énergie à bord et notamment du système de climatisation cabine.

Dans le domaine spatial les enjeux sont de même nature : réduction des coûts, augmentation de la fiabilité-durée de vie, réduction de la masse. L'utilisation d'ergols cryotechniques et de technologies de propulsion avancées impose des contraintes particulières sur les systèmes de refroidissement des chambres de combustion et sur le fonctionnement des turbopompes des moteurs fusées à haute performance. Dans le domaine des satellites, le

contrôle thermique joue un rôle fondamental par les besoins de dissipation (dont le poids s'accroît avec l'augmentation de la puissance embarquée) et la régulation. Ces problèmes de thermique concernent tous les types de satellites, des plus gros aux micro et nanosatellites.

De façon générale, l'élargissement des performances fonctionnelles des systèmes embarqués conduit à une augmentation des capacités de traitement et de calcul, ce qui compte tenu des contraintes de volume et de masse tend à accroître la dissipation thermique volumique. L'électronique embarquée est donc confrontée à des enjeux thermiques importants.

## **LES THEMATIQUES DE L'APPEL**

L'appel d'offre est centré sur les problèmes de maîtrise de l'environnement thermique dans le domaine aéronautique et spatial. Il a trait à l'aérothermique, aux matériaux et structures et aux composants.

### **1 / Aérothermique**

Dans cette thématique, on s'intéresse surtout à l'amélioration de la modélisation et à la simulation numérique des phénomènes thermiques intervenant dans les systèmes embarqués. De façon non exhaustive, l'appel d'offre concerne : l'interaction d'écoulements non isothermes (mélanges de flux, échappements de systèmes d'air ...), l'aérothermique instationnaire (ventilation avion, systèmes anti-givrage), la turbulence thermique en cavité (avec notamment le rôle des forces volumiques), les échanges thermiques dans les écoulements multiphasiques (circuits de refroidissement, dispositifs d'injection), les modes d'instabilité des dispositifs aérauliques. Il s'agit aussi de prendre en compte les conditions extrêmes qui peuvent apparaître en cas de rupture ou d'endommagement des systèmes de refroidissement.

Un enjeu important réside dans la capacité à traiter la convection et le rayonnement de façon couplée avec la conduction pour évaluer les charges thermiques qui s'appliquent sur la structure. On cherche désormais à remplacer les méthodes de calcul fondées sur un chaînage itératif par des calculs couplés. On cherche aussi à améliorer les méthodes d'estimation des flux thermiques fondées sur des simulations des grandes échelles.

Les problèmes liés au refroidissement des aubes fixes ou mobiles des turbines, des foyers ou des chambres de combustion (« film cooling », films liquides ou gazeux pariétaux, multiperforations, ...), des systèmes d'injection avancés, des cavités en rotation, les questions de stabilité aérothermique des labyrinthes, les transferts dans les systèmes rotatifs et contrarotatifs, le refroidissement des équipements par impact de jets, les interactions combustion turbulente / rayonnement / particules de suie dans les chambres de combustion ... entrent dans cette thématique.

L'objectif visé de façon plus générale est de développer des méthodes de simulations 3D complètes du comportement aérothermique et thermomécanique de composants (foyers, injecteurs, aubages, cavités, circuits, paliers...) et de systèmes comme des moteurs complets ou des plateformes de satellites en fonctionnement stabilisé ou en transitoire. Les méthodes de contrôle en aérothermique sont aussi envisagées pour réaliser des marges de progrès et

assurer une optimisation des systèmes. Le développement de diagnostics de contrôle en temps réel des champs thermiques ainsi que des plateformes expérimentales permettant de reproduire les conditions d'usage (par exemple cyclage thermique) sont aussi dans le champ de cet appel à propositions.

## **2/ Matériaux et structures**

Les matériaux et constituants visés sont concernés par des contraintes thermostructurales extrêmes et se trouvent essentiellement dans les motorisations (aubes, carters), les parois de tuyères, et plus généralement sur les surfaces exposées à l'échauffement (pointes avant de missiles, échappements, etc...).

Les principales orientations visent à soutenir l'exploration de solutions innovantes (céramiques nouvelles, oxydes ou non oxydes, céramiques eutectiques...) ou à revisiter des solutions connues pour en réduire les coûts ou les masses (superalliages, composites à matrice métallique ou céramique, composés intermétalliques...). Elles visent aussi à soutenir la modélisation et la compréhension des transferts radiatifs et conductifs couplés à l'échelle élémentaire en liaison avec les effets thermomécaniques observés (ces outils seront mis également au service de la compréhension des mécanismes de vieillissement en service).

Pour ce qui concerne les matériaux composites (CFRP, sandwiches), les thèmes retenus sont l'amélioration, la caractérisation et la modélisation de la conductibilité thermique (microscopique et macroscopique ; effets de morphologie). On s'intéresse également au développement d'une capacité de simulation de feux sur les matériaux composites (burn-through fuselage post-crash) ainsi qu'à la capacité de prédiction des flux thermiques sur des pièces exposées (attache APU ou mât).

Par ailleurs, l'obtention de systèmes présentant des propriétés impossibles à atteindre avec un seul matériau conduit très souvent à réaliser des assemblages de matériaux présentant des propriétés très différentes pour obtenir un méta-matériau à propriétés optimisées. C'est la démarche suivie pour les composites, les revêtements, les sandwichs... On pourra s'intéresser à ce type d'assemblage pour les applications thermiques.

Une autre voie, encore largement exploratoire, entre dans l'appel à projets : il s'agit de la réalisation de matériaux à propriétés incompatibles (ex : bon conducteur électrique et bon isolant thermique...) par recours à des architectures complexes (mousses, milieux enchevêtrés...). La coexistence de propriétés dues au comportement intrinsèque du matériau

constitutif d'une part et à l'architecture d'autre part peut aboutir à des combinaisons de propriétés globales « impossibles », pour peu que ces propriétés relèvent d'échelles d'espace disjointes.

La simulation multiéchelle des matériaux à usage thermique entre dans le cadre de l'appel avec pour objectif aussi bien la conception (optimisation du matériau ou de l'ensemble pièce + matériau), que l'évaluation de l'endommagement et de la durée de vie en service.

Enfin la caractérisation des propriétés thermophysiques, après vieillissement en particulier, fait aussi partie des thèmes retenus.

### **3/ Composants**

Dans ce thème on trouve les dispositifs classiques de régulation : les pompes à chaleur, les boucles diphasiques, les micro-caloducs, les systèmes de refroidissement intégrés exploitant la microfluidique, les systèmes de refroidissement par impact et par films, les nouvelles configurations multiperforées, les briques à picots...On y trouve également des concepts innovants comme les dispositifs passifs à base de matériaux à émissivité variable avec la température (« smart radiative devices »), les dispositifs de régulation de la température des piles à combustibles de type PEM ainsi que les recherches sur la thermo-élasto-hydrodynamique (TEHD) des contacts lubrifiés avec comme application le comportement thermique des garnitures d'étanchéité.

L'utilisation de nouvelles technologies (notamment les nanotechnologies, ...) ou de principes innovants pour la réduction des résistances thermiques fait partie de cette thématique.

