



4^{ème} appel à propositions
30 Avril 2007

Matériaux pour l'Aéronautique et l'Espace

Motivations

Cet appel couvre le champ des *matériaux pour l'aéronautique et l'espace*, en relation étroite avec *l'amélioration des procédés* dont ils découlent et *la maîtrise des structures* qu'ils constituent. Dans ces domaines, la conception des véhicules aéronautiques et spatiaux de demain doit répondre à des exigences de sûreté de fonctionnement de plus en plus grandes et prendre en compte la complexité croissante des environnements. Elle doit également intégrer des préoccupations accrues de rationalisation des dépenses de matières premières et d'énergie et minimiser, en s'appuyant de manière de plus en plus efficace sur les possibilités de la simulation, les coûts de mise au point et de développement. Ces contraintes se conjuguent pour motiver une demande forte d'innovation et de ruptures technologiques *dans toute la chaîne couvrant les procédés, les matériaux et les structures*.

Les thèmes recensés ci-dessous illustrent certaines de ces attentes sur des questions déjà bien identifiées, sur lesquelles sont souhaitées des contributions novatrices. La liste n'en est cependant pas exclusive : seront considérées avec intérêt toutes propositions touchant à d'autres thèmes à condition qu'elles remplissent les conditions suivantes :

- répondre à des besoins industriels réels et bien identifiés *dans le domaine concerné* et avoir, de ce point de vue, un caractère fortement novateur ;
- même s'il s'agit de propositions centrées sur l'aspect « matériaux », expliciter et analyser les problèmes scientifiques et techniques pouvant concerner les aspects « structures » et « procédés » associés ;
- axer les investigations sur l'étude des propriétés thermomécaniques sans négliger, quand c'est pertinent, leur couplage avec d'autres propriétés physiques ou chimiques.

Thèmes principaux de l'appel à propositions

Chacun de ces thèmes, qui définissent des domaines d'application, inclut tout autant les investigations expérimentales et de modélisation-simulation et, mieux encore, leur combinaison, que les développements souhaitables éventuels en matière de contrôle, d'évaluation et d'investigation non-destructifs.

1. Nouveaux procédés d'élaboration et de transformation

L'objectif principal est ici de minimiser les pertes de matière et d'énergie dans le cycle global de fabrication des pièces. Les axes de recherche prioritaires proposés sont les suivants :

- formage à froid des métaux durs :

- évaluer les écarts sur les critères de propriétés mécaniques et de formabilité pour les demi-produits métalliques élaborés à froid et à chaud ; comprendre les mécanismes microstructuraux de déformation à froid des matériaux à maille hexagonale (notamment *alliages de titane*) d'intérêt pour l'aéronautique et l'espace ; développer des modèles multi-échelles liant microstructure et propriétés macroscopiques.

- simuler les procédés de formage à froid des pièces aéronautiques et l'impact de ces procédés sur les propriétés d'emploi des alliages de titane.

- explorer le domaine de forgeabilité de quelques alliages en allant vers des températures plus faibles qu'actuellement (exploration en température, vitesse de formation, taux de déformation, efforts ...)

- maîtrise de la technologie de déposition laser : la déposition de matière à partir de la fusion de *poudres métalliques* en vue de la réduction des cycles de fabrication est une technologie en plein essor, qui peut permettre des gains de cycle considérables tant au niveau des lignes d'usinage que lors du forgeage de certaines pièces. Sa maîtrise optimisée appelle les recherches suivantes :

- proposer et évaluer des méthodes innovantes de production de poudres métalliques ;

- procéder à des caractérisations microstructurales fines des dépôts laser et à des évaluations de leurs propriétés mécaniques, en liaison avec les paramètres du procédé de déposition ;

- procéder à une caractérisation microstructurale des défauts inhérents à ce procédé nouveau et à une évaluation de leur nocivité dans des pièces en service.

- accélération des cycles de polymérisation pour composites : l'utilisation de moules et d'un chauffage par induction (rampes de 10 à 30°C/mn) au lieu de la cuisson conventionnelle en autoclave (rampes de 3°C/mn) permet des cycles de polymérisation « ultra-rapide ». Ce procédé nouveau doit maintenant être mieux maîtrisé en étudiant son influence sur la tenue structurale et les propriétés physico-chimiques des stratifiés en carbone/époxy ainsi fabriqués.

- procédés de revêtement : on s'attachera en particulier à rechercher et évaluer des substituts aux protections par anodisation galvanique des alliages légers, notamment par dépôt électrolytique d'oxyde de titane. De même on s'intéressera à trouver des substituts au cadmiage et au chromage, notamment pour des substrats non compatibles avec les dépôts HVOF.

2. Réduction et maîtrise des défauts

La présence dans les pièces en service de différents défauts dus à la mise en œuvre des matériaux et à la fabrication appelle non seulement une optimisation des *procédés* pour en réduire la fréquence et la nocivité, mais aussi l'intégration de leur présence dans les *calculs prévisionnels de tenue des structures* et la mise au point de *diagnostics de santé* des pièces

sûrs, précis et rapides. Des propositions sont appelées dans chacun de ces trois domaines (procédés, calcul, contrôle santé), avec un intérêt particulier pour les aspects suivants :

- détectabilité des défauts en investigation non destructive ; couplage avec la modélisation pour améliorer leur détection.
- caractérisation par tomographie 3D de renforts fibreux ; modélisation et calcul de leur perméabilité ; prévision des défauts associés.
- compréhension des mécanismes d'amorçage sur défauts caractérisés de fissures de fatigue ; analyse des défauts les plus nocifs et prise en compte de ces défauts dans les calculs prévisionnels de la durée de vie des pièces en fatigue sous sollicitations multiaxiales ; modélisation de l'influence des défauts de fabrication dans un assemblage de pièces composites collés et évaluation dans ce cadre de la méthode VCCT (Virtual Crack Closure Technic).
- mise au point de méthodes de calcul « robuste » des structures intégrant la présence de défauts, éventuellement en couplage avec des traitements multi-échelles.

3. Matériaux nouveaux

Qu'il s'agisse d'applications à l'aéronautique, tant pour les matériaux métalliques que composites (tenue au choc, comportement au feu ou à la foudre, stabilité dimensionnelle, tenue à l'endommagement et durées de vie...), ou à l'espace (systèmes orbitaux : optimisation de la stabilité des plateformes et des instruments, nouveaux mécanismes...), l'objectif poursuivi est d'explorer la faisabilité de véritables *ruptures technologiques*. Sur chaque sujet, on proposera un volet dévolu à la *compréhension des phénomènes* et un autre consacré à la *mise au point pratique* en vue d'applications définies. Une attention particulière mais non exclusive sera accordée aux sujets suivants :

- composites résistants au choc, pour des températures maximales d'utilisation dans la gamme 200°- 400°C ;

- « magic number alloys » : on s'intéresse en particulier à des alliages à base de titane, enrichi dans des proportions très précises de Zr, Nb, Ta, O..., pouvant présenter un comportement superplastique à température ambiante, à la fois ductiles et résistants, et quasiment invariants dimensionnellement entre -200 et +200°C. On attend à la fois une compréhension des phénomènes et des méthodes pratiques d'élaboration.

- alliages à mémoire de forme supportant un grand nombre de cycles (plusieurs dizaine de milliers), à température de transformation supérieure à 200°C : il faut alors s'orienter vers des composés très réfractaires subissant une transformations martensitique à température élevée. Pour garantir un maintien de l'effet mémoire, il faut de plus que la température de transformation reste faible par rapport à la température de fusion. On connaît l'existence de tels systèmes ; les recherches doivent porter sur leur élaboration (compositions très pointues), la caractérisation de l'effet mémoire en fonction de la composition, la détermination des taux de déformations possibles, des contraintes maximales supportables obtenues, etc.

- « composites intelligents » : il s'agit d'intégrer à des composites classiques des fonctionnalités autorisant la gestion de leurs propriétés (« health monitoring ») tant dans les phases de fabrication que de service ; en particulier, on s'attache à réduire l'initiation et la propagation de défauts (par dissipation d'énergie, amortissement,...) et à développer des fonctions d'auto-réparation (« self healing composites »).

matériaux à forte dissipation thermique : il s'agit d'isolants électriques permettant l'étalement local des températures au plus près des composants à forte dissipation (puces électroniques), par exemple par la dispersion de nanoparticules de carbone.
