



Fondation de Coopération Scientifique
Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace

**Réseau thématique de recherche avancée
«Sciences et Technologies
pour l'Aéronautique et l'Espace»**

**Groupes de réflexion 2009
Synthèse des conclusions**

Octobre 2009

SOMMAIRE

Rappel du contexte	3
GROUPE 1 : DEFIS AERONAUTIQUES	5
GROUPE 2 : OBSERVATION ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME TERRE	33
GROUPE 3 : SYSTEMES EMBARQUES	38
GROUPE 4 : CAPTEURS ET INSTRUMENTATION	54
GROUPE 5 : SIMULATION ET MODELISATION	58
GROUPE 6 : TECHNOLOGIES EMERGENTES	69

RAPPEL DU CONTEXTE

En septembre 2009, seize projets sont en cours de réalisation au sein de notre Fondation *Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace*.

En décembre 2008, il a été décidé de ne pas lancer un troisième appel à projets comme en 2007 et 2008 pour au moins deux raisons :

- il est apparu aux responsables de la fondation que la carte scientifique des laboratoires-ressources du réseau était presque totalement couverte et que les éventuels futurs projets viendraient en continuité des seize premiers ;
- une pause dans le fonctionnement par projets s'est révélée utile et une réflexion prospective (et non pas spéculative) est apparue nécessaire afin de déceler des pistes originales de recherche presque à coup sûr prometteuses

ORGANISATION DE L'EXERCICE DE REFLEXION

Afin d'organiser au mieux cette réflexion, dans un premier temps, nous avons regroupé nos seize projets en cinq thèmes présentant une *lisibilité* facile pour un observateur externe.

Défis aéronautiques

ARCS : Assemblage - revêtement - corrosion - stabilité des structures

EMMAV : Electroactive Morphing for Micro-Airvehicles

ITAAC : Impact du transport aérien sur l'atmosphère et le climat

OSYCAF : Optimisation d'un système couplé fluide-structure représentant une aile flexible dans un écoulement transsonique

Observation et fonctionnement du système Terre

ACCLIMAT : adaptation aux changements climatiques de l'agglomération toulousaine

CYMENT : cycle de l'eau et de la matière dans les bassins versants

POGEQA : plateforme d'observation géostationnaire pour la mesure de la qualité de l'air

Systèmes embarqués

ROSACE : Robots et systèmes autoadaptatifs communicants embarqués

SYMIAE : systèmes miniaturisés intelligents pour l'aéronautique et l'espace

Capteurs et instrumentation

CASA : Capteurs spatiaux pour l'astrophysique

I2MC : Instrumentation multicapteurs pour les matériaux et structures composites

FDAI-UV : Imageurs diffractifs de Fresnel. Validation sol dans l'UV

MAISOE : Microlaboratoires d'analyses in situ pour des observatoires environnementaux.

Simulation et modélisation

ADTAO : Assimilation de Données. Système couplé Terre-Atmosphère-Océan

MAELIA : Multiagents for environmental norms impact assessment

PLASMAX : Modélisation des interactions microondes/plasma pour applications aérospatiales.

A ces cinq thèmes, il nous a semblé judicieux d'en ajouter un sixième traduisant notre vocation technologique appelé **technologies émergentes**. Les trois derniers thèmes ont un caractère transverse par rapport aux trois premiers plus thématiques.

Pour chacun des six thèmes ainsi recensés, nous avons rassemblé une dizaine d'experts du domaine, d'expériences variées, universitaire ou industrielle, et appartenant au site toulousain.

Le cahier des charges était bien sûr identique pour chaque groupe. Il s'agissait dans le large périmètre de leur réflexion d'identifier des thèmes de recherche pouvant être déclinés de la façon suivante

- thèmes innovants et qui seront probablement au cœur de la recherche dans les années à venir
- sur un thème éventuellement retenu, quelle piste de recherche serait-elle suggérée ?
- les laboratoires-ressources de la fondation ont-ils un *avantage concurrentiel* à traiter ce thème ?
- quel mode d'action proposez-vous : programme de recherche à développer, séminaire de mise en commun de connaissances, inflexion ou extension de l'un des seize projets déjà existants ?

Ce cahier des charges doit être lu de manière qualitative, car à chaque groupe de réflexion a été associé un membre du comité de pilotage appelé à rappeler et à expliquer les souhaits de la fondation.

Après quatre mois de travail ponctués par trois ou quatre réunions plénières de chacun des groupes, un ensemble d'une trentaine de "fiches-thèmes" méritant développement a été produit.

Naturellement, les degrés scientifiques, techniques ou applicatifs ne sont pas au même niveau. Naturellement il existe des intersections non nulles entre différentes fiches. Il apparaît par exemple clairement que des propositions issues de "Défis aéronautiques" pourraient relever de "Simulation et modélisation", que des propositions issues de "Systèmes embarqués" pourraient relever de "Capteurs" et bien d'autres exemples. Ceci est normal, car nous avons délibérément choisi des approches larges, non disciplinaires, tournées vers des utilisateurs finaux.

GRUPE 1 : DEFIS AERONAUTIQUES

Animateur : Laurent Rasmont

Méthodologie

1. Prise en compte des axes de réflexions stratégiques amont:
 - ACARE
 - Plan d'action stratégique d'amélioration de la sécurité DGAC
 - CORAC
 - DAS AMS Aerospace Valley
 - Réflexion groupe SPI TOMPASSE
2. Analyse des projets déjà soutenus par le RTRA et prise en compte de l'expertise local
3. Objectif du plan de route:
 - Renforcer l'excellence R&D locale
 - Donner une perspective aux membres donateurs
 - Attirer de nouveaux membres donateurs
 - Cibler des thèmes compatibles avec les moyens du RTRA et non redondants avec les grands projets déjà supportés par d'autres organismes de financement (CEE, ANR par exemple)

Thèmes identifiés - Executive summary

I - Matériaux composites

- Process (monitoring, amélioration des cycles de polymérisation, apport des traitements plasma, usinage, modélisation, etc.)
- Matériaux (apport des nanomatériaux, fibres de carbone recyclées, matériaux thermostables, damage tolerance, amélioration tenue érosion, problématique foudroiement, etc.)
- Au-delà du black metal: structures géodésiques, structures multifonctionnelles, health usage monitoring, etc.
- Technologies d'assemblage innovantes (assemblage par couture, etc.).

II - Propulsion du futur (aéronefs)

- Réduction de l'impact environnemental: consommation, bruit et émissions à impact géo-climatique
- Réduction du DMC
- Technologies de rupture: piles à combustibles embarquées, carburant hydrogène.

III - Approche facteurs humains pour la sécurité du transport aérien

- Impact du stress sur le comportement PNT
- Définition de théories génériques pour la conception de systèmes interactifs
- Développement de capteurs embarqués, évolution interface pilote.

IV - Outils de couplage pour codes de simulation (cf. simulation et modélisation)

- Couplage à 2 niveaux: aéroacoustique, MHD, aérothermie, etc.
- Travaux sur un exemple pour dégager une approche générique.

V - Plasma pour l'aéronautique et le spatial

- Contrôle écoulement par plasma
- Couplage pour modélisation contrôle écoulement
- Opportunité démonstrateur
- Application propulsion spatiale

VI - Aéroacoustique

- Bruit de turbulence pariétale
- Bruit de structures tournantes
- Matériaux absorbants

VII - Matériaux métalliques

- Nouvelles protections des matériaux métalliques anticipant les nouvelles exigences environnementales:
- peintures sans solvant ni Cr hexavalent
- Revêtements durs sans Cr hexavalent

VIII - Interaction fluide structure électro-active

- Morphing électroactif des structures, optimisation aérodynamique.
- Problématique communication, stockage énergie, energy harvesting

IX - Impact environnemental de l'aviation (prolongement du projet ITAAC)

- Modélisation des traînées aux différentes échelles d'espace et de temps (couplage processus microphysique/chimique/dynamique/radiatif)
- Modélisation globale: impact climatique relatif du transport aérien
- Apport des mesures aéroportées et satellite pour la validation des modèles (assimilation de données)
- Gestion opérationnelle des flottes et empreinte climatique (évitement des contrails/consommation)
- Métriques impact climatique pour le design des aéronefs
- Impact des carburants alternatifs.

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : MATERIAUX & STRUCTURES COMPOSITES
RAPPORTEUR : FREDERIC THIVET

Enjeux

- Améliorer la conception des structures aéronautiques en matériaux composites avec
 1. Prise en compte des innovations en termes de matériaux, de types de structures, de procédés d'assemblages
 2. Prise en compte du cycle de vie complet du matériau composite
- Réduire les cycles de développement: «virtual testing»
- Améliorer les procédés et outils de fabrication : «virtual manufacturing».

Thématiques possibles & Verrous et Synergies potentielles

- Matériaux composites innovants : sandwich à base de fibres de carbone recyclées
 1. *Limitation des débouchés de la filière de recyclage - collaboration ICA/CIRIMAT*
- Apport des Nano Matériaux, problématique foudroiement, amélioration tenue érosion, matériaux thermostables, damage tolerance
- Nouvelles structures composites aéronautiques : structures géodésiques
 1. «Sortir» du «black metal» - synergies avec nouveaux procédés d'assemblages
- Optimisation des process : monitoring, apport des traitements plasma
- Technologies d'assemblage innovantes : modélisation des assemblages par couture
 1. *Etendre les procédés d'assemblages composites - synergies avec approche «virtual testing»*
 2. Usinage des matériaux composites :
 3. *Maîtriser les liens usinage/ endommagement - synergies avec approche «virtual manufacturing».*

Positionnement au niveau national, régional et international/timing (par rapport à la mise en application)

Etat de l'art : thèmes de recherche en compléments des nombreuses actions lancées sur les matériaux composites au niveau régional ou national.

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : PROPULSION DU FUTUR
RAPPORTEUR: PASCAL GONDOT / CHARLES MISCHEL

Enjeux

- Réduction de l'impact environnemental: consommation, bruit et impact géo-climatique
- Réduction du Direct Maintenance Cost
- Thème volontairement limité à des niches permettant d'apporter une valeur ajoutée aux autres programmes de R&D Européens ou nationaux en cours
- Mise en valeur des approches transverses

Thématiques possibles, verrous et synergie potentielle

- Problématique lié à l'introduction des open rotors: acoustique, modélisation multidisciplinaire, health usage monitoring.
- Technologies de rupture: piles à combustibles embarquées, carburant hydrogène.
- Cycles de fonctionnement de turbomachines innovants et leur impact sur l'environnement.
- Synergie avec les thèmes Aéroacoustique, Impact Environnemental de l'Aviation, Outils de Couplage pour les Codes de Simulation Aéronautique, Matériaux Composites, Plasmas
- Synergie régionale et nationale: ISAE, ONERA, CERFACS, IMFT, LAPLACE, SAFRAN (Microturbo, Turboméca), AIRBUS, RATIER-FIGEAC, etc.

Positionnement au niveau national, régional et international

- Complément aux grands programmes nationaux et européens (Clean Sky notamment)

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : APPROCHE FACTEURS HUMAINS POUR LA SECURITE DU TRANSPORT AERIEN
RAPPORTEUR: FREDERIC THIVET

Enjeux

- Penser de nouveaux systèmes hommes-machines pour anticiper les exigences de l'aéronautique de demain, limiter les risques et l'impact des erreurs humaines
- Il y a une place à prendre sur ce thème en France: forte concentration de compétences

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Des compétences toulousaines transverses appliquées à la safety et reconnues en France : neurosciences, physiologie, ergonomie et interface homme machines, informatique, réalité virtuelle et intelligence artificielle
- De nombreux moyens de mesures et de plateforme d'expérimentation (simulateurs avions et contrôle aérien...) potentiellement «connectables» entre les différents laboratoires
- De forts besoins industriels (Thalès, Airbus, Ratier Figeac...)
- Développer des modèles sociocognitifs et formels de l'opérateur humain pour anticiper ses réactions et mieux spécifier design des interfaces de commande ; développer des capteurs embarqués non intrusifs pour prédire le stress et la fatigue
- Faire émerger la place toulousaine au niveau européen et international

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Positionnement en France : essentiellement toulousain mais compétences Onera-Salon, LamiH (Valencienne), Telecom Bretagne et LAA (Paris)
- Laboratoires européens leader : DLR, NLR et D-CIS lab (Univ Delft)
- Positionnement USA : Nasa Ames, Univ Michigan, Stanford, Univ San Diego, MIT : approche neuroergonomie, capteurs intelligents et interfaces cerveau-machine, « human modelling »

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : OUTILS DE COUPLAGE POUR LES CODES DE SIMULATION AERONAUTIQUE
RAPPORTEUR: THIERRY POINSOT

Enjeux

- Etudier le couplage à deux niveaux: (1) avoir des équipes connaissant le sujet pour aider les industriels et (2) participer au développement d'outils communs de couplage sur la place Toulousaine
- Il y a une place à prendre sur ce thème: peu de centres ont la masse critique pour être crédibles

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Calcul massivement parallèle: lien direct avec la future machine de calcul du RTRA
- Synergie Toulousaine: le couplage c'est aussi la météo et le climat
- Synergie transversale allant des maths (stabilité des couplages) à l'application chez les industriels
- Visibilité industrielle forte et probablement fort soutien
- Possibilité d'attaquer de la physique nouvelle dans ce projet qui serait déclinée comme des cas d'applications: aeroacoustique, aérothermique, MHD, fluide/rayonnement,

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- État de l'art: action ONERA CERFACS EDF nationale en gestation sur ce thème avec Airbus et Safran
 - Perspectives: faire émerger le couplage en aéronautique sur la place Toulousaine
-
- Nota: Point ouvert : Couplages déjà traités dans le groupe simulation

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : CONTROLE DES ECOULEMENTS AERODYNAMIQUES PAR PLASMAS
RAPPORTEUR: LEANNE PITCHFORD

Enjeux

- actionneurs simple, sans partie mécanique, et avec un temps de réponse très rapide
- applications subsonique et supersonique

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Élargir des collaborations entre les spécialistes en plasmas et en aérodynamiques (LAPLACE/POITIER/ONERA/CERFACS/ISAE/IMFT par exemple)
- Associer l'expertise plasma/micro-onde (RTRA PLASMAX) avec l'expertise en aérodynamiques => nouveaux concepts et applications, subsoniques et supersoniques, pour contrôle d'écoulement
- Un prototype d'engin volant. Retombées pédagogiques

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Nombreuses applications potentielles des plasmas au contrôle d'écoulement aérodynamique
- collaborations ONERA-CNRS (Toulouse/LAPLACE, Poitiers, Orléans) - depuis 2004
- P rojet européen « PLASMAERO » impliquant ONERA et LAPLACE (sept 2009)

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : AEROACOUSTIQUE
RAPPORTEUR : GREGOIRE CASALIS

Enjeux

- La réduction du bruit externe a des enjeux sociétaux, environnementaux, industriels (cf. notamment le cadre ACARE 2020) et scientifiques (thématiques nouvelles, souvent pluridisciplinaires).

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Localisation des sources sonores
- Absorption du bruit moteur (liner, matériaux ...)
- Bruit de dispositifs mis en rotation (aubes ...)
- Bruit de la turbulence pariétale (bruit présent dans le cockpit et généré par la turbulence de l'écoulement extérieur). Ce thème est nouveau, nécessite des outils de simulation numérique importants, de la modélisation et une métrologie spécifique.

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Turbulence pariétale : modélisation (IMFT, ONERA, ISAE), simulations numériques (CERFACS, ONERA), contrôle (IMFT), mesures (ONERA, ISAE)
- Bruit de système rotatifs : simulations numériques (CERFACS, ONERA), mesures (ONERA, ISAE). A noter en particulier la future soufflerie à l'ISAE dans le cadre de l'opération Toulouse-Campus.

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : MATERIAUX METALLIQUES
RAPPORTEURS : FREDERIC THIVET / PASCAL GONDOT / YANN LEPETITCORPS

Enjeux

- Penser de nouvelles protections des matériaux métalliques anticipant les nouvelles exigences environnementales (notamment REACH) :
 - Peinture sans solvant, sans Cr hexavalent
 - Revêtements durs sans Cr hexavalent

Thématiques possibles & Verrous et Synergies potentielles

- Revêtements durs :
 - Développement d'alternatives vertes
 - Caractérisation tribologique
 - Étude et modélisation des l'endommagement de surface
- Peintures
 - Développement d'alternatives vertes sans Cr hexavalent et sans solvant

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Etat de l'art : thèmes de recherche en compléments des nombreuses actions lancées sur les matériaux métalliques au niveau régional ou national.

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : INTERACTION FLUIDE - STRUCTURE ELECTROACTIVE, IFSE
RAPPORTEURS : MARIANNA BRAZA (IMFT) - BERTRAND NOGAREDE (LAPLACE)

Enjeux

- Optimisation de l'efficacité aérodynamique (ailerons, gouvernes, drones, pales rotor) ; atténuation de vibrations, des instabilités, de décollement
- Modélisation théorique de l'interaction fluide-structure incluant les propriétés des matériaux électro actifs et des concepts de modélisation de la turbulence instationnaire avancés
- Nouveaux concepts d'actionnement distribué
- Optimisation de forme des surfaces portantes en temps réel grâce au Morphing Electroactif
- Caractère fortement multidisciplinaire de la thématique: CFD, Matériaux, Electroactivité - Démonstrateur Expérimental, Systèmes Embarqués, couplage fort CFD-CSM

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Energie (alimentation, stockage, récupération, ...)
- Faible coût d'énergie d'actuation grâce au concept de redistribution d'énergie due à des vibrations existantes
- Matériaux composites piézoélectriques de nouvelle génération
- Actionnement en temps réel
- Réduction des vibrations et du bruit aérodynamique
- Remplacement de systèmes de contrôle hydrauliques par des systèmes électroactifs
- Synergie potentielle avec les matériaux composites et avec l'aéroacoustique
- Synergie avec les Sciences du Vivant

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Projet en amont de nouveaux concepts de contrôle d'aéronefs et de voilures souples
- Utilisation de supercalculateurs parallèles de dernière génération (France: IDRIS, CINES, CALMIP) et USA: centre de calcul du MIT
- Collaboration avec Airbus, Dassault, Alenia ainsi que les principaux instituts de recherche en aéronautique européens, tels que l'ONERA et le DLR
- Participation des équipes du thème IFSE au sein de programmes européens fédératifs de recherche en aéronautique du 6^e et du 7^e PCRD, tels que le programme DESIDER (Detached Eddy Simulation for Industrial Aerodynamics), UFAST (Unsteady Effects in Shock wave induced separation), ATAAC (Advanced Turbulence Simulation for Aerodynamic Application Challenges)

Perspectives

- « Cross-fertilisation » de la thématique avec les actions de recherche européennes vers les enjeux de l'avion souple de nouvelle génération, dans le contexte du JTI « Clean Sky » et de programmes fédératifs du 7^e PCRD.
- Collaboration avec la « National Science Foundation » qui appuie les concepts novateurs de la thématique IFSE

DEFIS AERONAUTIQUES
THEME : IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'AVIATION
RAPPORTEUR : D. CARIOLLE

Enjeux

- Impact climatique des flottes: CO₂, O₃, traînées de condensation
- Aspects réglementaires (taxes) et gestion des flottes

Thématiques possibles & Verrous et Synergies potentielles

- Modélisation des traînées aux différentes échelles d'espace et de temps (couplage processus microphysique/chimique/dynamique/radiatif)
- Modélisation globale: impact climatique relatif du transport aérien
- Apport des mesures aéroportées et satellite pour la validation des modèles (assimilation de données)
- Gestion opérationnelle des flottes et empreinte climatique (évitement des contrails/consommation)
- Métriques impact climatique pour le design des aéronefs
- Impact des carburants alternatifs

Positionnement au niveau national, régional et international/timing

- Compléments aux programmes européens en cours (SESAR, Clean Sky) suite aux programmes européens achevés (QUANTIFY)
- Réponse aux travaux du CORAC suite au Grenelle de l'Environnement

BACK UP

MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES POUR L'AERONAUTIQUE ET LE SPATIAL

Enjeux

Le développement des structures composites pour l'aéronautique, en particulier civile, est un enjeu majeur de compétitivité comme le montre le développement des programmes 787 chez Boeing et A350 chez Airbus. Ces deux avions vont intégrer plus de 50 % en masse de structures à base de fibre de carbone avec en particulier la réalisation de fuselages tout composite. Au delà de l'aéronautique, c'est l'allègement des structures de tous les moyens de transports qui sera le point central des gains potentiels en économie d'énergie dans un futur proche. Un enjeu concomitant du développement attendu des structures composites sera la prise en compte du cycle de vie complet des produits. En terme de conception de ces structures, la période actuelle est connue sous la dénomination « *black metal* » en ce sens où les concepts globaux sont issus de l'expérience métallique. Il existe donc des enjeux forts en termes d'innovation : nouveaux types de structure, procédés d'assemblages innovants, ... pour tirer la quintessence de ces matériaux et acquérir un avantage compétitif. L'autre enjeu fort est la diminution des cycles de conception et leur coût par la démarche du « *virtual testing* ». Celle-ci doit à terme permettre de s'affranchir des nombreux essais très coûteux liés à l'empirisme des méthodes de dimensionnement des structures composites. Elle nécessite la compréhension fine de tous les mécanismes à l'œuvre de l'échelle des structures à l'échelle des matériaux. A l'échelle des détails structuraux, l'interaction des procédés d'obtention avec les propriétés d'usage devient un élément essentiel du dimensionnement robuste. Dans le cas de l'usinage cela passe une connaissance, une maîtrise des défauts et nécessairement par la modélisation numérique du procédé (*virtual manufacturing*).

Positionnement au niveau national, régional, et international

Les structures et matériaux composites présentent un intérêt scientifique croissant de part le monde. Cette année les impacts factor des principales revues ont augmenté de plus de 20 %. L'équipe Composite de l'ICA est très bien positionnée au niveau national comme le montre l'organisation du congrès de la spécialité (JNC 16) à Toulouse cette année et par l'obtention du prix du meilleur jeune chercheur par un de ses membres. Dans le cadre du pôle aéronautique, espace et systèmes embarqués, les recherches se mènent en collaborations avec des partenaires industriels comme : EADS IW, Airbus France, CNES, Thales, Astrium et Eurocopter France. Des collaborations sont en cours avec les laboratoires composites français. Ainsi l'ICA prévoit de développer des projets avec le LAMEFIP de Bordeaux sur le crash, le LMT Cachan dans le cadre d'une ANR, le LMPM de l'ENSMA de Poitiers, le Laboratoire de Mécanique Physique de Bordeaux qui a une compétence et des moyens reconnus dans le domaine du contrôle non destructif et l'ONERA. La proximité de l'industrie aéronautique française et européenne et la sensibilité des problématiques traitées fait qu'historiquement peu de collaborations internationales existent dans ce domaine. Toutefois, nous sommes impliqués dans les PCRD tels qu'ALCAS ou MAAXIMUS soutenus par l'industrie aéronautique européenne.

La tenue à l'endommagement et la prévision de durée de vie des composites endommagés est un sujet qui fait l'objet de recherches importantes en Grande Bretagne (Projet CRASHCOMP piloté par l'université de Bristol et l'Imperial College à Londres), c'est un sujet également abordé en Aquitaine dans le cadre du GIS matériaux (Projet CADMO). A noter qu'une société vient d'être créée en Grande Bretagne (Recycled Carbon Fibre Ltd (www.recycledcarbonfibre.com)).

Thématiques possibles - Verrous et synergies potentielles

Les thématiques présentées ci-après le sont dans le cadre de recherches amont et n'entrent pas en compétition avec les autres projets en cours.

- Recyclage des composites hautes performances aéronautiques en cœur de structures sandwichs. Des études conjointes CIRIMAT/ICA ont démontré le potentiel des âmes à base d'entrelacés de carbone comme matériau d'âme. Si les analyses se sont par nature concentrées sur des composites hautes performances, des âmes utilisant des fibres de carbone recyclées après thermolyse et dont le coût chute de 60 Euros/kg à 10 Euros/kg pourraient faire l'objet d'applications «grande diffusion». De plus, on démontrerait par ce biais une possibilité originale de recyclage et à démontrer quasi illimitée autres que leur inclusion dans des matériaux de type génie civil. Ces projets pourraient être menés en collaboration avec la Région AQUITAINE : projet RECCO (Recycling Carbon fiber reinforced Composite) dont le principe consiste à décomposer la matrice par un procédé de solvolysse (décomposition en milieu supercritique aqueux).
- Au delà du «black metal» : les structures géodésiques. Celles-ci connues et appliquées dès la seconde guerre mondiale sur l'avion bombardier Vicker se présentent comme des réseaux de renforts suivant les courbes géodésiques des structures. L'analyse bibliographique du sujet montre que les Etats-Unis, la Russie et la Chine publient et présentent des applications potentielles dans le domaine spatial et aéronautique. Du point de vue de la recherche, l'Europe paraît absente alors que ce type de structure est à même de présenter une rupture technologique. Les recherches potentielles devront se concentrer sur les technologies innovantes potentielles des nœuds structuraux et les méthodes de dimensionnement associées: innovation aux nœuds structuraux.
- Apport des nano matériaux et plus généralement traitement de la problématique du foudroiement, amélioration de la tenue à l'érosion, matériaux thermostables, 'damage tolerance'.
- Technologies d'assemblages innovantes. La technologie d'assemblage par couture est particulièrement bien adaptée aux panneaux minces utilisés en aéronautique. Le procédé de couture de préforme est industriellement opérationnel pour la réalisation de pièces complexes tel que le montrent les résultats du projet COMDOR porté par Latécoère et auquel participait l'ICA. Un verrou de l'application de ces techniques réside dans la connaissance limitée que l'on a du comportement mécanique de ces zones cousues. Sur ce thème le contexte local est favorable au regard du positionnement de l'équipe de l'UT Compiègne sur les aspects procédés de la technologie de couture. Au niveau international la recherche est principalement avancée en Australie & Chine et peu en Europe. Une utilisation étendue de ces renforts passe par la mise en place de simulations numériques fidèles et prédictives qui s'inscrivent dans le cadre du « virtual testing »
- Optimisation des process, notamment injection résine, modélisation et monitoring, apport des traitements plasma.
- Modélisation de l'usinage des composites. La maîtrise des défauts d'usinage et leurs effets sur la tenue des assemblages boulonnés pour structures aérospatiales est essentielle pour le dimensionnement robuste de ces liaisons. Le verrou à franchir pour améliorer la compréhension des phénomènes de ruines dans ces zones est la modélisation des dommages et des défauts de surface associés. Cela passe nécessairement par une modélisation numérique de la coupe pour laquelle les méthodes de calcul sans maillage semblent particulièrement attrayantes. En ce qui concerne l'usinage des composites le contexte local est favorable par rapport à l'environnement national, il en est de même d'un point de vue numérique avec de plus un potentiel de partenariat

important. Ce thème s'inscrit tout naturellement dans le thème plus général du «virtual manufacturing».

THEME PROPULSION DU FUTUR

Enjeux

Dans un futur relativement proche, des progrès significatifs sont attendus, tant au niveau des industriels qu'au niveau de la recherche dans des domaines très variés comme :

- la recherche d'un abaissement drastique de la consommation de carburant,
- la recherche toujours plus optimisée de l'adaptation entre les composants de la turbomachine,
- la recherche sur les matériaux,
- le traitement conséquent des nuisances dont :
 - la pollution sonore,
 - la pollution par rejet des produits de la combustion, y compris l'utilisation de carburants alternatifs
- la signature infrarouge et la signature électromagnétique dans le domaine militaire essentiellement,
- une meilleure adaptation entre l'énergie non propulsive (ENP) et l'énergie propulsive (EP) à bord des aéronefs,
- l'augmentation des durées de vie et l'abaissement du DMC (Direct Maintenance Cost.),
- l'intégration optimale des propulseurs au sens large (turboréacteurs, turbofans, y compris open rotor, turbomoteurs, turboshafts, turbopropulseurs, groupes auxiliaires de puissance (APU (Air power unit), GPU (ground power unit) dans les aéronefs, avions, hélicoptères, missiles, UCAV/UAV, groupes terrestres...).

Thématiques possibles, verrous et synergies potentielles

- Certains de ces thèmes font déjà l'objet de nombreux travaux de recherche dans les laboratoires et les sociétés dans l'Aéronautique et l'Espace et les objectifs en sont ambitieux (voir la lutte contre la pollution sonore et celle par rejet de résidus de combustion dans le cadre ACARE). Néanmoins, en parallèle et au-delà de ces travaux, il est proposé de réfléchir à la « Propulsion du Futur des années 2030 » période qui, dans le domaine de l'aéronautique, n'est pas si éloignée d'aujourd'hui, « 2030 c'est déjà demain ».
- La proposition est de travailler sur le cycle des turbomachines, dans un premier temps en 1D pour imaginer les « cycles du futur ». Une indéniable connaissance très approfondie du fonctionnement de la turbomachine existe en France :
 1. d'abord chez les industriels de ce domaine dont le groupe SAFRAN (Snecma, Turboméca, Microturbo), le groupe LIEBHERR, le groupe MDBA...),
 2. puis dans la recherche, dont l'ONERA est l'incontestable figure de proue.
- Imaginer le fonctionnement de la turbomachine en partant évidemment de la connaissance qui existe en France grâce à l'immense retour d'expérience dont bénéficient cette industrie et la recherche française.
- On peut imaginer les idées suivantes :
 3. Augmenter les charges par étage de compresseur et de turbine pour augmenter les niveaux de pression dans la chambre et diminuer le nombre de composants, tirer profit des indéniables qualités qu'ont d'un côté les compresseurs axiaux et de l'autre les compresseurs centrifuges.

4. Augmenter les niveaux de température en sortie de la chambre de combustion et donc en entrée de la turbine, par la même occasion améliorer la tenue des matériaux à haute température et maîtriser son environnement.
 5. Affiner le processus de la combustion : « classique », la combustion à volume constant, la combustion à ondes de détonation...
 6. Imaginer des cycles à échangeurs, notamment pour les turbomoteurs, les groupes auxiliaires de puissance...
- Les thématiques possibles et nouvelles sont nombreuses ainsi que les synergies entre sociétés et laboratoires, car le champ d'investigation est vaste et les verrous ne le sont pas moins.

Positionnement au niveau régional, national et international

Les sociétés et les laboratoires régionaux, français et internationaux travaillant dans le domaine de la propulsion (aérothermodynamique, combustion, cycles et performances, matériaux, intégration cellule / groupe de propulsion, optimisation entre EP et ENP, aéroacoustique), ont d'incontestables atouts pour imaginer la « propulsion du futur ». et de là à induire des recherches dont les différents métiers énumérés ci-dessus dans les années suivant ces études de cycles de turbomachines.

APPROCHE DE LA NEURO-ERGONOMIE POUR LA SECURITE DU TRANSPORT AERIEN

Enjeux et applications potentielles de la neuroergonomie pour la sécurité aérienne

Les progrès techniques et les efforts considérables en vue d'améliorer la sécurité aéronautique ont conduit les appareils à devenir extrêmement fiables au point de devenir en 2001 le moyen de transport le plus sûr en terme de passagers tués (source ETCS). Pourtant, du fait de l'augmentation du trafic, le nombre absolu d'incidents aéronautiques est en continuelle augmentation. Les analyses révèlent que les responsabilités sont attribuables à l'opérateur humain (pilote, contrôleur aérien etc.) dans 70 à 80% des cas. En effet, les personnels navigants impliqués dans cette activité critique sont soumis à un cumul de contraintes sévères physiologiques, psychologiques et organisationnelles (fatigue, stress, pression temporelle, surcharge informationnelle).

L'interaction entre ces différents stressseurs est susceptible de porter le niveau de contraintes au-delà des capacités d'adaptation individuelles et collectives. Le franchissement de cette limite, à l'origine de comportements inadaptés et d'accidents, s'observe dans des situations de routine mais également dans des situations dégradées, imprévues voire inconnues

Or, la compréhension du facteur humain en aéronautique et de l'impact de ces stressseurs sur le comportement des opérateurs humains est encore aujourd'hui analysée à travers des modèles descriptifs et métaphoriques issus de l'ergonomie et de la psychologie cognitive classique. Une approche scientifique innovante pour traiter cette problématique de recherche est de s'intéresser aux neurosciences intégratives et à la neuropsychologie. Les travaux de ces disciplines, basées sur l'étude du substrat et des mécanismes cérébraux des fonctions cognitives, ont fait progresser les connaissances sur la compréhension des interactions de l'homme avec son environnement. Ces résultats scientifiques suscitent depuis peu l'intérêt des facteurs humains et l'application de ces modèles à l'ergonomie a donné très récemment naissance à un nouveau courant aux Etats-Unis : la neuroergonomie. Ainsi cette approche a permis de mettre au point des recommandations neuropsychologiques pour la conception de cockpit permettant une conscience de la situation améliorée, une meilleure flexibilité motrice et un stress cognitif réduit. Ces travaux visent notamment à rendre l'interface de l'aéronef compatible avec le fonctionnement du cerveau.

Positionnement au niveau national, régional, et international

L'équipe Facteurs Humains du Centre Aéronautique et Spatial de l'ISAE développe une activité de recherche dans le domaine des relations opérateurs / systèmes embarqués en coopération avec l'Onera Centre de Toulouse et l'U825 de l'Inserm. En particulier ces recherches se concentrent sur la modélisation de l'activité de pilotage d'aéronefs ou de conduite d'engins autonomes (i.e. drones). L'approche suivie est celle de la neuro-ergonomie et vise à utiliser les outils théoriques et pratiques des neurosciences pour les appliquer aux problématiques de l'ergonomie cognitive. Ainsi des travaux menés dans le cadre de deux thèses (M. Causse, 2006-2009 ; S. Scannella 2007-2010) en codirection avec l'Inserm U825 visent à comprendre le lien entre émotion/stress/persévération en aéronautique par des expérimentations utilisant l'IRM fonctionnelle ou les potentiels évoqués (Electro-Encephalo-Graphie). Des moyens expérimentaux tels que les simulateurs de vol ou des avions réels sont utilisés pour identifier des précurseurs physiologiques du stress (ex : syndrome de persévération) par des approches intégratives. C'est également l'étude de modèles issus de la neuropsychologie qui permettent d'évaluer la performance de pilotes ou de mettre en place de contre-mesures cognitives pour aider les équipages à faire face à des situations dégradées. Ces contre-mesures font l'objet de recherches auprès d'Airbus-France en partenariat avec l'Onera depuis 2004 (projet GHOST) ou pour la DGA dans le cadre d'une étude sur les conflits opérateur-drones (MRIS). Enfin, des modèles formels (Thèse Q. Andrieu, 2008-2011, Onera-Isae) sont développés pour modéliser les phénomènes de négligences attentionnelles liés à la persévération chez des pilotes en situation de stress.

Par ailleurs l'Irit (IHCS), l'Utm (CLLE) et l'Enac (LII) sont des laboratoires toulousains spécialisés dans la modélisation des interactions personne-système dans les systèmes critiques. Leurs compétences recouvrent le domaine du contrôle aérien et du pilotage et vise à développer

- des modèles cognitifs et formels pour mieux comprendre les processus de prise d'information et de charge de travail (thèses C. de Pompanon, S. Stankovic). De plus et en particulier dans ses aspects informatiques
- de nouveaux concepts de présentation et de visualisation des informations pour les opérateurs (thèse C. Hurter)
- des spécifications pour le design, la vérification formelle et l'évaluation des interfaces hommes-systèmes (thèses G. Tabart, B Tissoires)

Positionnement Français/Européen/International

- Il existe de nombreux laboratoires en France dans le domaine de l'ergonomie et des facteurs humains, néanmoins le pôle toulousain est reconnu par l'ANR comme un pôle d'excellence dans le domaine. Quelques laboratoires possèdent une forte compétence dans le domaine de la sécurité en aéronautique : l'Onera centre de Salon de Provence, le LAA (Paris), l'Irba-Imassa Brétigny (DGA), le LAMIH (Valenciennes) et Telecom Bretagne
- Les laboratoires leader européens sont le DLR, le NLR et l'université de Delft. Ces laboratoires ont su créer de fortes synergies avec Airbus et Thalès (ex : <http://www.humanfactors.decis.nl>)
- Laboratoires américains précurseurs dans la neuro-ergonomie, le développement de «capteurs» intelligents et interface cerveaux machines, modélisation formelle du comportement humain, : Nasa Ames, Univ Michigan, Univ Stanford, Univ San Diego, MIT

Thématiques possibles - Verrous et synergies potentielles

- Compréhension de l'impact de l'émotion, du stress sur le comportement des pilotes/contrôleurs aériens pour comprendre la similarité de certains troubles cognitifs (ex : négligence attentionnelle) qui apparaissent chez le sujet diminué (pathologie neurologique, manque de sommeil, prise de certains médicaments ...) et chez le sujet sain en situation dégradée (ex : conducteur ou pilote stressé/fatigué)

- Définition de théories génériques pour la conception de systèmes interactifs (ex : commandes et contrôles, simulateurs de comportements) adaptés au traitement perceptif, cognitif et moteur permettant entre autre la mise en place de contre-mesures cognitives pour le pilote situation dégradé.
- Etude et mise en œuvre de concepts et d'outils formels pour décrire les comportements et prédire la performance humaine puis adapter, en conséquence, l'interaction avec les systèmes sur lesquels ils agissent (ex : modification du partage d'autorité, réallocation dynamique de fonctions entre les différents agents, interfaces adaptatives) ;
- Développement de capteurs embarqués (« perceptual systems ») capables de diagnostiquer l'état cognitif et émotionnel des opérateurs (pilote, contrôleur) :
 - Définition et mise œuvre de nouveaux moyens de mesure (ex : micro et nano capteurs) et d'intégration d'outils de mesures existants (rTMS, IRMf, oculométrie...) dans le but d'offrir des plateformes génériques d'analyse et/ou des systèmes de suppléance pour les pilotes
 - Coopération avec les spécialistes du traitement du signal ;
 - Coopération avec des acteurs économiques pour industrialiser les prototypes

OUTILS DE COUPLAGE POUR LES CODES DE SIMULATION

Contexte général

La majorité des simulations futures dans le monde aéronautique seront des simulations couplées où il faudra faire communiquer des codes de mécanique des fluides, de thermique, d'acoustique, d'optimisation, etc. Ces challenges sont d'ores et déjà au cœur de l'action de nombreux industriels bien qu'il s'agisse d'un domaine de recherche encore ouvert pour deux raisons :

- du point de vue mathématique, coupler des physiques très différentes est une difficulté : assurer la stabilité et la consistance de méthodes couplées est un sujet encore largement inexploré
- du point de vue informatique, l'intégration de grands codes de calculs dans un seul environnement constitue un obstacle de taille, qui a été au centre de la plupart des programmes américains dédiés au calcul à haute performance au cours des 5 dernières années (programmes ASCI du DOE en particulier).

Le thème du couplage se retrouve donc certainement dans de nombreux groupes de réflexion du RTRA et pourrait constituer un axe de recherche futur.

Etat de l'art

Le monde de la simulation est seulement en train de considérer le problème du couplage et la façon la plus rationnelle de le traiter. Peu de laboratoires sont motivés par ce domaine et les industriels sont le plus souvent en pointe car ils ont un besoin impérieux de ces méthodes. Il existe déjà des outils couplés chez Safran ou Airbus mais ce sont souvent des outils spécifiques, lourds et non adaptables à d'autres problèmes. Plusieurs groupes ont réfléchi récemment (Caltech par ex) à la construction de logiciels capables d'intégrer plusieurs codes et de les faire communiquer. Des sociétés vendent des coupleurs comme MPCCI. La communauté 'climat' a depuis longtemps abordé le problème dans un cadre moins concurrentiel et développé des outils de couplage comme le logiciel PALM qui est employé dans de très nombreux laboratoires étudiant le couplage océan-atmosphère. Les aspects mathématiques du couplage apparaissent rapidement pour tous ceux qui effectuent des calculs couplés : la stabilité de ces outils couplés est souvent difficile à garantir.

Les cinq dernières années ont singulièrement compliqué le paysage puisqu'il faut maintenant coupler souvent plus de deux codes (par exemple, la mécanique des fluides, le rayonnement et la thermique dans les parois si on calcule une chambre de combustion) et effectuer ce calcul sur une

machine massivement parallèle : l'optimisation de calculs couplés parallèles devient, à elle seule, un sujet d'étude fondamental. Si l'on dispose de 1000 processeurs et de 3 codes à coupler (avec des pas de temps totalement différents), comment réaliser le couplage pour minimiser le coût CPU ? Comment s'assurer que le calcul est cohérent, stable et fiable ? Sur la prochaine plate forme parallèle de calcul du RTRA, il est certain que ces questions seront cruciales.

Verrous et Synergies potentielles

Le sujet du couplage ne souffrira pas de verrous. C'est un point de passage obligatoire pour trop de disciplines et c'est lui qui constitue le verrou pour les autres sujets liés à la simulation : si le couplage est traité comme un 'détail' scientifique, il est possible qu'il bloque de façon critique d'autres thématiques. Aborder le couplage de façon systématique, proposer un environnement de couplage adapté à de nombreuses thématiques est une action de fond nécessaire.

Positionnement au niveau national, régional et international

Etudier le couplage de codes de simulations de façon crédible nécessite de réunir des expertises qui sont toutes disponibles à Toulouse :

- des mathématiciens capables d'étudier les propriétés des algorithmes de couplages
- des informaticiens / mathématiciens appliqués capables de porter les codes sur des architectures massivement parallèles comme celle prévue pour le RTRA.
- des spécialistes du couplage : c'est le cas de plusieurs institutions sur Toulouse comme l'ONERA ou le CERFACS. L'apport de la communauté climat serait aussi prépondérant grâce à l'expertise accumulée sur des outils de couplage communautaire par ces laboratoires.
- des industriels capables de formuler des problèmes couplés représentatifs des défis des 20 ans à venir : Airbus comme Safran et ses partenaires ont de nombreux sujets à proposer pour de telles recherches.

Il y a donc une place internationale à prendre sur ce thème au niveau Toulousain. Il y a aussi d'autres actions nationales 'couplage' où l'on retrouve l'ONERA, le CERFACS, Airbus, Safran, EDF : le RTRA permettrait de focaliser ces actions sur un centre unique à Toulouse.

Atouts majeurs de synergie et perspectives

Il est possible de réunir les acteurs Toulousains intéressés par le couplage autour d'une plateforme commune qui serait ensuite appliquée à quelques cas pratiques proposés par les industriels. Cette plateforme de couplage devrait réunir les mathématiciens, les informaticiens et les experts du couplage autour d'une plateforme comme celle prévue pour le RTRA. Le logiciel de couplage pourrait ensuite être distribué dans le monde et être employé par de nombreux groupes ayant le même besoin. Ce scénario s'est déjà produit pour les outils de couplage de la communauté climat et pourrait assurer un très fort rayonnement des travaux RTRA qui auraient ainsi deux effets :

- permettre de réaliser des études où le couplage est nécessaire (et Toulouse n'en manque pas : aérothermique, aéroacoustique, MHD, fluide/rayonnement, couplages chambre turbine compresseur, aéroélasticité)
- construire et diffuser un logiciel de couplage basé sur l'expérience acquise qui pourrait alors être employé dans le monde entier.

PLASMAS POUR L'AERONAUTIQUE ET LE SPATIAL

Enjeux et applications potentielles des plasmas

Les plasmas ont des applications potentielles dans le domaine aéronautique et spatial, pour le contrôle d'écoulement, de combustion, la propulsion de satellites, et en tant «qu'objets» susceptibles d'interagir de façon commutable avec des ondes électromagnétiques (cette dernière application fait l'objet du projet RTRA PLASMAX).

Dans le domaine aéronautique ou pour les transports terrestres, le contrôle des écoulements aérodynamiques est un enjeu important non seulement parce que c'est un moyen d'optimiser la maniabilité et la rentabilité des avions et des véhicules terrestres, mais aussi parce que les nouvelles normes en termes de protection de l'environnement et de réduction des nuisances sonores nécessitent de nouvelles avancées dans ce domaine. Parmi les actionneurs envisagés pour le contrôle et la manipulation d'écoulements, les actionneurs plasma ont l'avantage de la simplicité, de ne présenter aucune partie mécanique, et d'avoir un temps de réponse très rapide.

Les plasmas ont également un potentiel d'applications important dans le domaine de la combustion. Ils pourraient en effet jouer un rôle de catalyseur de la combustion et permettre de faire fonctionner des moteurs à des régimes où ils sont habituellement instables en rendant le fluide plus réactif. On envisage ainsi d'utiliser des plasmas pour l'amélioration de la combustion supersonique ou pour diminuer les émissions de polluants.

Dans le domaine spatial les propulseurs à plasma ont l'avantage de permettre des vitesses d'éjection du fluide propulsif très supérieures à celles des propulseurs chimiques et donc de réduire considérablement la masse de combustible embarqué pour une mission donnée (d'où une réduction drastique des coûts).

Positionnement au niveau national, régional, et international

Les applications potentielles des plasmas au contrôle d'écoulement aérodynamique et à la combustion suscitent actuellement un très fort engouement. En témoigne le nombre de publications croissant des publications sur le sujet dans les journaux scientifiques et dans les conférences de l'AIAA.

Au niveau national, des activités soutenues sur ces sujets ont démarré dans les années 2004-2005, souvent dans le cadre de collaborations ONERA-CNRS-Universités. Un projet Européen, PLASMAERO sur le contrôle d'écoulement par plasma démarre en septembre 2009 et implique l'ONERA et le LAPLACE à Toulouse, des laboratoires français à Poitiers (LEA) et Orléans (PRISME, GREMI), deux laboratoires universitaires anglais (Southampton et Nottingham), un allemand (Darmstadt), l'EPFL en Suisse, et les organismes équivalents de l'ONERA aux Pays Bas et en Italie. En France cette thématique est maintenant plus fortement soutenue par l'ONERA qui en a fait cette année un Axe de Recherche Fédérateur (ARF). Il est question, côté CNRS et Universités de demander la création d'un GDR sur le sujet.

Dans le domaine des applications des plasmas à la combustion les laboratoires Toulousains sont actuellement moins impliqués, et les acteurs au niveau français sont l'EM2C, L'ONERA et le CORIA. La propulsion spatiale à plasma est étudiée depuis longtemps par les agences spatiales des pays qui ont des activités dans le spatial. En France un GDR CNES-SNECMA-CNRS-Universités focalisé sur un type de propulseur plasma (propulseur à effet Hall) est actif depuis environ 15 ans.

Thématiques possibles - Verrous et synergies potentielles

- Les projets de contrôle d'écoulement par plasma qui ont démarré à Toulouse impliquent principalement l'ONERA et le LAPLACE. Il est clair que l'IMFT pourrait apporter sa propre expertise dans ce domaine, d'une manière qui ne soit pas redondante avec la contribution de l'ONERA, à la fois sur le plan théorique et de simulation de l'interaction plasma/écoulement, mais aussi peut-être sur des aspects expérimentaux. On pourrait facilement trouver avec l'IMFT des sujets de recherche complémentaires de ceux du projet européen PLASMAERO, et qui renforceraient la position du pôle Toulousain sur cette thématique.
- les types d'actionneurs plasma étudiés actuellement (notamment dans le projet PLASMAERO) se limitent aux décharges à barrières diélectriques de surface et aux jets synthétiques par plasma. D'autres types de plasmas sont susceptibles d'avoir une action forte sur un écoulement notamment les plasmas de décharges micro-ondes qui permettent d'atteindre des densités d'énergie très élevées et susceptibles de modifier des écoulements subsoniques et supersoniques (de nombreux travaux russes vont dans cette direction). Les plasmas en interaction avec les micro-ondes font l'objet du projet RTRA PLASMAX. L'expertise acquise au niveau Toulousain dans ce domaine peut permettre d'aborder, en collaboration avec des aérodynamiciens et des spécialistes de combustion, les applications potentielles au contrôle d'écoulement ou de combustion de ce type de plasma.
- Le site Toulousain peut devenir un pôle national et international dans le domaine du contrôle d'écoulement par plasma notamment parce que le projet européen PLASMAERO y a pris naissance et est piloté par l'ONERA Toulouse. Pour augmenter encore la visibilité et le rayonnement de cette activité il serait très utile d'envisager un projet de prototype d'engin volant (modèle réduit d'avion, petit ballon dirigeable) susceptible de servir de démonstrateur et de système de test en vol d'actionneurs plasmas. Ce type de projet peut être à la fois facilement médiatisé et avoir des retombées pédagogiques si les écoles (ISAE, INP, ...) et Universités sont impliquées sous la forme de stages, de projets d'étudiants ou de thèses.
- Dans le domaine de la propulsion spatiale pour satellite, les recherches en France ont été focalisées sur les propulseurs à effet Hall en raison des choix stratégiques de la SNECMA et du CNES qui ont financé ces recherches. L'expertise des laboratoires Toulousains (LAPLACE, ONERA, LAAS, ...) leur permettrait de proposer et d'étudier bien des concepts différents de propulseurs électriques, en relation avec les équipes de propulsion plasma du CNES. Il peut être dans le rôle du RTRA de permettre l'exploration de voies prometteuses qui sont peut-être en dehors des choix stratégiques de certains industriels. D'autre part, il semble possible de faire se rejoindre les thématiques « contrôle d'écoulement par plasma » et « propulsion spatiale à plasma » si l'on considère la propulsion d'engins (par exemple dirigeables pour télécommunications qui sont envisagés actuellement) à altitude élevée (environ 20 km). Certains concepts de propulseurs plasmas pour satellite doivent en effet être transposables à ce type d'altitude (avec l'avantage de pouvoir ioniser l'air ambiant et de ne pas avoir à stocker de réserves de gaz).

AEROACOUSTIQUE

Enjeux et applications potentielles

On distingue généralement l'acoustique externe (bruit perçu par des personnes à l'extérieur de l'avion) de l'acoustique interne (bruit perçu par les personnes embarquées : pilotes, passagers). Réduire les émissions sonores que ce soit en interne ou en externe représente un enjeu important pour l'industrie aéronautique (mais pas seulement) et des objectifs ambitieux ont été définis pour cette industrie notamment dans le cadre ACARE 2020. Liés à cette problématique, des enjeux industriels et scientifiques importants existent. On peut ainsi citer :

- le problème de la localisation des sources (en interne comme en externe). La méthodologie classique repose sur l'antennerie. Toutefois le problème est bien moins connu lorsqu'il y a des parois, lorsqu'il y a un écoulement si l'on souhaite des mesures non intrusives.
- L'absorption du bruit moteur. Plusieurs types de dispositifs sont étudiés comme des liners, des systèmes d'aspiration active juste en amont des fans, des traitements sur le bord de fuite des aubes ...
- L'absorption pour réduire le bruit interne. Cet aspect fait appel à la fois à la vibro-acoustique et à la recherche de matériaux absorbants sur le plan de l'acoustique.
- Les outils de simulation. Les mesures directes sont souvent difficiles et coûteuses et la simulation numérique représente une solution alternative très importante et par là un enjeu majeur sur le plan industriel. Toutefois la simulation numérique en aéroacoustique présente elle aussi des difficultés importantes, notamment en termes d'échelles (depuis les fines échelles de la turbulence jusqu'à des grandes longueurs d'onde de l'acoustique). La modélisation reste indispensable.
- Enfin, on peut mentionner une application dans le domaine de l'espace : l'environnement acoustique du lanceur au voisinage de son aire de lancement. En effet la réflexion des ondes acoustiques de très grande amplitude émises par les moteurs au décollage peut interagir de façon négligeable sur certains éléments structuraux du lanceur.

Positionnement au niveau national, régional, et international

Certains thèmes "classiques" comme le bruit de jet sont étudiés par un très grand nombre d'équipes dans le monde. Il existe aussi déjà plusieurs projets à l'échelle européenne ou nationale sur ce qui traite par exemple des jets simple flux, des jets double flux, du contrôle (chevrons par exemple), du bruit de combustion ...

La force du site toulousain dans ce domaine doit consister à proposer une approche pluridisciplinaire en regroupant des compétences reconnues en modélisation (IMFT, ONERA, ISAE) en simulation numérique (CERFACS, ONERA), en contrôle (IMFT), en métrologie et moyens expérimentaux (ONERA, ISAE), en matériaux (CIRIMAT, ICA). A ce propos, on peut rappeler que l'ISAE est en train de se doter d'un moyen d'essai important dans le cadre de l'opération Toulouse-Campus : une soufflerie dédiée au bruit des aéronefs (dans la perspective de la réduction du bruit en ambiance aéroportuaire).

Thématiques possibles - Verrous et synergies potentielles

Deux thématiques nouvelles paraissent devoir être soutenues par le RTRA STAE vu leur caractère novateur, les enjeux scientifiques et industriels qu'elles représentent et vu la particularité de l'offre toulousaine comme expliqué ci-avant.

- Le bruit de la turbulence pariétale. Il s'agit du bruit présent dans le cockpit induit par la turbulence de l'écoulement (extérieur). Cette turbulence pariétale est la source principale du bruit à l'intérieur du cockpit. Les modèles de type ingénieur dont disposent les industriels ne sont

pas valides en raison essentiellement de la courbure de paroi et du gradient de pression (les vitres du cockpit sont en forte incidence par rapport à l'écoulement principal). Sur le plan de la simulation, des verrous importants existent (et qui constituent précisément l'enjeu scientifique de cette thématique), il s'agit d'effectuer des calculs de type LES avec un nombre de Reynolds très élevé, un nombre de Mach important et avec un couplage éventuel de vibration de la paroi. Beaucoup de modélisations de la turbulence traitent des fluctuations des composantes de la vitesse, alors que l'on peut penser que ce sont les fluctuations de pression pariétale qui sont en grande partie responsable du bruit recherché. Sur le plan scientifique, la communauté scientifique ne connaît pas grand chose sur les fluctuations de pression pariétale en turbulent et encore moins par quel mécanisme elles peuvent induire du bruit.

- Le bruit de fan, plus généralement le bruit de dispositifs mis en rotation. Là encore la simulation numérique est difficile en raison notamment de la présence de parois mobiles dans l'écoulement et de l'instationnarité qui en résulte. Les mesures nécessitent toute une installation particulière (à laquelle devrait pouvoir répondre la nouvelle soufflerie prévue à l'ISAE).

THEME MATERIAUX METALLIQUES POUR L'AERONAUTIQUE ET LE SPATIAL

Enjeux et applications potentielles des matériaux métalliques

Malgré l'essor des matériaux composites, les matériaux métalliques, de par leurs propriétés spécifiques, restent incontournables dans certaines applications aéronautiques et spatiales. Entre autres, ils sont en effet plus tolérants aux dommages, présentent une résistance à haute température plus élevée que celle des composites et ont une capacité de mise en forme et d'assemblage supérieure. Leur avenir reste donc largement assuré, notamment dans la transmission de puissance et les applications chaudes. Néanmoins, **les préoccupations environnementales croissantes induisent de nouvelles contraintes** qui s'ajoutent aux exigences toujours plus grandes de rentabilité et de performance, et créent de nouveaux enjeux.

Dans le cadre des **nouvelles réglementations environnementales (REACH) limitant l'utilisation de certaines substances chimiques (e.g. Cr hexavalant)** et réduisant ainsi l'emploi de traitements de surface actuels, une problématique majeure des alliages métalliques réside dans leur tenue à la corrosion et à l'oxydation. L'étude de nouveaux traitements de surface en lien avec la surface avant traitement et avec les propriétés d'usage (corrosion, fatigue, fatigue-corrosion, ...) sur les matériaux classiquement utilisés et sur de nouveaux alliages est donc particulièrement cruciale pour les applications des matériaux métalliques dans le domaine aéronautique.

Dans ce contexte, **l'augmentation des performances moteurs** conduit à vouloir alléger les pièces tournantes, à pousser les technologies actuelles et à en développer de nouvelles induisant des températures de fonctionnement plus élevées et des systèmes de transmission plus complexes. Le développement de nouveaux alliages à propriétés spécifiques élevées à très hautes températures ainsi que l'étude de l'élaboration et de la tenue de barrières thermiques, d'une part, et l'amélioration des connaissances sur les problèmes de frottements, d'usure, de fatigue de contact (engrenages, paliers, roulements...) d'autre part constituent donc des enjeux essentiels pour le secteur aéronautique. Les barrières thermiques et leurs effets sur le substrat sont aussi au cœur des préoccupations dans le domaine spatial.

Les problèmes d'**optimisation d'usinage et de mise en forme** en général présentent également un intérêt majeur qui s'inscrit à la fois dans une optique de rentabilité (plus de pièces correctes au moindre coût), dans des contraintes environnementales (réduction de la lubrification, de la matière première) et dans une problématique technologique (pièces de plus en plus en minces avec des problèmes de retour élastique et de contraintes résiduelles). L'usinage consiste à fabriquer des surfaces et le choix des gammes influence notablement le potentiel de durée de vie des pièces (résistance à l'endommagement), et il a été démontré que les critères classiques de qualité des états de surface ne sont pas des indicateurs pertinents. L'usinage après formage induit des déformations difficilement maîtrisables par relaxation de contraintes résiduelles. Ceci a l'inconvénient de limiter considérablement la production d'ébauches matricées.

Positionnement au niveau national, régional, et international

L'amélioration de la tenue à la corrosion est un thème très répandu au niveau international et national. Les nouvelles contraintes environnementales ont relancé ce thème dans différents projets et groupes de travail (par exemple sur la suppression du chrome VI, Promosurf (Belgique), GTAP (Gifas),...). Là encore, les laboratoires toulousains et bordelais sont fortement présents puisque le CIRIMAT et le LMP développent et étudient des traitements de surface anti-corrosion d'actualité.

Les mécanismes d'endommagement par frottement et usure sont très variés et, de ce fait, sont étudiés dans de nombreux laboratoires (Laboratoire Mécanique de Lille, Insa de Lyon, Université de Metz,...). Les activités sur la tribologie et l'usure à froid et en particulier à chaud menées dans la région toulousaine sur des matériaux métalliques (avec ou sans traitement de surface) sont reconnues et bien placées aux niveaux national et international (cf. ANR RAMDAMAERO).

Concernant les applications à haute température, l'intérêt international est constant depuis très longtemps avec des « modes » successives sur des alliages particuliers (superalliages base Ni, intermétalliques,...). La France n'est pas en reste et un grand nombre de laboratoires (par exemple l'ONERA, le Centre des Matériaux des Mines de Paris...) travaille sur ce thème. Les laboratoires de matériaux et de mécanique toulousains présentent un fort potentiel sur cette thématique car la plupart (CEMES, CIRIMAT, ICA dont en particulier le CROMEP et le DMSM de l'ISAE) ont ou ont eu récemment des activités liées à cette problématique bien qu'à des échelles différentes.

Pour l'optimisation de l'usinage, les recherches se focalisent au niveau international et national indépendamment sur les problématiques de modélisation de la coupe (Université de Metz, UTT, LAMEFIP, projet MEDOC,...), l'optimisation de l'usage post coupe (projet européen DUTIFRISK, ...) ou l'optimisation des trajectoires de coupe. La problématique, telle qu'elle est posée à Toulouse, visant à optimiser le triplet matière-procédé-usage, semble être très prometteuse et d'avant garde.

Thématiques possibles - Verrous et synergies potentielles

- Thèmes les plus porteurs et correspondant à un bon positionnement régional
 - **Les peintures et traitements de surface anticorrosion (alternatives vertes)** développés sur les alliages de titane et d'aluminium s'accompagnent généralement d'une forte diminution de la résistance à la fatigue. La compréhension et la maîtrise de ce phénomène, qui constitue un verrou majeur, passe par un travail collaboratif entre élaborateurs de traitements de surface (tribologie) et mécaniciens de la surface et de la fatigue. L'interaction entre CIRIMAT, CEMES, LMP et ICA amènerait sans aucun doute, tout en respectant les nouvelles consignes environnementales, à lever ce verrou pour de nouveaux traitements.

- **L'étude et la modélisation des endommagements de contact bénéficient de moyens très performants développés ces dernières années à l'ICA.** Des projets alliant la caractérisation et la modélisation du comportement en frottement à l'élaboration de nouveaux traitements de surface visant à améliorer la durée de vie et faisant intervenir les différents laboratoires (CEMES, CIRIMAT, ICA...) permettraient des avancées considérables dans ce domaine. La modélisation déboucherait sur des simulations numériques multi-physiques susceptibles d'être réalisées sur la plate-forme du RTRA.
- Autres thèmes porteurs et correspondant à un bon positionnement régional
- Les projets concernant les **applications à haute température** s'ils concernent une grande partie des laboratoires de la région font appel à des compétences concernant différentes échelles et différentes étapes allant de l'élaboration de matériaux et leur caractérisation physico-chimique (CEMES, CIRIMAT) jusqu'à la caractérisation mécanique en situation d'usage (gradient thermique, fatigue thermomécanique) (CIRIMAT, ICA). Des projets structurant le réseau toulousain sur de nouveaux matériaux comme par exemple des multi-matériaux (nouveaux types de barrières thermiques...) ou des matériaux à gradient de propriétés thermomécaniques permettraient de mettre en valeur et de coordonner les compétences déjà acquises par tous les laboratoires sur ces problèmes tout en renforçant la position du Pôle Toulousain sur ce thème au niveau national et international.
 - Les problématiques liées à **l'usinage et à la mise en forme des alliages de titane et des alliages légers** (Al, Alu-Lithium, Mg...) sont au cœur des besoins industriels. L'optimisation de l'usinage grande vitesse, à sec, par voie chimique, les problèmes de gauchissement des pièces usinées avec fort enlèvement de matière ou obtenues par formage avancé, l'interaction outil-matière constituent des verrous à lever. Le pôle Toulousain, allié aux équipes bordelaises, par ses capacités étendues allant de la détermination de lois de comportement et de la caractérisation multi-échelle des surfaces à l'étude des propriétés d'usage en passant par la modélisation des procédés de coupe ou de mise en forme, est particulièrement bien placé pour répondre à l'exigence de connaissance et de contrôle de toute la chaîne allant de la matière première à la pièce en service. Si l'on parvient à maîtriser les tolérances de forme de pièces formées puis usinées, le champ d'application de ces procédés devrait s'ouvrir : aujourd'hui, des pièces comme les encadrements de pare-brises chez Airbus sont usinés dans des tôles épaisses.

INTERACTION FLUIDE-STRUCTURE ELECTROACTIVE

Contexte général

Cet appel à idées s'inscrit dans un axe prioritaire de recherche en aéronautique pour élaborer de nouveaux concepts de design pour les structures portantes des avions de nouvelles générations, afin d'accroître l'efficacité aérodynamique et la manœuvrabilité des ailerons et de gouvernes. Les futures générations d'aéronefs seront dotées de structures souples qui pourront adapter leur forme en temps réel pour atteindre une forme optimale en fonction de sollicitations extérieures. Ceci pourra être effectué à l'aide de matériaux électroactifs intelligents de nouvelle génération, de nouveaux modèles d'interaction fluide-structure capables de prédire les échanges énergétiques entre le fluide et la structure déformable (IMFT) et de commandes de vol de systèmes embarqués (ISAE). Les compétences des laboratoires de recherche Toulousains permettent de jouer un rôle majeur en ce domaine, et d'accomplir une avancée conceptuelle considérable. Cette réflexion se situe à l'interface entre la recherche amont et l'application industrielle et permettra une « cross-fertilisation » entre la recherche fondamentale et des projets à caractère plus applicatifs, tels que des programmes européens du 7^e PCRD.

Etat de l'art

Une des priorités de l'industrie aéronautique (cf. le département de commande de vol d'Airbus à Toulouse) est de remplacer progressivement l'actionnement hydraulique des gouvernes et des ailerons par des systèmes électriques moins lourds et moins intrusifs. Il est souhaitable que ces systèmes soient de faible coût énergétique et offrent des possibilités de manœuvrabilité accrue, tout en atténuant les vibrations qui peuvent apparaître aux jonctions entre ces ailerons et l'aile principale. La plupart de systèmes d'actionneurs embarqués consiste en des actionnements à caractère localisé, (de type MEMS par exemple, ou bien par des matériaux de type SMA, « Shape Memory Alloys »). Ces systèmes offrent des possibilités de déformation localisée dans des échelles de temps longs qui ne sont pas bien adaptés pour un actionnement en temps réel. Par ailleurs, le coût en énergie nécessaire pour alimenter ces systèmes est encore très élevé (communication avec la Délégation de la NSF - National Science Foundation, Janvier 2008). Plus récemment, le développement de mini et micro-piezomoteurs (Prof. B. Nogarède, LAPLACE) a permis d'envisager l'instrumentation de la surface portante par ce type de matériaux d'une manière *distribuée*, afin d'assurer une déformation mieux répartie. De plus, ces actionneurs sont également dotés de capacité de récupération de l'énergie vibratoire environnante et de restitution de celle-ci pour l'actionnement. De ce fait, de *faibles coûts énergétiques* sont assurés par cette nouvelle génération de matériaux électroactifs. Un système d'hybridation entre les SMA et les mini-piezos permet d'associer les bénéfices de grandes déformations (SMA) si souhaitable, avec des temps de réponse courts (piézos). A titre d'exemple, lors d'un programme de collaboration entre LAPLACE et Airbus, programme "Commandes de Vol du Futur", la potentialité de l'actionnement distribué avait été démontrée pour contrôler une aile en vrillage de 40m de long: avec seulement 50Kg de matériaux électroactifs nécessaires, un vrillage de 2° avait été obtenu. Dans le cas de régime dynamique les déplacements obtenus avaient maintenu des amplitudes conséquentes.

Par ailleurs, des approches de modélisation novatrices de l'échange énergétique fluide-structure ont été récemment étudiées (IMFT, EPFL - Lausanne, ISAE, ONERA-Châtillon) ; permettant de mieux prédire les charges instationnaires dues à l'interaction entre le solide et le fluide. Dans le système complet CFD-CSM (Computational Fluid-Dynamics-Computational Structural Mechanics), des approches novatrices de modélisation de la turbulence permettent de mieux capter la physique complexe proche-paroi (modélisation de la turbulence hybride, IMFT, EDF, ONERA), incluant notamment de nouveaux modèles de cascade énergétique inverse (collaboration IMFT-Univ. College London- MIT - Brown Univ., USA).

Des approches de capture de modification de forme de la surface portante et de l'optimisation de celle-ci pour l'atténuation des instabilités et nuisances de bruit aérodynamique sont de plus en plus développées dans l'état de l'art, permettant de définir la déformation optimale à atteindre grâce à l'actionnement distribué (**Morphing Electroactif**). Ces méthodes font substituer des modèles à dimensions réduites (ROM-Reduced Order Modelling) au système complet CFD-CSM, au sein des boucles d'optimisation et offrent ainsi des gains de temps de plusieurs ordres de grandeur pour le 'design' (Tech. Univ. Berlin, LEA-Poitiers, IMFT, MIT, INRIA).

Les commandes des vols de *systèmes embarqués* sont de plus en plus fiables et efficaces pour assurer le « Controller Design » sur le système complet de la partie instrumentée de la surface portante, afin qu'elle atteigne sa forme optimale, en fonction de sollicitations extérieures, en temps quasi-réel. Ainsi, l'interaction fluide-structure électroactive regroupe des potentialités importantes de laboratoires Toulousains, qui pourront travailler en synergie pour doter la région des avancées considérables sur le plan international, dans une thématique en pleine expansion pour l'aéronautique de nouvelle génération.

De plus, la thématique d'interaction fluide-structure électroactive peut s'ouvrir également vers les sciences du vivant, telles que la biomécanique de l'oreille interne assistée par l'électroaction (ISAE-MIT).

Verrous et Synergies potentielles

Le verrou principal concerne l'énergie (alimentation, stockage, récupération). Le rôle de cet appel à idées est de permettre à des équipes de laboratoires de recherche d'étudier la faisabilité et réalisabilité du nouveau concept de **Morphing** avant de l'appliquer dans le domaine industriel par d'autres programmes tels que le JTI « Joint Technological Initiative » - Clean Sky, auquel nombre de laboratoires cités participera.

Un autre verrou principal concerne les matériaux composites piézoélectriques, pour lequel le laboratoire LAPLACE a fait des avancées considérables.

Positionnement au niveau national, régional et international

Au niveau national, des équipes de l'Université de Besançon et de l'INSA-Lyon travaillent également sur l'élaboration de matériaux électroactifs intelligents mais moins dans le domaine de l'aéronautique et avec des dispositifs de type MEMS. En ce qui concerne les domaines de CFD-CSM, l'IMFT est en collaboration avec l'EDF pour le dimensionnement des générateurs de vapeur et avec l'ONERA pour la modélisation de la turbulence (programme européen ATAAC). Cet appel à idées apporte des valeurs ajoutées quant aux programmes de recherche européens en cours qui ne prévoient pas encore de modélisation complète du système CFD-CSM *incluant les propriétés électroactives des actionneurs distribués*. La modélisation de ce nouveau concept prometteur est une valeur ajoutée dans l'état de l'art.

Atouts majeurs de synergie et perspectives

Cet appel à idées permettra aux laboratoires concernés de la région Midi - Pyrénées d'effectuer une percée conceptuelle et de modélisation considérable vers les nouveaux dispositifs de Morphing pour les avions du futur, et d'assurer notamment un changement d'échelle, depuis les drones (programme existant EMMAV) vers les échelles de gouvernes et d'ailerons ou de pales. De plus, cet appel à idées assurera une synergie à long terme entre les disciplines d'aéro-servo-élasticité, de modélisation en CFD, d'optimisation de forme et de systèmes embarqués, qui dotera les laboratoires impliqués de réelles potentialités pour participer à des projets de morphing électroactif plus applicatifs, après avoir mis en évidence les performances de ces concepts novateurs.

Une force considérable du travail de recherche en synergie entre les laboratoires réside à la mise en œuvre de démonstrateur générique du concept d'interaction fluide-structure électroactive et l'utilisation de moyens d'essais de pointe, non seulement pour la comparaison avec les résultats de simulation mais pour aider à bien comprendre les mécanismes impliqués, afin de mieux les modéliser.

L'interaction fluide-structure électroactive ainsi développée et appliquée aux aéronefs, avec des extensions possibles vers les sciences du vivant, ouvrira des possibilités de collaborations avec la NSF, « National Science Foundation », USA, qui a cité les travaux de recherche menés entre l'IMFT et LAPLACE en ce domaine (projet de recherche EMORPH-Emectroactive Morphing) dans un rapport encore confidentiel après la visite d'une délégation officielle à l'IMFT en Janvier 2008.

Dans le contexte de cet appel à idées, deux laboratoires de l'ISAE (matériaux-structures), l'ONERA-Toulouse-Commandes de Vol, le LAAS (systèmes embarqués), L'IMFT et LAPLACE sont concernés.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'AVIATION

Enjeux

Dans le contexte du réchauffement climatique, l'impact de l'aviation sur l'environnement a retenu l'attention de façon croissante au cours des dernières années, en raison de l'augmentation du trafic aérien, soit 5% par an depuis 1980, ce qui en implique un doublement d'ici à l'horizon 2020 selon les estimations des industriels. Malgré les améliorations techniques attendues des nouvelles technologies que l'industrie aéronautique compte mettre en œuvre (notamment la diminution de 50% des rejets de CO2 par passager/km dans le cadre du programme ACARE), l'augmentation du trafic s'accompagnera d'un accroissement des émissions atmosphériques globales gazeuses et particulaires dont les effets environnementaux sont encore très incertains.

Réduire ces incertitudes présente un enjeu industriel majeur en vue des futures réglementations européennes en matière de rejets, comme par exemple la proposition de la Commission Européenne d'inclure l'aviation dans le marché européen des permis d'émissions (Emission Train Schème, ETS). Il est donc essentiel que ces réglementations soient basées sur des résultats scientifiques bien fondés et que les constructeurs aéronautiques puissent prendre en compte dans la conception des futurs avions les évaluations d'impact des flottes de manière à minimiser autant que possible leurs effets sur l'atmosphère et le climat.

Parallèlement, dans le cadre de la mise en place du « ciel unique » européen, la gestion du trafic aérien devra à l'avenir se soucier de la minimisation de l'impact environnemental des opérations aériennes, alors que jusqu'à présent l'accent principal a été mis sur les seuls problèmes de sécurité, de bruit et d'accroissement du trafic.

Des incertitudes importantes sont à l'heure actuelle associées aux évaluations des impacts climatiques et environnementaux de l'aviation. Ces incertitudes traduisent la complexité des interactions entre les processus physiques et chimiques opérant sur des échelles de temps et d'espace très larges. Ces interactions sont intrinsèquement non-linéaires et induisent des effets indirects. Par exemple, les chimies des No en phase gazeuse et hétérogène associée aux particules émises induisent des productions ou destructions d'ozone à des vitesses très différentes suivant le degré de dilution des effluents. Les particules émises perturbent également le bilan radiatif dans des degrés très variables suivant leur granulométrie et leur composition (suie, glace) qui dépend notamment des conditions atmosphériques. Elles induisent des effets directs dans le champ proche des aéronefs (formation des traînées de condensation), qui peuvent précéder des effets indirects par transformation des traînées en cirrus persistants.

L'énorme disparité des échelles d'espace et de temps associées à ces processus nécessite des approches qui permettent de tenir compte de tous les régimes rencontrés. Il faut donc être capable de décrire et quantifier les processus depuis le champ proche des aéronefs jusqu'à la centaine de kilomètres sur l'ensemble du globe. Ce problème de descente d'échelles n'est que très imparfaitement pris en compte dans les modélisations actuelles.

Positionnement au niveau national, régional et international

L'étude des phénomènes associés aux émissions du trafic aérien a suscité beaucoup d'attention aux niveaux international et national. En Europe le DLR (Deutsche Centrum fur Luft un Rampart) et en particulier l'Institut fur Physis der Atmosphäre dirigé par U. Schumann bénéficie d'une expérience reconnue et a fortement contribué à la compréhension des phénomènes clés comme les traînées de condensation et les nuages induits. Ces travaux se sont appuyés sur la modélisation des processus complexes de transformation des gaz et des particules des espèces émises et sur plusieurs campagnes d'observation *in situ*. Par exemple, le projet Européen POLINAT du cinquième Programme Cadre (FP5) a fourni des mesures d'index d'émission de No et CO₂ dans le champ proche d'un sillage d'avion (<http://www.pa.op.dlr.de/polinat/>). Parallèlement le projet FP5 AERO2K a synthétisé de façon détaillée la distribution des émissions. Toutes ces études permettent une bonne documentation des phénomènes physico-chimiques et fournissent des données très utiles pour le développement et la validation de nos modélisations.

Le problème de l'évaluation de l'impact du trafic aérien sur le climat a reçu moins d'attention dans la communauté scientifique. En Europe, dans le cadre du FP5, le projet TRADEOFF a abordé pour la première fois le problème de l'estimation du forçage radiatif en analysant des scénarios issus des cadastres d'émission d'avions. Le projet Européen QUANTIFY dans le sixième Programme Cadre (FP6) a été ensuite construit avec l'objectif d'intégrer et de quantifier l'impact des émissions issues du trafic aérien mais aussi routier et maritime. Ce projet incluant 40 partenaires est coordonné par le DLR, il inclut les équipes du CERFACS, du CNRM et de l'ONERA. Aux Etats-Unis également, le groupe de P. Minis de NASA L'angle se basant sur des mesures globales et *in situ* a estimé l'impact radiatif global des traînées de condensation et des cirrus induits.

Enfin le projet ITAAC (Impact du Transport Aérien sur l'Atmosphère et le Climat), soutenu par le RTRA et comprenant 5 partenaires régionaux (CERFACS, CNRM, IMFT, LAPLACE, ISAE et SAFIRE), vient de démarrer début 2009. Il devrait apporter une contribution significative à ces problèmes, mais ne couvre pas l'ensemble des questions posées. On détaille ci-après les points spécifiques qui restent encore à approfondir.

Verrous et synergies potentielles

- La validation des modélisations par l'observation in-situ et satellisable
- La définition de matrices (fonction de transfert) adaptées reliant les émissions aux impacts. Les matrices que l'on pourrait construire dépendent tout à la fois de l'horizon temporel choisi, du type d'impact que des «variables de contrôle» que l'on se fixe (c.f. niveaux de taxation, optimisation du design des aéronefs, ...). Une ouverture des équipes actuelles vers les économistes semble souhaitable.
- L'impact des émissions particulières autres que les suies (huile et particules métalliques)
- L'optimisation des routes en tenant compte de l'ensemble des effets (CO₂ mais aussi O₃ induit et contrails)
- L'impact environnemental des carburants alternatifs
- La problématique de l'aéroport et de son interaction avec la qualité de l'air

Au niveau régional, au-delà des acteurs déjà identifiés dans le cadre du projet ITAAC, des partenaires issus de l'ONERA, de l'observatoire Midi-Pyrénées, de la DGAC/STNA, des constructeurs et des laboratoires d'économie pourraient être intéressés à contribuer à la thématique des impacts environnementaux de l'aviation.

GRUPE 2 : «OBSERVATION ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME TERRE»

Ont participé à ce groupe de réflexion :

Jean-Luc Redelsperger (Animateur, CNRM) ; Roland Cantié (Astrium), Gérard Dedieu (CESBIO), Claude Estournel (LA) ; Laurent Terray (Cerfacs) ; Yves Godderis (LMTG) ; Anny Cazenave (LEGOS) ; Vincent Henri Peuch (CNRM) ; Jean-Luc Attié (LA) ; Valéry Masson (CNRM). Avec le soutien de D. Guedalia (Comité de pilotage)

Commentaire général

Parmi les différents thèmes possibles, n'ont été proposés que ceux qui semblent bien positionnés au niveau international dans les prochaines années, non financés par ailleurs et en adéquation avec les compétences des équipes toulousaines.

Suivant les recommandations émises, le groupe s'est restreint à trois thèmes intégrateurs. Ces thèmes nécessitent une étroite coopération entre différents équipes du domaine SPU et avec des équipes extérieures à SPU, en particulier des équipes de mathématiques appliquées et des sciences pour l'ingénieur.

I - CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX AUX ECHELLES REGIONALES ET DECENNALES

Enjeux

Les changements environnementaux sont souvent perçus comme une addition de phénomènes indépendants : le changement climatique, les cycles biogéochimiques, l'érosion de la biodiversité animale et végétale, les modifications d'usage des sols (urbanisation, agriculture, déforestation) , l'usage intensif de l'eau, la pollution , etc. Or ces problèmes sont intimement reliés les uns aux autres par les enveloppes superficielles de la terre (air, eau, sols...) et par l'évolution des activités humaines (l'utilisation croissante des ressources naturelles). Ces changements environnementaux apparaissent de plus en plus perceptibles, que ce soit aux échelles globales ou régionales. Les études et projections disponibles indiquent que les trente prochaines années seront une période clé pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation à ces changements environnementaux.

Description du thème

Ces stratégies d'adaptation doivent se décliner en particulier aux échelles régionales qui sont les plus pertinentes pour des études de vulnérabilité multi-facteurs. Cependant force est de constater que les stratégies mises en œuvre actuellement pour appréhender ces changements environnementaux ne sont pas optimales, principalement en raison de l'absence d'un cadre intégrateur et de contraintes trop faibles inhérentes à nos concepts actuels sur les méthodologies d'évaluation et d'estimation/réduction des incertitudes. Cela se traduit en particulier par l'utilisation insuffisante des données passées et instrumentales, le manque d'attention et de connaissance sur le rôle central des interactions d'échelles (spatiale et temporelle) et l'aspect dispersé des méthodologies utilisées pour l'estimation des incertitudes et la réalisation et l'évaluation des couplages entre les différentes composantes des systèmes utilisés. Une meilleure appréhension des changements environnementaux doit donc passer par la mise en place d'un cadre plus intégrateur et de meilleures synergies entre les différentes disciplines et outils (données, modèles, méthodologies) utilisés.

En conséquence, les recherches futures pourraient s'articuler selon trois axes principaux:

- La détection et l'attribution des changements environnementaux passés et observés aux échelles régionales (sensibilité des systèmes aux perturbations, compréhension fine des mécanismes, cadre rigoureux pour les comparaisons et validations entre données et modèles, acquisition et homogénéisation des observations)
- La prévisibilité décennale des changements futurs aux échelles régionales et l'identification des sources et mécanismes associés (les projections et les incertitudes de différente nature, les couplages entre climat et milieu, les nouvelles observations pour détecter les *fingerprint* des changements prévus)
- L'étude systémique des risques naturels et induits (identification et évaluation des aléas et des vulnérabilités, les aspects probabilistes, l'estimation des seuils et les études multi-facteurs).

Si de nombreuses études ont traité ces trois questions au niveau global et sur des échelles de temps longues (la centaine d'années), il subsiste encore de nombreuses incertitudes d'origine diverse (incertitude réflexive liée aux scénarii d'évolution des forçages anthropiques, incertitude épistémique liée à la connaissance imparfaite des phénomènes, incertitude stochastique liée au caractère chaotique de la variabilité climatique interne). L'importance relative de ces différentes sources d'incertitude varie dans le temps et leur quantification et évolution temporelle demeurent très approximatives. Si l'on s'intéresse aux échelles régionales et au futur proche (30 ans), notre compréhension encore très incomplète des couplages entre systèmes et des interactions d'échelle (spatiale et temporelle) ainsi que notre connaissance limitée des sources de forçage (passées et futures) accentuent les sources d'incertitude et complexifient les exercices de prévision probabiliste. Or, c'est principalement à ces échelles spatio-temporelles que doivent se décliner les nécessaires politiques d'adaptation aux changements environnementaux que nous sommes en train de vivre. Ces politiques d'adaptation doivent se baser sur des études de vulnérabilité de bout en bout des systèmes anthropiques et/ou naturels permettant une estimation des risques (incluant la prévision probabiliste des aléas et la détermination et analyse des vulnérabilités).

Il nous semble donc essentiel d'encourager des recherches sur les trois axes précités en privilégiant les échelles régionales et les trente prochaines années. Ces recherches doivent s'appuyer sur des développements méthodologiques, en particulier sur les interactions d'échelle, les couplages entre systèmes et les méthodes d'estimation et de propagation des incertitudes.

Positionnement des équipes toulousaines

La communauté toulousaine affiche de fortes compétences sur les disciplines aux interfaces de la thématique des changements environnementaux. Elle est donc bien placée pour travailler à l'intégration nécessaire à l'amélioration de nos connaissances sur les changements environnementaux ;

Modes d'action

Appel à projets afin de fédérer les recherches

II - ÉTUDES INTEGREGES EN GEOSCIENCES DES REGIONS TROPICALES

Enjeux

Les régions tropicales ont un rôle central dans le système climatique mais sont mal représentées dans les systèmes de modélisation utilisés pour les scénarios du GIEC. Leur rôle sur la prévision du temps aux latitudes tempérées est aussi très fort (p.e. une équipe toulousaine a montré l'existence de précurseurs tropicaux des canicules européennes). Ces régions, où vivent 75% de la population mondiale, sont aussi les plus vulnérables au changement environnemental correspondant à des pays en voie de développement. Cependant il n'existe pas de programme dédié sur les tropiques (des initiatives spécifiques à des domaines existent comme l'année internationale d'observations des tropiques), ni de programmes totalement intégrés à l'échelle régionale en dehors du programme AMMA (Afrique de l'Ouest).

Par ailleurs, il existe des besoins considérables de partage de nouvelles connaissances et méthodologies pour l'ensemble des personnes travaillant dans les régions tropicales (p.e. prévision intra-saisonnière essentielles pour les activités sociétales comme les cultures pluviales, modèles couplés surface-végétation-hydrologique, interactions entre bassins tropicaux, prévision des événements extrêmes).

Description du thème

Ce besoin d'intégration de communautés encore trop éclatées porte aussi sur la mise en commun d'efforts pour progresser sur des problèmes dans les observations et modèles utilisés : des réseaux d'observation sur les 3 bassins océaniques existent mais avec des difficultés pour les continents et l'atmosphère ; les produits satellitaires sont indispensables mais il est nécessaire de mieux les évaluer et les améliorer en utilisant les réseaux d'observations (spécificités existent dans les tropiques) ; des erreurs systématiques existent dans les modèles utilisés et pour une grande part similaires à la prévision du temps, saisonnière et du changement climatique.

Positionnement des équipes toulousaines

Il n'existe que très peu de coordination au niveau toulousain, national, et international sauf à travers quelques projets et avec un éclatement des efforts en disciplines.

La communauté toulousaine est très bien placée pour jouer un rôle important pour faire évoluer cet état de fait, en regard de ses laboratoires, équipes et leaders scientifiques reconnus internationalement pour leurs travaux sur les régions tropicales. Des liens forts existent sur ce sujet avec des laboratoires en région parisienne, grenobloise et de Montpellier. Les expertises des équipes toulousaines couvrent pour les tropiques tous les compartiments (Continent, Océan, Atmosphère), toutes les échelles (du local au global), et toutes les méthodologies (Observations in situ et satellite, modèles, théorie, prévisions).

Modes d'action

Il est proposé un mode d'action en deux phases :

- 1) Organisation d'un atelier avec invitation de leaders internationaux: état de l'art, identification des axes de recherche prioritaires et fédérateurs de la communauté toulousaine, pour lesquels elle pourrait être trouver une place de leader international.
- 2) Appel d'offres sur ces axes avec collaboration possible avec des laboratoires nationaux

III - TRANSFERT DE LA MATIERE DES CONTINENTS AUX OCEANS : APPROCHES INTEGREEES

Enjeux

Le cycle de la matière minérale et organique est à l'exception des régions arides très étroitement lié au cycle de l'eau. L'eau est en effet responsable de l'érosion physique et de l'altération chimique des surfaces continentales, et de la croissance de la biosphère continentale et marine. Ces processus sont à l'origine de la consommation du carbone atmosphérique, clé de l'évolution du climat. La description de leur fonctionnement et des couplages à l'œuvre lors des transferts de matières des continents vers les océans est donc un enjeu vital pour la compréhension du système Terre. De plus, cette thématique est en lien direct avec le développement de la nouvelle génération de capteurs (miniaturisation, démultiplication du nombre de capteurs,...)

Description du thème

Les cycles de l'eau et de la matière contrastent par leur constante de temps : à dominante courte pour le cycle de l'eau bouclé par ses branches atmosphériques et terrestres, dans une large gamme de variation pour la matière, depuis les constantes de temps rapides de l'activité bactérienne (horaire), plus longue quand il s'agit du stockage du carbone par la biosphère continentale (décennale à séculaire) ou plus encore pour son enfouissement dans le sédiment (million d'années). A titre d'exemple, cette large gamme d'échelles temporelles est illustrée par le processus d'altération chimique des surfaces continentales. A l'échelle des temps géologiques, il permet d'expliquer la stabilité du climat de la Terre. Mais il répond également aux changements d'origine anthropique (changements climatiques, pratiques agricoles), la consommation de CO₂ atmosphérique par l'altération chimique du bassin du Mississippi ayant augmenté de 40 % depuis 1960.

D'un point de vue spatial, l'eau draine les bassins versants jusqu'à la mer transportant éléments minéraux et matière organique mais également les contaminants issus de l'activité humaine. Les plateaux continentaux constituent ainsi un exutoire pour cette matière d'origine continentale. A la sortie des fleuves, une part de la matière organique terrestre, la plus réfractaire, est enfouie durablement dans le sédiment tandis qu'une partie plus labile est recyclée par les écosystèmes marins. Les nutriments (nitrates, phosphates, silicates) apportés par les fleuves sont également à la base de la production biologique marine dans les zones côtières, leur concentration et la stoechiométrie de ces apports (rapports des concentrations des différents nutriments) conditionnant fortement la production planctonique, la chaîne alimentaire dont elle constitue la base ainsi que l'exportation de carbone vers le sédiment. Un exemple bien connu est l'augmentation des teneurs en nitrates des fleuves bretons associés à une réduction des phosphates et une stabilité des apports en silice qui sont à l'origine de dysfonctionnement des écosystèmes marins (blooms d'algues vertes ...). Enfin, les contaminants transportés par l'eau sont étroitement liés à la matière particulaire minérale (affinité avec les argiles et plus généralement les particules fines) et organique et interagissent de manière extrêmement complexe et méconnue avec les réseaux trophiques continentaux et marins depuis la modification de la production primaire par certains métaux lourds jusqu'à la bioaccumulation dans les organismes supérieurs (par exemple : les PCB dans les poissons du Rhône).

De nombreuses questions majeures sont sous-jacentes au cycle de la matière. Elles concernent le climat ou bien les écosystèmes et elles ne peuvent être dissociées du cycle de l'eau. Elles sont très complexes car elles font intervenir de nombreux processus et concernent des milieux très divers le long du continuum bassin versant, fleuve, océan ainsi que l'atmosphère. De plus, les rétroactions sont potentiellement importantes rendant extrêmement incertaines les prévisions liées à des changements qu'ils soient climatiques ou liées à l'usage des territoires. Très clairement, ils

nécessitent d'une part de renforcer les études disciplinaires quantifiant les flux d'éléments majeurs et traces des continents vers les océans, leur variabilité spatiale et temporelle et leur devenir dans l'océan, et d'autre part de favoriser l'émergence d'une approche pluridisciplinaire visant à comprendre le fonctionnement global d'un système et à rendre possible la modélisation de ses évolutions en réponse à l'évolution de ses forçages.

Positionnement des équipes toulousaines

De nombreuses équipes toulousaines, réparties dans une dizaine de laboratoires, ont une compétence en matière d'hydrologie continentale, d'altération chimique et physique des surfaces continentales, de transferts sédimentaires et dissous par les fleuves, d'écologie, de fonctionnement des systèmes estuariens. Elles ont de plus une longue tradition de développement et d'utilisation de capteurs de ces processus. Enfin, certaines équipes toulousaines disposent d'un potentiel de modélisation numérique des processus agissant aux surfaces et interfaces continentales.

Mode d'action

Appel à projets afin de fédérer les recherches

GRUPE 3 : SYSTEMES EMBARQUES

A Albarello (animateur), R Chatila (correspondant RTRA)
M Bafleur (Laas), F Castanie (teas), Y Deswarte (Laas), P Fabiani (Onéra),
G Ladier (Airbus), B Lecussan (Onéra), P Pech, D Seguela (CNES), M Sibilla (IRIT)

INTRODUCTION

Le groupe a retenu de travailler sur les thèmes suivants :

- Systèmes à déclenchement par le temps (time triggered architecture)
- Architecture embarquée haute performance
- Autonomie des systèmes embarqués
- Systèmes embarqués et énergie
- Gestion de réseaux et de systèmes
- Ingénierie des systèmes embarqués
- Systèmes embarqués et énergie
- Réseaux de capteurs sans fil
- Sécurité des systèmes d'information embarqués
- Hétérogénéité et systèmes de communication
- Radio logicielle.

Ces thèmes correspondent tous à la conception de systèmes embarqués temps réel critiques, adressant pour la plus-part les applications enfouies dans le domaine aéronautique ou spatial. Un domaine fédérateur qui émerge de ces fiches est celui de l'ingénierie système et de ses outils, qui est une clé pour toutes ces applications complexes à concevoir et à valider. Le groupe considère que le domaine des systèmes embarqués pour applications critiques est très fortement représenté à Toulouse, tant au plan scientifique qu'industriel, et correspond à une expertise historique reconnue. Parmi les Propositions d'action mises en avant pour chaque thème, on trouve souvent l'organisation de séminaires ou de rencontres internationales, qui renforcerait le rayonnement de Toulouse dans les systèmes embarqués critiques.

THEME 1 : SYSTEMES A DECLENCHEMENT PAR LE TEMPS (TIME TRIGERED ARCHITECTURE)

Enjeux

Un système embarqué est un système temps réel dont la correction ne dépend pas seulement des résultats logiques ou numériques des calculs opérés mais également de l'**instant physique** auquel ces résultats sont effectivement produits. On peut envisager d'encadrer le développement et l'implantation de l'ensemble du logiciel embarqué en proposant un langage de programmation (formel) permettant d'exprimer un certain nombre d'exigences ou de contraintes temporelles relatives à l'exécution des applications embarquées.

Le temps est considéré comme une ressource et le compilateur a la charge de produire le code permettant d'assurer aux applications la disponibilité de cette ressource. Le concepteur peut alors plus librement se focaliser sur la programmation des fonctions remplies par les tâches, sur la spécification des contraintes temporelles qui guident leur exécution, et se décharger sur le compilateur de la programmation de la gestion temporelle de leur exécution. Les vérifications qui peuvent ainsi être opérées s'exercent tant sur l'architecture du système que sur les programmes des traitements que cette architecture doit supporter et que le système doit mettre en oeuvre.

Ces vérifications permettent de **prouver** que le système satisfait les **contraintes logiques et temporelles** nécessaires à son bon fonctionnement. Chaque composant du système peut ainsi être formellement défini par une spécification précise des données qu'il produit ou qu'il consomme ainsi que la date (l'instant) à laquelle il les produit ou les consomme. Il est ainsi possible de vérifier que la composition du système est cohérente du point de vue logique et temporel.

Verrous Technologiques

Une limite importante des approches déclenchées par le temps (Time Trigger Architecture) se situe dans le manque de flexibilité qui caractérise le processus de conception d'un système selon ce paradigme. Tous les composants, toutes les tâches, leur ordonnancement et toutes les communications au sein du système doivent être spécifiés d'un point de vue temporel ; faute de quoi une implantation effective ne peut être envisagée. C'est d'abord parce que cette contrainte remet en cause les usages qui régissent les processus de conception dans le domaine des systèmes avioniques actuels que ces approches n'ont pas réussi à pénétrer les secteurs de l'industrie aéronautique civile.

Il est donc nécessaire, au delà des avancées scientifiques indispensables pour disposer des méthodes et outils adaptés, de considérer les contraintes des processus industriels et leurs possibles évolutions pour que ces solutions puissent être adoptées par l'industrie dans le futur.

Thèmes de recherches proposés

- 1-Définition d'une architecture matérielle support du modèle à déclenchement par le temps
- 2-Définition d'un langage de spécification des applications embarquées
- 3-Compilation du langage de spécification et vérification
- 4-Implantation de mécanismes et services de contrôle d'exécution

Positionnement des laboratoires toulousains

Ces recherches concernent les unités de Systèmes Embarqués et Répartition (SER) et Ingénierie des Systèmes Critiques (ISC) de l'ONERA, les équipes ASTRE et Acadie de l'IRIT et le groupe OLC du LAAS/CNRS.

Collaborations nationales et internationales

Université de Vienne (Autriche) *Dr. Kopetz.* ; EPFL (Lausanne) [Thomas A. Henzinger](#) ; Berkeley (USA) *Edward A. Lee*

Propositions de modes d'action

Organisation d'un séminaire annuel et invitation de personnalités étrangères pour créer une communauté internationale, avec l'objectif de se retrouver annuellement à Toulouse, en associant les industriels du domaine.

THEME 2 : ARCHITECTURE EMBARQUEE HAUTE PERFORMANCE

Enjeux

L'évolution actuelle des processeurs standard introduit une rupture technologique par la mise en oeuvre d'un parallélisme au sein même des processeurs, avec pour conséquence d'impacter les applications, car le modèle d'exécution séquentiel devient un modèle d'exécution parallèle. Il est donc impératif de se préparer à ce que les processeurs du futur ne se programment plus comme les processeurs actuels entraînant des modifications profondes dans les algorithmes, les outils de traduction de programmes et les logiciels d'exploitation de ces machines.

Ces processeurs standard, interconnectés par des réseaux, supportent des protocoles de transports de données à débit de plus en plus importants (jusqu'à 100Gb/s) mais toujours à forte latence (supérieur à la milliseconde), incompressible actuellement.

Le nombre de processeurs nécessaires (plusieurs centaines) dans les systèmes embarqués futurs, les performances des échanges d'informations et surtout la qualité de service exigée peuvent conduire à des architectures futures proches des calculateurs parallèles actuels. Un défi majeur consiste alors à étudier dans quelle mesure les impératifs d'embarquabilité sont supportés par de telles architectures (performances, disponibilité, gestion du temps, validation, certification, industrialisation etc ...) et identifier le modèle d'exécution pertinent (Distributed Memory, MIMD ; Distributed Memory SIMD ; Shared Memory MIMD ; CC-Numa Architecture) pour supporter les contraintes des applications embarquées.

Verrous Technologiques

S'affranchir de la contrainte technologique du modèle d'exécution parallèle peut être résolu selon deux axes : i) des outils évolués capables de retrouver du parallélisme exploitable par ces machines dans des programmes conçus sur un modèle d'exécution séquentiel, ii) des « patrons » de programmation générique mis à disposition du développeur pour produire des programmes capables d'exploiter ces ressources. Ces deux voies, largement explorées dans le passé concernant les applications dédiées au calcul scientifique, doivent être explorées pour traiter des applications moins spécifiques.

Les réseaux des calculateurs hautes performances présentent des caractéristiques bien supérieures aux réseaux locaux en terme de performance et de fiabilité. L'embarquabilité de ces technologies est un défi à relever pour que telles architectures puissent devenir des solutions viables.

Thèmes de recherches proposés

Modèle d'exécution parallèle
Architecture haute performance temps réel
Programmation parallèle

Positionnement des laboratoires toulousains

L'équipe Traces de l'IRIT est concernée par les thèmes de recherches portant sur l'Architecture des processeurs et des calculateurs. L'équipe SER (Systèmes Embarqués et Répartition) s'intéresse aux méthodes de programmation de ces architectures parallèles et aux mécanismes de gestion de ces ressources matérielles.

Identifications de Collaborations internationales Possibles

Technical University of Catalonia (Prof Mateo Valero) Université du Delaware (Prof Guang Gao)
University of California : Irvine (Prof J.L. Gaudiot)

Propositions de modes d'action

Les communautés scientifiques des acteurs du calcul intensif et des systèmes temps réel sont actuellement disjointes. Il conviendrait d'organiser des séminaires et des écoles pour mettre en relation ces deux communautés et faire émerger des projets d'études conjoints.

THEME 3 : AUTONOMIE DES SYSTEMES EMBARQUES

Enjeux

L'autonomie des systèmes embarqués est un enjeu majeur pour les années à venir pour en diminuer les coûts d'opération et pour disposer de systèmes plus réactifs à des événements non prévus. Une réactivité accrue permettra d'améliorer l'efficacité de ces systèmes pour la réalisation de leur mission et également de faire face à l'accroissement de la complexité tout en maintenant l'exigence de sécurité.

Verrous

L'autonomie des systèmes embarqués se heurte aujourd'hui à deux types d'obstacles :

- psychologiques : les opérateurs ont l'impression qu'ils vont perdre la maîtrise du système. Il faut démontrer qu'il n'en est rien et que l'autonomie va modifier les modes d'intervention en améliorant l'efficacité globale des interactions homme-machine.
- techniques : l'autonomie complexifie le logiciel et en augmente de façon importante la combinatoire. Or, ces logiciels doivent s'exécuter sur des processeurs à ressources très limitées (taille mémoire, fréquence), ils doivent répondre à des contraintes temps réel dures et leur validation ne doit pas présenter la moindre faille.

Thèmes de recherche proposés

- amélioration de l'efficacité mission : algorithmes performants de planification / replanification
- amélioration de l'observabilité : détection autonome des éléments pertinents à mémoriser et à transmettre à l'opérateur en fonction de l'état du système
- nouveaux concepts de commandabilité : définir les limites de l'autonomie de l'engin par rapport au pilotage par un opérateur à distance
- nouveaux concepts d'architecture pour répondre aux nouveaux besoins : partage d'informations et mise en place de points de synchronisation entre l'engin autonome et l'opérateur distant.
- systèmes robustes malgré leur complexité : nouvelles méthodes de validation des logiciels, auto-diagnostic du système et prise de décision rapide pour continuer les opérations
- outils de preuve et de vérification de la sûreté de fonctionnement des systèmes permettant de prouver la conformité à des exigences de sécurité et d'efficacité malgré la complexité et le haut niveau d'auto-adaptation des systèmes à leur environnement.

Positionnement des laboratoires toulousains

L'IRIT, le LAAS/CNRS et l'ONERA regroupent des compétences indispensables pour travailler sur ce sujet : sciences cognitives (facteur humain), interactions opérateurs-systèmes, modélisation des systèmes (en particulier multi-agents), surveillance, diagnostic, reconfiguration, développement des capacités de perception et décision autonome de robots, méthodes et outils de guidage&pilotage, méthodes et outils de conduite et décision automatisée, etc ...

Ces trois laboratoires ont une part majeure dans le pôle scientifique de Toulouse dans le domaine des STIC, notamment au travers de la fédération de laboratoires FÉRIA, au cœur d'un environnement scientifique, académique et industriel centré sur les systèmes aéronautiques et spatiaux.

Collaborations internationales possibles

Plusieurs universités ou laboratoires ont été identifiés comme collaborateurs potentiels, tant en Europe que sur le continent Nord-Américain :

Univ. Linköping (Suède), Univ. Sevilla, Univ. Valladolid, Univ. Polytechnic. Catalogne (Espagne), Univ. Torino (Italie), Univ. Bochum (Allemagne), Univ. Graz (Autriche)
Univ. Sherbrooke (Canada), Univ. Georgia Tech (Atlanta USA), NASA Ames, MIT (Boston USA)

Proposition de modes d'action

Trois types d'actions sont proposées, visant à donner aux laboratoires Toulousains une **visibilité européenne, voire mondiale, de leur pôle d'excellence** dans le domaine de l'autonomie des systèmes embarqués :

- organisation d'un **séminaire international ciblé** sur des contributions au domaine de l'**autonomie** des systèmes embarqués spécifiquement dans le domaine **Aéronautique et Spatial**,
- mise en place de **projets de recherche collaborative** entre les principaux centres de compétences mondiaux dans le domaine de l'autonomie des systèmes embarqués.
- **invitations successives sur 5 ans de plusieurs chercheurs d'équipes internationalement reconnues** dans le domaine de l'autonomie pour venir réaliser un séjour sabbatique financé par le RTRA, en tant que collaborateur des laboratoires Toulousains et pouvant **contribuer aux différents projets collaboratifs** cités ci-dessus.

THEME 4 : SYSTEMES EMBARQUES ET ENERGIE

Enjeux et verrous

L'énergie est probablement le défi majeur des décennies à venir. Les transports constituent une part importante de la consommation d'énergie mondiale et des émissions de CO₂ à l'origine du réchauffement climatique. Dans un objectif de développement durable, il est devenu indispensable de réduire la consommation d'énergie liée aux transports.

Un premier verrou concerne *l'augmentation du rendement de conversion sur toute la plage utile (ou rendement énergétique global sur une mission type)* : du composant de puissance à l'architecture du système de conversion en passant par les lois de gestion et de commande associées. Un deuxième verrou est lié aux défis de la *miniaturisation* de ces systèmes de gestion de l'énergie avec la nécessaire augmentation de la fréquence de fonctionnement et le développement de technologies d'intégration des composants passifs sur silicium ou substrat. Parallèlement aux efforts sur les architectures, une approche complémentaire pour mieux contrôler et réduire la consommation d'énergie dans les aéronefs consiste à mettre en œuvre des architectures du système global et des lois de commande pour une meilleure *gestion de l'énergie de bord*. Ces différentes approches devront prendre en compte les sources d'énergie émergentes : biocarburants, piles à combustible (hydrogène, SOFC) et les défis des transports tout électriques.

Les avancées des micro et nanotechnologies ont permis de considérablement réduire la taille des systèmes embarqués et d'envisager des systèmes communiquant sans fil dont *l'autonomie énergétique* constitue un véritable verrou.

Thèmes de recherche proposés

Dans le domaine de l'énergie, on peut identifier quatre grands domaines de recherche :

- Futures générations de composants de puissance haute température / haute fréquence de découpage pour les transports électriques (*voir fiche du groupe de réflexion "Technologies émergentes"*)
- Architectures de gestion de l'énergie électrique à haut-rendement énergétique et lois de commande associées : mettre à profit les avancées des micro et nanotechnologies pour rendre ces systèmes de gestion de l'énergie *intelligents, adaptatifs et reconfigurables*.
 - Gestion de l'énergie de bord : mettre à profit la disponibilité de nouvelles sources d'énergie et de stockage et la forte pénétration de l'électronique de puissance dans les transports pour développer de nouvelles approches de gestion de l'énergie assurant la qualité, la disponibilité et la stabilité des réseaux électriques. Il s'agira d'introduire des concepts de *redondance et/ou coopération* dans les architectures, de *coopération multifonctionnelle* et des approches de commande et contrôle du système de transport orientées gestion de l'énergie
- Autonomie énergétique des systèmes embarqués : développer les architectures, les concepts de récupération d'énergie, les microsources et les éléments de stockage de l'énergie ainsi que les technologies d'intégration associées pour atteindre l'objectif de l'autonomie quasi-illimitée, en particulier, pour les réseaux de capteurs sans fil.

Positionnement des laboratoires toulousains

Les laboratoires de recherche toulousains concernés par ces travaux sont : LAAS (intégration monolithique de composants actifs et passifs, récupération et micro-sources d'énergie, stockage intégré, gestion de multi-sources d'énergie), LAPLACE (architectures de convertisseurs, commande et contrôle, intégration de puissance hybride 3D), CIRIMAT (supercondensateurs, microsources, batteries Li-ion), ONERA (lois de commande robustes ou auto-adaptatives, architectures de conduite reconfigurables, preuves de sûreté de fonctionnement, planification de trajectoires de vol 4D), CNES (énergie de bord), AIRBUS (avion plus électrique).

Identification de coopération nationales et internationales possibles

National : G2eLAB, AMPERE, SATIE, IMS - International: CNM-Barcelona (SiC), CPES-Virginia Tech (USA), Fraunhofer Institutes IISB, DLR (Allemagne), Academic Initiative for More Electric Aircraft (AIMEA): consortium (UK) universitaire de recherche pour l'aéronautique (Universités de Manchester, Nottingham, Sheffield et Bristol).

Autonomie énergétique: voir fiche "Réseaux de capteurs sans fil"

Proposition de modes d'action

- Appel à projets focalisé sur les nouveaux défis de l'énergie embarquée.
- Invitation de chercheurs étrangers de premier plan venant compléter les compétences toulousaines.

THEME 5 : GESTION DE RESEAUX ET DE SYSTEMES

Enjeu

Les activités de surveillance, d'analyse et de maintenance sont essentielles pour améliorer la diagnosticabilité, l'adaptabilité et la sûreté des systèmes embarqués mais également des systèmes que l'on souhaite doté d'une capacité d'auto-gestion.

Défis

Face à cet enjeu, les verrous à lever sont nombreux. Nous pouvons citer :
Intégrer les composants de gestion au plus tôt dans le processus de développement,

Améliorer/réduire de temps d'exécution de la boucle de contrôle (surveillance/analyse/adaptation) conduisant vers son autonomie,

Certifier les décisions d'adaptation, et

Maîtriser les mécanismes de surveillance afin de garantir la qualité de ces activités et les performances du système surveillé.

Thèmes de recherche proposés

Processus de développement multidimensionnel (Thème A)

Le développement de systèmes embarqués met de plus en plus l'accent sur la modélisation tout au long du cycle de vie du développement, depuis la spécification jusqu'aux activités de validation, de test et de contrôle en exploitation, mais avec des approches différentes. En améliorant la connectivité entre ces approches, les modèles devraient couvrir non seulement la description structurelle du système, mais aussi une description détaillée de son comportement à différentes fins (test de validation, simulation, maintenance) et ce, en réduisant les coûts.

Vers une auto-gestion des systèmes embarqués (Thème B)

Les futurs systèmes embarqués pourront être dotés de mécanismes de détection, d'analyse (diagnostic), et de prise de décisions (reconfiguration par exemple) s'appuyant sur un ensemble d'informations collectées par des mécanismes de surveillance adaptables. Les travaux en-cours dans le domaine de la gestion autonomes de réseaux et de systèmes pourraient contribuer à cet objectif mais les fortes contraintes de ces systèmes embarqués (temps réel, énergie, certification, ...) doivent être étudiées.

Positionnement de la recherche toulousaine

La communauté de recherche toulousaine est à la pointe dans différents aspects de ces deux thématiques, avec l'IRIT (Thème A : équipes Acadie et MACAO ; Thème B : équipes ASTRE, SIERA, SMAC), le LAAS (Thème B : groupes DISCO et OLC) et l'ONERA (Thème B : Unité de Recherche Conduite et Décision).

Collaboration internationales et nationales possibles

Parmi les laboratoires nationaux et internationaux travaillant aussi dans ce domaine, on peut citer Université d'Evry Val d'Essonne (France), Universidad Autónoma de Madrid (Espagne), Waterford Institute of Technology (Irlande).

Proposition de modes d'action

Professeur invité, Post-doc

THEME 6 : INGENIERIE DES SYSTEMES EMBARQUES

Enjeux et verrous

40 ans après «l'invention» du génie logiciel, 25 ans après les premiers SE critiques industriels, le développement des SE aéronautiques et spatiaux est marqué par la convergence de plusieurs phénomènes :

- Extension de leur spectre d'application
- Augmentation de leur complexité, choisie ou imposée par l'évolution des composants électroniques et l'apparition de nouvelles approches pour l'intégration : System on Chip (SoC)
- Apparition de nouvelles contraintes de sûreté, et toujours plus d'exigences de sécurité
- Rapprochement du HW et du SW (contraintes de SdF, approches de développement).
- Exigence de maturité précoce des éléments électronique et logiciel embarqués
- Evanescence «structurelle» du marché de l'édition logicielle pour les SE, trop faible diffusion industrielle des travaux des laboratoires de recherche, stagnation de la productivité
- Banalisation des SE, même les plus critiques (risque de perte de conscience du risque)
- Révolution annoncée des nanotechnologies, depuis les nano-capteurs jusqu'aux nano-systèmes complets
- Evolution vers une prééminence de la puissance électrique bouleversant les systèmes associés.

Thèmes de recherche proposés

Maintenir un haut niveau de sûreté de fonctionnement, démontré, et un haut niveau de Qualité de Services des SE passe par le développement d'une **ingénierie système appréhendant simultanément le HW et le SW, largement diffusée, pérenne, utilisant une approche de virtualisation poussée**. Des démarches du type «Electronic System Level (ESL)», «**maquette numérique**», considérant des approches architecturales et de développement **basées «composants», «modèles» et «preuves»**, sont essentielles et impliquent des travaux de recherche importants en :

- ***Simulation et définition d'architecture, partitionnement HW/SW, par optimisation progressive.***
- ***Approches «Model Driven», modélisation, simulation, observabilité***
- ***Techniques formelles de développement et de vérification/validation***
- ***Virtualisation pour la vérification et la validation des logiciels et de l'électronique***
- ***«Approche systémique» du développement des logiciels (incluant l'ingénierie des exigences)***

Pour ce qui concerne le 'traitement' de la **puissance**, l'objectif visé est de se passer un jour de prototypes physiques, ce qui impose en particulier des développements spécifiques en **maquette virtuelle dans le monde logique et physique, en modélisation d'architecture**

Enfin, la **diffusion pérenne** des solutions issues de ces travaux doit être assurée au travers d'une **Plate-Forme Ouverte (Open Source) d'Ingénierie des SE** conforme aux standards de qualité du marché.

Positionnement des laboratoires toulousains

La communauté de recherche toulousaine est à la pointe dans beaucoup de ces domaines au travers de l'IRIT, du LAAS CNRS (ISI, OLC, TSF), de l'ONERA (DTIM, DCSD) et des Unités de recherche compétentes de l'UPS, de l'N7, de l'ISAE, du LAPLACE.

Une ambition : faire de Toulouse un centre mondial majeur, visible et reconnu en Ingénierie des Systèmes Embarqués.

Pour cela, nous proposons quatre formes d'actions :

1 / Construction d'OPEES, Plate-Forme Ouverte et pérenne (Open Source) d'Ingénierie des Systèmes Embarqués (OPEES = Open Platform for Engineering of Embedded Systems)

2 / Développement de collaborations internationales, en particulier aux USA avec la NASA sur les méthodes formelles, et avec le SEI CMU (Peter Feiler), sur AADL et l'évaluation de la sûreté de fonctionnement et au Japon sur les thématiques de virtualisation matériel que logiciel (Profs. Nanya et Yoneda).

3 / Attraction à Toulouse des équipes de recherche et des chercheurs de premier plan, français et étrangers, complétant les compétences et la capacité de transfert technologique locales, en particulier par la création d'une **antenne locale de l'équipe du CEA-LIST** impliquée dans les développements d'outils d'ingénierie pour les systèmes embarqués et l'invitation par l'ONERA/DCSD, pour un an, du **Professeur Eric Feron de l'Université de Georgia Tech**.

4 / Développement de labos communs industrie/recherche (type AIRSYS), multi industriels, dédiés à l'ingénierie des systèmes embarqués

3 / Attraction à Toulouse des équipes de recherche et des chercheurs de premier plan, français et étrangers, complétant les compétences et la capacité de transfert technologique locales, en particulier par la création d'une **antenne locale de l'équipe du CEA-LIST** impliquée dans les développements d'outils d'ingénierie pour les systèmes embarqués et l'invitation par l'ONERA/DCSD, pour un an, du **Professeur Eric Feron de l'Université de Georgia Tech**.

4 / Développement de labos communs industrie/recherche (type AIRSYS), multi industriels, dédiés à l'ingénierie des systèmes embarqués

THEME 7 : RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

Enjeux et verrous

Les réseaux de capteurs sans fil constituent une technologie déjà ancienne (opération *Igloo White* de 1968 à 1973 pendant la guerre du Viet Nam) et ce sont les progrès de la microélectronique qui ont depuis un peu plus d'une dizaine d'années (projets *Smart Matter* ou *Smart Dust*) fait des réseaux de capteurs sans fil un thème de recherche et développement largement partagé. Il est en effet devenu envisageable d'intégrer dans un unique objet de taille centimétrique ou millimétrique des fonctions de mesure, traitement du signal, communication, gestion de l'énergie, et éventuellement de géo-localisation, ainsi qu'un actionneur dans le cas de robots. Le champ des applications s'en est potentiellement trouvé étendu à des domaines très divers comme la domotique, le médical, les transports, l'investigation de sites de catastrophes naturelles ou industrielles, les études de migrations animales, l'écologie... sans compter les applications militaires

d'instrumentation de terrain entre autres. Il est ainsi maintenant réaliste de mettre en place des réseaux incorporant un grand nombre de nœuds, tolérant ainsi les défaillances individuelles et autorisant la notion de *capteurs abandonnés*.

Les verrous sont bien sûr d'ordre **technologique**, mais également d'ordre **applicatif** (identification d'applications viables économiquement). Les verrous technologiques sont à décliner en regard des différents niveaux fonctionnels des nœuds. Ils tiennent pour l'essentiel à la faible taille du nœud et impliquent autonomie énergétique, robustesse, capacités de mesure, de traitement du signal, et de mémorisation limitées, ainsi que des portées et des débits de communication réduits. Le défi majeur réside dans la **nécessaire pluridisciplinarité** à mettre en œuvre pour lever ces différents verrous qui sont très interdépendants.

Thèmes de recherche proposés

Energie : Les défis résident à la fois dans la génération, le stockage et la gestion de l'énergie : nouvelles générations de microbatteries, transducteurs à haut rendement de récupération de l'énergie ambiante, supercondensateurs intégrés à haute densité, et gestion optimisée de l'énergie.

Mesure : Conception de capteurs spécifiques : faible consommation énergétique en mode actif, mais aussi courts transitoires de mise en fonctionnement et d'extinction, multifonctionnalité.

Communications : réalisation d'antennes miniaturisées, à très haute fréquence, anisotropes et reconfigurables, optimisation des stratégies de propagation (multi-hop), taille des trames, procédure MAC énergétiquement efficace.

Routage : agrégation des données, capacités d'auto-organisation et de reconfigurabilité du réseau (mobilité, défaillances transitoires ou définitives) et problèmes de sécurité.

Protocoles : gestion efficace de l'hétérogénéité (capteurs, bornes fixes, ...), protocoles compatibles énergétiquement, avec prise en compte des systèmes fixes (bornes, points d'accès,...) de manière transparente et adaptabilité à l'environnement.

Gestion de données : utilisation efficace et pérenne des données, capacités de tri, prétraitement et fusion des données, prise en compte de l'hétérogénéité et de la contrainte de l'énergie.

Positionnement des laboratoires toulousains

Le pôle toulousain est particulièrement bien armé pour aborder cette thématique des réseaux de capteurs sans fil qui est très pluridisciplinaire et nécessite des compétences allant des couches physiques aux couches logicielles. Les avancées des nanotechnologies constituent également un élément central de ce nouveau champ de recherche (voir fiche du groupe de réflexion Capteurs). Les laboratoires clés du domaine : LAAS (des couches physiques aux couches logicielles), IRIT (protocoles, gestion de données), CIRIMAT (stockage et génération d'énergie, matériaux), ONERA, IMS-Bordeaux (circuits RF).

Identification de collaborations nationales et internationales possibles

National : IEMN, TIMA, LETI. International : Fraunhofer IMS, IHP, IZM (Allemagne), Université de Berkeley (CITRIS), Université de Freiburg (Allemagne), Université de Southampton, Université de Tokyo, Université de Barcelone, CNM (Barcelone), Tyndall (Cork), EPFL (Suisse), IMEC (Belgique).

Proposition de modes d'action

Organisation d'un workshop avec invitation d'experts internationaux du domaine (Japon, US) visant à générer des projets collaboratifs et interdisciplinaires.

Appel à projet avec incitation à projets pluridisciplinaires autour, par exemple, de plateformes logicielles ou/et matérielles.

Organisation d'une concertation avec les autres initiatives nationales en cours dans des thématiques proches (Inter Carnot, GDR MNS...)

THEME 8 : SECURITE DES SYSTEMES D'INFORMATION EMBARQUES

Enjeux

Alors qu'on sait maintenant bien maîtriser les fautes de conception et de fabrication des matériels et des logiciels, les malveillances ont un poids de plus en plus important parmi les causes de défaillance des systèmes embarqués critiques. Ceci est lié à la convergence de plusieurs tendances :

- *L'utilisation accrue de composants sur étagères (COTS)*, matériels et logiciels : ces composants offrent à faible coût des fonctionnalités très larges, mais ils n'ont pas été conçus pour des applications critiques, ce qui rend difficile leur certification.
- *L'ouverture des réseaux et des applications* : cela fournit davantage d'opportunité pour un attaquant de s'introduire dans un système embarqué.
- *La complexité croissante* des systèmes embarqués multiplie le risque d'introduire des vulnérabilités susceptibles d'être exploitées par des attaquants.
- Enfin, les *menaces sont croissantes*, en particulier avec le développement du terrorisme international, mais aussi du *hacking*.

Défis

Les verrous actuels tiennent principalement au fait que les concepteurs de systèmes embarqués critiques n'ont l'habitude de prendre en compte que des phénomènes aléatoires ou accidentels, et pas les malveillances. Implicitement, on fait souvent l'hypothèse de distribution uniforme dans le temps de ces phénomènes rares, rendant hautement improbable leur simultanéité, et cette hypothèse ne tient pas vis-à-vis des malveillances.

Thèmes de recherche proposés

Modèles et politiques de sécurité : Vis-à-vis des systèmes embarqués critiques, les propriétés d'intégrité et de disponibilité sont plus essentielles que celle de confidentialité. On s'intéressera donc plutôt au modèle de causalité (développé à l'ONERA) ou à celui de Totel (développé au LAAS) qui permettent de contrôler les flux d'information entre applications de différents niveaux de criticité. Il faut aussi envisager d'appliquer des modèles plus génériques, comme le modèle OrBAC.

Mécanismes et outils : De nombreux moyens de la sécurité informatique mériteraient d'être adaptés et implantés dans les systèmes embarqués critiques, qu'il s'agisse de mécanismes d'authentification forte (cartes à puce, biométrie, ...), de contrôles d'accès (utilisation des mécanismes de protection des processeurs, des OS, ou au niveau réseaux des pare-feux), d'audit (enregistrer les informations sur les actions liées à la sécurité), ou d'autres.

Validation et certification : Dans le domaine de la sécurité informatique, de nombreuses méthodes formelles se sont développées pour garantir certaines propriétés, surtout de confidentialité mais aussi d'intégrité. Notons en particulier les travaux sur la validation des protocoles cryptographiques, dans lesquels la France est bien placée. Pour ce qui concerne la certification, l'approche *Critères Communs* peut compléter les méthodes usuelles vis-à-vis de la *safety*.

Positionnement de la recherche toulousaine

La communauté de recherche toulousaine est à la pointe dans beaucoup de ces domaines, avec l'IRIT (équipes LILaC, IRT, SIERA), le LAAS (groupes TSF et OLC), et l'ONERA (Département DTIM).

Collaboration internationales et nationales possibles

Parmi les laboratoires étrangers travaillant aussi dans ce domaine, on peut citer SRI International (USA), University of Idaho (USA), IABG (Allemagne), Universidad Politécnica de Valencia (Espagne), University of Kent (GB).

Proposition de modes d'action

Organisation d'un séminaire annuel et invitation de personnalités étrangères pour créer une communauté internationale, avec l'objectif de se retrouver annuellement à Toulouse, en associant les industriels du domaine, et permettre d'identifier ainsi la communauté toulousaine comme leader de ce domaine.

THEME 9 : HETEROGENEITE ET SYSTEMES DE COMMUNICATION

Enjeux

Les systèmes embarqués d'un aéronef de transport civil sont aujourd'hui conçus comme autant de systèmes indépendants, utilisant des architectures de traitement et de communication spécifiques.

L'enjeu est de concevoir un concept de plate-forme unifiée permettant de partager différentes ressources (composants, OS, middleware, outils d'ingénierie système, etc.), et par la même de réduire les coûts de développement et de qualification/certification des systèmes.

Les défis

L'architecture de communication de systèmes embarqués hétérogènes ne peut être obtenue que par interconnexion de réseaux ou bus de communications eux mêmes hétérogènes. Se pose alors le problème de la maîtrise du comportement temporel de ce réseau global dans un contexte où il importe de garantir les propriétés de déterminisme pour les applications les plus critiques et de qualité de service différenciée pour d'autres applications.

Par ailleurs, les approches orientées composant et la virtualisation permettent de concevoir des systèmes plus faciles à réutiliser et à administrer. Cependant, la prise en compte de la QoS dans ces approches reste encore insuffisante, car l'accent est essentiellement mis sur les aspects fonctionnels. Un cadre formel de spécification et de manipulation de la QoS est donc nécessaire pour pouvoir spécifier des exigences à vérifier tout au long du cycle de vie, composer et configurer dynamiquement les applications ou systèmes.

Thèmes de recherche proposés

Virtualisation de l'architecture de communication (Thème A)

Il s'agit de définir un modèle de communication suffisamment générique pour prendre en compte les différents besoins avioniques (critiques ou non) et monde ouvert (services type IP).

Méthodes de dimensionnement réseau (Thème B)

Il s'agit ensuite de proposer les méthodes (de calcul de délai maximum par exemple) permettant, à partir de cette sémantique de communication généralisée, de garantir qu'une architecture réseau donnée vérifie les propriétés temporelles souhaitées.

Garantie de la QoS

- Par une approche Container/Composants contrôlée par contrat(Thème C) : Il s'agit de spécifier la QoS fournie par les Composants et d'exprimer les relations d'interaction entre Composants pour offrir de la QoS globale.
- Par une approche par segment : Il s'agit d'être capable de caractériser de manière formelle la QoS offerte par chaque segment, et de propager ces résultats de segment en segment.

Cohérence et compatibilité des modèles de calcul (Thème D)

Etude de la combinaison de différentes techniques de calcul de délais pire cas.

Positionnement des laboratoires

IRIT/IRT + ISAE : Thèmes A et B, IRIT/ASTRE : Thèmes C et D , ONERA : Thème B , LAAS :

Collaborations internationales possibles

Contacts en cours sur le sujet (sujet de post doc certains accueil de prof invité éventuel)

Propositions de mode d'action

Post doc, prof invité , ...

THEME 10 : RADIO LOGICIELLE

Architectures reconfigurables, méthodologies d'exploration de l'espace de conception et architectures RF de réception en radio logicielle

Enjeux

Les systèmes embarqués très complexes de radio logicielle (SDR : Software Defined Radio) pour la Navigation-Localisation pour applications à GNSS et Galileo (NL) et les Télécommunications mobiles (T), dans une perspective « tout-logiciel » et en tenant compte de la multiplicité à la fois des standards de communication, des services applicatifs NL et T et de l'ensemble des fonctions de télécoms intervenant dans la chaîne de réception, nécessitent des techniques d'implémentation flexible de ces standards. Cette flexibilité signifie adaptativité, reconfigurabilité, modularité et auto-testabilité. Enfin, la chaîne de réception RF doit effectuer une synthèse de fréquence souple et agile.

Défis technologiques et scientifiques

Le meilleur compromis entre les parties à réalisation logicielle et celles à implantation matérielle doit être recherché, car une SDR à la fois « universelle » et « tout logicielle » est impossible. Les défis sont les suivants :

- Absence de recherche fondamentale dans les domaines des méthodes mathématiques et de l'algorithmique rapide dans les processeurs portables ou embarqués temps réel.
- Verrous technologiques fondamentaux, tels que les Convertisseurs Analogiques-Numériques (CAN) à très large bande, ou les structures de processeurs portables capables de fournir la puissance de calcul nécessaire.
- Architecture flexible, reconfigurable facilement et performant.

Thèmes de recherche proposés

- Architectures reconfigurables et méthodologies d'exploration de l'espace de conception.
- Méthodes mathématiques novatrices de traitement du signal rapide et algorithmique : cet axe de recherche est traité dans le thème « Traitement du signal » du groupe de travail RTRA « Simulation et modélisation ».
- Architectures RF de réception.

Positionnement des laboratoires toulousains

- Le Dr Florent Christophe du département Electromagnétisme et Radars (DEMR) de l'ONERA est coordinateur du projet PLASMAX dont l'objet est la modélisation des interactions microondes/plasma pour applications aérospatiales.
- Groupe MOST (Microondes et Opto-microondes pour Systèmes de Télécommunications) du LAAS : modélisation, conception et intégration avancée de circuits et SoC hyperfréquences, principalement pour les systèmes embarqués.
- Groupe Signal, Communication, Navigation de Supaero/ISAE/TéSA : radio logicielle appliquée à la navigation par satellites.
- Le laboratoire coopératif TéSA possède une riche expérience en traitement du signal et en algorithmique rapide.

Opportunités de collaboration nationale et internationale

- M. Comparini et J.-C. Belfiore du département Communications et Electroniques de Telecom ParisTech (ENST).
- Vincent Gaudet, Professeur assistant à l'Université d'Alberta, Canada.
- Maciej Ciesielski, Professeur à l'Université de Massachusetts aux Etats-Unis.
- Priyank Kalla, Professeur associé à l'Université d'Utah à Salt Lake City aux Etats-Unis.
- R. de Gaudenzi, J. L. Gerner de l'ESA (European Space Agency) ;
- D. Akos (University of Colorado) ;
- Gunther Hein (München Universität et ESA) ;
- Jari Syrjarine (Nokia Research Center);
- Voir Annexe.

Proposition de modes d'action

- Accueil sur 3 ans de plusieurs chercheurs d'équipes internationalement reconnues citées au § 5 pour venir réaliser un séjour sabbatique financé par le RTRA, en tant que collaborateur des laboratoires toulousains du § 4.

GRUPE 4 : CAPTEURS ET INSTRUMENTATION

Animateur : Maurice Comtat

THEME I : CAPTEURS CHIMIQUES

Enjeu

Proposer des systèmes de conversion d'une grandeur de composition ionique ou moléculaire en une grandeur électrique mesurable (potentiel, intensité, impédance...).

Défis

- Miniaturisation, intégration en technologies silicium/polymères, transfert industriel
- Optimisation des performances: sélectivité, sensibilité, seuil de détection,...
- Compatibilité avec le milieu environnant
- Approche "Système": portabilité, traitement du signal, communication, autonomie énergétique.

Exemples

- Capteurs de gaz (gaz de combustion, hydrogène, hydrocarbures, composés oxygénés du soufre et de l'azote)
- Capteurs en phase liquide pour la détection d'ions (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- ,...), pour la mesure de sels nutritifs (silicates, phosphates, nitrates) en milieu marin ou la spéciation dynamique de polluants (métaux lourds,...)
- Capteurs pour l'aide au diagnostic, au monitoring et l'analyse en biologie médicale.

THEME II : MATERIAUX ET TRAITEMENT DE SURFACE POUR LES CAPTEURS

Enjeu

- Conception de nouveaux matériaux pour les capteurs et systèmes de mesure
- Choix et mise en œuvre de techniques de traitement de surface, de protection des systèmes de mesure de leur environnement et d'amélioration des propriétés spécifiques superficielles

Défis

- Miniaturisation
- Obtention de nouvelles propriétés (réactivité chimique, électrochimique, sélectivité, caractère chélatant...)
- (Bio et Eco-) compatibilité des matériaux avec le milieu environnant; inertie vis-à-vis du système étudié
- Etablissement de corrélations synthèse - structure - propriétés.

Exemples

- Modifications physico-chimiques de la surface de matériaux par l'intermédiaire de traitements spécifiques et/ou de procédés de dépôts (de nature métallique, céramique, polymère, composite...) qui confèrent aux matériaux des propriétés fonctionnelles : mécaniques, optiques, catalytiques, barrière chimique de diffusion, résistance à la corrosion...
- Développement de nanostructures pour le développement de microcapteurs, d'électrodes modifiées et de photo-anodes.
- Elaboration de biomatériaux notamment pour le développement d'applications bio-médicales.
- Développement de méthodes originales d'analyses des matériaux et biomatériaux pour la compréhension de leurs comportements en surface ou dans leur structure...

THEME III : DETECTION PHYSIQUE

Enjeu

Caractérisation des milieux opaques ou diffusants, par leurs propriétés optiques et (ou) microphysiques, par des capteurs opérant à distance ou proches de l'échantillon.

Défis

- Miniaturisation
- Intégration de nouvelles sources lasers compactes pour lidar multifonction
- Exploitation de nouvelles techniques d'imagerie (optique : hyperspectrale, multi-angulaire, "active full wave" (anglicisme!!!) , ou micro-onde : bande P à X avec polarisation...)

Exemples

- Télédétection des fonds de sols pour l'étude de l'environnement, les îlots de chaleur urbains, guidage de drones (sécurité aérienne), la gestion de l'eau
- Télédétection chimie/ aérosols par technique passive ou active (lidar) pour la caractérisation de l'atmosphère, la qualité de l'air
- Diagnostic/contrôle non destructif des milieux diffusants fortement opaques (jets de propulseur,...) et de gaz polluants par techniques granulométrique, sondage femtoseconde ou terahertz
- Caractérisation des (nano)matériaux
- Analyse de la peau

THEME IV : SYSTEMES

Enjeux

- Mise au point de systèmes et de microsystèmes embarqués, implantés, enfouis, autonomes et communicants
- Développement de systèmes multicapteurs et de réseaux de capteurs

Défis

- Intégration technologique
- Hétérogénéité des technologies et complexité des systèmes
- Standardisation et transfert industriel
- Compréhension par/pour le traitement des données et la conception

Exemples

- Télédétection...
- Intelligence ambiante: suivi des personnes hospitalisées
- Analyses médicales, environnementales, agro-alimentaires, ...

THEME V : STRUCTURES MULTIMATERIAUX INSTRUMENTES

Enjeux

- Prédiction du comportement des structures industrielles multimatériaux à base composite
- Utilisation de capteurs enfouis fiables.

Défis

- Utiliser le SHM (Structural Health Monitoring) pour réduire les coefficients de sécurité, donc les masses ainsi que les coûts de revient et d'exploitation.
- Etablir des relations bijectives entre informations délivrées par un capteur et l'état réel de la structure dans un rayon de l'ordre du mètre autour du dit capteur.
- Définir des modèles de comportement intégrant la réalité de la structure (donc ses variabilités) et des marqueurs synthétisant les précurseurs de risques aux différentes échelles.
- Enfouir les capteurs dès la mise en œuvre (Résistance aux conditions d'élaboration : température et pression élevées, Procédé automatisable et industriel).
- Réparabilité : la zone instrumentée doit pouvoir être réparée et le capteur remplacé en conservant les procédures existantes (→ pas de liaison filaire a priori).
- Autonomie énergétique sur des périodes très longues (plusieurs années voir plus) → source d'énergie « innovante » et consommation extrêmement faible.
- Intégration des problématiques de « networking », de redondance, de traitement de données et de communication pour optimiser les flux d'informations et les fiabiliser.

Exemples

Secteur des transports sur les domaines d'activités stratégiques de l'Aerospace Valley : "Aéromécanique, matériaux, structures", "Systèmes embarqués" et "Maintenance, services, entraînement".

Les atouts toulousains

- pour l'ensemble des 5 thèmes :
 - Nombreux organismes liés à l'observation de la terre et de l'espace
 - Présence de laboratoires de recherche dans des secteurs diversifiés
 - Fédération de différentes équipes face à des défis bien identifiés
 - Volonté de trouver des retombées des efforts de recherche consentis dans l'aéronautique et l'espace dans différents secteurs (automobile, environnement, agroalimentaire, santé)
 - Echos favorables des pôles de compétitivité et de compétence

- plus spécifiquement pour le thème I
 - Pluridisciplinarité des formations, connaissances et savoir-faire en matière de génie des matériaux, génie des procédés, physique, chimie, électrochimie, biochimie, biologie, sciences et technologies de l'information et de la communication
 - Présence de la centrale de technologie RTB au LAAS

- plus spécifiquement pour le thème IV
 - Transversalité des développements "Systèmes" entre automobile, aéronautique, espace, environnement, agro-alimentaire et santé
 - Potentiel de R&D important autour des sciences et technologies de l'information et de la communication (IRIT, LAPLACE, LAAS,...)

Position Internationale

Dans le domaine des capteurs chimiques, il existe des relations fortes :

- au sein de la communauté de travail des Pyrénées entre 15 laboratoires depuis 15 ans
- entre les communautés japonaises et françaises (depuis 20 ans)
- entre les communautés chinoises et françaises (depuis 10 ans)
- entre les laboratoires participant à différents programmes européens.

Proposition d'action

- Rapprochement du thème I et du thème II avec le groupe de réflexion "Technologies en émergence"
- Rapprochement du thème IV avec le groupe de réflexion "Systèmes embarqués"
- Intégration dans les réflexions les partenaires des régions Aquitaine, Languedoc-Roussillon et Provence-Côte d'Azur ainsi que des équipes espagnoles
- Poursuite des rencontres scientifiques entre les différents membres du groupe de réflexion "Capteurs et instrumentation"
- Organisation d'un minicolloque d'une à deux journées au sein de la communauté scientifique de Toulouse pour présenter quelques défis identifiés et structurer les réponses d'équipes pluridisciplinaires
- Réflexions sur la mise en place, sur le site toulousain, d'une filière de formation "capteurs et instrumentation"

GRUPE 5 : SIMULATION ET MODELISATION

P. Degond (animateur), JC André (correspondant RTRA)
E. Chaput, F. Christophe, S. Gratton, M. Masmoudi, P. Mazzega, M. Paulin, S. Planton,
E. Richard, O. Thual, P. Villedieu

Introduction

Le groupe a retenu d'emblée une approche plus méthodologique qu'applicative, privilégiant les grands défis qui se posent aux modèles, méthodes numériques et algorithmes, plutôt que ceux relatifs aux sciences ou aux technologies aéronautiques et spatiales. Ce choix est conforme au caractère transversal du groupe. Il permet de plus d'asseoir d'éventuelles collaborations avec d'autres initiatives.

Cinq grands thèmes ont retenu l'attention des participants :

- Thème 1 : Assimilation de données, contrôle, optimisation de grande taille, erreurs de modèle, "knowledge management".
- Thème 2 : Fiabilité, certification, sensibilité, quantification des incertitudes, stochastique.
- Thème 3 : Couplages multi-physique, optimisation multi-disciplinaire, modèles réduits, multi-agents.
- Thème 4 : Algorithmes, méthodes numériques, architectures, parallélisme massif.
- Thème 5 : multi-échelles, interactions, couplage simulation/modélisation.

Bien entendu ces thèmes ont de fortes interactions entre eux, mais chacun d'eux comporte des problématiques spécifiques qui ont motivé leur traitement séparé.

Un sixième thème, 'Traitement du signal', est apparu en fin d'exercice, du ressort de ce groupe. A cet effet, une expertise extérieure au groupe, a été sollicitée. La fiche, rédigée par MM Castanié et Pech est destinée à être annexée au travail de ce groupe.

Par ailleurs, le groupe a rencontré O. Pironneau, membre de l'Académie des Sciences. Cette discussion a inspiré plusieurs éléments de ce document, et particulièrement certains éléments de stratégie proposés au RTRA.

THEME 1 : ASSIMILATION DE DONNEES, CONTROLE, OPTIMISATION DE GRANDE TAILLE, ERREURS DE MODELE, "KNOWLEDGE MANAGEMENT"

Enjeux, défis et verrous

L'assimilation de données et plus généralement, le couplage modèle-données, a pour but d'exploiter des informations de mesures afin d'améliorer la connaissance des paramètres d'un modèle, dans le but de faire des prévisions ou de manière plus générale, d'optimiser les performances du modèle ou de corriger les 'erreurs de modèle'. Cette discipline s'appuie entre autres sur la modélisation mathématique (déterministe ou stochastique) des systèmes physiques, les techniques inverses, l'optimisation, le filtrage et le calcul à hautes performances, le contrôle temps réel ainsi que la différentiation automatique. Parmi les principaux enjeux actuels figurent l'amélioration de la fidélité des modèles (via le raffinement de maillage ou par la prise en compte d'une physique plus complexe, lesquels génèrent des problèmes de très grande taille), l'amélioration des aspects statistiques (covariances, corrélations spatiales et temporelles, erreurs gaussiennes ou non-gaussiennes), l'assimilation multidisciplinaire et le couplage de systèmes d'assimilation de données, l'assimilation de données images, les problèmes non-linéaires, ainsi que la réduction de modèles.

Au-delà de l'assimilation de données, l'optimisation et le contrôle en eux-mêmes sont au cœur d'enjeux cruciaux pour les volets technologiques et industriels du RTRA. La période récente a vu se développer toute une boîte à outil de techniques diverses (techniques adjointes, filtres d'ensembles, méthodes multigrilles, préconditionneurs, structures partiellement séparables, méthodes itératives emboîtées, modèles multi fidélité, méthodes hybrides local/global, analyse de sensibilité, etc.) qui témoignent de l'importance de ces enjeux et des défis qui restent à relever. Les techniques d'optimisation sont confrontées de plus en plus à des problèmes évolutifs en temps (par exemple l'interaction fluide-structure). Les difficultés des techniques adjointes en contrôle sont amplifiées par la non-linéarité des problèmes qui induisent des instabilités ou des divergences fortes. Les contraintes liées au temps réel nécessitent la mise au point de nouveaux algorithmes de plus en plus performants.

Ces différentes évolutions conduisent à des problèmes de taille gigantesque que l'accroissement de la capacité des calculateurs ne suffira pas à absorber, d'où la nécessité d'algorithmes plus performants (voir thème 4). D'autre part se pose de manière aiguë le problème du 'data mining', c'est-à-dire l'extraction de connaissance des bases de données scientifiques, l'archivage pérenne de données hétérogènes et la gestion en temps réel de grandes masses de données. Là encore, une stratégie mettant en jeu le couplage des données avec les modèles pourrait s'avérer une voie intéressante à explorer.

Thèmes de recherche proposés

Amélioration de la fidélité des modèles, gestion de l'aléatoire, assimilation multidisciplinaire et couplage, images, gestion des nonlinéarités, algorithmique temps réel, Knowledge management, data mining,

Positionnement des laboratoires toulousains

Excellent positionnement international des organismes Toulousains liés à l'observation de la terre (CERFACS, CLS, CNES, Météo France, Mercator, le CNES, ...) et excellente collaboration avec les

laboratoires de recherche 'amont' tels que l'IRIT, l'IMT, le CERFACS lesquels contribuent à l'émergence de nouvelles méthodes et au transfert entre les différentes disciplines.

Collaborations nationales ou internationales

L'offre toulousaine dans ce domaine a une visibilité internationale et le RTRA peut jouer un rôle essentiel pour renforcer cette visibilité. Il semble toutefois que peu de partenariats soient ouverts vers les Etats-Unis.

Modes d'action proposés

Renforcer ce pôle d'excellence toulousain.

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique mature en prolongement d'une action déjà engagée. L'action du RTRA/STAE pourrait consister en un abondement d'actions que ce groupe se doit de lancer aux niveaux nationaux et européens. Le RTRA/STAE pourrait aussi soutenir l'invitation de chercheurs seniors américains pour développer ce type de collaborations encore trop peu développées.

THEME 2 : FIABILITE, CERTIFICATION, SENSIBILITE, QUANTIFICATION DES INCERTITUDES, STOCHASTIQUE.

Enjeux, défis et verrous

A l'évidence, ce thème recoupe de nombreuses préoccupations du précédent thème. Cependant, l'importance que revêtent la fiabilité et la certification des résultats pour les applications industrielles motive un développement spécifique. En effet, de nombreux secteurs d'activités dépendent fortement de la simulation numérique et sont confrontés au problème de pouvoir certifier un résultat numérique en lui associant des barres d'erreurs ou plus généralement une distribution de probabilité.

De nombreuses causes d'incertitude entachent les résultats des simulations numériques : incertitude sur les paramètres des modèles, les conditions initiales ou aux limites, les contraintes, d'une part, mais également, instabilité intrinsèque du système, comportement chaotique, très grande sensibilité aux données d'autre part. L'espace des aléas est souvent de trop grande dimension pour pouvoir couvrir l'ensemble des situations et il est plus efficace de se focaliser sur les paramètres qui induisent une réponse significative. La problématique posée est alors celle de la sensibilité. Les méthodologies peuvent être très variées : méthodes d'ensembles, modélisation stochastique, méthodes de moments (polynôme de chaos), méthodes adjointes privilégiant la réponse attendue,... Une des composantes essentielles pour la certification des simulations est la confrontation des modèles avec des jeux de données représentatifs du système physique réel. Par ailleurs, le calcul de sensibilité et la quantification des incertitudes devront être intégrés au sein même des méthodes et algorithmes numériques pour en optimiser l'efficacité (voir thème 4). Dans certains domaines, où le coût très élevé des simulations ne permet qu'une exploration réduite des paramètres incertains, les méthodes issues de la complexité représentent un enjeu stratégique : elles ouvrent à des méthodologies très efficaces d'exploration de l'espace des paramètres et de réduction de modèles. Elles nécessitent cependant des études amont approfondies afin d'en valider les stratégies.

Thèmes de recherche proposés

La quantification d'incertitude dans son ensemble. Plus spécifiquement, les méthodes de moment et les techniques issues de la complexité recèlent des potentialités importantes. Enfin, les aspects algorithmiques ne doivent pas être négligés. La confrontation avec des données réelles reste une étape indispensable pour la validation des simulations. Cet aspect pourrait être renforcé dans la communauté toulousaine en motivant l'échange de données de validation et en profitant de la synergie entre domaines différents. Par ailleurs, le couplage entre la modélisation mathématique stochastique et la modélisation des systèmes physiques pourrait être plus activement développé.

Positionnement des laboratoires toulousains

En région toulousaine, du fait de son expertise en assimilation de données, Météo-France a contribué de manière importante à faire progresser ces techniques, notamment les techniques d'ensembles, à côté d'autres équipes, notamment au sein de l'IMT. D'autres domaines, comme l'aéronautique, pourraient bénéficier de cette expertise pour enrichir leurs méthodologies de certification des codes afin d'obtenir des renseignements sur la sensibilité des simulations. Il s'agit donc à l'évidence d'une compétence stratégique qui nécessite un effort de développement important en région toulousaine.

Collaborations nationales ou internationales

Dans tous ces domaines exigeant la mise en œuvre de ressources de calcul, de modélisation importantes, et de masses de données librement échangées, les équipes toulousaines interviennent en association avec d'autres partenaires nationaux ou internationaux. Il est nécessaire d'appuyer cet effort et de le coordonner par rapport au programme américain 'Advanced Simulation and Computing Program'.

Modes d'action proposés

Les ressources dégagées en région toulousaine sur ce thème ne sont pas à la hauteur des enjeux stratégiques qu'il représente. La région toulousaine offre un terrain propice à son développement de par la proximité, sur un même site régional, de scientifiques et d'industriels fortement motivés. Le RTRA pourrait être un acteur majeur de ce développement.

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique correspondant à une action structurante nécessitant un soutien pour arriver à maturation. L'action du RTRA/STAE pourrait consister en une aide à des contacts et échanges entre organismes travaillant dans des domaines différents mais pouvant mettre en commun une approche multidisciplinaire.

THEME 3 : COUPLAGES MULTI-PHYSIQUE, OPTIMISATION MULTI-DISCIPLINAIRE, MODELES REDUITS, MULTI-AGENTS.

Enjeux, défis et verrous

Le couplage multi-physique et l'optimisation multi-disciplinaire constituent des enjeux d'importance primordiale dans le monde industriel, et en particulier en conception aéronautique. Le couplage multi-physique introduit des phénomènes physiques spécifiques qui peuvent constituer de nouvelles sources d'instabilités numériques. Les procédures d'interpolation entre les inconnues, représentées de manière différente dans les différents codes, peuvent être également causes de dégradation des résultats. L'interface ou la zone de recouvrement entre les codes doit être optimisée et évolutive ce qui induit des problèmes de remaillage. On distingue deux types de couplage multi-physique : le couplage faible (weak), qui nécessite simplement des échanges entre des codes disciplinaires autonomes (stratégie peu invasive mais qui converge souvent lentement), et le couplage fort (tight) qui nécessite une intervention plus lourde au sein des codes. La recherche de stratégies peu invasives, mais convergeant suffisamment rapidement, est un enjeu capital pour l'industrie. Par ailleurs, les environnements de couplage tendent à se rationaliser, sans toutefois qu'un standard universel ait pour l'instant émergé. De par leurs liens étroits, les scientifiques et les industriels toulousains peuvent avoir un rôle leader dans l'émergence d'un tel standard.

En conception aéronautique, l'optimisation multi-disciplinaire s'est avéré un outil beaucoup plus efficace que l'optimisation séquentielle d'objectifs disciplinaires. Plusieurs stratégies complémentaires ont été développées : les méthodes de type gradient (Newton, gradient conjugué) et les méthodes sans gradient (méthodes hiérarchiques, algorithmes évolutionnaires, surface de réponse, Kriging, stratégies adaptatives, etc.). Lorsque l'espace des paramètres de design est de grande dimension, il est important de déterminer les variables qui induisent une réponse significative, ce qui permet d'utiliser des représentations hiérarchiques plus économes. L'optimisation multi-critères pose le problème de la pondération des différents critères, et des approches alternatives type front de Pareto sont explorées avec succès. Les coûts encourus à chaque évaluation de la fonction à optimiser peuvent être diminués par l'utilisation de modèles réduits. Différentes stratégies basées sur des techniques d'échantillonnage, de contrôle et d'identification de paramètres existent (Proper Orthogonal Decomposition, tessellation de Voronoï, etc.). Le modèle réduit peut d'ailleurs être combiné avec une approche de type couplage modèle-données (voir thème 1) et être utilisé en quantification d'incertitudes (voir thème 2). Les stratégies actuelles doivent être améliorées pour mieux prendre en compte la physique pertinente et notamment les contraintes qu'elle impose en termes de conservations.

La tendance est de considérer des systèmes de plus en plus larges, constitués d'un grand nombre d'agents hétérogènes (agents physiques, économiques, sociétaux, environnementaux), autonomes et interagissant entre eux localement (trafic aérien, communications sans fil par exemple). Les modèles agents-centrés (Agent-Based Models) conduisent à rechercher un optimum au travers d'un consensus basé sur des échanges locaux entre les agents. Ces modèles et méthodes s'inspirent parfois de la biologie des comportements sociaux (méthodes de phéromones, 'ant algorithms', etc.). Ces méthodes, de développement récent, appellent très certainement une mobilisation plus importante de la communauté toulousaine. En particulier, l'approche multi-agents offre de nouvelles perspectives en optimisation multi-disciplinaire et en conception ; les recherches sur ce sujet présentent un intérêt stratégique sur le plan industriel.

Thèmes de recherche proposés

Stratégies peu invasives et stables pour le couplage fort, développement d'un standard d'environnement de couplage de codes plus spécifiquement adapté au couplage faible, optimisation multi-critères, méthodes hiérarchiques, techniques de réduction de modèles prenant en compte les contraintes physiques, méthodes multi-agents

Positionnement des laboratoires toulousains

Il s'agit d'un thème stratégique sur le plan industriel, notamment pour Airbus. Du côté des laboratoires de recherche, l'ONERA, l'IMT et le CERFACS sont fortement impliqués ainsi que l'IMFT et l'IRIT. Les liens recherche-industrie sont forts et constituent un atout de la région toulousaine.

Collaborations nationales ou internationales

Les équipes universitaires sont bien intégrées à la communauté internationale dans ce domaine dont les applications industrielles sont développées au sein de grands groupes à l'échelle européenne ou mondiale.

Modes d'action proposés

La présence de liens industrie-recherche forts font de ce thème un terrain propice à l'action du RTRA. Celui-ci pourra agir de manière à renforcer les liens existants ou à en créer de nouveaux, notamment sur les thématiques en développement, comme le couplage, l'optimisation multi-disciplinaire ou le multi-agents. Sur le couplage, le RTRA pourrait contribuer à structurer la communauté en vue de la création d'une plateforme de couplage et de l'émergence de standards plus adaptés que ceux actuellement sur le marché.

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique mature originale pour le RTRA/STAE. Dans ce cadre le RTRA/STAE pourrait confier à ces laboratoires la tâche de proposer un programme ambitieux destiné à marquer l'originalité de l'école toulousaine sur ces sujets, avec une composante importante pour l'application industrielle.

THEME 4 : ALGORITHMES, METHODES NUMERIQUES, ARCHITECTURES, PARALLELISME MASSIF

Enjeux, défis et verrous

L'évolution des architectures (architectures massivement parallèles, processeurs graphiques, architectures hybrides) va conduire à une révision rapide des méthodes numériques et algorithmes, une remise en question de la hiérarchie entre les méthodes et à l'émergence de nouveaux algorithmes. Le passage au massivement parallèle nécessite le développement de nouvelles heuristiques (diminution de la granularité des tâches, gestion dynamique de la charge, etc.), développement auquel participe activement l'IRIT et le CERFACS. Par ailleurs, méthodes numériques et algorithmes devront s'adapter aux problèmes multiéchelles qui se généralisent dans toutes les applications (voir thème 5), ainsi qu'à la nécessité de fournir une estimation de la fiabilité du calcul et une quantification des incertitudes du modèle (voir thème 2). Ces calculs devront être intégrés au sein même de la méthode numérique, grâce par exemple aux estimateurs de précision a posteriori qui fournissent une estimation de l'erreur en fonction de la solution approchée.

Les méthodes sans maillage qui permettent de s'affranchir de la gestion de la connectivité, devraient continuer de se développer car potentiellement bien adaptées au calcul parallèle et porteuses de gains de productivité importants. Les méthodes hybrides (différences finies - volumes finis, déterministe - stochastique, etc.), dans lesquelles l'information est décomposée selon différentes méthodes, semblent prometteuses, notamment en vue du couplage de codes ou du couplage multi-physique (voir thème 3). Les méthodes d'ordre élevé (méthodes spectrales, méthodes de Galerkin discontinu) ont connu un développement important ces dernières années. Elles ouvrent des perspectives intéressantes, notamment en propagation des ondes et en mécanique des fluides, mais posent toutefois le délicat problème de l'équilibre entre précision et stabilité, en particulier au niveau des chocs.

Les méthodes de décomposition de domaine nécessitent de traiter de l'information aux interfaces entre les domaines. Le développement de méthodes scalables (c'est-à-dire dont le gain de performance croît suffisamment vite avec nombre de cœurs) constitue donc un enjeu essentiel car, le nombre de domaines augmentant avec le nombre de cœurs disponibles, la contribution des interfaces devient prépondérante. Les problématiques posées par les méthodes multirésolution (multigrilles, ondelettes) sont très similaires. Des méthodes alternatives utilisant des partitions de l'unité ou des variantes 'algébriques' mériteraient une attention soutenue.

Les problèmes non-linéaires posent des problèmes spécifiques, notamment en assimilation de données et en optimisation (voir thèmes 1 & 3) : problème de l'initialisation, vitesse de convergence, utilisation des séquences de problèmes linéarisés, optimisation sans dérivée et méta-modèles, évitement des extrêmes locaux, méthodes stochastiques. Ils nécessitent le développement de nouvelles techniques compatibles avec les nouvelles architectures.

Thèmes de recherche proposés

Adaptation des méthodes aux nouvelles architectures (méthodes de décomposition de domaines, multirésolution, problèmes de scalabilité, etc.), méthodes 'émergentes' (sans maillage, ordre élevé, hybrides, etc.), problèmes non-linéaires

Positionnement des laboratoires toulousains

Beaucoup d'excellence dans les différents domaines (architectures : IRIT, Cerfacs, IMT / sans maillage : IMT, IMFT / ordre élevé : ONERA) mais globalement effectifs insuffisants compte tenu des enjeux

Collaborations nationales ou internationales

Excellente intégration de la communauté toulousaine aux plans national et international

Modes d'action proposés

Renforcer l'excellence sur les architectures et les méthodes émergentes

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique mature originale pour le RTRA/STAE. L'action du RTRA/STAE pourrait consister, en un premier temps, à renforcer les liens avec la région Aquitaine et avec la communauté industrielle. Un projet mixte RTRA/STAE et Pôle de compétitivité AESE pourrait alors émerger.

THEME 5 : MULTI-EHELLES, INTERACTIONS, COUPLAGE SIMULATION/MODELISATION

Enjeux, défis et verrous

A l'évidence, ce thème est très lié au précédent, mais son importance et son enjeu motivent un développement spécifique. De nombreuses applications relevant de l'aéronautique et de l'espace font intervenir des phénomènes multi-échelles, c'est-à-dire comprenant un ensemble d'échelles spatiales ou temporelles très disparates mais qui interagissent étroitement (interaction d'échelles). On peut citer par exemple les écoulements turbulents, les phénomènes météorologiques, la propagation électromagnétique ou acoustique, les brouillards et les sprays, la propagation des microfissures, les plasmas, etc.

L'accroissement de la puissance de calcul disponible rend maintenant envisageable la simulation numérique précise de tels phénomènes. Plusieurs approches complémentaires sont utilisées: les méthodes de simulation directe, les méthodes de simulation des grandes échelles consistant à modéliser les échelles non-résolues, les méthodes multi-échelles reposant sur un couplage de simulations des différentes échelles et enfin les schémas préservant l'asymptotique. L'approche directe est la plus précise mais requiert une puissance de calcul considérable. L'approche 'simulation des grandes échelles' dépend de la pertinence et de la précision des modèles de sous-échelles. L'approche multi-échelles proprement dite est plus récente et repose sur le postulat que les petites échelles ne dépendent des grandes qu'à travers un faible nombre de paramètres locaux et qu'il est donc possible de les calculer explicitement sans surcoût excessif. Cette dernière approche se prête particulièrement bien aux architectures massivement parallèles car les calculs des petites échelles locales sont totalement indépendants. Enfin, les schémas préservant l'asymptotique permettent d'utiliser le même schéma à toutes les échelles et évite ainsi la délicate question des transitions entre modèles ou schémas.

Les méthodes numériques et les algorithmes doivent impérativement s'adapter au multi-échelles (voir thème 4). Actuellement, le multi-échelle est plutôt monodirectionnel (top-down ou bottom-up suivant les cas) mais le multi-échelles bidirectionnel, dans lequel toutes les échelles interagissent entre elles, est appelé à devenir le standard. Dans certains cas, le calcul des petites échelles peut être remplacé par une expérience, une mesure ou une recherche dans une base de données (couplage simulation/modélisation). Cette approche possède des liens avec l'assimilation de données (thème 1) qu'il conviendrait d'approfondir.

Thèmes de recherche proposés

Couplage d'échelles bi-directionnel et dynamique, méthodes basées sur l'asymptotique, algorithmique adaptée au multi-échelles, lien avec l'assimilation de données. Sur des points plus spécifiques : développement de schémas numériques de haute précision et d'estimateurs d'erreurs adaptés au multi-échelles et sur machines massivement parallèles, couplage de méthodes hétérogènes ou sur des maillages hétérogènes pour les différentes échelles, développement d'estimateurs indiquant la nécessité de changer d'échelle ou de modèle.

Positionnement des laboratoires toulousains

Les équipes travaillant sur le thème du multi-échelles se retrouvent notamment à l'IMT, à l'IMFT, au CERFACS, à Météo-France, à l'OMP, à l'ONERA, etc. Il s'agit donc d'un des points forts de la communauté toulousaine. Toutefois, ses effectifs numériques devraient être renforcés notablement en raison des enjeux et de la compétition internationale.

Collaborations nationales ou internationales

L'intégration des laboratoires toulousains dans la communauté internationale sur ce thème est excellente. Il s'agit d'un thème sur lequel la compétence toulousaine est très visible à l'extérieur. Mais cette visibilité pourrait être encore accrue par un renforcement des effectifs.

Modes d'action proposés

Renforcer le lien entre les équipes travaillant sur les développements méthodologiques (IMT, CERFACS, ONERA) et celles travaillant sur les applications spécifiques (IMFT, METEO, OMP).

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique correspondant à une action structurante, nécessitant un soutien pour arriver à maturation. L'action du RTRA/STAE pourrait consister, en un premier temps, à renforcer les liens entre équipes travaillant sur les développements méthodologiques et équipes travaillant sur les applications spécifiques.

Conclusion : éléments de stratégie pour le RTRA

Les cinq thèmes retenus pour la présentation ci-dessus (plus le sixième thème 'traitement du signal' constituent donc à l'évidence des thèmes stratégiques pour le RTRA. Les fiches descriptives de chaque thème tracent des pistes pour l'action du RTRA.

Le groupe s'est également livré à une autre lecture en recherchant les mots clefs méthodologiques qui 'traversent' plusieurs des thèmes ci-dessus et qui conduisent à un tissage horizontal de la matière abordée dans ce document. Une liste de ces mots-clefs 'récurrents' figure ci-dessous et a été classée en deux groupes. Le premier groupe fait appel à des compétences déjà largement présentes sur le site toulousain et qui interagissent déjà au sein de collaborations ou de structures établies. Un soutien du RTRA dans ce cadre constituerait donc une stratégie d'appui à l'excellence scientifique. Il s'agit de

- Couplage multiphysique & multidisciplinaire (lien avec l'optimisation, l'assimilation, le multi-échelles, les interactions avec l'applicatif, avec la CAO),
- Nouvelles architectures informatiques : adaptation des stratégies, algorithmes, ...
- Méthodes numériques émergentes : méthodes sans maillage, méthodes d'ordre élevé , méthodes multirésolution, hybridation des méthodes, ...
- Méthodes multi-échelles : heuristiques, algorithmique, massivement parallèle, estimateurs.

Une deuxième liste de mots clefs correspond à des thèmes stratégiques, mais pour lesquels, soit la compétence est incomplète en région toulousaine, soit elle n'est pas suffisamment structurée sous forme synergétique et collaborative. Une action du RTRA sur ces thèmes correspondrait à une stratégie de comblement ou de structuration. Il s'agit de

- Knowledge management & data mining, ...
- Gestion de l'aléatoire : quantification des incertitudes, gestion des covariances et corrélations en assimilation, optimisation stochastique, événements rares, ...
- Systèmes multi-agents et systèmes complexes, utilisation des méthodes de la complexité en assimilation, quantification des incertitudes, modélisation, ...

Chacune des stratégies (appui à l'excellence ou comblement et structuration) possède ses avantages, l'idéal étant de pouvoir faire les deux à la fois. S'il faut choisir, il nous semble que ce serait plutôt par un choix pertinent des thèmes à appuyer et des thèmes à combler et structurer. La deuxième stratégie pourrait se développer sous forme de formations délivrées par des spécialistes

internationaux invités dans le cadre de chaires d'excellence financées par le RTRA, ou au sein d'écoles thématiques.

Enfin, il convient de ne pas perdre de vue la finalité de ces développements méthodologiques. Celle-ci sera mieux prise en compte si les développements s'effectuent au sein d' 'études de cas' fournies par les domaines applicatifs. C'est notamment au travers de ces 'études de cas' que s'interfaçent les travaux des autres groupes de réflexion avec ceux du 'groupe simulation et modélisation'.

TRAITEMENT DU SIGNAL POUR LA SIMULATION ET LA MODELISATION EN RADIO LOGICIELLE THEME TS

Enjeux

Les systèmes embarqués très complexes de radio logicielle (SDR : *Software Defined Radio*) pour la Navigation-Localisation pour applications à GNSS et Galileo (NL) et les Télécommunications mobiles (T), dans une perspective «tout-logiciel», nécessitent, en plus des techniques d'implémentation flexible de ces standards, une optimisation du programme (problème de l'algorithmique rapide) car les signaux GPS et GALILEO ont des cadences très élevées allant de 1 à 10 MHz suivant le signal. De nouvelles méthodes mathématiques novatrices doivent ainsi être développées. Elles existent de façon dispersée dans de multiples disciplines (traitement du signal et d'images, automatique, mathématiques appliquées, etc.), et doivent être uniformisées et regroupées en un corps de méthodes spécifiques.

Défis technologiques et scientifiques

Une SDR à la fois «universelle» et «tout logicielle» est impossible. Les solutions techniques à l'étude ou en cours de réalisation sont matérielles ou hybrides. L'absence de recherche fondamentale dans les domaines des **méthodes mathématiques** et de **l'algorithmique rapide** dans les processeurs portables ou embarqués temps réel est un facteur regrettable et handicapant. Un effort de recherche amont très important reste ainsi à faire. La recherche de méthodes mathématiques avancées pour optimiser l'implantation algorithmique se place dans le contexte de l'Adéquation Algorithme Architecture Silicium (AAAS).

Thèmes de recherche proposés

Les thèmes de recherche préconisés se déclinent autour des axes suivants :

- Application de l'échantillonnage non-uniforme / aléatoire associé à une conception asynchrone pour les SoC de manière à diminuer leur consommation électrique ;
- Utilisation des transformées mathématiques venant du traitement du signal et des images pour des applications télécoms (ondelettes, Walsh-Hadamard, découpage en sous-bandes) ;
 - Traitement du signal numérique rapide et algorithmique : factorisation des expressions de calculs de transformées du traitement du signal exploitant le formalisme du Diagramme d'Expansion de Taylor, implémentation en virgule fixe à largeur multiple.

Positionnement des laboratoires toulousains

- Le Groupe «Signal, Communication, Navigation» de Supaero/ISAE/TéSA travaille sur la radio logicielle appliquée à la navigation par satellites et sur la factorisation des algorithmes de différentes applications (GPS/Galileo et TM/TC).
- L'Equipe «Signal et Communication» de l'IRIT

- Le laboratoire coopératif TESA possède une riche expérience en traitement du signal et en algorithmique rapide, et en particulier une reconnaissance mondiale dans l'échantillonnage non uniforme.

Opportunités de collaboration nationale et internationale

- M. Comparini et J.-C. Belfiore du département Communications et Electroniques de Telecom ParisTech (ENST).
- Vincent Gaudet, Professeur assistant à l'Université d'Alberta, Canada.
- Maciej Ciesielski, Professeur à l'Université de Massachusetts aux Etats-Unis.
- Priyank Kalla, Professeur associé à l'Université d'Utah à Salt Lake City aux Etats-Unis.

Voir annexe.

Proposition de modes d'action

- **Accueil sur 3 ans de plusieurs chercheurs des équipes internationalement reconnues** citées au § 5 pour venir réaliser un séjour sabbatique financé par le RTRA, en tant que collaborateur des laboratoires Toulousains du § 3.

Mode d'action proposé par le CoPil : Il s'agit d'une thématique nécessitant l'organisation d'un atelier ou d'un colloque scientifique préparatoire, destiné entre autres à identifier les thèmes sur lesquels des invitations longue de durée de chercheurs étrangers de renommée seraient les plus profitables.

GRUPE 6 : TECHNOLOGIES EMERGENTES

Animateur : Yvan Ségui

Préambule

- Le groupe de travail relativement restreint (une dizaine de personnes) n'a pas la couverture thématique suffisante pour prétendre être pertinent sur tous les champs scientifiques et technologiques susceptibles de générer de nouvelles approches, technologies ou concepts.
- Il y aura des superpositions inévitables entre des éléments issus de ce groupe de réflexion non thématique et des éléments issus des groupes thématiques qui, bien sûr, identifient des technologies émergentes dans leurs domaines respectifs.
- Pour faciliter et organiser la réflexion le groupe de travail a identifié trois grands secteurs qui ont fait l'objet d'une réflexion spécifique :

Matériaux et plus spécifiquement « Matériaux hétérogènes et/ou multifonctionnels

Sources d'énergie : production stockage, gestion

Aspects environnementaux : sites aéroportuaires, traitement des fluides liquides et gazeux dans les aéronefs.

Un quatrième domaine centré sur la gestion de l'information avait été initialement abordé. Ses conclusions sont prises en compte dans le rapport produit par le GT «systèmes embarqués» qui a abordé cette question avec les mêmes mots clés.

- Le groupe de travail n'a pas voulu (en accord avec la lettre de mission) écrire des projets de recherche mais simplement donner des pistes qui devraient conduire des acteurs de terrain à proposer des projets.
- La notion de technologie émergente est assez floue car «émergent» n'a pas la même signification pour tous : on balaye un spectre allant d'idées ou de concepts assez futuristes (par exemple on aurait pu mettre l'accent sur «transport par dirigeables») à des choses connues mais non appliquées au domaine STAE en passant par à des technologies existantes dans le domaine mais non exploitées car certains de leurs aspects sont mal maîtrisés.
- Enfin, et ceci est particulièrement vrai pour les aspects «matériaux» le poids de la réglementation va nous obliger à terme à chercher des voies de substitutions. Ce ne seront pas des technologies émergentes au sens strict mais plutôt une adaptation à un cahier des charges STAE.

Bien que la communauté scientifique s'y soit engagée depuis plusieurs années le concept de **nanotechnologies** est sans conteste à ranger dans la rubrique des technologies émergentes. Le groupe de travail n'en a cependant pas fait une fiche spécifique car nous avons considéré que dans le contexte où nous avons travaillé les nanotechnologies sont présentes en de multiples endroits à travers les propriétés et fonctionnalités nouvelles qu'elles confèrent aux matériaux leur ouvrant ainsi de nouveaux champs d'applications.

Le GT considère aussi que des travaux sur les procédés d'élaboration de matériaux de dimensions submicroniques ou sur la structuration à l'échelle submicronique sont un gisement important d'innovation. Il est sous-entendu que cette facette de la question est incluse chaque fois que l'on définira un besoin pour une application donnée. Ainsi l'utilisation et le développement des nanotechnologies est sous-jacent à de nombreux aspects qui se retrouvent dans les fiches «matériaux» et «énergie».

FICHE «MATERIAUX»

Introduction

L'objectif du sous groupe «Matériaux» est de proposer quelques voies (non exhaustives) de recherches qui pourraient être soutenues par le RTRA dans le domaine des matériaux ayant des applications directes ou indirectes dans le domaine de l'aéronautique et du spatial et en prenant en compte les spécificités régionales en terme de compétences dans le domaine des matériaux.

Nous n'avons pas développé un thème spécifique autour des «nanomatériaux» et des «nanotechnologies» car celui se retrouve implicitement dans la plupart des activités de recherche concernant les matériaux innovants décrits ci-après.

Enjeux

- Coût et performance: Le développement de matériaux innovants dans le domaine de l'aéronautique et du spatial doit permettre de répondre à des impératifs de fiabilité et de sécurité tout en présentant de hauts niveaux de performance (structurelles ou fonctionnelles) et en réduisant de façon importante les coûts liés à leur fabrication et leur mise en forme et à leur utilisation. L'enjeu est donc de développer des matériaux de faible densité, de forte résistance afin de réduire les coûts de consommation d'énergie tout en maintenant des hautes performances en termes d'utilisation, de fiabilité et de sécurité. Les matériaux permettant d'introduire de nouvelles fonctionnalités à très forte valeur ajoutée dans les structures ou systèmes sont également un enjeu majeur.
- Environnement: Les matériaux utilisés devront également répondre aux critères du respect de l'environnement non seulement dans les processus de fabrication mais également dans leur recyclage en fin d'utilisation. Ils devront notamment répondre à la directive REACH et évidemment ne pas être nocif dans leur utilisation.
- Contrainte de fonctionnement: Contrairement à la plupart des matériaux utilisés dans un environnement terrestre qui permet leur remplacement / réparation, l'environnement spatial ou aéronautique ne permet pas d'agir rapidement et à faible coût sur des pièces ou système défaillants. La fiabilité des matériaux développés doit être maximale avec des marges de sécurité très importantes.

Défis et verrous scientifique et/ou technologiques

Nous avons identifié un certain nombre de seuils technologiques que les matériaux doivent franchir pour des futures applications innovantes dans le domaine de l'aéronautique et du spatial :

- Nouveaux matériaux multifonctionnels : les matériaux rentrant dans cette catégorie sont des matériaux innovants qui présentent plusieurs fonctions «utiles». Les différentes propriétés du matériau pourront être couplées ou non et intrinsèques pour ce qui concerne les matériaux monophasés ou extrinsèques pour des matériaux hybrides (*voir en annexe des exemples de multifonctions*).
- Nouveaux matériaux de structure innovants : Les contraintes d'environnement imposent aux matériaux de structures utilisés dans les domaines de l'aéronautique et du spatial de présenter des hautes qualités en tenue mécanique, fatigue, résistance aux chocs, résistance à la corrosion etc. et ce, dans des conditions de températures extrêmes (très basses et hautes température, sous choc thermique). En outre ils doivent être légers et pouvoir être réalisés à moindre coût
- Matériaux de stockage et de production de l'énergie à haute capacité. Les travaux dans ce domaine doivent déboucher à la réalisation de piles de nouvelles génération «propres», à fortes capacités de stockage et rechargeable.

- Nouveaux composites et polymères : La directive Européenne REACH impose le remplacement des composés dont la fabrication nécessite l'utilisation d'un certain nombre de produits dangereux. Ceci concerne nombre de matériaux polymères et composites dont beaucoup sont utilisés dans le domaine de l'aéronautique et du spatial. Il est ainsi nécessaire de développer de nouveaux matériaux répondant aux critères Européens et présentant les mêmes performances (voire de meilleures) que ceux utilisés à ce jour.
- Méthodes fiables de modélisation et de suivi du vieillissement : L'impossibilité de d'intervenir directement sur des composants et des matériaux utilisés dans le spatial (et dans une moindre mesure dans l'aéronautique) impose de pouvoir modéliser ou suivre le vieillissement de ceux ci et les modifications de leur performances dans les conditions réelles d'utilisation (basse température, irradiation, ...). Il est ainsi nécessaire de posséder des outils fiables de modélisation du comportement des matériaux et des systèmes utilisés. Il est tout aussi essentiel d'avoir accès à des méthodes fiables de suivi expérimental du vieillissement de ces matériaux et systèmes afin de les comparer aux modèles ou de diagnostiquer les éventuelles défaillances.

Thèmes de recherche proposés

Nous proposons de soutenir 8 thèmes de recherche listés ci-dessous et dont le détail est donné en annexe.

- Matériaux de revêtement de surface, corrosion
- Matériaux de structure
- Matériaux multifonctionnels
- Matériaux amortissant
- Matériaux fonctionnels «d'intérieur »
- Matériaux pour le stockage de l'énergie
- Polymère et composites
- Modélisation et suivi du vieillissement, fiabilité

Positionnement des laboratoires toulousains

Un atout notable de la région Toulousaine dans les domaines qui intéressent le RTRA STAE et qu'il existe une communauté forte qui assure un lien étroit et quasi unique sur le territoire national entre «matériaux - procédé - énergie». Les domaines soutenus par le RTRA devraient s'articuler autour de ces trois composantes.

Ci-contre est rapporté les divers laboratoires Toulousains ayant une activité pérenne et reconnue dans les thèmes proposés.

Thèmes	Laboratoires Midi Pyrénées
Matériaux de revêtement de surface, corrosion	CIRIMAT, EMAC (Albi), LAPLACE
Matériaux de structure	CEMES, CIRIMAT, EMAC, ENIT, ISAE
Matériaux multifonctionnels	CEMES, ONERA, CIRIMAT, LAPLACE, LAAS
Matériaux amortissant	Labo génie Méca (UPS)
Matériaux fonctionnels «d'intérieur »	IRMCP, CEMES, LAAS
Matériaux pour le stockage de l'énergie	LAPLACE, CEMES, LCC, LAAS
Polymère	CIRIMAT, IRMCP, LCA (INRA), IRSPP
Modélisation vieillissement, fiabilité, suivi	LAPLACE, ONERA, LAAS, CNES, Génie Mécanique

Identification des collaborations nationales et internationales

Le PHYMAT-ENSMA de Poitiers, l'ONERA de Chatillon, le SIMAP de Grenoble, l'Ecole des Mines de Paris et celle de Nancy sont des endroits bien connus dans le domaine des matériaux de structure. L'IEF d'Orsay et de l'institut Néel de Grenoble ont des activités dans les matériaux multifonctionnels. Le CRPP de Bordeaux et les centres de Strasbourg et Lyon sont bien connus pour leurs activités dans le domaine des polymères.

Recommandations de modalités d'action

Le tableau ci-dessous regroupe les modalités d'actions suggérées par le groupe.

Thèmes	Modalité d'action
Matériaux de revêtement de surface, corrosion	Appel d'offre
Matériaux de structure	Appel d'offre
Matériaux multifonctionnels	Appel d'offre
Matériaux amortissant	Appel d'offre
Matériaux fonctionnels «d'intérieur »	Workshop □ puis Appel d'offre
Matériaux pour le stockage de l'énergie	Appel d'offre
Polymère	Workshop □ puis Appel d'offre
Modélisation vieillissement, fiabilité, suivi	Appel d'offre

ANNEXE : SOUS GROUPE «MATERIAUX»

L'objectif du sous groupe est de dégager / proposer quelques voies (non exhaustives) de recherches qui pourraient être soutenues par le RTRA dans le domaine des matériaux ayant des applications directes ou indirectes dans le domaine de l'aéronautique et du spatiale.

Nous avons sélectionné un certain nombre de sujets en partant d'une part de réflexion sur les problématiques communes associées à l'utilisation des matériaux, d'autre part à partir de leurs domaines d'application.

A/ Problématiques communes à l'utilisation des matériaux

1/ Le vieillissement :

Des travaux devraient être menés pour étudier le vieillissement des matériaux utilisés. Ceci passe par :

- La mise au point de méthodes expérimentales permettant le suivi du vieillissement en laboratoire et in situ (Structural Health Monitoring)
- Le développement d'activité en modélisation / simulation du vieillissement et notamment sous les effets conjugués de chocs thermiques (typiquement 100°C / -180°C), d'irradiation UV électrons protons (satellites), de l'humidité en stockage au sol et de contraintes mécaniques

2/ Les effets de l'environnement en fonctionnement :

Les propriétés des matériaux doivent être maintenues dans des conditions d'environnement «dures» que sont : les basses pressions, les chocs thermiques, la contamination, l'irradiation, les vibrations. Une activité de soutien à des mesures expérimentales des propriétés des matériaux sous ces contraintes pourrait être soutenue.

3/ Problèmes environnementaux :

Tous les matériaux utilisés doivent répondre aux critères environnementaux dans leur élaboration (pas de produits nocifs et/ou interdits, notamment pas la directive «REACH», ils doivent être recyclables et évidemment ne pas être nocifs au cours de leur fonctionnement.

B/ Domaine d'application

1/ Revêtement, traitement des surfaces, corrosion :

Pour ces applications dans ce domaine, les matériaux sur lesquels il nous semble opportun de lancer des études sont les Matériaux composites, matériaux polymères

Les objectifs sont : la réduction des rugosités de surface, les capacités au nettoyage des surfaces à moindre coût, la résistance à la corrosion

2/ Les matériaux de structure :

Les matériaux sur lesquels il serait nécessaire de soutenir des activités amonts ayant des propriétés de légèreté et résistance sont les nouveaux alliages et les composites à base carbone

3/ les matériaux multifonctionnels :

Nous entendons par là les matériaux ayant plus d'une seule fonction «utile». Les matériaux de ce type doivent pouvoir présenter des «bonnes» propriétés multiples en :

Mécanique + électriques + thermique

Mécanique - optique (hublots)

Electrique - magnétique (écranage électromagnétique)

Optique - thermique

4/ les matériaux amortissant :

Ceux-ci doivent pouvoir absorber des chocs brefs et intenses (lors de l'ouverture de panneaux de satellite par exemple) mais rentrent aussi dans cette catégorie les matériaux absorbants aux vibrations utiles pour la protection notamment des satellites dans les phases de lancement.

5/ Les matériaux fonctionnels pour «l'intérieur» :

Ceux-ci vont des matériaux utilisés dans l'aménagement intérieur que ce soit dans les fauteuils (nouvelles fibres), les hublots (à pouvoir réfléchissant adaptable - Cristaux liquides), les écrans, ou les peintures intérieures aux matériaux assourdissants pour le bien être acoustique du passagers.

6/ Les matériaux de stockage de l'énergie

Nous faisons référence ici aux nouveaux matériaux utilisés pour les batteries ou les super capacités.

7/ Les polymères

Certains polymères actuellement utilisés vont être retirés du marché car possédant des substances interdites par la législation REACH. Il est nécessaire d'en trouver de nouveaux qui soient recyclables et non dégradables. Notons que des laboratoires Toulousains travaillent sur l'utilisation de fibres végétales en remplacement des matériaux polymère synthétiques (LCA-INRA).

FICHE «ENERGIE»

Enjeux

On a tant écrit sur le sujet qu'on ne rajoutera rien ici si ce n'est que le secteur des transports est et restera un secteur des plus consommateurs et que des efforts qualitatifs et quantitatifs en termes de consommation d'énergie sont attendus par tous : pouvoir politique, collectivité, opinion publique ... L'enjeu est tout simplement la préservation de notre capacité à nous déplacer, à commercer, à échanger nos biens matériels et intellectuels. Si l'on veut aller au-delà l'enjeu est la préservation des grands équilibres mondiaux car on ne pourra maintenir le monde tel que nous le connaissons aujourd'hui dans un contexte de pénurie énergétique grave.

Verrous et défis

Les trois domaines traditionnels sont la production, le stockage et la distribution de l'énergie. Pour ce qui est de la production la substitution d'autres sources d'énergie à celle que propose les énergies fossiles est évidemment un des verrous.

Pour ce qui est du stockage le problème sera souvent à coupler avec celui des matériaux ou assemblages de matériaux qu'il faudra imaginer. Enfin pour la distribution il faudra penser à des moyens de transports de l'énergie autres que les traditionnels câblages. En relation avec production et transport se posera la question du lieu de production par rapport au lieu d'utilisation. En sus, la production multi source implique de rajouter la couche «gestion des différentes sources d'énergie» en fonction de l'amplitude et de la localisation des besoins.

Entre les dispositifs de production et l'utilisation deux fonctions sont nécessaires : d'une part celle de la conversion afin que la forme d'énergie soit celle requise par le dispositif qui va l'utiliser et d'autre part la gestion de l'aspect multi sources qui va optimiser l'appel à telle ou telle source en fonction du lieu d'utilisation, du besoin énergétique et du moment où ce besoin doit être satisfait. Cette gestion va engendrer des besoins en nouveaux composants susceptibles de travailler à plus haute tension ou/et plus haute fréquence ou/et plus forte puissance. De nouveaux matériaux permettant à ces composants de satisfaire à un cahier des charges plus lourd devront être utilisés.

Un grand nombre de réflexions de ce champ sont communes avec le GT dédié aux systèmes embarqués. Afin d'éviter un trop grand nombre de redondances toutes les questions relatives à la gestion des systèmes et à «l'intelligence» associée aux nouveaux concepts de distribution de l'énergie sont traitées dans le GT «systèmes embarqués». Notre groupe de travail c'est plutôt focalisé sur la partie «hard».

Thèmes de recherche proposés

- Propulsion : Carburants alternatifs, propulsion plasma.
- Nouvelles sources d'énergie qui tirent partie des gradients de pression ou de température, micro sources réparties.
- Organes convertisseurs d'énergie, composants de puissance permettant des fonctionnements à plus haute tension et plus haute température. Nouveaux matériaux pour répondre à ce cahier des charges plus sévère : GaN, SiC, Diamant, polymères haute température ...
- Nouveaux modes de transport de l'énergie : optique, électromagnétique ...
- Stockage de l'énergie : super capacités, batteries et les nouveaux matériaux associés.

On trouvera en annexe un peu plus de détails sur chacun de ces thèmes.

Positionnement des laboratoires toulousains

Dans aucun de ces domaines les laboratoires toulousains n'ont l'exclusivité. Une spécificité locale est toutefois que la densité du tissu recherche est telle que le point fort réside probablement dans les possibilités de prendre en compte toutes les facettes d'un problème en couvrant le domaine allant de la conception des matériaux aux procédés d'élaboration des composants, à leurs caractérisations physique, chimique, physicochimique et à l'étude de leurs propriétés d'usage en passant par la partie « soft » qui assure « l'intelligence » du système.

Nous pouvons mobiliser à la fois des moyens technologiques importants, non seulement la centrale de technologie située au LAAS mais aussi de nombreux outils de caractérisation et d'analyse répartis dans des laboratoires qui occupent une place nationale et européenne reconnue. Ces laboratoires sont des pièces de réseaux nationaux et européens qui garantissent la complémentarité des travaux menées à Toulouse.

Principaux laboratoires impliqués : LAAS, LAPLACE, CIRIMAT, LGC, LISBP ..

On peut estimer que l'équivalent d'une centaine de chercheurs temps plein est concernée par les sujets abordés dans cette fiche.

Collaborations nationales et internationales possibles

Comme indiqué plus haut des fortes compétences sur les domaines cités ici existent en France.

La région est a développé depuis quelques années une stratégie de R&D sur les Piles à Combustible .Les travaux en Midi Pyrénées sur ce thème devront en tenir compte. Des pôles comme Poitiers par exemple ont une forte expertise dans les domaines de la combustion et de la thermique. La réputation de nos collègues Bordelais sur les polymères et composites par exemple n'est plus à faire.

Modalités d'action

Il doit être différent selon les sujets considérés.

Certains sont suffisamment avancés pour être inclus dans un appel à projet (propulsion plasma, convertisseurs , carburants verts) ; d'autre devraient au préalable faire l'objet d'ateliers dont l'objectif serait de mieux cerner les verrous scientifiques et/ou technologiques avant de procéder à un appel d'offre.(sources alternatives utilisant les gradients de température et pression, modes de transport d'énergie alternatifs, nouveaux matériaux pour les composants de puissance de s prochaines générations ...). Ces ateliers organisés par la communauté scientifique toulousaine devraient être ouverts nationalement voire au-delà pour bien positionner les travaux exécutés localement par rapport à ce qui est réalisé en d'autres lieux.

ANNEXE

- **Propulsion : Carburants alternatifs, propulsion plasma**

La recherche de nouveaux carburants ou bien les procédés de modification des carburants actuels pour en améliorer le rendement sont à l'évidence une préoccupation que l'aéronautique (et donc le RTRA) ne peut ignorer. Cependant sur le site toulousain, il n'y a guère que le LISBP et plus récemment le LCA (UMR CNRS/INRA) qui peuvent s'impliquer dans ce thème avec les recherches menées sur les carburants verts. Pour les questions liées à la combustion proprement dite l'essentiel des forces n'est pas en Midi Pyrénées (Poitiers, Lyon, Nancy). Pour ce qui est de la propulsion plasma qui n'est pas vraiment une technologie émergente mais qui est loin d'avoir encore été optimisée, il y a un socle national établi par un GDR CNES/CNRS dans lequel les aspects Physique des gaz ionisés et modélisation sont essentiellement traités à Toulouse.

- **Nouvelles sources d'énergie qui tirent partie des gradients de pression ou de température, micro sources réparties :**

Que ce soient pour les avions ou les engins spatiaux, les conditions d'utilisation rendent possible l'utilisation de nouvelles sources d'énergie liées aux gradients de pression ou de température ou encore les vibrations mécaniques. Comme ces sources potentielles sont présentes partout autour du système on pourrait imaginer des sources réparties. Il s'agit d'un champ encore très amont, voire futuriste mais qu'il faut prendre en considération. Associé à cet axe de réflexion va bien sur se poser la question des matériaux permettant de générer des micro sources d'énergie à partir des effets Seebeck (gradients de température) ou piezoélectrique (vibrations, gradients de pression). En aval de ces « générateurs » la conversion de l'énergie électrique ainsi produite pour la rendre utilisable par les systèmes que l'on souhaite alimenter sera une autre facette du problème.

Les laboratoires toulousains ont un fort potentiel pas très bien exploité dans ce créneau. Le caractère très risqué de ce type de recherche en est probablement la cause. Malgré tout le couplage Matériaux-Energie-Procédés qui est un des points forts Toulousain devrait être mieux exploité dans ce domaine.

- **Organes convertisseurs d'énergie, composants de puissance permettant des fonctionnements à plus haute tension et plus haute température. Nouveaux matériaux pour répondre à ce cahier des charges plus sévère : GaN, SiC, Diamant, polymères haute température**

...

Afin de réduire significativement la consommation d'énergie dans les transports, le premier verrou concerne *l'augmentation du rendement de conversion sur toute la plage utile (ou rendement énergétique global sur une mission type)* : du composant de puissance à l'architecture du système de conversion en passant par les lois de gestion et de commande associées. (Les aspects gestion et commande sont abordés dans le GT « systèmes embarqués »)

Le défi de la forte *miniaturisation* nécessite d'augmenter la fréquence de fonctionnement des systèmes de conversion de l'énergie et de développer des technologies d'intégration des composants passifs sur silicium ou sur substrat.

Le défi « haute température » conduit aussi à repenser les matériaux semi-conducteurs et isolants. SiC, GaN et Diamant sont les plus cités mais il faudra aussi s'intéresser aux polymères haute température (PEEK, PEN, Famille des polyimides ...). Au-delà des études ou projets s'intéressant à un matériau donné ou à une fonction donnée ce sont des projets intégrant toute la chaîne de conversion avec ces nouveaux composants qu'il faudra considérer.

L'amélioration significative des performances des systèmes de conversion de l'énergie nécessite non seulement de nouvelles architectures et topologies de ces systèmes mais également de disposer de composants de puissance bien plus performants que les générations actuelles en technologie silicium.

Pour aborder cette nouvelle génération de composants et outrepasser les limites du silicium en termes de compromis tenue en tension/résistance passante, il est nécessaire d'opérer une rupture technologique en développant des composants sur des matériaux semiconducteurs à large bande interdite. Les matériaux les plus prometteurs sont le carbure de silicium (SiC), le nitrure de gallium (GaN) et le diamant. Par rapport au silicium, les principaux bénéfices apportés par ces matériaux sont un bon fonctionnement sur une large gamme de températures, un champ critique de claquage élevé, une saturation élevée de la vitesse de dérive des électrons, une grande conductivité thermique et une grande largeur de bande interdite.

Les verrous principaux liés à ces matériaux grand gap sont similaires à ceux de la technologie du silicium à ses débuts. Ils sont d'une part, d'ordre technologique (contact, implantation, gravure, diélectrique,...), report de puce, interconnexions de puissance et packaging haute température d'autre part, et d'autre part, liés au développement d'interrupteurs commandables en tout sécurité (normally-off).

Les architectures de conversion associées nécessiteront également de nouvelles générations de composants passifs, condensateurs et inductances, pouvant fonctionner à haute tension et haute température caractérisés par de fortes permittivité et perméabilité.

En complément de ces composants, il sera évidemment nécessaire de développer de nouvelles architectures d'onduleurs ainsi que leur circuiterie de commande qui devra pouvoir fonctionner à haute température ($\geq 200^{\circ}\text{C}$) ainsi que le packaging.

Enfin, un verrou important concernera l'assemblage de ces onduleurs qui devra fonctionner dans des conditions sévères.

- **Nouveaux modes de transport de l'énergie : optique, électromagnétique ...**

Le GT n'avait pas la composition idéale pour développer largement cette thématique. Il nous a semblé clair toutefois que d'autres modes de transport que les traditionnels câblages électriques devraient être envisagés. Un certain nombre de connexions transfèrent peu de puissance et un transport optique ou microonde est sans doute à considérer.

- **Stockage de l'énergie : super capacités, batteries et les nouveaux matériaux associés.**

Multiplier les sources pour avoir une production répartie est de fait synonyme de développement d'éléments de stockage. En effet il n'y a pas, à priori concordance dans le temps entre la génération d'énergie et le besoin. Les travaux sur les super capacités doivent être encouragés. . Ce sont des composants particulièrement attractifs. Les verrous majeurs résident dans leur intégration et l'amélioration de leurs performances (densité d'énergie, courant de fuite, cyclabilité, gamme de températures de fonctionnement, intégration). L'approche générique réside dans *l'intégration hétérogène de puissance*, c'est-à-dire pouvoir intégrer soit dans une même puce de silicium soit en assemblage 3D de type SIP, le convertisseur, les éléments passifs de stockage et de filtrage (supercondensateur, L et C) et la micro-source d'énergie.

Les recherches sur des batteries plus performantes en termes de rapport Poids/Puissance doivent aussi être soutenues car des marges de progrès sont envisageables via des matériaux nouveaux ou des architectures nouvelles.

Le rôle du RTRA devrait être de mettre en synergie des laboratoires du domaine des «matériaux» et des laboratoires du domaine «Génie Electrique». La gestion des multi sources est évidemment à prendre en compte (cf GT Systèmes Embarqués).

FICHE «ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX»

Enjeux

- Réduction de l’empreinte environnementale des installations aéroportuaires et de l’industrie aéronautique. Aspects concernés
- Ateliers de constructions
- Ateliers de maintenance
- Ateliers de déconstruction des avions
- Aéroports/ Aérogares
- Amélioration de la qualité des atmosphères et de la sécurité sanitaire de cabines d’avions
- Réduction des devis de poids des avions
- Conformité aux normes et directives (REACH, etc...)

Défis et verrous scientifique et/ou technologiques

Les verrous qui sont apparus dans ce thème sont positionnés à des échelles très différentes. Nous avons décidé de les exposer sans souci de hiérarchisation pour l’instant.

- Analyse des cycles de vie

L’état d’avancement des méthodes d’analyse de cycle de vie (ACV) aujourd’hui ne permet pas encore une appréciation correcte de la situation globale de systèmes tels que ceux rencontrés en industrie aéronautique. Des développements spécifiques, basés sur les études déjà largement engagées chez les différents acteurs partenaires doivent permettre de mettre au point des outils spécifiques et d’offrir une vision stratégique claire permettant de soutenir des choix technologiques.

- Analyse d’impact environnemental global

Une analyse de l’impact environnemental global du transport aérien global par grands secteurs (air, eau, déchets, ...) manque encore aujourd’hui, même si les acteurs possèdent de larges connaissances sur leurs domaines propres. Cette absence empêche de visualiser la complexité du problème et d’extraire les problématiques les plus importantes.

- Traitement de fluides embarqués

Les systèmes de traitement des atmosphères dans les véhicules de transport aérien (mais aussi terrestre) reposent encore beaucoup sur des systèmes de captage passif des éléments polluants (COV, particules, bio particules, aérosols, etc...), qui imposent des cycles de renouvellement très courts et un traitement par incinérations des filtres et absorbants. L’amélioration de l’efficacité de tels systèmes passe par une évaluation vers leur instrumentation et par le remplacement des systèmes passifs par des systèmes réactifs (catalytiques).

La réduction de la masse embarquée au profit de la charge utile ou de la consommation de carburant est également une préoccupation. Les quantités d’eau qu’il est nécessaire d’embarqué et ne peuvent pas être réduites en l’absence de systèmes de recyclage adaptés.

- Pollution liée à la maintenance des avions et à l'activité autour des aéroports
Si l'usage de solvants, polymères antigivre est absolument indispensable à la sécurité et au fonctionnement des avions, leur diffusion hors des zones d'utilisation par aérosols ou drainage demeure une préoccupation. Le remplacement de ces technologies constitue un pas essentiel à franchir dans la direction de « l'avion propre ». Il peut d'agir de
 - La mise au point de composés de même efficacité mais totalement bio dégradables
 - De recours à des procédés alternatifs de nettoyage/ Dégraissage/dégivrage

Thèmes de recherche proposés

- Analyse de cycle de vie (échelle d'un appareil)
- Analyse d'impact environnemental (secteur transport aérien - échelle géographique à discuter)
- Conception de procédés de traitement de fluides (procédés embarqués et procédés au sol)

Positionnement des laboratoires toulousains

Analyse de cycle de vie	EMAC, LCA
Analyse d'impact environnemental	IMFT, OMP, ECOBAG
Conception de procédés de traitement de fluides	LGC, LISBP, LAPLACE, LAAS, LA, LCA

Recommandations de modalités d'action (Appel d'offre, workshop,)

Analyse de cycle de vie	Workshop avant appel d'offre
Analyse d'impact environnemental	Workshop avant appel d'offre
Conception de procédés de traitement de fluides	Appel d'offre

TECHNOLOGIE ET APPLICATION DES PLASMAS EN AERONAUTIQUE ET ESPACE

Préambule

Cette fiche relève d'une philosophie différente de celles des autres fiches émanant du GT «technologie en émergence». En effet au lieu de considérer un champ scientifique et/ou technologique (par exemple «matériaux») on identifie une technologie et on décline les domaines où elle pourrait amener des solutions novatrices.

Enjeux

Les plasmas ont des applications potentielles dans le domaine aéronautique et spatial, pour le contrôle d'écoulement, de combustion, la propulsion de satellites, et en tant « qu'objets » susceptibles d'interagir de façon commutable avec des ondes électromagnétiques (cette dernière application fait l'objet du projet RTRA PLASMAX).

Un autre volet d'utilisation des plasmas concerne leur interaction avec les surfaces. Le résultat de cette interaction a un rôle sur le collage des polymère/polymère ou polymère/métal. Des possibilités sont envisageables dans le domaine des traitements des fibres pour l'amélioration de l'adhérence fibre/matrice des composites, dans le domaine des dépôts de couches pour moduler la conductivité électrique de surface ou des dépôts anticorrosion.

L'enjeu sur ce deuxième volet d'application est d'adapter ce type d'application des plasma déjà validé dans d'autres domaines (notamment la microélectronique) au cahier des charges Aéronautique et espace.

Enfin, les plasmas associés ou pas à des catalyseurs sont envisagés pour le traitement des COV, NOx et SOx. Ici aussi des précédents existent qu'il faudrait adapter au cas STAE.

Au-delà d'une application particulière des technologies plasma, l'enjeu est de regrouper la communauté scientifique régionale qui partage le même socle scientifique mais qui a des spécificités multiples. En effet, si du point de vue strictement académique le LAPLACE est un site national majeur il existe de multiples compétences dans d'autres structures locales : IMFT, ONERA, CNES, LGC sans compter bon nombre d'entreprises utilisatrices ou potentiellement utilisatrices de procédés plasma.

Thèmes de recherche

- 1 Propulsion plasma
- 2 Contrôle d'écoulement
3. Combustion assistée par plasma
- 4 Traitements des surfaces, des fibres ou des poudres : Adhésion, Hydrophilie, Hydrophobie.
- 5 Dépôts de couches minces : Anti rayure, anti buée, anti corrosion, couches conductrices (protection contre la foudre ou blindage électro magnétique)
- 6 Dépollution, décontamination

On trouvera en annexe quelques lignes qui donnent plus de détails sur ces différents thèmes.

Positionnement de la communauté Midi Pyrénées

Le LAPLACE le laboratoire français de référence pour la science et technologie des plasmas mais ce serait une erreur que de jauger l'impact local à la seule implication de ce laboratoire. En effet la place dominante de Toulouse sur ce segment technologique est liée à la présence d'autres entités, académiques ou pas, qui apportent leurs spécificités : ONERA, CNES, IMFT, LGC, CIRIMAT ...

La position importante de Toulouse se traduit par la présence dans la quasi-totalité des programmes nationaux liés à cette technologie et dans bon nombre de programmes européens.

Des sites importants et complémentaires existent en France à Poitiers et Orléans (contrôle d'écoulements), Grenoble (applications aux composants) Centrale Paris (combustion), Orléans (expérience PIVOINE)

On peut estimer que le nombre de temps plein chercheur ou ingénieur dans le domaine des plasmas et leurs applications en Midi Pyrénées est de l'ordre de 80 à 100.

Modalité d'action

Sur la plupart des sujets indiqués la situation est mûre pour avoir des réponses pertinentes à un Appel à projet. Toutefois un des enjeux important est de favoriser l'émergence d'une communauté scientifique qui au delà de l'appartenance à tel ou tel laboratoire ou telle ou telle structure partage un socle scientifique commun. On n'ira pas vers cette émergence en lançant un appel d'offre sur telle ou telle application.

On pourrait alors suggérer un workshop local débouchant sur une fédération de site dans le domaine. Ce serait cette fédération qui aurait la charge de transférer les technologies plasma aux problèmes du domaine STAE.

ANNEXE

Dans le domaine aéronautique ou pour les transports terrestres, le contrôle des écoulements aérodynamiques est un enjeu important non seulement parce que c'est un moyen d'optimiser la maniabilité et la rentabilité des aéronefs et des véhicules terrestres, mais aussi parce que les nouvelles normes en termes de protection de l'environnement et de réduction des nuisances sonores nécessitent de nouvelles avancées dans ce domaine. Parmi les actionneurs envisagés pour le contrôle et la manipulation d'écoulements, les actionneurs plasma ont l'avantage de la simplicité, de ne présenter aucune partie mécanique, et d'avoir un temps de réponse très rapide. Les types d'actionneurs plasma étudiés actuellement (notamment dans le projet PLASMAERO) se limitent aux décharges à barrières diélectriques de surface et aux jets synthétiques par plasma. D'autres types de plasmas sont susceptibles d'avoir une action forte sur un écoulement notamment les plasmas de décharges micro-ondes qui permettent d'atteindre des densités d'énergie très élevées et susceptibles de modifier des écoulements subsoniques et supersoniques (de nombreux travaux russes vont dans cette direction). Les plasmas en interaction avec les micro-ondes font l'objet du projet RTRA PLASMAX. L'expertise acquise au niveau Toulousain dans ce domaine peut permettre d'aborder, en collaboration avec des aérodynamiciens et des spécialistes de combustion, les applications potentielles au contrôle d'écoulement ou de combustion de ce type de plasma.

Le site Toulousain peut devenir un pôle national et international dans le domaine du contrôle d'écoulement par plasma notamment parce que le projet européen PLASMAERO y a pris naissance et est piloté par l'ONERA Toulouse. Pour augmenter encore la visibilité et le rayonnement de cette activité il serait très utile d'envisager un projet de prototype d'engin volant (modèle réduit d'avion, petit ballon dirigeable) susceptible de servir de démonstrateur et de système de test en vol d'actionneurs plasmas. Ce type de projet peut être à la fois facilement médiatisé et avoir des retombées pédagogiques si les écoles (ISAE, INP, ...) et Universités sont impliquées sous la forme de stages, de projets d'étudiants ou de thèses.

Les plasmas ont également un potentiel d'applications important dans le domaine de la combustion. Ils pourraient en effet jouer un rôle de catalyseur de la combustion et permettre de faire fonctionner des moteurs à des régimes où ils sont habituellement instables en rendant le fluide plus réactif. On envisage ainsi d'utiliser des plasmas pour l'amélioration de la combustion supersonique ou pour diminuer les émissions de polluants.

Dans le domaine spatial les propulseurs à plasma ont l'avantage de permettre des vitesses d'éjection du fluide propulsif très supérieures à celles des propulseurs chimiques et donc de réduire considérablement la masse de combustible embarqué pour une mission donnée (d'où une réduction drastique des coûts). Les recherches en France ont été focalisées sur les propulseurs à effet Hall en raison des choix stratégiques de la SNECMA et du CNES qui ont financé ces recherches. L'expertise des laboratoires Toulousains (LAPLACE, ONERA, LAAS, ...) leur permettrait de proposer et d'étudier bien des concepts différents de propulseurs électriques, en relation avec les équipes de propulsion plasma du CNES. Il peut être dans le rôle du RTRA de permettre l'exploration de voies prometteuses qui sont peut-être en dehors des choix stratégiques de certains industriels. D'autre part, il semble possible de faire se rejoindre les thématiques «contrôle d'écoulement par plasma» et «propulsion spatiale à plasma» si l'on considère la propulsion d'engins (par exemple dirigeables pour télécommunications qui sont envisagés actuellement) à altitude élevée (environ 20 km).

Certains concepts de propulseurs plasma pour satellite doivent en effet être transposables à ce type d'altitude (avec l'avantage de pouvoir ioniser l'air ambiant et de ne pas avoir à stocker de réserves de gaz)

Les technologies plasma ont également un fort potentiel dans le domaine des matériaux. Elles sont utilisées soit pour transformer des surfaces, soit pour déposer des couches minces à basse température soit pour enlever de la matière (gravure).

Ces types d'applications ont des exemples déjà industrialisés (depuis très longtemps dans certains cas) : la gravure en microélectronique depuis près de trente ans mais aussi les dépôts et traitements de surface dans l'industrie automobile, les traitements de certaines fibres dans les composites

Il pourrait être dans le rôle du RTRA de soutenir une démarche d'adaptation de ce qui est maîtrisé dans certains domaines au domaine aéronautique et espace.

Pour ce qui est des traitements de surfaces les problèmes de collage polymère/polymère (ballons par exemple) sont importants mais surtout avoir une meilleure connaissance de la durabilité de ces traitements en fonction des paramètres opératoires est un verrou important.

Les dépôts de couches minces sont un large volet avec de multiples applications dépendant des propriétés des couches recherchées. Parmi elles les couches interfaciales permettant une meilleure adhésion des peintures ou encore des couches anticorrosion qui éviteraient l'utilisation de métaux lourds bientôt proscrits par la réglementation sont des points importants.

La multiplication des communications par voie électromagnétique rend indispensable la protection de tout ou parties de systèmes électroniques. Le dépôt de couches conductrices ou semi-conductrices est une des solutions potentielles pourvu que l'on arrive à corréliser correctement des paramètres de procédé aux propriétés recherchées. Beaucoup de choses se sont développées autour des plasmas à basse pression à cause de leurs applications en technologie semi-conducteur. Depuis quelques années cependant les plasmas à pression atmosphérique ont connus un fort développement au niveau académique (et Toulouse a été un des pionniers de cette activité) . Ces connaissances et avancées offrent des solutions industriellement plus acceptables dans les domaines où les objets à traiter sont de taille importante.

Pour toute cette facette des applications plasma la modélisation des procédés de croissance de couches et pas seulement du plasma lui-même est un domaine assez peu couvert qui nécessite des équipes composées de physiciens des gaz, de mécaniciens des fluides pour assurer le couplage avec l'hydrodynamique des fluides, de chimistes du solide et de physiciens des surfaces. Cette activité de modélisation/simulation n'a de sens que si on développe les validations expérimentales. On voit ici que le RTRA pourrait jouer le rôle de catalyseur de ces communautés qui en règle générale travaillent chacune de leur côté. Il y a enfin une étape d'ingénierie pour passer de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle. Ce passage souvent mortel doit faire l'objet d'une attention et de moyens spécifiques.

Pour ce qui concerne la dépollution la décontamination et le nettoyage de surface sans rejets de solvants, le plasma constitue une alternative qu'il ne faut pas négliger à priori. Un GDR national ou plasma de dépollution et catalyse étaient liés a permis des avancées certaines. Adapter ces connaissances à décontamination de l'atmosphère des cabines ou au nettoyage des surfaces en évitant les traitements par voie humide est un objectif difficile mais réaliste.

0 - 0 - 0