



Les 100 ans de l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse

L'Institut de mécanique des fluides de Toulouse (IMFT - CNRS/INP Toulouse/ Université Toulouse III - Paul Sabatier) fête cette année ses 100 ans d'existence. Cette unité mixte de recherche associant le CNRS, l'INP de Toulouse et l'Université Toulouse III - Paul Sabatier mène des recherches d'une grande diversité dans son domaine.

L'IMFT, c'est une longue histoire indissociable de l'essor technologique de Midi-Pyrénées, une histoire commencée en 1913 avec l'aménagement hydroélectrique des Pyrénées et le développement de

l'industrie aéronautique. Créé en 1918 quelques années après l'ENSEEIH, l'institut était au début un laboratoire de recherche en hydraulique connu pour ses études expérimentales sur modèles réduits. Tourné aujourd'hui vers l'expérimentation, la modélisation et la simulation numérique, il est devenu un des tout premiers laboratoires de recherche en mécanique des fluides en Europe.

Un large éventail de recherches

Fort d'environ 200 personnes (65 chercheurs et enseignants-chercheurs, 35 personnels d'appui à la recherche,

80 doctorants et 20 post-doctorants), l'institut représente l'un des plus forts potentiels de recherche et de formation avancée français, voire européen, dans le domaine de la mécanique des fluides, tant par sa taille que par le spectre des thématiques de recherche qui y sont abordées et des champs d'application qu'elles recouvrent.

Situé au cœur de Toulouse, le laboratoire développe un large éventail de recherches qui couvrent autant les aspects fondamentaux associés aux phénomènes physiques mis en jeu dans les écoulements et à leur description mathématique, qu'un vaste champ d'applications.

Les recherches menées par le laboratoire, qui allient modélisation mathématique, expériences fines de laboratoire et simulation numérique intensive, sont particulièrement actives dans les domaines suivants :

- aéro- et hydrodynamique externe (dynamique des tourbillons et des sillages, interaction fluide-structure, transferts pariétaux),
- combustion en milieu turbulent ou hétérogène,
- dynamique des bulles, des gouttes et des interfaces, ou au sens large des écoulements diphasiques, avec ou sans changement de phase,
- écoulements chargés en particules (milieux granulaires -mouillés...),
- hydrologie de surface et impact des aménagements hydrauliques,
- instabilités hydrodynamiques en fluide homogène ou hétérogène, et leurs prolongements à la transition, aux perturbations optimales et au contrôle des écoulements,
- interactions écoulement/milieu vivant et biomécanique circulaire,
- micro-hydrodynamique (fractures, inclusions, cellules, films) et transferts associés,
- milieux hétérogènes et problèmes de changement d'échelle qu'impliquent leur description et celle des transferts qui y prennent place,
- turbulence en situation non-standard (écoulements à surface libre, stratifiés, en présence d'effets de densité variable ou d'interfaces, en milieu réactif) et mélange associé.

Ces thématiques trouvent pour la plupart de vastes champs d'application dans les secteurs du transport terrestre et aérien, de la conversion et du transport de l'énergie, des procédés de transformation de la matière, du génie biomédical et de la prédiction des écoulements environnementaux et des études d'impact.

Dans le cadre de sa mission de formation par la recherche, l'IMFT participe activement à deux Écoles Doctorales, «Mécanique, Énergétique, Génie civil et Procédés» et «Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace». Vingt docteurs et trente stagiaires sont formés en moyenne chaque année au laboratoire.

Quelques exemples de projets scientifiques de l'Institut...

BrainMicroFlow : modéliser les écoulements sanguins cérébraux

Le système micro-vasculaire cérébral est indispensable à une large variété de processus physiologiques cérébraux tels que l'apport d'oxygène et de

nutriments aux neurones et la régulation de l'écoulement sanguin en fonction de leur activité (couplage neuro vasculaire). Ce système joue un rôle majeur dans des pathologies telles que les accidents vasculaires cérébraux (AVC), ou les maladies neurodégénératives comme Alzheimer.

Dans les dix dernières années, le développement de technologies expérimentales avancées, telles que la microscopie biphotonique à balayage laser et la manipulation optique de l'écoulement sanguin, ont produit d'énormes volumes de données expérimentales anatomiques et fonctionnelles chez la souris, en conditions normales ou pathologiques (souris atteintes par la maladie d'Alzheimer, notamment). Pour parvenir à une compréhension cohérente de ces grandes quantités de données, permettant la transposition des résultats à d'autres espèces, et notamment à l'Homme, il est nécessaire de développer des modèles précis et quantitatifs.

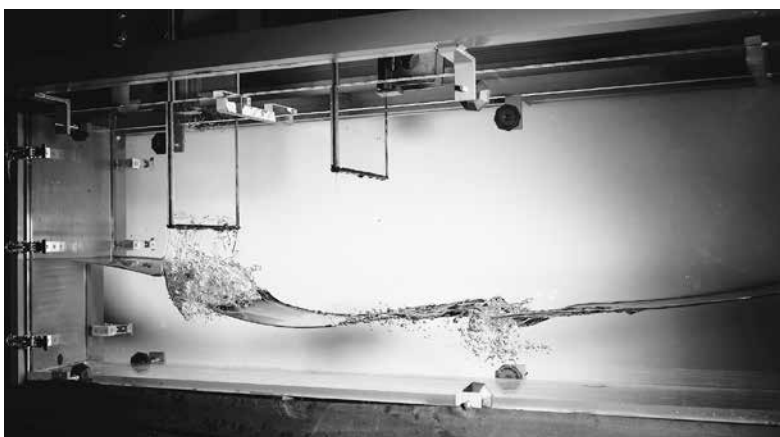
L'objectif de BrainMicroFlow est de développer un modèle de mécanique des fluides, prenant en compte les connaissances physiologiques, pour la simulation numérique de l'écoulement sanguin, des échanges moléculaires (oxygène, nutriments, déchets métaboliques) et des signaux en résultant, que l'on peut acquérir par des techniques d'imagerie fonctionnelle cérébrale. Grâce à ce modèle, il sera alors possible d'identifier la logique des relations structure/fonction de la microcirculation sanguine cérébrale et du couplage neuro vasculaire, chez l'Homme, avec une attention particulière portée sur le rôle des anomalies vasculaires dans la maladie d'Alzheimer. Ainsi, des hypothèses spécifiques sur la façon dont les anomalies vasculaires observées dans cette maladie peuvent affecter à la fois le fonctionnement du système vasculaire et le couplage neuro vasculaire pourront être testées expérimentalement chez les souris atteintes par la maladie d'Alzheimer. De façon cruciale, des données anatomiques similaires, à très haute-résolution spatiale, seront acquises chez l'Homme, en conditions normales ou pathologiques. Cela permettra de modéliser comment les anomalies vasculaires dans la maladie d'Alzheimer peuvent affecter les patients humains, chez qui les données fonctionnelles correspondantes ne peuvent être obtenues expérimentalement.

Ces recherches devraient ouvrir la voie vers de nouvelles stratégies de diagnostic, de traitement et de prévention, notamment dans le cas de la maladie d'Alzheimer. Le projet BrainMicroFlow est financé par une Consolidator Grant du Conseil européen de la recherche (ERC).

(Contact : Sylvie Lorthois, directrice de recherche CNRS et porteuse du projet BrainMicroFlow - sylvie.lorthois@imft.fr - 05 34 32 28 74)

INTECOCIS : simuler la combustion pour la rendre plus efficace

Plus de 85% de l'énergie du monde est obtenue par combustion et ce chiffre ne baisse que très peu même si les énergies renouvelables montent en puissance. Afin d'optimiser les processus de combustion, le projet INTECOCIS s'intéresse à la simulation numérique de



Modélisation de la réflexion et de l'interaction des vagues dans un grand canal hydraulique. Cette expérience porte sur la dynamique littorale. © Cyril FRESILLON/IMFT/CNRS Photothèque



Mise en place de sondes Pitot et fil chaud, pour des mesures aérodynamiques de couche limite, dans la veine d'essais de la soufflerie S2. Cette soufflerie à circuit fermé possède une veine rectangulaire de 0,50 m x 0,50 m x 2,26 m et une gamme de vitesse de 0,1 à 40 m/s. © Cyril FRESILLON/IMFT/CNRS Photothèque



Numérisation de la surface saline d'efflorescences à l'aide d'un scanner 3D à lumière structurée. Les chercheurs reproduisent en laboratoire les conditions de formation des efflorescences, ces dépôts blanchâtres qui recouvrent parfois les murs de bâtiments anciens et de caves. Il s'agit de preuves d'une infiltration par l'eau qui, après s'être évaporée, laisse en surface, sous forme de cristaux, le sel dont elle était chargée. Les chercheurs étudient ces efflorescences pour trouver des moyens de préserver les fresques murales qui recouvrent parfois les murs. © Cyril FRESILLON/IMFT/CNRS Photothèque



ces mécanismes dans les fours, les moteurs d'avion et d'hélicoptères, de fusée... L'approche adoptée est celle de la chambre de combustion « virtuelle » : on calcule ces systèmes avant (ou parfois au lieu) de les construire.

L'objectif d'INTECOCIS est d'optimiser les chambres de combustion de ces systèmes, de les rendre plus stables et d'obtenir les puissances les plus fortes et les impacts les plus faibles en termes de climat et de pollution. Ces simulations ne peuvent être effectuées que sur les ordinateurs les plus puissants du monde. L'IMFT et le Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (CERFACS) travaillent en collaboration directe avec les industriels français de la combustion et les autres laboratoires pour produire ces simulations de façon systématique et accélérer ainsi le design de nouvelles chambres de combustion, plus efficaces.

A l'IMFT le dispositif INTRIG produit une flamme qui permet d'étudier les interactions complexes entre la combustion, l'acoustique et la thermique. La flamme laminaire pré-mélangée est le prototype idéal pour étudier les flammes réelles dans les moteurs d'avion. Dans cette expérience on cherche en particulier à comprendre les différences de fonctionnement des systèmes lors d'un démarrage « à froid » ou lorsqu'ils ont atteint leur température nominale. Ces études fondamentales permettent d'optimiser la performance et de réduire les émissions des machines thermiques pour le transport ou la production d'électricité.

Le projet INTECOCIS est financé par une *Advanced Grant* du Conseil européen de la recherche (ERC) jusqu'en 2018.

(Contact : *Thierry Poinso*, directeur de recherche CNRS et porteur du projet INTECOCIS thierry.poinso@imft.fr - 05 34 32 28 93
Laurent Selle, chargé de recherche CNRS laurent.selle@imft.fr - 05 34 32 29 36)

Cuve à double vague

L'objectif de ce projet est d'améliorer la compréhension des processus hydro sédimentaires dans la zone littorale proche (zone de « *swash* ») qui jouent un rôle prédominant dans l'évolution morphologique des plages sableuses sous l'effet de la houle. Afin de s'affranchir de la complexité du transfert de la houle vers le rivage (déferlement, ondes infra-gravitaires, etc.), les chercheurs modélisent l'interaction de deux vagues successives.

L'expérience, conçue et conduite à l'IMFT, se base sur la caractérisation d'événements typiques observés à grande échelle. Elle consiste en un canal en verre de 4 m de long, 20 cm de large et 50 cm de haut, équipé de deux vannes définissant deux réservoirs de dimensions réglables. Les vannes des réservoirs de rétention sont connectées à un système d'asservissement (verins pneumatiques) afin de contrôler leur ouverture. L'événement typique considéré ici est généré par l'ouverture successive de deux réservoirs d'eau à un bout du canal.

A terme, ce dispositif vise à la compréhension et la caractérisation de l'interaction vague-vague et de la dynamique couplée fluide/grains par des méthodes de mesures optiques adaptées : mesure de hauteur d'eau par une méthode optique d'ombroscopie, mesure du champ de vitesses fluide par PIV et suivi lagrangien de particule.

(Contact : *Laurent Lacaze*, chargé de recherche CNRS - laurent.lacaze@imft.fr - 05 34 32 29 52)

Etude de la dynamique des grandes échelles de la couche limite turbulente et leur contrôle

Les écoulements turbulents, vus comme des écoulements sans organisation apparente, instationnaires et multi-échelles, restent un des problèmes physiques toujours non résolus. Cette complexité est d'autant plus importante lorsque la turbulence interagit avec une paroi. Cette zone d'interaction appelée couche limite, apparaît pour tout objet en mouvement dans un fluide, et vice-versa. Elle est le siège de très forts gradients et de nombreux phénomènes physiques complexes qui restent aujourd'hui partiellement incompris et très difficiles à prédire.

Les écoulements de paroi se rencontrent dans la plupart des applications industrielles (aérodynamique des véhicules, pipelines...), avec des enjeux tant

financiers qu'environnementaux. Dans le cas d'un avion de ligne, 50% de la consommation de kérosène vient de la traînée de frottement induite par la couche limite turbulente se développant sur le fuselage tandis que dans le cas d'un navire cela monte à plus de 80%. Quelques pourcents de réduction de traînée de frottement permettraient d'importantes économies pour les compagnies ainsi qu'une diminution de l'impact écologique. Depuis de nombreuses années, la compréhension, la prédiction et le contrôle des écoulements turbulents de paroi est donc au coeur de la recherche en mécanique des fluides. De récentes études ont montré que les grandes échelles de la turbulence ont une influence significative sur l'écoulement et sont potentiellement plus adaptées à des stratégies de contrôle réalistes, mais restent à ce jour encore très mal comprises.

Les objectifs de ce projet sont de comprendre les origines et la dynamique de ces grandes échelles de la turbulence de paroi. Pour ceci, les chercheurs les forcent artificiellement afin de pouvoir mieux les mettre en évidence et les caractériser. Le projet développé autour de la soufflerie S2 de l'IMFT consiste à confronter l'expérience avec la théorie. Le potentiel des grandes échelles à pouvoir être utilisées pour diminuer la traînée a été démontré théoriquement dans le cas laminaire et turbulent. Les premières mesures expérimentales dans le cas turbulent ont corroboré les résultats théoriques, et le présent projet vise à mieux caractériser et comprendre la dynamique de ces grandes échelles et leur éventuel potentiel à contrôler la traînée.

(Contact : *Carlo Cossu*, directeur de recherche CNRS carlo.cossu@imft.fr - 05 34 32 29 34)

Etudier les efflorescences pour préserver les monuments et sites historiques

Dans les bâtiments anciens ou dans les caves, les murs sont parfois recouverts de dépôts blanchâtres. Les spécialistes les appellent des efflorescences, preuves d'une infiltration par l'eau qui, après s'être évaporée, laisse en surface, sous forme de cristaux, le sel dont elle était chargée. Un vrai problème lorsque le mur est habillé de fresques anciennes.

Afin de comprendre leur fonctionnement, une équipe de l'IMFT recrée les conditions de formation de ces dépôts. Plusieurs billes de verre de 1 millimètre de diamètre sont placées dans un petit récipient cylindrique dont le fond est constitué d'un filet de nylon. L'empilement de billes reproduit les porosités d'un matériau de construction puis la base du récipient est ensuite plongée dans une solution salée, permettant d'observer la remontée du liquide par capillarité jusqu'au sommet du dispositif, puis la formation de cristaux de sel.

La surface saline d'efflorescences est alors numérisée à l'aide d'un scanner 3D à lumière structurée. Ce qui permet notamment d'observer qu'au sein de l'empilement désordonné de billes, la circulation de liquide est plus rapide le long des chemins les plus larges. Ainsi, ces derniers charrient plus de surface et la croissance cristalline est favorisée à leur extrémité. Ces cristaux, parce qu'ils offrent alors plus de surface à l'eau pour s'évaporer, accélèrent encore le débit du liquide dans les canaux qui leur ont donné naissance, ce qui favorise la croissance des cristaux déjà en place, au détriment de la formation de nouvelles efflorescences. En cas d'importante circulation d'air, l'évaporation du liquide est accélérée, d'où la formation plus rapide des efflorescences. À l'inverse, en présence d'une atmosphère humide, on observe une re-dissolution des cristaux. Ainsi pour préserver une fresque murale, on pourrait imaginer la soumettre à un air humide. Cela ralentirait l'évaporation et donc la croissance des cristaux. De même, on pourrait guider la formation des efflorescences vers des portions peu intéressantes de la paroi en la soumettant à la circulation d'air sec.

(Contact : *Marc Prat*, directeur de recherche CNRS - marc.prat@imft.fr - 05 34 32 28 83)

Protection au travail de chez ROTH

Risquez un coup d'œil !



- Tout ce qui tourne autour de la sécurité et la protection au laboratoire – des lunettes de protection pour tous
- Comme pionnier dans le domaine de la protection au travail nous proposons une expérience de plusieurs décennies
- Qualité élevée et conseils personnalisés d'experts
- Délai de livraison rapide
- Prix juste pour une qualité optimale

Nous sommes des experts pour le matériel de laboratoire, les produits chimiques et les biotechnologies.

Pour commander:
Tél. 03 88 94 82 42
www.carlroth.fr

Tél. 061/712 11 60
www.carlroth.ch



MH

Pour en savoir plus :
Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
www.imft.fr/