

Colloque Mécanique et Milieux Vivants

Fédération Fabri de Peiresc
Jeudi 30 Janvier 2014
Grand amphithéâtre de l'Ecole Centrale Marseille



Inscription auprès de Jean Kergomard (kergomard@lma.cnrs-mrs.fr) avant le 27 janvier

9h00 Introduction
J. KERGOMARD

Interface Sensorielle

9h15 Proprioception : entre mécanique et neurobiologie
J.-P. ROLL (Laboratoire Neurosciences intégratives et adaptatives LNIA, Marseille)
(Conférencier invité)

9h45 L'audition électrique : Etudes perceptives et électrophysiologiques chez l'implanté cochléaire
O. MACHEREY (LMA), G. HILKHUYSEN (LMA), P. STAHL (LMA), Q. MESNILDREY (LMA), Y. ADEL (LMA), S. MEUNIER (LMA), S. ROMAN (INS)

9h57 La physique peut-elle aider à comprendre le contrôle des mouvements finalisés?
J.-J. TEMPRADO (Institut des Sciences du Mouvement ISM, Marseille)
(Conférencier invité)

Imagerie et caractérisation des tissus osseux

10h27 Microstructure de l'os trabéculaire. Imagerie X et Segmentation avancée par classification locale de formes
J. VINCENTE (IUSTI), E. BRUN (Biomedical Beamline ID17, European Synchrotron Radiation Facility), C. Chappard (CHR ORLEANS, IPROS)

10h39 Analyse multiéchelle de la croissance osseuse chez l'enfant : une approche par imagerie ultrasonore et modélisation biomécanique
P. LASAYGUES (LMA), R. GUILLERMIN (LMA), E. DEBIEU (LMA), M. PITHIOUX (ISM), C. BARON (ISM), F. LAUNAY (ISM), P. CHABRAND (ISM), H. FOLLET (INSERM), G. BOIVIN (INSERM), E. GINEYST (INSERM), D. FARLAY (INSERM), V. KAFTANDJIAN (LVA), P. DUVAUCHELLE (LVA), T. MONNIER (LVA)

* * *

Pause 10h51 - 11h15

* * *

Mécanique végétale

- 11h15 Couplage poroélastique dans une branche artificielle : lien avec la mécano-perception chez les plantes**
G. GUENA (IUSTI), J-F. LOUF (IUSTI), Y. FORTERRE (IUSTI), O. POULIQUEN (IUSTI), E. BADEL (INRA PIAF)
- 11h27 Gravitropisme, ou comment les plantes se redressent**
Y. FORTERRE (IUSTI), O. POULIQUEN (IUSTI), B. MOULIA (INRA PIAF), V. LEGUÉ (INRA PIAF)
- 11h39 The nanofluidics can explain ascent of water in tallest trees**
H. GOUIN (M2P2)
- 11h51 Turbulence en écoulement de couvert**
M. AMIELH (IRPHE), F. ANSELMET (IRPHE), L. PIETRI (IRPHE)
- 12h03 Architecture des arbres**
C. ELOY (IRPHE)

* * *

Repas 12h15 - 13h30

* * *

Écoulements physiologiques

- 13h30 Dynamique des globules rouges**
A. VIALLAT (Laboratoire Adhésion et Inflammation LAI, Marseille)
(Conférencier invité)
- 14h00 Systèmes biomimétiques en écoulement**
G. BOEDEC (IRPHE), J. DESCHAMPS (IRPHE), D. FOUGERE (M2P2), M. GEORGELIN (IRPHE), J. GUBSPUN (IRPHE), M. JAEGER (M2P2), M. LEONETTI (IRPHE), C. DE LOUBENS (IRPHE), R. TROZZO (M2P2)
- 14h12 Dynamique de vésicules**
G. BOEDEC (IRPHE), D. FOUGERE (M2P2), M. JAEGER (M2P2), M. LEONETTI (IRPHE), R. TROZZO (M2P2)
- 14h24 Étalement, mouillage et séchage du sang humain**
D. BRUTIN (IUSTI), W. BOUZEID (IUSTI), C. NICLOUX (Institut de Recherche Criminel de la Gendarmerie Nationale, Rosny-sous-Bois)
- 14h36 Apports de la mécanique énergétique et de la simulation numérique dans les voies respiratoires humaines**
R. NICOLAS (Service d'ORL Pédiatrique CHU TIMONE Enfants, IUSTI), E. MOREDDU (Service d'ORL Pédiatrique, CHU TIMONE Enfants), L. MEISTER (IUSTI), J. MICHEL (Service d'ORL CHU TIMONE Adultes), M. MÉDALE (IUSTI)

- 14h48 Transport d'aérosols dans les voies aériennes supérieures**
L. BAILLY (IRPHE), O. BOIRON (IRPHE), A. SCHEINHERR (IRPHE)
- 15h00 Caractérisation ultrasonore et optique de suspensions denses de particules agrégantes**
E. FRANCESCHINI (LMA), R. DE MONCHY (LMA), R. GUILLERMIN (LMA), E. DEBIEU (LMA), J. PIRAUX (LMA), B. LOMBARD (LMA), G. CLOUTIER (LBUM), W. ZHU (IRPHE), Y. KNAPP (IRPHE), E. BERTRAND (IRPHE), V. DEPLANO (IRPHE)
- 15h12 Génération, détection et dimensionnement de micro et nanobulles**
S. MENSAH (LMA), J. STURACCI (LMA), D. FOUAN (LMA), Y. ACHAOU (LMA), Z. HAMMADI (CINAM), R. MORIN (CINAM), P. JOSEPH (LAAS), S. MEANCE (LAAS)

* * *

Pause 15h24 - 15h45

* * *

Morphogénèse et locomotion animale

- 15h45 Origines mésoscopiques de la mécanique cellulaire lors de la morphogénèse des tissus**
P.-F. LENNE (Institut de Biologie du Développement de Marseille, Luminy)
(Conférencier invité)
- 16h15 Nage ondulatoire**
L. SCHOUVEILER (IRPHE), F. PARAZ (IRPHE), C. ELOY (IRPHE)
- 16h27 Numerical Modeling of Flexible Heaving Foils with Applications to Insect Flight**
K. SCHNEIDER (M2P2)
- 16h39 Influence des poils et plumes sur le vol**
J. FAVIER (M2P2)
- 16h51 Table ronde**
- 17h15 Clôture**

Recueil des résumés

* * *

Interface Sensorielle

Proprioception : entre mécanique et neurobiologie

J.-P. ROLL (Laboratoire Neurosciences intégratives et adaptatives LNIA, Marseille)

La connaissance de Soi ou "Proprioception" est principalement assurée par un ensemble de mécanorécepteurs distribués dans la totalité de l'appareil moteur et dans la peau qui le "recouvre". Leur activité permanente est à la base du sens de la position et du mouvement chez l'homme et leur fonctionnement collectif relève de "codes vectoriels de population". L'anatomie et la mécanique corporelle, en déformant les tissus qui les contiennent, déterminent la structure et l'organisation des messages qu'ils adressent au cerveau : entre mécanique et neurobiologie ...

L'audition électrique : Etudes perceptives et électrophysiologiques chez l'implanté cochléaire

O. MACHEREY (LMA), G. HILKHUYSEN (LMA), P. STAHL (LMA), Q. MESNILDREY (LMA), Y. ADEL (LMA), S. MEUNIER (LMA), S. ROMAN (INS)

Mondialement, l'implant cochléaire a restauré des sensations auditives à plus de 200 000 personnes atteintes de surdité sévère à profonde. Son principe de fonctionnement est de stimuler électriquement les fibres du nerf auditif par l'intermédiaire d'électrodes implantées chirurgicalement dans la cochlée. Nous nous intéressons ici aux effets électrophysiologiques et perceptifs induits par des manipulations des paramètres de stimulation (effet de la forme, de la polarité, de la cadence du signal électrique...) chez le sujet implanté cochléaire humain. Nous montrerons comment ces études permettent à la fois de mieux comprendre comment la stimulation électrique s'effectue et de proposer de nouvelles stratégies de stimulation pour améliorer la perception des sons chez les personnes implantées.

La physique peut-elle aider à comprendre le contrôle des mouvements finalisés ?

J.-J. TEMPRADO (Institut des Sciences du Mouvement ISM, Marseille)

La plupart des comportements que nous produisons dans la vie quotidienne impliquent la réalisation de mouvements complexes. Par ailleurs, notre capacité à produire ces mouvements évolue au cours de l'âge, de l'apprentissage ou de l'expertise. Les Sciences du Mouvement Humain regroupent un ensemble de disciplines – neurosciences, physiologie, biomécanique -- qui s'intéressent chacune à des aspects séparés de la production motrice (information, énergie, forces). Au cours de cet exposé, nous montrerons d'abord comment les approches classiques envisagent séparément les dimensions neurophysiologiques et biomécaniques dans le contrôle du mouvement (gestion des degrés de liberté et production des forces). Nous montrerons ensuite comment les approches récentes, inspirées de *l'analyse des systèmes dynamiques non linéaires et des théories de la complexité*, permettent de jeter un regard nouveau et plus intégré sur le contrôle des coordinations motrices complexes. L'exposé sera illustré par des exemples issus de différents domaines (animal, sport, pathologies, développement, vieillissement).

Imagerie et caractérisation des tissus osseux

Microstructure de l'os trabéculaire. Imagerie X et Segmentation avancée par classification locale de formes

J. VINCENTE (IUSTI), E. BRUN (Biomedical Beamline ID17, European Synchrotron Radiation Facility), C. Chappard (CHR ORLEANS, IPROS)

Mon activité de recherche se concentre sur la caractérisation géométrique des matériaux poreux et la compréhension de l'impact de la géométrie sur leurs propriétés de transfert (écoulement, thermique,...). C'est ainsi que si les matériaux étudiés sont essentiellement les mousses métalliques et céramiques, les outils d'étude développés pour caractériser ces matériaux à partir d'images tomographiques X hautes résolutions ont pu être directement appliqués à l'analyse de matériaux biologiques et notamment à l'os trabéculaire qui possède beaucoup d'analogie avec les matériaux types mousses. La méthode de classification locale de la phase solide des matériaux cellulaires nous a conduit à concevoir un algorithme de segmentation multi-objets (plaques, coques, poutres) basé sur le calcul des moments locaux d'inertie. Cette méthode originale nous a permis de proposer une première classification d'os trabéculaires pour une aide au diagnostic de l'ostéoporose.

Analyse multiéchelle de la croissance osseuse chez l'enfant : une approche par imagerie ultrasonore et modélisation biomécanique

P. LASAYGUES (LMA), R. GUILLERMIN (LMA), E. DEBIEU (LMA), M. PITHIOUX (ISM), C. BARON (ISM), F. LAUNAY (ISM), P. CHABRAND (ISM), H. FOLLET (INSERM), G. BOIVIN (INSERM), E. GINEYST (INSERM), D. FARLAY (INSERM), V. KAFTANDJIAN (LVA), P. DUVAUCHELLE (LVA), T. MONNIER (LVA)

La description de la croissance des os des enfants, est un sujet « ouvert » pour de nombreuses applications cliniques. Il est important de progresser dans la connaissance du métabolisme osseux chez l'enfant, ou encore sur la mise à disposition de marqueurs biologiques de ce métabolisme. L'évaluation de la DMO réalisée par rayons X est associée chez l'enfant à des contraintes. Les protocoles sont plus difficiles à mettre en œuvre. Plusieurs études montrent que les méthodes ultrasonores quantitatives permettent d'atteindre des informations plus pertinentes de la structure osseuse. Dans le projet MALICE, nous progressons dans la connaissance de la qualité et des mécanismes de croissance des os des enfants en établissant une première base de valeurs biomécaniques de référence. Nous proposons un modèle numérique d'os d'enfant pouvant évoluer en fonction de l'âge du tout petit à l'adolescent. Les paramètres géométriques et physiques évolutifs prendront en compte les mécanismes de modelage et de minéralisation. Grâce à ces avancées, nous progressons dans le développement d'une nouvelle modalité d'examen, la tomographie ultrasonore quantitative, complémentaire des autres modalités cliniques. L'image serait géométrique (morphométrie osseuse) et paramétrique (quantitative). Ce projet regroupe 4 équipes de recherche, LMA, ISM-GIBO de Marseille, le LVA et U1033 de l'INSERM de Lyon, et deux équipes cliniques de l'APHM.

Mécanique végétale

Couplage poroélastique dans une branche artificielle : lien avec la mécano-perception chez les plantes

G. GUENA (IUSTI), J-F. LOUF (IUSTI), Y. FORTERRE (IUSTI), O. POULIQUEN (IUSTI), E. BADEL (INRA PIAF)

Les plantes sont sans cesse soumises à des sollicitations mécaniques extérieures comme le vent ou la pluie, qui affectent et modifient leur croissance – un processus appelé thigmomorphogénèse. De façon remarquable, la perception des déformations mécaniques chez les plantes n'est pas seulement locale, mais s'observe aussi à grande distance de la zone stimulée et très rapidement après la sollicitation. Dans cette étude, nous testons l'idée que ce transport longue-distance de l'information chez les plantes puisse provenir d'un couplage entre les déformations mécaniques et le fluide contenu dans le système conducteur de la plante. Pour cela, la réponse poroélastique en flexion d'une branche artificielle en PDMS constituée de microcanaux remplis d'huile silicone est étudiée. Les résultats sont comparés à des expériences sur des branches d'arbre.

Gravitropisme, ou comment les plantes se redressent

Y. FORTERRE (IUSTI), O. POULIQUEN (IUSTI), B. MOULIA (INRA PIAF), V. LEGUÉ (INRA PIAF)

La détection de la gravité par les plantes joue un rôle important dans leur développement et leur adaptation aux changements environnementaux. Une étape cruciale de cette détection a lieu dans des cellules spécifiques, les statocytes, qui contiennent des petits grains d'amidon, les statolithes. Les grains étant plus denses que le fluide intracellulaire, ils sédimentent au fond de la cellule et donne la direction de la gravité. Malgré de nombreuses études, les mécanismes à l'œuvre dans les statocytes et le lien avec le redressement actif de la plante restent mal compris. Dans cet exposé, nous présenterons des expériences récentes faites au labo à la fois à l'échelle macroscopique sur la dynamique de redressement de la plante et à l'échelle de la cellule sur le mouvement des statolithes. Ces expériences ouvrent de nouvelles perspectives pour comprendre les mécanismes impliqués dans le gravitropisme.

The nanofluidics can explain ascent of water in tallest trees

H. GOUIN (M2P2)

In *Amazing numbers in biology*, Flindt reports a giant, 128 meter-tall eucalyptus, and a 135 meter-tall sequoia. However, the explanation of the maximum altitude of the crude sap ascent and consequently the main reason of the maximum size that trees can reach is not well understood. According to tree species, the crude sap is driven

in xylem microtubes with diameters ranging between 50 and 400 micrometers. The sap contains diluted salts but its physical properties are roughly those of water; consequently, hydrodynamic, capillarity and osmotic pressure yield a crude sap ascent of a few tens of meters only. Today, we can propound a new understanding of the ascent of sap to the top of very tall trees thanks to a new comparison between experiments associated with the cohesion- tension theory and the disjoining pressure concept. Here we show that the pressure in the water-storing tracheids of leaves can be strongly negative whereas the pressure in the xylem microtubes of stems may remain positive when, at high level, inhomogeneous liquid nanolayers wet the xylem walls of microtubes. The nanofluidic model of crude sap in tall trees discloses a stable sap layer up to an altitude where the pancake layer thickness coexists with the dry xylem wall and corresponds to the maximum size of tallest trees. In very thin layers, sap flows are widely more significant than those obtained with classical Navier- Stokes models and consequently are able to refill stomatic cells when phloem embolisms supervene. These results drop an inkling that the disjoining pressure is an efficient tool to study biological liquids in contact with substrates at a nanoscale range.

Turbulence en écoulement de couvert

M. AMIELH (IRPHE), F. ANSELMET (IRPHE), L. PIETRI (IRPHE)

Des mesures des trois composantes de la vitesse ont été réalisées en soufflerie par vélocimétrie laser Doppler dans un écoulement turbulent interagissant avec un couvert végétal artificiel rigide dont on peut faire varier la densité et la répartition au sol. L'influence de ces paramètres sur les champs de vitesses moyenne et turbulente sera présentée.

Architecture des arbres

C. ELOY (IRPHE)

En simplifiant à l'extrême, la partie aérienne d'un arbre peut être vue comme la réponse biologique au problème d'ingénierie suivant: réaliser une structure mécaniquement stable, mobilisant le moins de matière possible et permettant un accès maximal à la lumière. Lors de cet exposé, nous examinerons comment les arbres résolvent ce problème d'optimisation et les conséquences que cela peut avoir sur la structure auto-similaire de l'architecture.

Écoulements physiologiques

Dynamique des globules rouges

A. VIALLAT (Laboratoire Adhésion et Inflammation LAI, Marseille)

Le sang est le fluide vital qui circule dans notre corps. C'est une suspension très concentrée de cellules, et principalement de globules rouges, qui composent 45% de notre volume sanguin. La fluidité du sang (et plus généralement ses propriétés rhéologiques) dépend de l'orientation et de l'état de déformation des cellules individuelles, ainsi que de leurs interactions avec la paroi vasculaire. Par exemple, lorsque la vitesse de cisaillement augmente, les globules rouges se séparent les uns des autres, s'alignent, s'étirent dans l'écoulement et la viscosité du sang diminue. Pour comprendre le comportement rhéologique du sang et les problèmes générés par une altération des propriétés des globules rouges, il faut comprendre la dynamique des globules rouges isolés dans un écoulement. Il convient notamment de mettre en évidence les régimes de mouvement variés que les cellules adoptent en fonction des contraintes hydrodynamiques appliquées et d'établir comment ces mouvements sont gouvernés par les propriétés structurales et viscoélastiques des cellules. C'est l'objectif de l'exposé.

Systèmes biomimétiques en écoulement

G. Boëdec (IRPHE), J. Deschamps (IRPHE), D. Fougère (M2P2), M. Georgelin (IRPHE), J. Gubspun (IRPHE), M. Jaeger (M2P2), M. Leonetti (IRPHE), C. de Loubens (IRPHE), R. Trozzo (M2P2)

Le vivant est le siège de nombreuses interactions de type fluide-structure entre des briques élémentaires déformables, les cellules et ce en présence de parois plus ou moins souples, tapis de cellules endothéliales par exemple. La mécanique cellulaire, les couplages hydrodynamiques et physico-chimiques mènent à une grande richesse de comportements à l'échelle de la cellule (instabilités, oscillations, portance visqueuse...) et à l'échelle de la suspension (ségrégation, agrégation) menant à des phénomènes complexes tels que la margination et la vaso-occlusion pour les suspensions sanguines. Certaines pathologies affectent les propriétés mécaniques des globules rouges (GRs) modifiant en retour les dynamiques observées. Le vivant est aussi une source d'inspiration pour les physicochimistes, pharmaciens et biochimistes pour concevoir des vecteurs destinés à certaines thérapies, vecteurs soumis aux mêmes contraintes que les GRs. Le but est ici de présenter comment les propriétés mécaniques de la membrane et du cytosquelette affectent la dynamique de cellules et vecteurs dans un écoulement.

Dynamique de vésicules

G. Boëdec (IRPHE), D. Fougère (M2P2), M. Jaeger (M2P2), M. Leonetti (IRPHE), R. Trozzo (M2P2)

Une vésicule peut être définie comme une membrane lipidique fermée (bicouche auto-organisée de molécules amphiphiles) qui sépare un fluide interne du fluide externe de suspension. Elles peuvent être synthétisées sur une large gamme de tailles allant du nano-liposome à la vésicule géante de plusieurs dizaines de micromètres. Si l'on se tient aux propriétés interfaciales, c'est le modèle physico-chimique le plus simple d'une cellule biologique, la bicouche lipidique constituant la base de toutes les membranes réelles. Elle intéresse les biologistes et biophysiciens sous sa forme élémentaire et comme base de modèles plus sophistiqués (adjonction de protéines membranaires) pour l'étude du comportement des cellules dans de nombreux processus biologiques. Elle présente aussi un intérêt technologique, notamment pour l'encapsulation de produits actifs avec des applications en cosmétique et en vectorisation des médicaments. La caractérisation de ses capacités mécaniques en relation avec ses éléments constitutifs et leur organisation présente donc un enjeu important pour comprendre et reproduire les performances exceptionnelles de déformabilité de ces objets : résistant aux efforts de cisaillement exercés par les écoulements de fluide ambiants, et néanmoins capables de se faufiler par les pores les plus étroits. Ces performances sont bien entendu liées à la nature de la membrane lipidique qui forme une coque fluide auto-réparatrice et qui en font un sujet d'étude à la frontière de la mécanique des fluides et des solides et à la limite de l'hypothèse de milieu continu, la membrane ne contenant que deux molécules dans son épaisseur.

Étalement, mouillage et séchage du sang humain

D. BRUTIN (IUSTI), W. BOUZEID (IUSTI), C. NICLOUX (Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale, Rosny-sous-Bois)

Par le passé, les confessions et les témoignages étaient suffisants pour convaincre les magistrats et les membres d'un jury. De nos jours, la "preuve scientifique" est devenue un élément de base des investigations criminelles. Une revue récente faite par Brummer et al. en 2011 est intitulée "La quête criminelle pour la datation des traces de sang" établi clairement que "à ce jour, il n'est pas possible d'utiliser les traces de sang pour dater un crime". Le temps écoulé depuis l'événement sanglant permet pourtant de vérifier les témoignages des témoins et prévenus, de limiter le nombre de suspects et de vérifier les alibis. Avec comme objectif, la réduction des coûts humains et financiers d'une enquête, une orientation rapide des enquêteurs basée sur une datation précise d'un événement sanglant est inestimable. Le sang est un fluide complexe dont les propriétés physiques ne sont pas bien caractérisées. Sa rhéologie est clairement non-Newtonienne pour les personnes en bonne santé, son mouillage est proche de celui de l'eau sur des surfaces lisses même si des différences existent en présence de colloïdes qui modifient la dynamique de la ligne de contact. Tandis que la tension de surface du sang total est très proche de celle de l'eau, la tension de surface du sérum sanguin est elle très différente. Toutes ces propriétés physiques sont nécessaires pour comprendre l'étalement, la fragmentation et le séchage du sang. Nous présenterons plus en détails la dynamique d'étalement du sang ainsi que son séchage. Il s'agit là d'une étape nécessaire pour la suite et l'application criminelle.

Apports de la mécanique énergétique et de la simulation numérique dans les voies respiratoires humaines

R. NICOLAS (Service d'ORL Pédiatrique CHU TIMONE Enfants, IUSTI), E. MOREDDU (Service d'ORL Pédiatrique, CHU TIMONE Enfants), L. MEISTER (IUSTI), J. MICHEL (Service d'ORL CHU TIMONE Adultes), M. MÉDALE (IUSTI)

Les voies aériennes constituent un ensemble à la géométrie complexe dans lequel l'air s'écoule et doit être conditionné. Entre les fosses nasales, le larynx et la trachée, le comportement des flux d'air est extrêmement variable du fait de l'anatomie. Nous avons développé au sein du laboratoire de l'IUSTI différents modèles numériques de l'écoulement d'air dans l'ensemble laryngotrachéal (actuellement applicable en pathologie), et des fosses nasales de l'enfant. L'avenir sera à l'étude des échanges thermiques et hygrométriques.

Transport d'aérosols dans les voies aériennes supérieures

L. BAILLY (IRPHE), O. BOIRON (IRPHE), A. SCHEINHERR (IRPHE)

De nombreuses pathologies des voies aériennes peuvent être traitées par l'administration de médicaments aérosolisés. Le transport et le dépôt de ces aérosols dans les voies aériennes est régi par de nombreux paramètres physiques à la fois intrinsèques au gaz porteur et aux aérosols mais également liés à la dynamique de la respiration et aux mouvements de la trachée. Nous examinons dans une étude expérimentale et numérique les modalités de dépôt en lien avec ces deux derniers paramètres en examinant plus particulièrement le rôle joué par la dynamique glottique.

Caractérisation ultrasonore et optique de suspensions denses de particules agrégantes

E. FRANCESCHINI (LMA), R. DE MONCHY (LMA), R. GUILLERMIN (LMA), E. DEBIEU (LMA), J. PIRAUX (LMA), B. LOMBARD (LMA), G. CLOUTIER (LBUM), W. ZHU (IRPHE), Y. KNAPP (IRPHE), E. BERTRAND (IRPHE), V. DEPLANO (IRPHE)

Les méthodes utilisées en clinique afin de caractériser l'agrégation des globules rouges nécessitent une prise de sang et permettent une mesure globale du niveau d'agrégation. Or les pathologies provoquent des désordres circulatoires sanguins en des sites bien particuliers (par exemple le pied pour le diabète, les membres inférieurs pour la thrombose), c'est pourquoi l'imagerie ultrasonore se présente comme un outil prometteur pour mesurer quantitativement l'agrégation érythrocytaire *in situ* et *in vivo*. Nous présenterons une méthode d'estimation de structures des agrégats de globules rouges basée sur l'analyse fréquentielle des signaux ultrasonores rétrodiffusés par le sang. Ces signaux contiennent des informations sur l'arrangement spatial, la taille et les propriétés mécaniques des agrégats de globules rouges. La méthode permet de remonter à deux paramètres : la taille et la compacité des agrégats. Nous examinerons ensuite la robustesse de cette méthode par des simulations numériques ainsi que par des expériences *in vitro* sur des microsphères (simulant des agrégats de globules rouges) ou du sang de porc dans un écoulement de Couette contrôlé.

Génération, détection et dimensionnement de micro et nanobulles

S. MENSAH (LMA), J. STURACCI (LMA), D. FOUAN (LMA), Y. ACHAOU (LMA), Z. HAMMADI (CINAM), R. MORIN (CINAM), P. JOSEPH (LAAS), S. MEANCE (LAAS)

Des microbulles de gaz existent et se développent au sein de phénomènes naturels ou artificiels très divers tels la cavitation dans la sève (des arbres) sous tension induite par évaporation ou la production de microbulles par aéroflottation, par exemples. En médecine, ces microbulles font l'objet d'études car elles constituent l'ingrédient de base des agents de contraste ultrasonore (imagerie de contraste, imagerie moléculaire) et leur potentiel thérapeutique est immense (délivrance de drogues, sonoporation, embolothérapie, histotripsy...). Dans certaines situations, ces microbulles reçoivent une attention toute particulière lorsque l'organisme (plongeurs, astronautes...) ou plus généralement le milieu hôte (sodium liquide des réacteurs nucléaires) est en état de sursaturation gazeuse.

Pour bon nombre d'applications, les moyens optiques ne permettent pas la caractérisation des microbulles soit parce qu'elles sont trop petites, ou soit parce que le milieu hôte est opaque. Dans ces cas, les méthodes ultrasonores offrent une très bonne alternative en raison du fort pouvoir échogène et du comportement non-linéaire des bulles. Nous décrivons par cette communication les moyens micro-fluidiques et micro-électrolytiques développés (projet ANR Smart US) pour générer des bulles de manières reproductibles. Nous présentons les techniques ultrasonores élaborées pour dimensionner *in situ* et en temps réel (ordre de la milliseconde) des bulles présentant une grande diversité de taille (10-150 microns)

Morphogénèse et locomotion animale

Origines mésoscopiques de la mécanique cellulaire lors de la morphogénèse des tissus

P.-F. LENNE (Institut de Biologie du Développement de Marseille, Luminy)

Durant la formation des tissus, les cellules peuvent se diviser, changer de forme, de position ou mourir. Ce petit nombre de mécanismes détermine la taille et la forme des tissus. Si la plupart des gènes qui orchestrent ces mécanismes ont été découverts, nous connaissons en revanche très mal les forces physiques qui 'sculptent' les tissus. Dans ce contexte, nous cherchons à comprendre quelles sont les propriétés mécaniques des interfaces cellulaires dans un tissu et comment elles émergent de l'assemblage dynamique de structures d'adhésion et de leurs interactions avec le cytosquelette. Nous étudions cette question durant la morphogénèse de l'embryon de *Drosophile* en utilisant différentes approches quantitatives (imagerie, mesures mécaniques).

Nage ondulatoire

L. SCHOUVEILER (IRPHE), F. PARAZ (IRPHE), C. ELOY (IRPHE)

Nous étudions des systèmes de propulsion aquatique inspirés de la nage dite ondulatoire. Ce mode de propulsion est le plus commun chez les poissons, la poussée est générée grâce une onde de flexion qui parcourt le corps du nageur soit de sa tête à sa queue (nage anguilliforme), soit confinée à sa nageoire caudale généralement flexible (nage thunniforme). L'objectif est, à l'aide d'une approche expérimentale et théorique, de déterminer les valeur des différents paramètres (flexibilité des matériaux utilisés, forme du nageur, forme de l'onde imposée au nageur) pour obtenir une propulsion optimale.

Numerical Modeling of Flexible Heaving Foils with Applications to Insect Flight

K. SCHNEIDER (M2P2)

We consider the effects of chordwise flexibility on the aerodynamic performance of flapping wings using numerical simulation. The two-dimensional Navier-Stokes equations are solved using a Fourier pseudo-spectral method with no-slip boundary conditions imposed by the volume penalization method. The flexible wing is modeled with a non-linear beam equation. Our numerical simulations of heaving plates show that the maximum thrust is achieved at a stroke frequency lower than resonant, which is in agreement with experiments. The oscillatory part of the force only increases in amplitude when the frequency increases. We also consider aerodynamic interactions between two heaving foils.

This work is joint work with Dmitry Kolomenskiy (McGill, Montreal) and Thomas Engels (M2P2 AMU & TU Berlin).

Influence des poils et plumes sur le vol

J. FAVIER (M2P2)

Ce travail est initialement inspiré du hérissément de plumes qui peut être observé sur la partie supérieure des ailes de certains oiseaux à atterrissage planant (type aigrette, héron, pélican, faucon, etc.). Au niveau des parties du plumage appelées 'couvertures', des plumes sont susceptibles de se relever et d'interagir avec l'écoulement décollé de manière à augmenter brutalement la portance et réduire les vibrations. Des études numériques passées et en cours seront présentées, dans le but de caractériser ce phénomène et d'infirmer/confirmer cette hypothèse de mécanisme de contrôle. Des revêtements poreux et déformables sont proposés pour modéliser les caractéristiques essentielles des couvertures des plumages. Les simulations mettent en jeu des codes DNS et Lattice Boltzmann pour la partie fluide couplés avec la méthode des frontières immergées (Immersed Boundary) pour imposer la présence d'éléments flexibles et poreux sur le maillage fluide.