

**Journée Thématique  
GdR STIC-Santé**

**Sous l'égide du thème F :  
« Apprentissage et assistance aux gestes médico-chirurgicaux »**

**conjointement avec**

**le projet SIMED  
(Simulation en Imagerie Médicale pour le Diagnostic et la Thérapie)  
du Cluster Recherche ISLE  
(Informatique, Signal, Logiciel embarqué)  
de la région Rhône-Alpes**

**Lyon**

**Jeudi 26 novembre**

|   |
|---|
| <b>« Identification des paramètres pour la modélisation des organes »</b> |
|---|

**Organisateurs :**

**Florence Zara (LIRIS, Lyon)  
Tanneguy Redarce (Laboratoire Ampère, Lyon)  
Lucile Vadcard (LSE, Grenoble)  
Patrick Dubois (CHRU de Lille)  
Patrick Clarysse (CREATIS, Lyon)  
Emmanuel Promayon (TIMC-IMAG, Grenoble)**

**Objectif de la Journée Thématique :**

Cette journée sera consacrée aux travaux réalisés sur l'identification des paramètres utilisés dans la modélisation des organes.

## **Publications des organisateurs :**

L. Vadcard, N. Balacheff, **Looking at e-learning through the european Kaleidoscope**, International Handbook of Information Technology in Education, Voogt J & Knezek G (eds), Kluwer, 2007.

L. Vadcard, V. Luengo , **Interdisciplinary approach for the design of a learning environment**, E-Learn 2005 - World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, Vancouver, Canada, October 24-28, 2005.

L. Vadcard, **Conception d'un environnement informatique pour la formation des chirurgiens**, 4èmes rencontres scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactiques des Sciences et des Technologies, Lyon 12-15 octobre 2005.

R. Moreau, M.-T. Pham, R. Silveira, H. T. Redarce, X. Brun, O. Dupuis, **Design of a new instrumented forceps: application to a safe obstetrical forceps blade placement**, IEEE transactions on biomedical engineering, p 10, 2007.

O. Dupuis, R. Moreau, R. Silveira, M.-T. Pham, A. Zentner, M. Cucherat, R.-C. Rudigoz, H. T. Redarce, **A new obstetric forceps for the training of junior doctors. A comparison of the spatial dispersion of forceps blades trajectories between junior and senior obstetricians**. The american journal of obstetrics and gynecology. vol 194, p.1524-1531, 2006.

Vincent Baudet, Michael Beuve, Fabrice Jaillet, Behzad Shariat, Florence Zara **Integrating Tensile Parameters in Hexaedral Mass-Spring System for Simulation** The 17-th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2009 (WSCG'2009) - Plzen, Czech Republic - Février 2009

Romain Buttin, Florence Zara, Behzad Shariat, Tanneguy Redarce **A Biomechanical Model of the Female Reproductive System and the Fetus for the realization of a Childbirth Virtual Simulator** IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'09) - Minneapolis, Minnesota, USA - Septembre 2009

F. Zara, F. Faure, J.-M. Vincent, **Parallel Simulation of Large Dynamic System on a PCs Cluster: Application to Cloth Simulation**, International Journal of Computers and Applications, Volume 26, pages 173-180, 2004.

V. Baudet, M. Beuve, F. Jaillet, B. Shariat, F. Zara, **Integrating Elastic Parameters in 3D Mass-Spring System**, Research Report RR-LIRIS-2007-004, 2006 (soumis à EuroGraphics 2007).

A. C.Jambon, D.Querleu, P.Dubois, C.Chaillou, M P.eseure, S.Karpf, C.Geron, **A Training Simulator for Initial Formation in Gynecologic Laparoscopy**, MMVR2000, Newport Beach, 2-30 jan. 2000.

P.Dubois, T Q.hommen, A. C.Jambon, **In vivo measurement of surgical gestures**, IEEE Trans. on Biomed. Eng., 49(1), 2002, 49-54.

P.Dubois, G.Delmar, G.Picod, **Measurements of mechanical interactions between a surgical instrument and an organ: methodological aspects**, Proc. of the IASTED Intern. Conf. "Applied Simulation and Modelling", Crete, Greece, 25-28 june 2002, pp 174-9.

P.Dubois, M.Boukerrou, R C.Ubod Dit Guillet, M Cosson., B N.Etrouni, M.Vermandel, **Modèle mécanique 3D de la cavité pelvienne : étude préliminaire**, Proc. of SURGETICA'2005, Sauramps Médical Ed., pp 123-131

## **Programme de la Journée Thématique :**

|                    |  |   |
|--------------------|--|---|
| 10h                | Accueil et présentation de la journée  |   |
| 10h15 – 11h        | Mesures in-vivo des propriétés élastiques de tissus mous, applications aux GMCAO     | Emmanuel Promayon<br>TIMC-IMAG  |
| 11h – 11h45        | Imagerie des propriétés visco-élastiques du corps humain par échographie ultrarapide | Mickael Tanter<br>Laboratoire Ondes et Acoustique                             |
| 11h45 – 12h30      | Discussion   |   |
| <b>PAUSE REPAS</b> |  |   |
| 14h– 14h45         | Liver MR-Elastography  | Ralph Sinkus<br>Laboratoire Ondes et Acoustique                               |
| 14h45 – 15h30      | Caractérisation expérimentale et modélisation de tissus biologiques                  | Rémy Willinger<br>Systèmes Biomécaniques<br>Institut de Mécanique des Fluides |
| 15h30 – 16h15      | Atheroma Plaque Modulography and Rupture Prediction                                  | Jacques Ohayon<br>Université de Savoie<br>Laboratoire TIMC-IMAG-UJF           |
| 16h15-17h          | Discussion   |   |

Les créneaux comprennent le temps de la présentation (30 minutes) ainsi que le temps des questions (15 minutes).

## **Résumés des orateurs :**

### **Emmanuel Promayon**

*TIMC-IMAG, Grenoble*

Mesures in-vivo des propriétés élastiques de tissus mous, applications aux GMCAO

Un des objectifs des GMCAO est de construire un patient numérique reflet le plus fidèle possible du patient réel. Il s'agit notamment de modéliser le comportement des tissus mous pendant le geste chirurgical. Pour obtenir une précision des simulations patient-spécifiques, il faut pouvoir mesurer les propriétés élastiques des tissus mous in vivo. Nous proposons deux dispositifs prototypes, stérilisables et utilisables au bloc opératoire, basés sur une méthode d'aspiration. Dans les deux prototypes la déformation du tissu aspiré est capturée sous forme d'une image et mesurée. La loi de comportement est déterminée par une stratégie de minimisation de l'écart calcul sur un modèle-mesure. Des premières expériences de faisabilité sont montrés sur différents tissus (langue, peau, cerveau).

### **Références bibliographiques**

- [1] P. Schiavone, T. Boudou, E. Promayon, P. Perrier, Y. Payan. A Light Sterilizable Pipette Device for the in Vivo Estimation of Human Soft Tissues Constitutive Laws. In IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC), Pages 4298-4301, August 2008.
- [2] P. Schiavone, F. Chassat, T. Boudou, E. Promayon, F. Valvidia, Y. Payan. In Vivo Measurement of Human Brain Elasticity Using a Light Aspiration Device. Medical Image Analysis, 13(4):673-678, August 2009.

## **Michael Tanter**

*Institut Langevin, Laboratoire Ondes et Acoustique, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, INSERM, Paris, France.*

Imagerie des propriétés visco-élastiques du corps humain par échographie ultrarapide

Est-il possible d'aider à détecter et caractériser les tumeurs par la mesure de leurs propriétés mécaniques ? Existe-t-il des variables biomécaniques dont les valeurs sont caractéristiques de certains types tumoraux ? Une réponse positive à la première question pourrait amener une méthode de détection des tumeurs non irradiantes; une réponse positive à la seconde améliorerait la spécificité du diagnostic évitant des interventions inutiles. C'est précisément à ces deux questions que les techniques d'élastographie, c'est-à-dire d'imagerie des propriétés élastiques des tissus, cherchent actuellement à répondre.

L'intérêt de ces techniques semble immédiat pour l'aide au diagnostic cancer du sein, tant l'acte de palpation est présent dans ce domaine. Au delà de cette application, le foie est également un organe d'intérêt, les propriétés mécaniques étant rapidement modifiées en cas de fibrose, de sclérose et de dégénérescence tumorale. L'évaluation de l'élastographie est actuellement en cours sur de nombreux autres organes tels que la prostate, la thyroïde ou encore le rein. En cardiologie, la caractérisation du tissu myocardique, à la fois sur les plans structurel (tissu sain, ischémique, fibrose, ...) et fonctionnel (contraction, relaxation, élasticité...), reste aussi un défi en dépit de tentatives multiples réitérées depuis de longues années. Au-delà du domaine d'application en cardiologie, les pathologies vasculaires périphériques liées à l'athérosclérose et aux maladies non athéroscléreuses sont fréquentes et posent encore souvent des problèmes respectifs de diagnostic précoce pour les premières et de spécificité de diagnostic pour les secondes. Enfin, le monitoring par élastographie des traitements par ultrasons focalisés ou ablation radio-fréquence est aussi à l'étude. L'étendue des applications potentielles de l'élastographie ultrasonore est vaste, sa pertinence clinique est en cours de démonstration au travers de nombreuses études cliniques.

Après avoir rappelé les principales étapes de l'émergence de cette nouvelle modalité d'imagerie, l'exposé s'intéressa à la technique d'élastographie quantitative basée sur le principe du « Supersonic Shear Imaging » [1,2] ayant donné naissance à la société française Supersonic Imagine en fin 2005. Les principales orientations envisagées et défis futurs à relever pour l'élastographie par échographie ultrarapide seront aussi abordés.

### **Références bibliographiques**

[1] Supersonic shear imaging : a new technique for soft tissues elasticity mapping, J. Bercoff, M. Tanter, M. Fink. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics And Frequency Control., Vol 51(4), pp 396-409, April 2004.

[2] Quantitative assessment of breast lesion viscoelasticity: Initial clinical results using supersonic shear Imaging, Tanter M, Bercoff J, Athanasiou A, Deffieux T., Muller M., Montaldo G. , Tardivon A., Fink M. ULTRASOUND IN MEDICINE AND BIOLOGY, Vol 34, Issue: 9 Pages: 1373-1386 SEP 2008

## **Ralph Sinkus**

*Laboratoire Ondes et Acoustique*

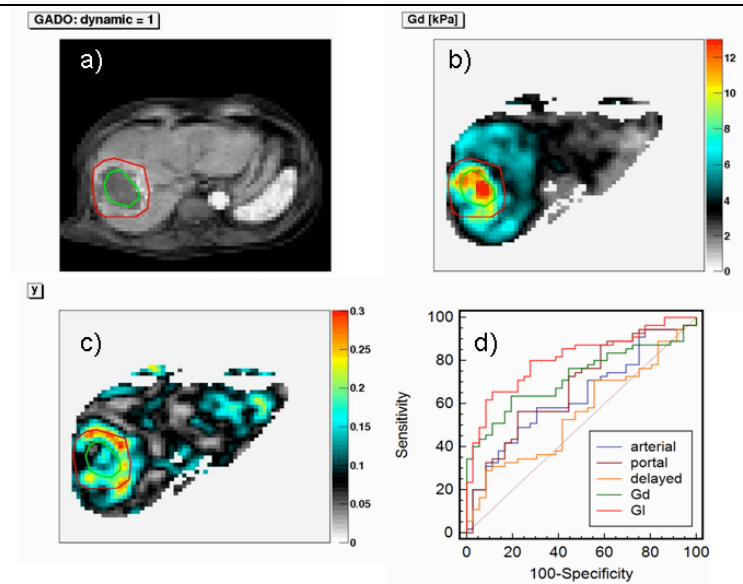
### Liver MR-Elastography

Ever since, palpation has been an integral and important part in the diagnostic procedures of for instance breast cancer detection or liver disease assessment. Thus, the clinical importance of the physical parameter “elasticity = stiffness” is undisputed. Unfortunately, until now, it was not possible to measure elasticity non-invasively and with high spatial resolution in a tomography manner. Elastography is overcoming the former technical limitations and fills an important gap: the non-invasive assessment of tissues mechanical parameters via MRI or ultrasound.

None of the currently available non-invasive imaging techniques like MRI, CT or ultrasound are directly sensitive to elasticity. Thus, elasticity can only be inferred via an intermediate step. Elastography uses the fact that the propagation of low-frequency mechanical waves (similar to the hum of your shaver) is tightly linked to the underlying mechanical properties. Mechanical waves will propagate fast in stiff regions and slow in soft regions [1]. Since MRI and ultrasound are techniques sensitive to motion, it is possible to image the propagation of these waves inside the body. The waves are typically generated via dedicated transducers on the surface and propagate deep into the body. In a second step it is now necessary to “convert” these waves into values of elasticity and viscosity, with viscosity being an indicator of tissue’s ability to absorb the mechanical wave.

Recently, our group conducted a study to explore the potential diagnostic gain provided by the viscoelastic shear properties for liver fibrosis using MR-Elastography. Results from 100 patients show that the stiffness of the liver rises with rising Metavir score and that differentiation between F1 and F2 becomes possible [2]. Thus, MR-Elastography represents a novel technique which provides valuable new clinical information in the domain of liver fibrosis and therefore also in the assessment of the efficacy of anti-fibrotic therapies.

Regarding tumours, we evaluated prospectively the complex shear modulus  $G^* = Gd + iGl$  as measured via MR-elastography in the assessment of malignancy or benignity of liver lesions and compare its performance to those of three enhancement characteristics of a bolus passage. 100 liver tumours (40 benign, 60 malignant) in 63 patients were evaluated.



Figs.1a-c) show an example of a hepatocholangiocarcinoma in combination with a cirrhotic component (hence strongly elevated elasticity values in the parenchyma when compared to normal liver tissue [2]). The bolus image a) of the arterial phase shows well the presence of a lesion with ring-like enhancement pattern and lower central enhancement. The corresponding images of  $Gd$  (b) and ratio of  $Gd/Gl$  (c) show well a central stiff (fibrotic) area and a viscous outer periphery (strongly vascularised) of the tumour. Fig.1d shows the corresponding ROC curves for the various parameters, i.e. arterial relative enhancement ( $AUC=0.64\pm 0.06$ ), portal relative enhancement ( $AUC=0.68\pm 0.06$ ), delay relative enhancement ( $0.56\pm 0.06$ ),  $Gd$  ( $AUC=0.72\pm 0.05$ ) and  $Gl$  ( $AUC=0.81\pm 0.04$ ). It is obvious that the viscosity outperforms all other variables and the difference to the portal information is statistically significant ( $p=0.038$ ). As a novel finding, this analysis suggests that the shear viscosity appears as a pertinent parameter for the characterization of malignancy. It outperforms the different “classical” information provided by the bolus injection.

In conclusion, MR-Elastography allows assessing non-invasively the mechanical parameters of tissue and carries significant diagnostic potential in the domains of liver, but also for breast cancer and neuro-degenerative diseases.

### Références bibliographiques

- [1] Muthupillai R, et al. Science 1995;269:1854–1857
- [2] Huwart L, et al. Gastroenterology. 2008 Jul;135(1):32-40.

## **Rémy Willinger**

*Systèmes Biomécaniques Institut de Mécanique des Fluides, Univ. Strasbourg, CNRS, IMFS,  
2 rue Boussingault Strasbourg - Willi@imfs.u-strasg.fr*

Caractérisation expérimentale et modélisation de tissus biologiques

Les propriétés mécaniques des tissus mous humain jouent un rôle essentiel en biomécanique, avec des applications en médecine pour la détection d'anomalies ou de tumeurs, en télé-chirurgie lorsqu'il s'agit d'estimer des retours d'efforts, et en ergonomie ou en biomécanique des chocs lorsqu'il est question de réponse mécanique du corps humain à un chargement physiologique ou extrême. Après un bref rappel des hypothèses de bases qui sont à l'origine des différents modèles mécaniques des tissus mous (élastique linéaire, visco-élastique linéaire, hyper-élastique, hyper-visco-élastique) l'exposé présentera une revue des techniques de caractérisation expérimentales à la disposition du chercheur en distinguant les méthodes in vitro des méthodes non invasives applicables in vivo sur le sujet animal ou humain. Après ces généralités une revue détaillée des propriétés mécaniques de la matière cérébrales et de sa modélisation sera présentés avec une ouverture vers la notion de blessure en cas de choc. Une deuxième partie se focalisera sur le tissu hépatique en mettant l'accent cette fois sur les différences de propriétés mécaniques enregistrées in vitro et in vivo sur un même sujet animal. Enfin la conclusion présentera une synthèse des développements nécessaires dans ce domaine.

### **Références bibliographiques**

- [1] Nicolle S., Lounis M., Willinger R : Shear properties of brain tissue over a frequency range relevant for automotive impact situations : New experimental data. *Stapp Car Crash J.* 2004, Vol 48, 239-258
- [2] Nicolle, S., Lounis, M., Willinger, R. and Paliarne J-F. (2005). Shear Linear Behavior of Brain Tissue over a Large Frequency Range. *Biorheology* 42(3), 209-223.
- [3] Vappou J., Willinger R., Breton E., Choquet P., Goetz C., Constantinesco A., "Dynamic viscoelastic shear properties of soft matter by Magnetic Resonance Elastography using a low-field dedicated system", *J. Rheol.* 2006, Vol 50, Issue 4, pp531, 541.
- [4] Vappou J., Breton E, Choquet P, Goetz C., Willinger R., Constantinesco A. : Magnetic resonance elastography compared with rotational rheometry for in vitro brain tissue viscoelasticity measurement. *Accepté dans MAGMA* en decembre 2007.
- [5] Vappou J., Breton E., Choquet P., Willinger R., Constantinesco A. : Assessment of in-vivo and post-mortem mechanical behaviour of brain tissue using magnetic resonance elastography. *J Biomech.* 2008, Vol 41, pp2954-2959.
- [6] Deck C, Willinger R : Improved Head Injury Criteria Based on Head FE Modeling. *Int J of Crashworthiness*, 2008, Vol 13, N°6, pp 667-679.
- [7] Oudry J, Bastard C., Miette V., Willinger R., Sandrin L : Copolymer-in-oil phantom materials for elastography. *Ultrasound in Med & Biol.* 2009, Vol 35, N7, 1185-1197.
- [8] J. Oudry, J. Vappou, P. Choquet, R. Willinger, L. Sandrin, and A. Constantinesco, Ultrasound-based Transient Elastography compared to Magnetic Resonance Elastography in soft tissue-mimicking gels, *Phys Med Biol*, 2009, N°54, 6979-6990.
- [9] Oudry J, J. Chen, K.J. Glaser, V. Miette, L. Sandrin, R.L. Ehman, Cross-Validation of Magnetic Resonance Elastography and Ultrasound-Based Transient Elastography: A Preliminary Phantom Study, *J Magn Res*, accepted, 2009.



## **Jacques Ohayon**

*Laboratory TIMC-IMAG, DynaCell, CNRS UMR 5525, Institut de l'Ingénierie et de l'Information de Santé (In3S), Grenoble, France. Email : Jacques.Ohayon@imag.fr*

### **Atheroma Plaque Modulography and Rupture Prediction**

Vulnerable atherosclerotic plaque rupture is a recognized major cause of acute coronary syndrome. Such vulnerable plaques can be detected clinically by various techniques, including intravascular ultrasound (IVUS), optical coherence tomography, computed tomography and magnetic resonance imaging. Detecting lesions vulnerable to rupture is a major issue, as it could lead to the development of specific treatment strategies for the prevention of acute thrombotic events. Clinical and biomechanical studies performed recently by our group have originally identified new morphological factors as the key predictors of vulnerability to rupture. Moreover, it is now recognized that prediction of the vulnerable coronary plaque rupture requires not only an accurate quantification of fibrous cap thickness and necrotic core morphology but also a precise knowledge of the mechanical properties of plaque components. Therefore, a theoretical study was designed to determine the modulogram of complex atherosclerotic plaques by developing an original pre-conditioning step for the optimization process, and a new approach combining a dynamic watershed segmentation method with the optimization procedure to extract the morphology and Young's modulus of each plaque component. This combined approach, based on the continuum mechanics theory prescribing the strain field, was successfully applied to 7 coronary lesions of patients imaged in vivo with IVUS. The robustness and performance of the method was investigated with regard to various factors which may affect prediction of plaque vulnerability.

### **Références bibliographiques**

- [1] Ohayon J, Finet G, Gharib A, Herzka D, Tracqui P, Heroux J, Rioufol G, Kotys M, Elagha A and Pettigrew R.I. Necrotic Core Thickness and Positive Arterial Remodeling Index: Emergent Biomechanical Factors for Evaluating the Risk of Plaque Rupture. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2008 Jun;295:H717-727.
- [2] Le Floc'h S, Ohayon J, Tracqui P, Finet G, Gharib A, Maurice R. L, Cloutier G and Pettigrew R. I. Vulnerable atherosclerotic plaque elasticity reconstruction based on Coupling dynamical segmentation with optimization of strain measurements. *IEEE- Transaction on Medical Imaging*, 2009 (in press).
- [3] Ohayon J, Dubreuil O, Tracqui P, Le Floc'h S, Rioufol G, Chalabreysse L, Thivolet F, Pettigrew RI, Finet G. Influence of residual stress/strain on the biomechanical stability of vulnerable coronary plaques: potential impact for evaluating the risk of plaque rupture. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2007 Sep;293(3):H1987-96.