

# Workshop

## « Soft Material Models »

# PROGRAMME

## Résumés des conférences et titres des posters

**Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc**

# Workshop « Soft Material Models »

## Organisateurs



## Partenaires



Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

# Workshop

## « Soft Material Models »

### Objectif

La modélisation des comportements en transformations finies, des matériaux de type élastomère ou des tissus biologiques mous, est de plus en plus fréquente dans les processus de dimensionnement des pièces industrielles ou de simulation du comportement d'organes ou tissus biologiques. Cependant la complexité de ces comportements et la nécessité d'en maîtriser les mécanismes induisent le besoin de développer des modèles sophistiqués et fiables, notamment lorsqu'il s'agit de comportements de pièces liées à la sécurité, dans les domaines de l'industrie, ou d'organes vitaux pour le domaine de la santé. Ce workshop vise à rassembler la communauté des chercheurs de l'industrie et des universités intéressés par la modélisation de ces comportements. Il dressera un bilan des travaux de recherche et des applications pour la modélisation des systèmes mécaniques ou biologiques, récemment développés.

### Thèmes Scientifiques

- Modèles de comportement
- Modélisation multi-échelle
- Méthodes expérimentales et caractérisation
- Méthodes numériques
- Fatigue et rupture
- Matériaux biologiques et tissus mous
- Matériaux élastomères intelligents
- Comportement dissipatif, amortissement
- Applications industrielles

# Workshop « Soft Material Models »

Le workshop, Soft Material Models, est organisé par l'Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche Ingénierie des Systèmes Mécaniques Energétiques Complexes (UTER-ISMEC) Ecole Centrale Casablanca; le Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux (LIMAT) Faculté des Sciences Ben M'Sick Université Hassan II Casablanca; le Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé (LaMé) Université de Tours; le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA) Marseille; l'Université de Wuhan et l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT).

## Comité Scientifique et d'Organisation

- Makrem Arfaoui, ENIT, Tunisie.
- Adnane Boukamel, UTER-ISMEC ECC, Maroc.
- Bruno Cochelin, LMA Centrale Méditerranée, France.
- Nouredine Damil, LIMAT-UH2C, UTER ISMEC-ECC, Maroc.
- Heng Hu, Wuhan University, Chine.
- Stéphane Lejeunes, LMA Marseille, France.
- Stéphane Méo, LaMé Université de Tours, France.

## L'Equipe d'Organisation est composée de :

- Eliass El Alami, ISMEC, Laboratoire Systèmes Complexes et Interactions
- Ayoub Ouardi, ISMEC, Laboratoire Systèmes Complexes et Interactions, LIMAT
- Sita Kaba, ISMEC, Laboratoire Systèmes Complexes et Interactions, LIMAT

## La Communication de l'Evènement est animée par :

- Omar Layachi Directeur Développement & Communication
- Salma Khayatei Houssaini, chef de projet communication et développement, École Centrale Casablanca
- Majda Benyahia, responsable communication, École Centrale Casablanca

# Workshop « Soft Material Models »

## Conférences

**Jeudi 01 juin 2023**

08h00 – 08h40 : **Accueil.**

**Chairman : Driss Ouazar, Académie Hassan II des Sciences et Techniques.**

08h40 – 09h30 : **Mots d'ouverture.**

09h30 – 10h30 : **Conférence 1 Martine Ben Amar.** Morpho-élasticité des systèmes vivants par l'exemple : les feuilles et l'embryon de *C. elegans*.  
ENS & Sorbonne Université, Paris.

10h30 – 10h45 : **Pause-café.**

**Chairman : Nouredine Damil, LIMAT-FSBM/UH2C, ISMEC-ECC.**

10h45 – 11h45 : **Conférence 2 Claude Stolz,** Mécanique de la rupture et chargement cyclique en transformations finies.  
Laboratoire IMSIA commun ENSTA, EDF, CEA, CNRS à Palaiseau Campus.

11h45 – 12h45 : **Conférence 3 Bruno Cochelin,** Modes de vibrations non-linéaires pour les élastomères et les tissus mous.  
Centrale Méditerranée.

12h45 – 14h00 : **Repas.**

**Chairman : Said Aniss, Société Marocaine des Sciences Mécaniques.**

14h00 – 15h00 : **Conférence 4 Jamel Neji, Ilhem Borcheni, Mohamed Boudabbous,** Modélisation thermo-visco-élasto-plastique du comportement des bitumes et enrobés bitumineux sous sollicitations cycliques. Application aux essais de module complexe et d'orniérage.  
ENIT, Tunisie.

15h00 – 16h00 : **Conférence 5 Adel Hamdi,** Modélisation du comportement mécanique des élastomères et prévision de leurs tenues sous chargement biaxial.  
ENIT, Tunisie.

16h00 – 16h15 : **Pause-café.**

**Chairman : Adnane Boukamel, ISMEC-ECC.**

16h15 – 17h15 : **Conférence 6 Moussa Nait Abdelaaziz, Reda Kadri, Andréas Hottin,** Effets du vieillissement photo-oxydatif sur les propriétés ultimes des élastomères en chargement monotone et en fatigue.  
Université de Lille.

17h15 – 17h45 : **Séance Posters -Présentation générale.**

17h45 – 19h00 : **Séance Posters - Visite des posters.**

# Workshop « Soft Material Models »

## Conférences

Vendredi 02 juin 2023

**Chairman : Bruno Cochelin, Centrale Méditerranée, LMA-CNRS Marseille.**

08h15 – 09h15 : [Conférence 7](#) **Olivier Boiron**. Modèles poro-élastiques du comportement mécanique des tissus mous.  
Centrale Méditerranée.

09h15 – 10h15 : [Conférence 8](#) **Jie Yang, Wei Huang, Qun Huang, Heng Hu** Data-model-coupling computing for composite materials and structures.  
Wuhan University, Chine.

10h15 – 10h30 : **Pause-café.**

**Chairman : Stéphane Méo, LaMé Université de Tours.**

10h30 – 11h30 : [Conférence 9](#) **Mohamed Ben Bettaieb**, Approches multi-échelles pour une prédiction fiable de la limite de ductilité de matériaux métalliques.  
ENSAM Metz.

11h30 – 12h30 : [Conférence 10](#) **Issam Doghri**<sup>1,2</sup>, Micromechanical modeling of the nonlinear deformation of porous and composite thermoplastic polymers.  
<sup>1</sup>Université catholique de Louvain; <sup>2</sup>e-Xstream engineering sar, Belgium.

12h30– 14h15 : **Repas.**

**Chairman : Hervé Arribart, ECC.**

14h15 – 15h15 : [Conférence 11](#) **Olfa Trabelsi**, Methods in mechanics for tomorrow's medicine: predicting and understanding the mechanical behavior of soft tissue across the scales.  
UTC Compiègne.

15h15 – 16h00 : [Séance Posters - Visite des Posters.](#)

16h15 – 16h30 : **Pause-café.**

**Chairman : Said Gmouh, LIMAT-FSBM/UH2C.**

16h30 – 17h30 : [Conférence 12](#) **Stéphane Méo**<sup>1</sup>, **Stéphane Lejeunes**<sup>2</sup>, **Adnane Boukamel**<sup>3</sup>, Couplage Thermo-chemomécanique, pour le vieillissement des élastomères.

<sup>1</sup>Université de Tours, <sup>2</sup>LMA-CNRS-Marseille, <sup>3</sup>Ecole Centrale Casablanca.

17h30 – 18h30 : [Conférence 13](#) **Makrem Arfaoui**, Khalil Mansouri, Elastostatic fields near the crack front in an initially stressed hyperelastic solid : mechanical and numerical analysis.  
ENIT, Tunisie.

19h00-19h15 : **Clôture.**

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

*Morpho-élasticité des systèmes vivants par l'exemple : les feuilles et l'embryon de C.elegans*

*Martine Ben Amar*  
*ENS & Sorbonne Université*



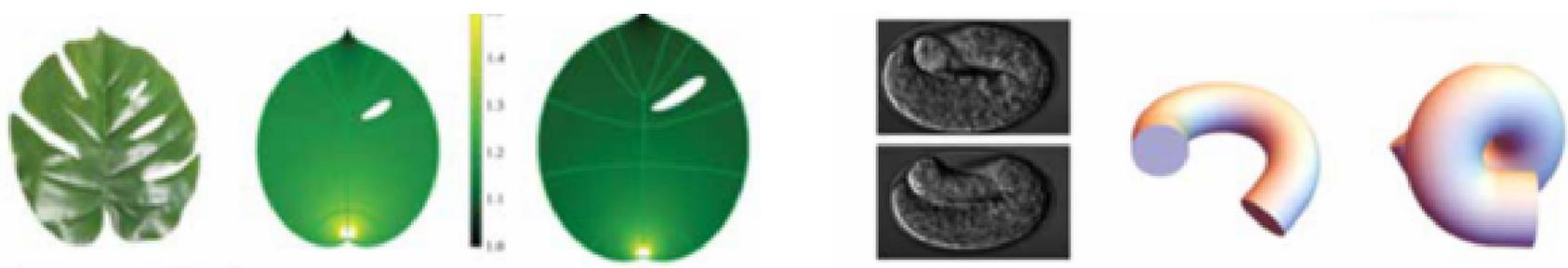
Au cours de la morphogenèse et de l'embryogenèse, la forme des espèces vivantes résulte de la croissance, du relâchement des contraintes et du remodelage. Dans cette présentation deux systèmes seront évoqués : les feuilles des arbres et l'embryon de *C. elegans*.

Lorsque la croissance ne génère aucune contrainte, la forme du corps ne fait que refléter la densité de croissance. En deux dimensions, nous montrons que les configurations sans contrainte sont simplement déterminées par l'évolution temporelle d'un mapping conforme qui concerne non seulement la frontière mais aussi le champ de déplacement. L'application de ce modèle à des feuilles planes démontre qu'elles ne présentent pas de contrainte résiduelle et que leur forme peut être facilement représentée. Le facteur de croissance, isotrope ou anisotrope, est lié à la métrique entre les mappings conformes. En ajustant la fonction mathématique de forme, les principales caractéristiques des feuilles telles que les pointes (convexes ou concaves ou à pointes acérées), les bordures ondulées et les nervures peuvent être déterminées mathématiquement en bon accord avec les observations.

Le ver *C. elegans*, système modèle en biologie, présente des phases de transformation à masse constante dans son œuf, avant l'éclosion. Dans les 4 heures précédant l'éclosion, il va s'allonger en deux étapes : une première étape de contraction circumférentielle due au réseau acto-myosine, et une deuxième étape de contractions musculaires cycliques à gauche et à droite par rapport à un axe vertical. Comme les muscles sont contractiles, l'interprétation de cette forte élévation n'est pas intuitive. En considérant les éléments « actifs » tels la myosine ou les muscles, comme des pre-contraintes élastiques, on peut montrer quantitativement que les cycles de contractions latérales peuvent conduire à une élévation globale de l'ordre de 300% en accord avec les résultats expérimentaux.

1) "Minimizing the Elastic Energy of Growing Leaves by Conformal Mapping", Anna Dai and MBA, Phys.Rev.Lett. 2022

2) "Cyclic muscle contractions reinforce the acto-myosin motors and mediate the full elongation of C-elegans embryo", Anna Dai and MBA, preprint 2023



# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## MÉCANIQUE DE LA RUPTURE ET CHARGEMENT CYCLIQUE EN TRANSFORMATIONS FINIES

C. Stolz,

IMSIA-UMR9219, claude.stolz@cns.fr



*On présente quelques aspects de la mécanique de la rupture des milieux hyperélastiques, on montre en particulier que les champs asymptotiques de contraintes et de déformations n'ont pas les mêmes singularités que ceux des champs en petite transformation, on montre par ailleurs les difficultés inhérentes à la détermination des caractéristiques associées à la rupture.*

*On présente une approche globale de l'effet Müllins et l'implication d'une déformation rémanente à la décharge. On présente quelques conséquences de ces déformations sur la réponse d'une structure précédemment déformée. On propose un modèle simple pour caractériser la réponse cyclique des élastomères.*

Pour un milieu hyperélastique de potentiel  $\mathcal{W}$ , l'état de contrainte  $\Theta$  ne dépend que de l'état actuel des déformations  $\mathbf{C}$ . On montre qu'il existe des intégrales de contour invariantes en se référant à la configuration initiale, on introduit l'homologue du tenseur d'Eshelby

$$\mathbf{P} = \mathcal{W} \mathbf{I} - \Theta \cdot \mathbf{F}, \quad \text{Div } \Theta^t = 0, \quad \Theta = \frac{\partial \mathcal{W}}{\partial \mathbf{F}}, \quad \text{Div } \mathbf{P}^t = 0 \quad (1)$$

pour un milieu homogène. Alors, pour une fissure droite, dans un plan, pour des lèvres  $S^\pm$  sans contraintes

$$\int_{\Omega} \text{Div } \mathbf{P}^t \, d\omega = \int_{\partial\Omega} \mathbf{N} \cdot \mathbf{P} \, dA = 0 \quad (2)$$

$$S^\pm : \Theta \cdot \mathbf{N} = 0, \quad J = \int_{\Gamma_1} \mathbf{N} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{E}_x \, dA = \int_{\Gamma_2} \mathbf{N} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{E}_x \, dA \quad (3)$$

Il convient alors de caractériser les singularités potentielles des champs pour une fissure droite dans un milieu hyperélastique comme celles d'une fissure droite en chargement anti-plan, et en mode d'ouverture pure.

Quand on gonfle un ballon, ou que l'on allonge une membrane en élastomère, à la décharge on ne recouvre pas l'état initial. Une déformation rémanente existe due divers à divers mécanismes : cristallisation sous contraintes, rupture de ponts entre chaîne, présence d'une réticulation, etc... De façon constitutive, les élastomères sont un assemblage de chaînes plus ou moins enchevêtrées, lors d'une extension cet enchevêtrement change de forme.

L'énergie de déformation d'un polymère est l'énergie stockée par chaque chaîne lors de sa déformation. Une chaîne est caractérisée par son rayon  $R$  et sa direction  $D_\alpha$ , grandeurs définies par la position des extrémités de la chaîne. Une transformation homogène déforme la direction  $\alpha$  comme sa dilatation :  $\lambda_\alpha^2 = D_\alpha \cdot \mathbf{C} \cdot D_\alpha$  et l'énergie devient

$$\mathcal{W}(\mathbf{F}) = \int_{\Omega} \int_n p(n, d\Omega_\alpha) \Phi(n, \lambda_\alpha) \, d\Omega_\alpha \quad (4)$$

$p$  est la probabilité de trouver une chaîne de  $n$  monomères d'orientation  $\alpha$  dans l'angle solide  $d\Omega_\alpha$ . Au lieu d'intégrer sur toutes les directions, on se limite à  $N$  directions et l'on introduit de plus pour chaque direction, une dilatation rémanente  $\lambda^l$  de telle sorte que

$$\mathcal{W}(f, \lambda_\alpha^l) = \sum_{\alpha} p_{\alpha} \Phi(\lambda_{\alpha}, \lambda_{\alpha}^l) \quad (5)$$

où l'énergie  $\Phi$  peut-être estimée par la réponse d'un cylindre en traction uni-axiale. Les poids  $p_{\alpha}$  étant bien choisi, pour respecter les propriétés de symétries du polymère. On analyse les possibilités de ce modèle simple. À partir de ces résultats, on définit une courbe de traction cyclique qui décrit la réponse "stabilisée" cyclique à partir de laquelle on définit un critère de rupture sous chargement cyclique.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Modes de vibrations non-linéaires pour les élastomères et les tissus mous

Bruno Cochelin

LMA, Centrale Marseille



### Résumé :

Actuellement au LMA, on peut recenser au moins trois projets qui concernent des tissus biologiques soumis à des vibrations non-linéaires sous écoulement. Il s'agit des lèvres du joueur d'un instrument de musique de la famille des cuivres, des cordes vocales humaines lors de la phonation, de la luvette et du voile du palais lors du ronflement. Pour chacun de ces projets d'étude, des bancs expérimentaux sont réalisés, en remplaçant les tissus biologiques par des élastomères que l'on espère représentatifs. Ma contribution à ces analyses est de développer des méthodes numériques de continuation de régimes vibratoires pour des systèmes non-linéaires complexes, éventuellement couplés.

Pour cet exposé, dans un premier temps je présenterai rapidement le concept de "modes non-linéaires de vibrations" et montrerai des exemples variés en mécanique des structures puis en acoustique non-linéaire. Ensuite, j'aborderai plus en détail le calcul de ces modes non-linéaires pour les structures hyper-élastiques en grandes déformations, discrétisées par éléments finis. Les limites de l'approche seront pleinement discutées.

Dans un second temps, j'aborderai les régimes d'auto-oscillations complexes que l'on peut simuler dans le même esprit, avec le logiciel Manlab développé au LMA.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

*Soft Material Models*

## Modélisation thermo-visco-élasto-plastique du comportement des bitumes et enrobés bitumineux sous sollicitations cycliques. Application aux essais de module complexe et d'orniérage.

Jamel Neji, Ilhem Borcheni, Mohamed Boudabbous  
Laboratoire des Matériaux, Optimisation et Energie pour la Durabilité (LAMOED), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis,  
ENIT, BP 37, 1002 Tunis Belvédère, Tunisie.  
[jamel.neji@enit.mu.tn](mailto:jamel.neji@enit.mu.tn)



**Thème :** Mettre en **gras souligné** le thème de votre soumission :

- **Modèles de comportement,**
- **Modélisation multi-échelle,**
- Méthodes expérimentales et caractérisation,
- **Méthodes numériques,**
- Fatigue et rupture,
- Matériaux biologiques et tissus mous,
- Matériaux élastomères intelligents,
- Comportement dissipatif, amortissement
- Applications industrielles.

**Mots clefs :** Loi de comportement visco-élasto-plastique, modèle analytique, module complexe, déformation permanente, modélisation numérique.

**Résumé :**

Les enrobés bitumineux sont des matériaux à différents composants tels que les granulats, les fines, les liants bitumineux et les espaces vides, ce qui en fait des composites complexes. La microstructure résultant de l'arrangement des différentes phases est déterminante dans la réponse globale de ces enrobés. Au premier ordre on peut en considérer deux phases : le squelette granulaire et le mastic bitumineux, formé des éléments fins et du bitume, conférant à l'enrobé le caractère « mou ».

Ce travail consiste en une modélisation du comportement des bitumes et des enrobés bitumineux, en petites et grandes déformations. Un modèle rhéologique monodimensionnel généralisé baptisé "2S2P1D", partant du modèle analogique de Huet-Sayegh, a été utilisé dans le domaine des petites déformations. Ce modèle permet de simuler correctement à la fois le comportement visco-élastique linéaire des bitumes et celui des enrobés bitumineux. A partir de ce modèle, une transformation originale –indépendante du modèle– permettant de prédire le module complexe de l'enrobé à partir de celui du bitume est proposée, puis validée. Une suite de cette investigation a consisté en une actualisation du modèle thermo-visco-élasto-plastique « DBN » (Di Benedetto-Neifar) pour une prévision du comportement de l'enrobé bitumineux sous diverses sollicitations (mécaniques et/ou thermiques), en cherchant le lien entre les petites et les grandes déformations. Des simulations grâce à des modélisations tridimensionnelles aux éléments finis de deux essais cycliques fondamentaux largement répandus (l'essai au module complexe et l'essai d'orniérage) sont aussi présentées. Des liens pertinents entre les propriétés des bitumes et des enrobés ont été mis en évidence

Une application directe est de prédire les comportements mécaniques des enrobés bitumineux sous charges de trafic, en prenant en compte le cumul des déformations permanentes, à des plages de températures et de fréquences difficilement accessibles expérimentalement.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Modélisation du comportement mécanique des élastomères et prévision de leurs tenues sous chargement biaxial

*Adel HAMDI, École Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT),  
Laboratoire de Mécanique Appliquée et Ingénierie (LMAI),  
Université de Tunis El Manar (UTM), Campus universitaire, BP 37, 1002 Tunis,  
E-mail : adel.hamdi@enit.utm.tn*



La conception et le dimensionnement des structures, composées totalement ou en partie d'élastomères, constituent une étape essentielle pour leur fiabilité, tant du point de vue sûreté de fonctionnement des systèmes que de sécurité des personnes. Pour concevoir de manière efficace de tels composants industriels il est primordial de prédire la réponse du matériau via des méthodologies simples de modélisation.

*Dans ce contexte, le présent travail porte sur des investigations théorique, expérimentale et numérique du comportement des élastomères. Plus précisément, des aspects liés à l'identification et la modélisation de ces matériaux sous chargements biaxiaux seront traités.*

La première partie concerne la caractérisation du comportement mécanique des élastomères pour des sollicitations biaxiales. Pour ce faire, les grandes lignes de la démarche d'identification des potentiels hyperélastiques ainsi que les différents essais de base mis en œuvre sont présentés. On s'intéressera, par la suite, aux comportements visco-hyperélastiques. Ainsi, la méthodologie d'identification des paramètres, mis en jeu, sera détaillée et les principaux modèles de la littérature seront examinés. Nos investigations sont axées aux modèles viscoélastiques, en déformations finies, avec séparation des effets du temps et de la déformation.

Dans la seconde partie, notre travail est focalisé sur la modélisation des propriétés ultimes de différents types d'élastomères. D'abord, notre travail sera consacré à la mise en place d'un critère de rupture de pièces, travaillant sous sollicitation biaxial. Le critère a été validé sur la base d'essais biaxiaux pour différents trajets de chargement. Ensuite, on s'est intéressé à l'endommagement, par cavitation, dans les pièces soumises à un chargement hydrostatique. En effet, on a validé que le phénomène de rupture est directement lié à une forte pression hydrostatique (chargement confiné) au sein du matériau. Enfin, on a examiné la rupture des pièces caoutchoutiques présentant initialement des fissures sous chargements monotone et cyclique.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

Effets du vieillissement photo-oxydatif sur les propriétés ultimes des élastomères en chargement monotone et en fatigue.



Moussa NAIT ABDELAZIZ, Reda KADRI, Andréas HOTTIN

Université de Lille, Unité de Mécanique de Lille – Joseph Boussinesq ULR 7512, 59000  
Lille, France

Le vieillissement photo-oxydatif des élastomères est un processus de dégradation qui affecte à la fois leur réponse mécanique mais également les propriétés de rupture en chargement monotone ainsi que la durée de vie en fatigue. Deux principaux mécanismes à l'échelle microscopique sont mis en jeu : la post-réticulation et/ou la scission de chaînes, qui agissent de manière concurrentielle mais l'un étant souvent prédominant. Dans les deux cas, les propriétés mécaniques s'en trouvent affectées.

En ce qui concerne la post-réticulation, cela se traduit par un accroissement de la rigidité et une diminution des élongations et contraintes à rupture en chargement monotone. Il en est de même de la durée de vie en fatigue qui diminue de manière substantielle lors du vieillissement.

A travers les recherches menées au laboratoire, nous nous proposons d'illustrer ces aspects au travers de résultats expérimentaux obtenus et de donner quelques éléments de modèles prédictifs que nous avons développés, à la fois en chargement monotone mais également en fatigue.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

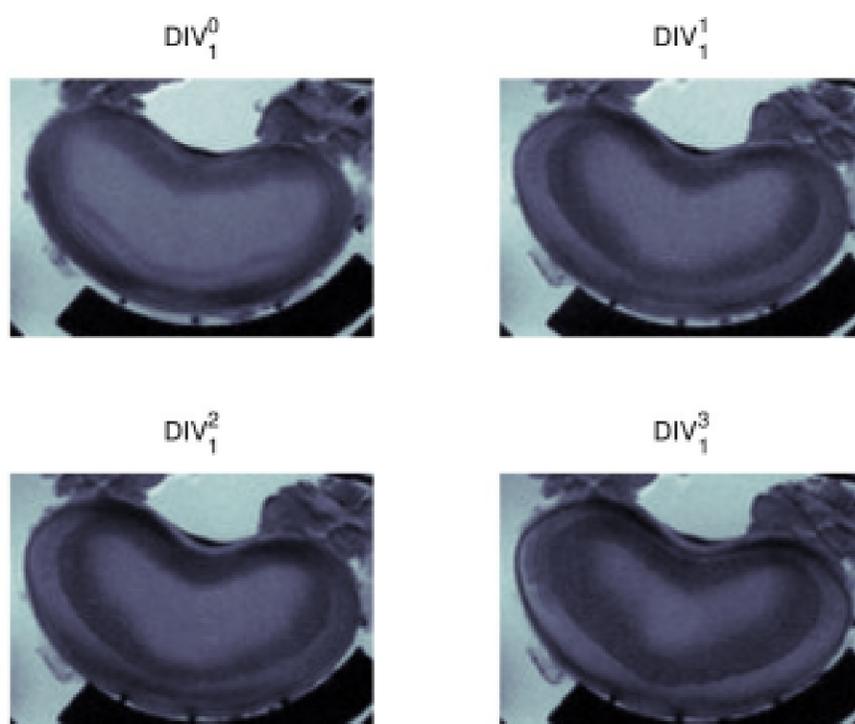
**Modèles poro-élastiques du comportement mécanique des tissus mous.**

Olivier Boiron



Aix Marseille University, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, Marseille, France

La théorie poroélastique est la théorie du comportement élastique de milieux poreux *i.e.* de milieux dont la composition peut être représentée par l'addition d'une matrice solide et de pores qui peuvent être eux mêmes interconnectés ou non et partiellement ou totalement saturés par une phase liquide. La structure de nombreux tissus biologiques peut être ramenée à une description de ce type avec dans le cas le plus simple la matrice extracellulaire, ou MEC, jouant le rôle de squelette solide et l'eau interstitielle celui de la phase liquide saturée. Ces modèles sont utilisés avec succès pour décrire le comportement de nombreux tissus comme par exemple les tissus osseux, cartilagineux ou les encore les organes mous. Nous avons utilisé cette approche pour modéliser le couplage entre le comportement mécanique et le transport de nutriments au sein d'un tissu très singulier, un fibrocartilage situé au sein de la colonne vertébrale, le disque intervertébral (DIV). Cet organe assure la jonction entre deux corps vertébraux adjacents. Il confère au rachis sa cohésion en liant les surfaces articulaires des corps vertébraux entre elles et sa mobilité car c'est un tissu très déformable. Plusieurs modèles de comportement multiphysiques de ce tissu très hétérogène ont été développés avec des degrés divers de sophistication. Ces modèles prennent tous en compte la pression interne d'origine électrochimique et des équations de transport au sein de la phase liquide des principaux nutriments (oxygène, glucose et lactate) impliqués dans le métabolisme des cellules discales, les chondrocytes. Nous avons pu ainsi mettre en évidence le couplage entre comportement biomécanique et efficacité des processus nutritionnels et le rôle central tenu dans ces tissus par la porosité. Parallèlement à ces études théoriques et numériques nous présenterons les travaux expérimentaux que nous avons mis en place pour valider les résultats précédents. Ces études sont menées en collaboration avec le Centre de Résonance Magnétique pour la Biologie et la Médecine (CNRS UMR7339), l'Institut Fresnel (CNRS UMR6133) et le service de chirurgie vertébrale de l'AP-HM La Timone.



*Coupe transverse d'un disque intervertébral porcin sous divers états de compression axiale. L'IRM est pondérée en densité de proton, le niveau de gris code la porosité du milieu. Au repos ( $DIV_1^0$ ) l'eau est essentiellement contenue dans la partie centrale (le noyau pulpeux), sous contrainte elle est progressivement chassée en périphérie dans l'anneau fibreux où elle est évacuée vers l'extérieur.*

*Ghiss et al. (2016). Quantitative MRI water content mapping of porcine intervertebral disc during axial compression. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 19-10, 1079-1088*

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Data-model-coupling computing for composite materials and structures

Jie Yang, Wei Huang, Qun Huang and Heng Hu

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China, [huheng@whu.edu.cn](mailto:huheng@whu.edu.cn)



### ABSTRACT

Multiscale simulation methods for composite materials and structures have been intensively developed during the past decades. The balance between the computational efficiency and accuracy remains one of the main issues. Recently, the Data-Driven Computational Mechanics (DDCM) opens a new route to achieve this balance. By directly embedding the constitutive data into mechanical simulations, it bypasses the empirical material constitutive modelling, thus reduces the related cost and modelling error. Obviously, the development of DDCM could be accelerated based on the fruitful achievements of Model-Driven Computational Mechanics (MDCM, which refers to the standard constitutive model-based simulations), such as model reduction techniques, homogenization methods, domain decomposition techniques, etc. In this work, we will discuss two potential combinations between DDCM and MDCM: (1) the data-driven computational homogenization method, where the multilevel finite element technique (FE<sup>2</sup>) is applied to construct accurate constitutive database, and the distance-minimizing data-driven approach is employed to reduce the online computing time; and (2) a domain decomposition coupling technique between DDCM and MDCM, where DDCM is employed for the local region to avoid material modelling errors and uncertainties, whilst MDCM is applied to the remaining regions to benefit from its computational efficiency.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Approches multi-échelles pour une prédiction fiable de la limite de ductilité de matériaux métalliques



*Mohamed Ben Bettaieb,*

*Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, LEM3, F-57070 Metz, France*

L'objectif de cette présentation est de faire le bilan de nos travaux de recherche autour de la modélisation de striction localisée dans les tôles métalliques minces. L'apparition de ce type de striction représente l'état ultime de déformation admissible sur une pièce, puisque ce phénomène est souvent précurseur de ruine. La ductilité (ou formabilité) d'un matériau se mesure par sa capacité à subir des déformations irréversibles sans laisser apparaître de striction localisée. Cependant, les expérimentateurs qui étudient la formabilité de tôles métalliques sont confrontés à de nombreuses difficultés pratiques, tel que le coût élevé de la mise en œuvre des méthodes expérimentales, et l'absence parfois de normes strictes standardisées pouvant ainsi conduire à une forte variabilité des résultats d'un laboratoire d'essais à l'autre. Face à ces difficultés pratiques, de nombreux travaux ont été entrepris depuis plusieurs décennies pour développer des méthodes alternatives basées sur des approches théoriques (analytiques et/ou numériques). Ces approches théoriques reposent essentiellement sur le couplage d'un critère de striction localisée et un modèle de comportement décrivant l'évolution des grandeurs mécaniques du matériau étudié. Dans nos activités de recherche, nous avons principalement utilisé le critère de bifurcation de Rice pour prédire l'apparition de striction localisée. Nous avons couplé ce critère à plusieurs modèles de comportement phénoménologiques ou multi-échelles. Les modèles multi-échelles présentent conceptuellement plusieurs avantages par rapport à la modélisation phénoménologique plus classique : une meilleure prise en compte de la physique de la déformation plastique, prédiction précise de l'anisotropie plastique et de son évolution, modélisation des effets de grains cristallographiques (morphologie et position) ... Pour cela, nous avons conduit depuis une dizaine d'années plusieurs projets de recherche pour coupler le critère de bifurcation de Rice à plusieurs approches multi-échelles à champ moyen (comme le modèle de Taylor ou auto-cohérent) et à champ complet (la technique d'homogénéisation périodique).

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Micromechanical modeling of the nonlinear deformation of porous and composite thermoplastic polymers

Issam DOGHRI (a) (b)



(a) Université catholique de Louvain, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (IMMC),  
Bâtiment Euler, 4 Avenue G. Lemaître, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

(b) e-Xstream engineering sarl (part of Hexagon Manufacturing Intelligence), 5 rue de Bommel, Z.A.E. Robert  
Steichen, 4940, Luxembourg  
Email: [issam.doghri@uclouvain.be](mailto:issam.doghri@uclouvain.be)

For polymer composites with viscoelastic-viscoplastic (VE- VP) constituents, two mean-field homogenization (MFH) models based on completely dissimilar theoretical approaches are extended from elasto-viscoplasticity (EVP) to VE-VP and assessed. The first approach is the incremental-secant method. It relies on a fictitious unloading of the composite at the beginning of each time step. The second approach is the integral affine method. It starts by linearizing the rates of viscoplastic strain and internal variables. The linearized constitutive equations are then recast in a hereditary integral format to which the Laplace-Carson (L-C) transform is applied.

For porous materials, MFH models are usually unable to predict any plasticity under hydrostatic loadings or other high stress triaxiality cases. A predictive micromechanical approach is proposed. It is based on an alternative microstructure made of inelastic inhomogeneities embedded in a homogenized porous matrix phase, and the volume fractions are determined from a maximum packing argument. The effective properties of single coated cavities are computed either with Gurson's solution in the rigid-perfectly plastic case or with an energy-based approach coupled with full-field finite element (FE) analyses in the elasto-plastic hardening regime. Next, the alternative microstructures are homogenized with mean-field (MF) models.

In all cases, the accuracy of the proposed micromechanical approaches was assessed against full-field finite element (FE) results for different microstructures and loadings.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc



Methods in mechanics for tomorrow's medicine: predicting and understanding the mechanical behavior of soft tissue across the scales.

Olfa Trabelsi

Université de Technologie de Compiègne, CNRS, Biomechanics and Bioengineering,  
Centre de Recherche Royallieu, CS 60 319 - 60 203 Compiègne Cedex, France

## Abstract

To understand the mechanical behaviour of soft tissue, microscale should be taken into account as microstructure and macroscopic mechanical properties are closely related. Considerable efforts have been made by the scientific community to define and quantify this relationship between the scales. However, it is so far impossible to accurately predict the macroscopic mechanical properties of soft tissues from the properties of their microstructures.

Some methods based on image treatment will be presented to predicting and understanding the mechanical behavior of soft tissue across the scales.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc



## Couplage Thermo-chemo-mécanique, pour le vieillissement des élastomères

Stéphane Méo<sup>1</sup>, Stéphane Lejeunes<sup>2</sup>, Adnane Boukamel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de mécanique Gabriel Lamé (LaMé), EA7494, Université de Tours, Université d'Orléans, INSA Centre Val de Loire, 7 avenue Marcel Dassault, Tours F-37200, France

<sup>2</sup>LMA-CNRS Laboratoire de mécanique et d'Acoustique, Marseille, France

<sup>3</sup>Centrale Casablanca, Centre de Recherche Systèmes Complexes et Interactions, Ville Verte, Bouskoura, 27182, Morocco

Nous proposons, à travers cette présentation, de faire un bilan d'approches de modélisations développées durant une quinzaine d'années qui permettent de décrire le comportement d'élastomères techniques.

En effet, ces matériaux exhibent un comportement complexe avec de nombreux effets non-linéaires qui leur sont spécifiques (effet Mullins et Payne par exemple) en particulier lorsqu'ils sont soumis à des chargements cycliques.

Nous nous focaliserons plus particulièrement sur le cadre de modélisation qui permet de rendre compte du comportement mécanique et de phénomènes multiphysiques fortement couplés tel que du vieillissement thermomécanique.

# Workshop « Soft Material Models »

Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc

## Elastostatic fields near the crack front in an initially stressed hyperelastic solid : mechanical and numerical analysis

Makrem Arfaoui <sup>(a)</sup> and Khalil Mansouri <sup>(a)</sup>

with

Fahmi Grine <sup>(a)(b)</sup>, Thomas Homolle <sup>(d)</sup>, Amine Karoui <sup>(a)</sup>, Yves Renard <sup>(b)</sup>,  
Giuseppe Saccomandi <sup>(c)</sup>, Mohamed Trifa <sup>(a)</sup>



<sup>(a)</sup> National Engineering School of Tunis, LR-11-ES19 Laboratory of Applied Mechanics and Engineering, 1002, Tunis, Tunisia

<sup>(b)</sup> Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, ICJ UMR5208, LaMCoS UMR5259, F-69621, Villeurbanne, France

<sup>(c)</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università degli studi di Perugia, , 06125 Perugia Italy

<sup>(d)</sup> Centre de Technologie de Ladoux, MICHELIN

The presence of initial stress in natural and manufactured materials and structures has been known for a long term and it is experimentally well attested in diverse scopes from biomechanics, geophysics, to welded structures and manufacturing. From a physical viewpoint, the initial stress can be a result of incompatible growth and/or plasticity deformation processes and then alters the mechanical properties and the stress distribution. This deformation incompatibility generates singularity due to stress concentration at the micro, meso and macro-scale. Other types of singularities are also present in structures like cracks, corners, voids, inclusions, and other material or geometrical imperfections.

The objective of this work is the analysis of the initial stress influence on the mechanical fields near a crack front in a particular incompressible hyperelastic solid.

The considered threedimensional transformation here is an in-plane deformation superposed to an antiplane one towards a particular generalization of the three-dimensional Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM). The resulted different mechanical fields are functions of the eigenvectors orientation relative to the crack plane and also a weighting parameter relating the shear modulus and the eigenvalues of the initial stress field. Using a set of mathematical transformations, an analogy can be illustrated between the boundary value problem equations for both initially stressed NeoHookean and the unstressed one. Hence, a comparison between the initially-stressed and the unstressed materials has been done through the different asymptotic expansions for multiple mechanical fields. In addition, it is shown that the initial stress field can contribute to the rotation of the crack front and it has an influence on the crack opening shape. Additionally, the initial stress creates a sort of perturbation (oscillations) of the asymptotic solution for the different mechanical fields compared to the unstressed case. Then, the extremums of the different mechanical fields from the displacement and the Cauchy stress components to the strain energy depend on the spectral parameters of the initial stress.

The results obtained in the present work are used for numerical purposes. In fact, the displacement and the pressure asymptotic fields are exploited to enrich the FEM basis leading to a new variant of the XFEM method. A convergence-stability study is then achieved.

### References

Grine, F. (2021). Initially-stressed hyperelastic materials: Modeling, mechanical and numerical analysis of singular problems and identification of residual stress. Doctoral dissertation, INSA de Lyon/Université de Lyon; École nationale d'Ingénieurs de Tunis (Tunisie).

Karoui, A., Mansouri, K., Renard, Y., & Arfaoui, M. (2014). The extended finite element method for cracked hyperelastic materials: a convergence study. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 100(3), 222-242.

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

Unified functional based data-model-coupling computing for composite structures.

**Ping LI, Jie YANG, Yi ZHANG, Lihua XU, Noureddine DAMIL, Heng HU.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

UMaterial database construction for data-driven computing via a continuous path-following method.

**Yongchun XU, Jie YANG, Noureddine DAMIL, Heng HU.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

Hierarchical one-dimensional model for global/local buckling of thin-walled I-section beams.

**Yichen YANG, Yanchuan HUI, Gaetano GIUNTA.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

Structural-genome-driven computing for thin-walled composite structures.

**Xiaowei BAI, Wei YAN, Jie YANG.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

An efficient composites database construction method for data-driven computing.

**Liang LI, Xiaowei BAI, Qian SHAO.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

Data-driven computing for snap-through problems.

**Zengtao KUANG, Qun HUANG, Salim BELOUETTAR**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

A seven-parameter high-order model for stability analysis of variable angle composites

**Tianyun HE, Wei HUANG, Rui HOU, Qun HUANG.**

School of Civil Engineering Wuhan University, 8 South Road of East Lake, Wuchang, 430072 Wuhan, PR China

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

Un modèle hyper-élastique basé sur une approche micro-mécanique pour les matériaux de type caoutchouc.

**Ayoub OUARDI, Adnane BOUKAMEL, Noureddine DAMIL**

Centrale Casablanca, Centre de Recherche Systèmes Complexes et Interactions, Ville Verte, Bouskoura, 27182, Maroc

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc

---

A high-order algorithm for finite transformation elasto-plasticity problems

**Chafik El KIHAL, Abdellah HAMD AOUI, Bouazza BRAIKAT, Noureddine DAMIL, Michel POIER-FERRY, Heng HU**

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc

University of Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France

University of Whuhan, G9P7+CP8, Wuchang District, Wuhan, Hubei, Chine, 430072

Centrale Casablanca, Centre de Recherche Systèmes Complexes et Interactions, Ville Verte, Bouskoura, 27182, Maroc

---

Multi-Scale Modeling of Phosphate Glass Fiber-Reinforced Polyester Composites Using Abaqus.

**H. FOULAH, A. HAMD AOUI, N. DAMIL, E. EL ALAMI, A. BOUKAMEL, M. EL BOUCHTI, O. CHERKA OUI, M. OUMAM.**

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc.

Laboratory REMTEX, Hight School of Textile and Clothing Industries, km 8, Route d'El Jadida, B.P. 7731, Oulfa, Casablanca, Morocco.

---

Development and characterization of phosphate glass fibers and their applications.

**Saloumi Nezha, Iliass Daki, Mehdi Elbouchti, Mina Oumam, Omar Cherkaoui, Hassan Hannache.**

Laboratory of Textile Materials Research (REMTEx) - ESITH Morocco.

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc.

---

Effect of coupling agent on the sizing composition of phosphate glass fibers.

**Chaima Assamadi, Nezha Saloumi, Iliass Daki, Mehdi El Bouchti, Omar Cherkaoui, Mina Oumam**

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc.

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

Development of phosphate glass fibers and study of their chemical and mechanical properties.

**Iliass Daki, Nezha Saloumi, Chaima Assamadi, Mehdi ELbouchti, Mina Oumam, Omar Cherkaoui, Hassan Hannache.**

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc

---

Effets des propriétés rhéologiques d'une solution polymérique sur la stabilité de l'écoulement laminaire entre deux cylindres coaxiaux oscillants.

**Mohamed hayani choujaa, Mehdi Riahi, Saïd Aniss**

Laboratoire de Mécanique, faculté des Sciences Aïn-Chock, B.P.5366 Mâarif, Casablanca-Maroc

Département de Mécanique, Ecole Royale de l'air, Marrakech-Maroc

---

Dynamic control of porous FGM beam with non variable section via flexible piezoelectric transducers.

**K. EL Harti, R. Saadani, M. Rahmoune**

UNIVERSITÉ MOULAY ISMAIL, ECOLE SUPÉRIEURE DE TECHNOLOGIE, Laboratoire d'Etudes des Matériaux Avancés et Applications, Boulevard Mohammed VI, BP 3103, 50040, Meknès, Maroc

---

Fatigue testing of the HAWTB composite Structure.

**M. Lamrhari, O. Rajad**

UNIVERSITÉ MOULAY ISMAIL, ECOLE SUPÉRIEURE DE TECHNOLOGIE, Laboratoire d'Etudes des Matériaux Avancés et Applications, Boulevard Mohammed VI, BP 3103, 50040, Meknès, Maroc

---

Enhancing Precision Agriculture through Fuzzy Logic Based Crop Maturity Detection of Apples.

**IYOUBI El Mehdi, BOUZIANE Khalid, CHERKAOUI Omar, SOULHI Aziz**

Laboratory of Research on Textile Materials (REMTEX), Higher School of Textile and Clothing Industries (ESITH)

---

Enhancing the Electrical Conductivity of Copper Phthalocyanine Ink for Screen Printing on Textiles: An Optimization Study.

**A. Batine, A. Boumeganane, A. Nadi, O. Cherkaoui, M. Tahiri**

Organic Synthesis, Extraction and Valorisation Laboratory (SOEV) faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University

Laboratory of Research on Textile Materials (REMTEX), Higher School of Textile and Clothing Industries (ESITH)

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

Mechanical Study of the degradation of HDPE packaging by Seawater.

**Rabiaa Elkori, Amal Lamarti, Houda Salmi, Khalid El Had, Abdelilah Hachim**

Mechanics, Engineering and Innovation Laboratory, National School of Electricity and Mechanics Hassan II University of Casablanca. Boulevard Abdellah Ibrahim (Ex. Route d'El Jadida), Casablanca, Morocco.

Higher Institute of Maritime Studies, Km 7 Route d'El Jadida, Casablanca, Morocco.

Cadi Ayyad University in Marrakech, National School of applied sciences of Safi, MISCOM Laboratory, Route Sidi Bouzid BP 63 Rue Sidi M'Barek, Safi 46000.

---

Etude des systèmes probabilistes et des mécanismes d'endommagement de CPVC.

**Hind Bennis, Sara Sandabad, Khalid El Had, Anass Maliki, Abdelilah Hachim**

Laboratoire de mécanique, d'ingénierie et de l'innovation à l'École nationale supérieure d'électricité et mécanique à Université Hassan II de Casablanca, Boulevard Abdellah Ibrahim (Ex. Route d'El Jadida) Casablanca, Maroc.

Institut supérieur d'études maritimes Km 7 Route d'El Jadida Casablanca, Maroc.

---

CHEMICAL TREATMENTS OF MOROCCAN SISAL FIBER FOR MECHANICAL APPLICATIONS ON BIOCOMPOSITES.

**Ilham ESSAKET, Mohamed EL WAZNA, Anas EL MALIKI, Omar CHERKAOUI**

Laboratory of Mechanics, engineering and innovation, (LM2I), ENSEM, Hassan II University, Casablanca, Morocco

Laboratory of physic-chemical of applied materials, Sciences Faculty of Ben M'sik, University Hassan II Casablanca Morocco

Laboratory REMTEX, HigherSchool of Textile and clothing Industries, Casablanca Morocco

---

A new chelating support based on Textile fibre waste; synthesis, experimental design and characterization.

**Meriem Saadouni, Ayoub Nadi, Yosra Raji, Omar Cherkaoui, Mohamed Tahiri**

Hassan II University of Casablanca, Faculty of sciences Ain Chock, REMTEX Laboratory, High School of Textile and clothing Industries

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

Enhancement of Piezoelectric Properties in Poly(lactic acid)/Graphene Oxide Nanocomposites.

**KHADIJA OUMGHAR, ADIL EDDIAI, OMAR CHERKAOUI, MOUNIR MEDDAD, M'HAMED MAZROUI**

REMTEX Laboratory, Higher School of Textile and Clothing Industries (ESITH), Casablanca, Morocco

Laboratory of Physics of Condensed Matter (LPMC), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University, Casablanca, Morocco

LAS Laboratory of Setif, Mohamed el Bachir el Ibrahimi BBA University, Algeria

---

The Use of artificial intelligence in the garment industry.

**Chaimae Zouhri, Faouzi Khedher, Amel Babay, Mustapha Hlyal, Jamila El Alami**

LASTIMI Laboratory, University Med V in Rabat/ CELOG, ESITH, Casablanca, Morocco.

Center of Excellence in Logistics (CELOG), ESITH, Casablanca, Morocco.

Textile Engineering Laboratory, University of Monastir, Monastir, Tunisia.

---

Revolutionizing Textiles: Xerogels and Coated Techniques for Water Repellency.

**M. ASSAL, M. EL WAZNA, M. EL BOUCHTI, A. EL BOUARI, O. CHERKAOUI**

Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials (LPCMA), Faculty of sciences Ben M'Sik - HASSAN II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

Laboratory of textile materials research (REMTEX), Higher School of Textile and clothing Industries, Casablanca Morocco.

---

Low-Profile, Highly-efficient, and All-flexible Antenna Enabled by Silver Nanowires for WBAN Applications.

**S.douhi, A. eddiai, O. cherkaoui, M .Mazroui**

Laboratory of Physics of Condensed Matter (LPMC), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II Univesity, Casablanca, B. P 7955, Morocco

REMTEX Laboratory, Higher School of Textile and Clothing Industries (ESITH), Casablanca, Morocco

---

Modélisation en éléments finis d'un enrobé bitumineux incorporant une forte teneur en Revêtement d'Asphalte Recyclé (RAP), de sable de dune et de chaux.

**Ilhem Borcheni, Mohamed Boudabbous, Jamel Neji**

Laboratoire des Matériaux, Optimisation et Energie pour la Durabilité (LA-MOED), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, ENIT, BP 37, 1002 Tunis Belvédère, Tunisia.

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

LA MODÉLISATION EN éléments FINIS DU COMPORTEMENT À L'ORNIÉRAGE DES MATÉRIAUX BITUMINEUX RECYCLÉS AVEC AJOUT DU SABLE DE DUNE ET DE CHAUX.

**Mohamed Boudabbous, Ilhem Borcheni, Jamel Neji**

Laboratoire des Matériaux, Optimisation et Energie pour la Durabilité (LA-MOED), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, ENIT, BP 37, 1002 Tunis Belvédère, Tunisia,

---

Les perspectives d'utilisation des smarts textile dans le domaine électronique.

**A. Boumegnane, A. Batine, A. Nadib, O. Cherkaoui, M. Tahiri**

REMTEX Laboratory-ESITH Water and Environment Engineering Casablanca Morocco.

---

Thermal and Dynamic Mechanical Analysis of phosphate glass fiber reinforced polyester composites.

**Manar Slimane, Mehdi El Bouchti, Saloumi Nezha, Mina Oumam, Hassan Hannache, Omar Cherkaoui**

Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux, LIMAT, Casablanca, Maroc.

Laboratory REMTEX, ESITH (Higher School of textile and clothing industries), Casablanca, Morocco.

Materials Science and Nanoengineering Department, Mohammed VI Polytechnic University, Benguerir, Morocco.

OCP group Casablanca

---

Study of the printing parameters' effect on the impact strength of FDM-built parts.

**Asma BELHADJ, Salma SLAMA, Mohamed Hichem HABOUBA, Mahfoudh AYADI, Tarek MABROUKI1**

Applied Mechanics and Engineering Laboratory (LMAI), National School of Engineers of Tunis (ENIT), Tunis el Manar University, Tunisia.

AKWEL Society, Mateur, Tunisia.

National School of Engineers of Bizerte (ENIB), Carthage University, Tunisia.

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

FE fracture analysis of two elastomers NR and SBR using the integral J

**Adel HAMDI, Zaineb BACCOUCH**

Applied Mechanics and Engineering Laboratory (LMAI), National School of Engineers of Tunis (ENIT), Tunis el Manar University (UTM), TUNISIA.

Laboratory of Electromechanical Systems (LES), National School of Engineers of Sfax (ENIS), University of Sfax, TUNISIA

---

Les caractéristiques mécaniques des composites à base de polypropylène (PP)

**Selma Fizazi, Lamarti Amal, Rabiaa El Kori, Abdelilah Hachim, Rachid Sehaqui**

Université Hassan II de Casablanca (UH2C), Faculté des sciences Ain chock  
,Laboratoire de mécanique.

Institut supérieur d'études maritimes (ISEM).

Université Hassan II de Casablanca (UH2C), Ecole Nationale Supérieure d'électricité et de mécanique

---

Rheological characterization of aqueous polymer solution: PVA

**H. ZOUBEIR, N. LAHLOU, M. LAMINE, M. TOUHAMI OUAZZANI, S. ANISS**

mechanical laboratory, Physics department, Faculty of Sciences, Hassan II University, B.P 5366, Casablanca, Morocco

---

A decoupled homogenization methodology for anisotropic hyperelastic media.

**Gamra A., Mansouri K., Renard Y., Arfaoui M., Douanla-Lontsi Ch. , Homolle T.**

Univ Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR 5259, LaMCoS, F-69621, France

University of Tunis El Manar, National Engineers School of Tunis, LR-MAI-ENIT,

Applied Mechanics and Engineering Laboratory, Tunis 1002, Tunisia

Michelin, Technology Center, Ladoux, France

---

Phase field to model crack propagation in soft materials.

**Ellafi B., Mansouri K., Laniel R., Miroir M., Trifa M., LeCam J.B., Arfaoui M.**

Université de Rennes 1, Institut de Physique UMR 6251 CNRS/Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, Bat. 10B, 35042 Rennes Cedex, France

University of Tunis El Manar, National Engineers School of Tunis, LR-MAI-ENIT,

Applied Mechanics and Engineering Laboratory, Tunis 1002, Tunisia

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Posters

---

High order RPIM algorithm for transition analysis of thermally induced flow in an annulus of two concentric circular cylinders

**Boutayna Laasl, Youssef Hilali, Said Mesmoudi, Oussama Bourihane**

Laboratory of Mechanical Engineering, Faculty of Sciences and Technology Fez, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Hassan First University of Settat, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, LISA Laboratory, Berrechid 26100, Morocco

---

A meshfree Hermite radial point interpolation method for thin plates buckling analysis

**Sokayna BAID, Youssef HILALI, Said MESMOUDI, Oussama BOURIHANE**

Mechanical Engineering Laboratory, FSTF, USMBA, Morocco

LISA Laboratory,, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Hassan First University of Settat, Berrechid 26100, Morocco

---

Hermite-type PIM Method for analysis of rectangular functionally graded material thin plates buckling

**Amina Hammou, Youssef Hilali, Said Mesmoudi, Radouane Boujmal, Oussama Bourihane**

Laboratory of Mechanical Engineering, Faculty of Sciences and Technology Fez, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Hassan First University of Settat, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, LISA Laboratory, Berrechid 26100, Morocco

---

# Workshop « Soft Material Models »

## Organisateurs



## Partenaires



Les 01 et 02 juin 2023 à l'Ecole Centrale Casablanca, Maroc