
Compte rendu de la réunion de lancement du GdR 3542

'Mécanique Multiéchelle des Milieux Fibreux'

LMSSMaT, Ecole Centrale, 17-18 septembre 2012

Une trentaine de participants ont pris part à cette réunion de lancement, organisée sur un format de trois demi-journées de présentations courtes (15 minutes incluant une discussion), assorties de séances de discussion et de synthèses. Les exposés couvraient les aspects suivants des milieux fibreux :

- Problématiques industrielles (Safran/SNECMA, Ifremer, Saint-Gobain Recherche, Michelin) ;
- Comportement mécanique et rhéologie des milieux fibreux ;
- Interactions des fibreux avec leur environnement : phénomènes capillaires, transport de résine, mouillage, propriétés de surface ;
- Simulations numériques du comportement mécanique de milieux fibreux enchevêtrés et aléatoires.

Les problématiques propres à chaque partenaire du GdR présent à cette réunion ont été dégagées en fin d'exposé et lors de synthèses partielles aménagées à la fin de chaque demi-journée de présentations.

La présentation plus détaillée des thèmes abordés qui suit vise essentiellement à exposer les thématiques des différents partenaires présents.

1. Problématiques industrielles

IFREMER (Peter Davies, service Matériaux et Structures) étudie les câbles (manutention, lignes d'ancrage) et les composites (bio-composites, applications maritimes), ainsi que les gréements. Les problématiques concernent :

- Les fibres dans un milieu humide (eau).
- Les câbles : flexion, amortissement.
- Le comportement cyclique des structures filaires et la résistance au choc des composites, l'effet d'une pression hydrostatique.
- Le développement de modèles de comportement (viscoélasticité, viscoplasticité).
- Le vieillissement des fibres : fluage, fatigue, abrasion.
- Le développement de nouveaux matériaux (par exemple à base de plantes marines).

Saint-Gobain (Xavier Brajer, groupe mécanique des matériaux) développe des produits en partie orientés sur l'habitat (voiles de fibres de verre non tissés 2D, laines de verre 3D, couverture de toits composites (shingles), plaques de plâtres renforcées...). Dans ce contexte, les problématiques liées au comportement mécanique des milieux fibreux concernent :

- L'effet des paramètres géométriques pertinents des fibres, de la densité, répartition et enchevêtrement des fibres, de la distribution du liant sur les propriétés mécanique du produit final.

- Le lien entre microstructures fibreuses et comportement macroscopique (rôle des liants, consolidation, déconsolidation, déchirement...)

Safran - SNECMA (Guillaume Perié) développe des équipements pour la propulsion et les moteurs dans l'aéronautique. Ses besoins concernent les pièces composites à renfort textile (tissés, 2D et 3D, stratifiés, tresses, coutures, aiguilletés). Ils sont liés à :

- La caractérisation géométrique 3D des micro et mésostructures fibreuses.
- La caractérisation du comportement mécanique des fibres, la flexion des mèches, le frottement, l'endommagement des fibres et la dispersion de leurs propriétés.
- L'amélioration des outils de simulation du renfort (échelle mésoscopique), la prévision des défauts de mise en forme et des arrangements de fibres au sein des fils.

Michelin (Marc Romero de la Osa) s'intéresse au comportement de renforts câblés textiles à géométrie complexe constitués d'un nombre importants de filaments (plusieurs milliers) à base de polymère, et dont le comportement peut être complexe (élasto-viscoplastique). Le verrou principal est le lien entre l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique. Les besoins concernent :

- Le comportement de câblés textiles en vue de l'identification d'une loi de comportement globale ;
- Les aspects multiéchelles et le caractère aléatoire.
- L'accès aux contraintes locales pour la prévision de l'endommagement.

2. Présentation des activités des partenaires académiques

Les aspects saillants qui ressortent des présentations des partenaires académiques sont listés ci-dessous, l'analyse suivant l'ordre chronologique des présentations.

LPMT (Equipes mécanique des fibreux ; fibres et interfaces ; Artan Sinoiméri, Marie-Ange Bueno et Frédéric Heim): extraction des fibres, agencement des réseaux fibreux, comportement en compression transverse/torsion des mèches, essais biaxiaux - analyse expérimentale et identification du frottement inter-fibres (anisotrope) - relations propriétés / structure / procédés. Rhéologie des tissés et tricots - couplages thermomécaniques - tribologie et usure - mouillage naturel ou forcé de structures fibreuses déformables - Biomécanique expérimentale de biomatériaux et biostructures (valves cardiaques, prothèses et endoprothèses vasculaires).

GEMTEX (Damien Soulat) : caractérisation et modélisation de tissés, de tressages, de tricots techniques (préformes textiles pour renforts de composites) - conception et optimisation de textiles (hybridation, interlocks) - caractérisation mécanique expérimentales et modélisations macro/mésoscopiques géométriques et mécaniques.

PRISME (Samir Allaoui) : lien formabilité / comportement mécanique des renforts secs pour composites, dont comportement en flexion - lois de comportement multiéchelles - flambage de mèches - caractérisation du frottement tissu / tissu, mèche / mèche, tissu / métal - mécanique des renforts biosourcés.

LEMETA (Jean-François Ganghoffer) : comportement mécanique de tissés mono et multicouches - méthodes d'homogénéisation spécifiques en petites et grandes transformations - structures biologiques : membranes biologiques, gels de collagène - biomatériaux fibreux (tresses pour l'ingénierie tissulaire).

GEM (Christophe Binetruy) : impact des aléas, techniques de mesure (analyse d'images 2D) pour appréhender la variabilité spatiale dans les renforts fibreux et dégager des descripteurs morphologiques pertinents (agrégation, anisotropie) - analyse de la perméabilité en lien avec cette variabilité microstructurale (méthodes optiques).

LAMCOS (Philippe Boisse) : Modélisation du comportement macroscopiques de tissés secs fin ou épais par éléments finis spécifiques - mise en forme - interlocks épais - modélisation des mèches par approche mésoscopique - essais mécaniques sur renforts - développement de modèles hypo/hyperélastiques échelle méso et macro.

LGP2 (Pierre Dumont) : comportement hygromécanique et endommagement des milieux fibreux biosourcés, élastocapillarité, interactions fluide / structure - caractérisation de microstructures 3D par microtomographie à rayons X et analyse d'images - modélisation multiéchelles - identification de longueurs caractéristiques - descripteurs microstructuraux pertinents - approches nonlocales en endommagement et fissuration.

LTN (Steven Le Corre) : micromécanique de milieux enchevêtrés visqueux et rhéométrie numérique - suivi de fibres par tomographie et par voie numérique - mise en forme des composites à fibres courtes - rhéologie des suspensions concentrées de fibres.

LMSSMaT (Exposé 1, Elsa Vennat) Analyse de la montée capillaire dans un milieu fibreux (dentaire) - systèmes microfluidiques - visualisation des écoulements avec reconstruction 3D. (Exposé 2, Damien Durville) Simulation numérique du comportement de câbles tissés et tressés par éléments finis à l'échelle des fibres. Formulation de poutres enrichies. Mesures de la géométrie et des efforts - exploration de la compression transverse, dispersion de fibres et du désordre - effet de taille (nombre de fibres).

3SR Lab (Laurent Orgéas): Hygromécanique et microstructure des milieux fibreux biosourcés - micromécanique expérimentale par imagerie 3D (tomographie à rayons X) et mesures de champs cinématiques discrets - architectures fibreuses complexes, anisotropie - couplages multiphysiques (AMF) - composites à forts gradients de propriétés (fibres / résine) - Homogénéisation.

CMM (François Willot) : milieux fibreux aléatoires 3D (fibres de PA6 dans un polymère): estimation de paramètres de microstructures (densité, distribution d'orientations, fraction volumique de fibres) et reconstruction de microstructures sur la base de ces descripteurs. Calcul des modules effectifs en fonction de la microstructure (méthode FFT).

Institut Jean Le Rond d'Alembert équipe MISES (Basile Audoly): modèle numérique discret de poutres élastiques avec torsion - traitement interactions entre fibres - prise en compte des phénomènes visqueux. Simulation en temps réel.

SIMAP (David Rodney) : caractérisation et simulation (dynamique moléculaire) du comportement des milieux enchevêtrés - application absorption de vibrations et matériaux de structure pour reconstruction osseuse (NiTi).

3. Discussion, synthèse et aspects organisationnels

Une **analyse plus transversale** des thèmes et problématiques abordés fait ressortir l'importance des aspects suivants :

- Identification (mesure de microstructures et de champs) et modélisation des aléas et de leur impact : variabilité de topologie et de comportement.
- Aspects multiéchelles dans le comportement multi filamentaires de mèches (compression, frottement inter fibres).

- Importance des techniques de mesure de microstructures et champs (cinématiques, thermiques) pour l'identification de descripteurs pertinents aux différentes échelles.
- Stratégies de changement d'échelles, en particulier les transpositions possibles de techniques existantes pour les milieux granulaires. L'identification d'un VER, de longueurs internes en sont des corollaires.
- Les aspects multiphysiques (propriétés de conduction thermique, électriques, optiques) et les interactions des fibreux avec leur environnement (élastocapillarité, hygromécanique, frottement, propriétés de surface,...).

Le programme s'est clos par une discussion entre les partenaires relative à la structuration thématique et aux modalités organisationnelles. Il est apparu que les partenaires souhaitent aborder l'étude des milieux fibreux plutôt selon une approche transversale ne dissociant pas les aspects mesures, caractérisation, modélisation et simulation. Cette idée correspond à une autre vision de la structuration du GdR : elle est en effet assez différente du découpage thématique prévu initialement (lors de la soumission du projet de GdR), mais a du sens et permet d'éviter l'émiettement des partenaires et un déficit de représentativité d'un des thèmes.

Aspects organisationnels

- Une fréquence de deux réunions annuelles est envisagée pour l'année qui vient.
- La prochaine réunion sera planifiée en mars 2013 à Grenoble, sur un thème à définir.
- Un site web sera opérationnel prochainement, hébergé au LMSSMaT.