



**20-22
Septembre
2017**

**Programme FRANCO-QUEBÉCOIS
de formation en NANOMATERIAUX
et en caractérisation de matériaux FONCTIONNELS**

École d'été à l'Université de Bretagne Sud, Lorient



Livret de l'école d'été CFQCU « Nanomatériaux & Caractérisation des matériaux fonctionnels »

Présentation

Cette école d'été est le second volet du programme d'enseignement et de recherche sur les *nanomatériaux & la caractérisation des matériaux fonctionnels*, dont la première partie s'est déroulée à l'Université de Sherbrooke au Québec du 19 au 21 septembre 2016.

Son objectif est d'accompagner le domaine en plein essor des nanomatériaux, en partant du constat que plusieurs industries telles que l'électronique, l'énergie, la santé, les transports ont besoin de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies pour améliorer leurs produits et répondre à la demande sans cesse grandissante de meilleures performances.

Par contre, la formation de personnel hautement qualifié présente une lacune, puisqu'aucun programme n'est en mesure d'offrir une éducation multidisciplinaire à l'interface entre les nanomatériaux et les sciences fondamentales dans le cadre des programmes traditionnels. Ceci représente une contrainte majeure au développement de nouvelles approches innovatrices en nanotechnologie, étant donné le manque d'expertise transdisciplinaire requise pour solutionner adéquatement ces problématiques.

Le programme CFQCU de formation proposé vise donc à combler cette lacune en donnant à du personnel hautement qualifié français et québécois, une formation multidisciplinaire et un accès privilégié aux partenaires impliqués dans le projet ainsi qu'à leur réseau international dans le domaine des nanomatériaux.

Les cours sont offerts sous forme de vidéo-conférences, afin de permettre aux étudiants de suivre le cours simultanément dans les deux pays. De plus, l'accessibilité en ligne à ces séminaires et aux présentations des professeurs permettra aux étudiants d'accéder à la théorie au moment qui leur conviendra le mieux et ce, peu importe le lieu physique où ils se trouveront.

La fulgurante ascension des nanotechnologies est indéniable et il est primordial d'investir le temps et l'énergie nécessaire à la formation d'étudiants afin de demeurer compétitif dans ce domaine. Le projet proposé devrait accélérer le développement d'une niche franco-québécoise en nanomatériaux et permettra d'assurer une place de choix à nos étudiants dans des entreprises de nanotechnologies œuvrant sur la scène internationale.

Nous espérons que cette initiative permettra d'améliorer la formation universitaire actuellement offerte aux cycles supérieurs, y compris la formation continue et quelle pourra être pérennisée dans le futur.

Coordination du programme CFQCU : Jean-François FELLER (IRDL CNRS 3744 Univ. Bretagne Sud Lorient, France) & Armand SODERA (CQMF Univ. Sherbrooke, Québec, Canada)

Comité local d'organisation : Mickaël CASTRO & Guillaume VIGNAUD (IRDL CNRS 3744 Univ. Bretagne Sud Lorient, France)

Site web : <http://irdl.fr/index.php/event/ecole-dete-sur-les-nanomateriaux-fonctionnels/>

Livret de l'école d'été CFQCU « Nanomatériaux & Caractérisation des matériaux fonctionnels »	2
Présentation.....	2
Programme des activités	4
Liste des cours.....	5
Mercredi 20 Septembre 2017.....	5
Jeudi 21 Septembre 2017	6
Vendredi 22 Septembre 2017	8
Liste des affiches	9
Jeudi 21 Septembre 2017 (10h-12h)	9

Programme des activités

	Mercredi 20 Septembre	Jeudi 21 Septembre	Vendredi 22 Septembre
8h-9h			
9h-10h		Visite ComposiTIC	Bateau
10h-11h	Accueil + Discours de bienvenue équipe organisatrice	Session posters + Prix CFQCU	Musée Compagnie des Indes (Port Louis)
11h-12h			Bateau
12h-13h	Plateaux Repas	Crêpes Party	Repas Gaillec
13h-14h			
14h-15h	Pr. Jean-François MORIN	Pr. Armand SOLDERA	Pr. Jérôme CLAVERIE
15h-16h	Pr. Stephane BRUZAUD	Dr. Guillaume VIGNAUD	Dr. Mickaël CASTRO
16h-17h	Pr. Veena CHOUDHARY	Pr. Yves GROHENS	Pr. Philippe GUEGAN
17h-18h		Prof. Nadi BRAIDY	Clotûre
	Larmor / Soirée	Lomener / Soirée	

Fig. 1: Programme des activités de l'école d'été Nanomatériaux & Caractérisation des matériaux fonctionnels du CFQCU

Liste des cours

Mercredi 20 Septembre 2017

14h00 : Pr. Jean-François MORIN (CGMF – Univ. Laval)

Synthèse et propriétés de nouveaux matériaux semi-conducteurs de graphène pour l'électronique organique.

Les matériaux de graphène semi-conducteurs comme les nanorubans de graphène sont de plus en plus populaires dans le domaine de l'électronique due à leurs excellentes propriétés de transport de charge et leurs propriétés optiques modulables. Afin de bien contrôler la structure et la dimension de ces nanorubans, plusieurs outils synthétiques ont été développés, chacune possédant des avantages et des limitations. Dans cet exposé, nous discuterons des récents développements dans le domaine de la synthèse à haute précision de ces matériaux et leurs impacts sur les propriétés électroniques de ceux-ci. Nous comparerons également les performances de ces matériaux à celles obtenues pour des matériaux organiques et inorganiques classiques.

15h00 : Pr. Stéphane BRUZAUD (IRDL – Univ. Bretagne Sud)

Nanocomposites à charges lamellaires

Le cours décrira les principales voies d'élaboration des nanocomposites (en focalisant sur les matrices biosourcées et biodégradables) contenant des charges lamellaires de type argile ou oxydes. La corrélation entre la morphologie des matériaux élaborés et leurs propriétés physico-chimiques sera illustrée à travers quelques exemples extraits de la littérature. Le cours mettra en exergue toute la difficulté à obtenir des degrés de dispersion élevés, i.e. à l'échelle du nanomètre, pour bénéficier de l'effet « nano » lequel est directement lié à la surface de contact entre les plaquettes dispersées et la matrice polymère.

16h00 : Pr. Veena CHOUDHARY (CPSE – Indian Institute of Tech. Delhi)

Synthesis properties and applications of carbon nanomaterials or carbon nanostructures

Carbon nanostructures have been widely studied due to their unique properties and potential use in various applications. An overview of the various carbon structures with characteristic sizes in the nanoscale region will be presented, with special attention devoted to the synthesis, characterization and applications of carbon nanotubes and graphene. Many different production methods for carbon nanotubes (CNT) and graphene, its functionalization and chemical modification will also be discussed. Some of the applications covered in this lecture include hydrogen storage, carbon nanotube-based solar cells and CNT composite materials for EMI shielding.

Jeudi 21 Septembre 2017

14h00 : Pr. Armand SOLDERA (CQMF - Univ. Sherbrooke)

La simulation moléculaire : Un outil expérimental à part entière

Ces dernières années ont vu émerger une voie alternative à faire de la science. Grâce à l'augmentation de la puissance informatique et de l'efficacité des codes de calculs, les expériences numériques à la frontière entre la théorie et l'expérience sont sur le point de devenir un élément crucial au sein d'un laboratoire. En tant qu'expérimentateurs numériques, tel que nous nous définissons au sein du laboratoire de physico-chimie moléculaire, nous utilisons des codes comme les spécialistes exploitent leurs compétences avec leur technique respective telle la RMN ou l'IR. Le grand avantage de l'approche simulation est qu'elle permet d'explorer des domaines qui ne pourraient être sondés par une autre technique. Grâce à cette meilleure compréhension de ce qui se passe au niveau moléculaire, les mécanismes sous-jacents à une propriété macroscopique peuvent être mieux appréhendés, et de nouveaux composés aux performances accrues peuvent alors être proposés. Son principal défi réside dans l'établissement du lien entre la simulation effectuée au niveau moléculaire, utilisant de ce fait un nombre restreint d'atomes, et les propriétés macroscopiques qui mettent en œuvre un nombre d'atomes de l'ordre d'Avogadro. Ce lien est loin d'être direct. Des approches distinctives et innovantes doivent alors être trouvées. Dans ce cours, nous aborderons le principe de ces méthodes de simulation en insistant sur son fort potentiel. Il sera de ce fait ponctué d'exemples spécifiques liés aux matériaux.

15h00 : Dr. Guillaume VIGNAUD (IRDLD – Univ. Bretagne Sud)

Quelques propriétés singulières des films minces de polymères étudiées par ellipsométrie et réflectivité des rayons X

Les microfilms et nanofilms, liquides, élastiques ou vitreux, de polymères sont d'une grande importance dans de nombreux champs scientifiques interdisciplinaires, tels que la physico-chimie, la physiologie, la biophysique, la microélectronique ou la chimie des surfaces. Outre leur intérêt sur le plan fondamental, ils entrent en jeu dans des processus industriels tant optiques que mécaniques ou chimiques, au travers de la nanolithographie, de la lubrification, des peintures, des traitements de surface et des membranes élastiques. Au travers de ces applications potentielles, on conçoit aisément qu'une compréhension fine de la physique qui régit la stabilité et la dynamique de ces systèmes est une étape importante. L'épaisseur typique (5-100 nm) des nanofilms de polymères étant comparable à la taille caractéristique des macromolécules constitutives, l'effet de confinement est susceptible d'altérer fortement les propriétés de ces dernières. Si les propriétés des matériaux polymères massiques sont bien connues, leurs propriétés en films minces et aux interfaces le sont en revanche beaucoup moins et un grand nombre de questions restent ouvertes. Après une introduction aux méthodes de caractérisation que sont la réflectivité des rayons X et l'ellipsométrie spectroscopique, cette présentation s'intéressera à une sélection de résultats illustrant les propriétés inattendues des films minces confinés de polymère.

16h00 : Pr. Yves GROHENS (IRDLM – Univ. Bretagne Sud)

Nanomatériaux et Confinement : un vecteur de propriétés spécifiques

Il existe un monde régi par de nouvelles lois, que l'on regroupe sous le nom d' « effet nano ». Nous pouvons le voir à l'œuvre dans différents matériaux que ce soit pour les nanotubes de carbone, à la rigidité exceptionnelle pour une densité très faible ou d'un autre côté des couches nano-structurées capable de repousser de l'eau. Pourtant, les « mécanismes » liés à la notion de confinement, qui apparaît aux dimensions nanométriques, sont encore mal compris. Nous allons voir ici quelques d'applications réelles, ou en devenir, des effets de confinement dans les domaines des nanocouches polymères, des nano-composites et des aérogels de nano-cellulose. Nous parlerons ainsi de la stabilité-instabilité des multi-couches co-extrudées qui doit aider à répondre

aux fonctions multiples demandées à la plasturgie du futur. Nous évoquerons la possibilité de contrôler par le confinement le comportement thermique de nanocomposites polymères et non terminerons par la super-isolation dans les bio-aérogels.

17h00 : Dr. Nadi BRAIDY (CQMF – Univ. Sherbrooke)

La microscopie électronique : Fenêtre (et porte d'entrée) sur les nanomatériaux

Cette introduction se veut avant tout une initiation aux possibilités offertes par les différentes techniques de caractérisation des nanomatériaux de la microscopie électronique en transmission (MÉT). Suite à une brève histoire de la microscopie et des rappels des notions d'interactions électrons-matières, nous détaillerons le rôle de chaque pièce de cet instrument de précision, et en particulier, celui des technologies de correction d'aberration sphérique. Grâce à plusieurs exemples, nous aborderons enfin les différentes techniques associées au MÉT, à savoir, l'imagerie de haute résolution, la diffraction en sélection d'aire ainsi que la spectroscopie de rayons X (EDX) et en perte d'énergie des électrons (EELS).

Vendredi 22 Septembre 2017

14h00 : Pr. Jérôme CLAVERIE (CQMF - Univ. Sherbrooke)

« Méthodes de caractérisation des photo-catalyseurs hétérogènes »

La photo-catalyse hétérogène est une technique très populaire puisqu'elle permet à la fois de dépolluer les fluides contaminés et aussi de générer de l'hydrogène par photo-clivage de l'eau. Dans ce cours, nous présenterons quelques-unes des principales techniques permettant de caractériser ces photo-catalyseurs. En particulier, on discutera de la détermination de l'énergie de bande interdite, du potentiel de bande plate et des cellules photo-électrochimiques.

15h00 : Dr. Mickaël CASTRO (IRDL - Univ. Bretagne Sud)

NanoComposites Conducteurs : Vers des structures composites contrôlées (smart structure)

Le développement croissant des énergies renouvelables entraîne la fabrication de pièces composites aux dimensions de plus en plus importantes (pales d'éoliennes par ex) et soumises à de multiples sollicitations. Au-delà des performances mécaniques recherchées, l'évolution vers des structures contrôlées (dites intelligentes / smart structures) est fortement souhaitée. Ces structures rendues « sensibles » doivent permettre de maîtriser et caractériser les différentes étapes de leur vie (fabrication, exploitation, maintenance...). L'objectif des NanoComposites Conducteurs, combinant des nanotubes de carbone (CNT) et une matrice polymère isolante, est de faire remonter des informations sur la structure en termes de capacité, diagnostics d'anomalie et des informations reflétant son état de santé dans le but d'optimiser sa fabrication, son utilisation et sa maintenance. Cet exposé propose de revenir sur les étapes de préparation et caractérisation de NanoComposites Conducteurs utilisés comme témoins de l'état d'une pièce composite renforcée en fibre de verre (GFRP).

16h00 : Pr. Philippe GUEGAN (IPCM - Univ. Paris Sorbonne)

Fonctionnalisation en synthèse macromoléculaire : synthèse, caractérisation et applications

La synthèse macromoléculaire a depuis longtemps permis l'obtention de polymères téléchéliquement fonctionnalisés, en particulier grâce aux réactions de polycondensation. L'avènement du contrôle des polymérisations en chaîne par polymérisation ionique et radicalaire offre de nouvelles perspectives dans le domaine, en particulier dans celui de la production de polymères téléchéliques hétérofonctionnels ou de la synthèse de polymères possédant une fonctionnalité au milieu de chaîne. Enfin, une variation autour de l'architecture des polymères synthétisés permet de moduler le nombre de fonctions portées par chaque macromolécule, modulant ainsi ses propriétés. Le rapport entre fonctions téléchéliques et unités monomères est souvent défavorable à l'évaluation quantitative du taux de fonctionnalisation d'un polymère, et les différentes techniques permettant cette évaluation seront discutées. Un ensemble d'applications de polymères fonctionnels sera présenté afin de mettre en évidence l'apport de la maîtrise de la fonctionnalisation en synthèse macromoléculaire.

Liste des affiches

Jeudi 21 Septembre 2017 (10h-12h)

Alexandre FLEURY, Armand SOLDERA [Lab. Physico-Chimie Moléculaire – Univ. Sherbrooke]

Études in silico de matériaux fonctionnels

Cette affiche survolera les thèmes de recherche et la philosophie du laboratoire. En bref, nous tentons de comprendre le lien entre le microscopique et le macroscopique en associant simulation, expérience et théorie. Nous étudions des phénomènes microscopiques donnant naissance à une propriété macroscopique. Plus précisément, nous nous intéressons aux transitions de phases au sein de la matière molle. Ce genre d'études a des applications dans la conception de matériaux aux propriétés améliorées. Pour de plus amples informations, veuillez vous référer à notre site web lpcm.recherche.usherbrooke.ca.

Nicolas DUMARESQ¹, Nadi BRAIDY¹, Audrey MOORES² [¹Fac. de Génie Chimique et Biotechnologique, Univ. Sherbrooke, ²Dept. of Chemistry, McGill Univ.]

Synthèse plasma et caractérisation de ferrites d'oxydes mixtes pour la catalyse

L'utilisation de ferrites de métaux de transitions pour remplacer les métaux nobles comme catalyseur dans de multiples réactions chimiques est une solution qui respecte les principes de la chimie verte. De plus, leurs propriétés magnétiques permettent de les retirer facilement du milieu réactionnel. Des nanopoudres MFe_2O_4 [$M = Co, (CoMn), Zn, Cu, (CuZn), (CuNi)$] ont été produites par la décomposition de solution précurseur de nitrates de métaux introduits dans un réacteur plasma inductif. Plus de 30 g/h de particules facettés (octaèdres tronqués) peut être produit avec cette technique. L'affinement Rietveld des patrons de diffraction démontre que la majorité des échantillons adopte exclusivement la phase spinelle. Cependant, nous nous sommes attardés au système $Cu_xFe_{3-x}O_4$ [$x = 0.5, 0.9, 1, 1.5$] due à la présence d'une phase spinelle tétragonale. L'analyse TEM-EELS a révélé la formation de nanoparticules spinelles recouvertes partiellement d'une nanocouche de cuivre (0). Cette structure hybride présente un potentiel intéressant pour la réaction de cycloaddition 1,3-dipolaire de Huisgen.

K. DAQUST, A. TAGNIT-HAMOU, Jérôme CLAVERIE [CQMF – Univ. Sherbrooke]

Design d'une nouvelle technologie de super plastifiants pour le ciment par encapsulation : Contrôle de la cinétique d'hydratation et amélioration des propriétés rhéologiques

Les retardateurs de prises augmentent le temps d'ouvrabilité du ciment. La technologie actuelle, les poly(lignosulfonates) (PLS), permettent un bon contrôle du temps d'hydratation, mais n'offre pas d'amélioration rhéologique significative. Une amélioration de la rhéologie permet de faciliter l'ouvrabilité du ciment, mais permet aussi de diminuer la quantité d'eau nécessaire et donc d'augmenter significativement les propriétés mécaniques du ciment. La rhéologie doit donc être ajustée à l'aide d'additifs supplémentaires, ce qui donne lieu à des problèmes de compatibilité et de formulation. Nous travaillons donc au développement d'un additif qui pourra remplir les 2 fonctions à la fois. Nous présentons ici, une nouvelle technologie de super plastifiants qui repose sur l'encapsulation du ciment. Dans cette présentation, nous présenterons le processus d'encapsulation du ciment, le contrôle du temps de prise ainsi que l'amélioration des propriétés rhéologiques.

Abhisheek SACHAN, Mickaël CASTRO, Veena CHOUDHARY, Jean-François FELLER [¹ Smart Plastics Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient, ² Centre for Polymer Science & Engineering - IIT Delhi]

Functionalized carbon nanorods based vapour sensors for the detection of cancer biomarkers.

In the present study carbon rods (CNR) prepared from a natural source and dispersed in different polymer matrices are used as transducers for a further integration in an e-nose (intelligent sensors' array) for volatile organic compounds' (VOC) detection. CNR were fabricated in a simple, fast and green way from an organic precursor by using a traditional pyrolysis method [1]. The resulting CNR are completely free from any metallic contaminant, which makes the whole process more eco-friendly than the conventional ones used for the synthesis of conductive nanoparticles. The potential application of carbon nanorods and their conductive nanocomposite (CPC) with a PLA or PVA matrix to design quantum resistive vapour sensors (vQRS) for the detection of VOC has been studied. In particular, acetone, water, methanol, ethanol and hexane-1, which are biomarkers used for the anticipated diagnosis of cancers [2,3], have been submitted to a nanosensors' array to check its selectivity and discrimination ability at the sub ppm level which is the amount at which biomarkers are present in breath [4,5].

- [1] K.M. Tripathi, A.K. Sonker, A. Bhati, J. Bhuyan, A. Singh, A. Singh, et al., Large-scale synthesis of soluble graphitic hollow carbon nanorods with tunable photoluminescence for the selective fluorescent detection of DNA, *New J. Chem.* 40 (2016) 1571–1579.
- [2] S. Chatterjee, M. Castro, J.F. Feller, An e-nose made of carbon nanotube based quantum resistive sensors for the detection of eighteen polar/nonpolar VOC biomarkers of lung cancer, *J. Mater. Chem. B.* 1 (2013) 4563.
- [3] B. Kumar, Y.T. Park, M. Castro, J.C. Grunlan, J.F. Feller, Fine control of carbon nanotubes-polyelectrolyte sensors sensitivity by electrostatic layer by layer assembly (eLbL) for the detection of volatile organic compounds (VOC), *Talanta.* 88 (2012) 396–402.
- [4] T.T. Tung, M. Castro, T.Y. Kim, K.S. Suh, J.F. Feller, High stability silver nanoparticles-graphene/poly(ionic liquid)-based chemoresistive sensors for volatile organic compounds' detection, *Anal. Bioanal. Chem.* 406 (2014) 3995–4004.
- [5] A. Sachan, M. Castro, V. Choudhary, J.F. Feller, vQRS based on hybrids of CNT with PMMA-POSS and PS-POSS copolymers to reach the sub-PPM detection of ammonia and formaldehyde at room temperature despite moisture, *ChemoSensors.* 5 (2017) 22.

Pierre LAQUINTINIE^{1,2}, Fabrice SEGUIN², Mickaël CASTRO², Cyril LAHUEC¹, Laurent DUPONT¹, Jean-François FELLER² [¹ LabSTICC - IMT Atlantic Brest, ² Smart Plastics Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient]

Development of a Quantum Resistive vapour Sensors' array for the detection of toxic VOC in a complex environment.

This project aims at demonstrating the possible design of a light weight, low consumption and low-cost system of detection of toxic gases at low concentration (ppb levels), such as warfare agents or pesticides. The full integration of an artificial intelligent nanoarray made of quantum resistive vapour sensors (vQRS) with classification and pattern recognition algorithms is expected to allow the detection of traces of a specific volatile organic compound (VOC) in a complex gas mixture, although references to such kind of study are not abundant in the literature. This issue is namely the focus of this study.

The nanoarray used was composed of ten vQRS manufactured by spraying layers-by-layer (sLbL) carbon nanotube (CNT) based conductive polymer composite (CPC) between electrodes as described in a previous work [1]. The selectivity of each sensors was obtained through the non-covalent functionalisation of the CNT network with different polymers of various chemical specificities [2]. These sensors were exposed to ten different gas mixtures differing in composition and concentration).

The changes of amplitude of transducers chemo-resistive responses were recorded with a dynamic vapour sensing device described elsewhere [3] and treated with several features'

extraction methods and classification algorithms in order to discriminate and eventually recognise the mixtures.

Furthermore, an optimisation approach has been led to asses which sensors, extracted features and classification algorithms are the most relevant to design an artificial intelligent nanoarray system for the specific applications targeted.

- [1] S. Nag, A. Sachan, M. Castro, V. Choudhary, J.F. Feller, Spray layer-by-layer assembly of POSS functionalized CNT quantum chemo-resistive sensors with tuneable selectivity and ppm resolution to VOC biomarkers, *Sensors Actuators B Chem.* 222 (2016) 362–373.
- [2] S. Nag, M. Castro, V. Choudhary, J.F. Feller, Sulfonated poly(ether ether ketone) [SPEEK] nanocomposites based on hybrid nanocarbons for the detection and discrimination of some lung cancer VOC biomarkers, *J. Mater. Chem. B Biol. Med.* 5 (2017) 348–359.
- [3] A. Sachan, M. Castro, V. Choudhary, J.F. Feller, vQRS based on hybrids of CNT with PMMA-POSS and PS-POSS copolymers to reach the sub-PPM detection of ammonia and formaldehyde at room temperature despite moisture, *ChemoSensors.* 5 (2017) 22.

Antoine LEMARTINEL¹, Mickaël CASTRO, Olivier FOUICHE, Jean-François FELLER (¹ Smart Plastics Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient, ² IRT Jules Verne, Nantes)

Development of.

Malgré l'attrait croissant des énergies renouvelables, la baisse de leur coûts reste un challenge. La maintenance d'une éolienne est un secteur critique car elle peut atteindre 30 % du prix de la structure. Le transition d'une maintenance planifiée vers une maintenance anticipée, notamment via une estimation continue de l'état structure, est une piste d'étude. Le développement de capteurs permettant le suivi de la fabrication jusqu'à la fin de vie est donc nécessaire. Le présent poster présente les possibles utilisations des « Quantum Resistive Sensor » (QRS) pour le suivi de fabrication ainsi que la détection de déformation d'une structure composite en service.

Manh-Trung TRAN¹, Mickaël CASTRO¹, Willy ALLEGRE², Jean-Paul DEPARTE², Jean-François FELLER¹ (¹ Smart Plastics Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient, ² Centre de rééducation fonctionnelle de Kerpape, Lorient)

Bedsore development monitoring with Quantum Resistive Sensors (QRS) at its early stages

In this study, our objective was to design an integrated system able to prevent the development of bedsore occurring in persons such as physically challenged patients in nursing homes and hospitals alike (such as tetraplegic or paraplegic patient at Kerpape Centre for Functional Recovery). Studies have shown that individuals living with bedsore suffer a lot of pains and also have a poor quality of life [1],[2]. The problem is also united with extensive costs for the society.

The strategy chosen to provide a solution to bedsore's development, was to combine the monitoring of the pressure applied on skin by a network of quantum resistive pressure sensors (pQRS) [3] with the analysis of bedsore biomarkers emitted by skin during its alteration by quantum resistive vapour sensors (vQRS) assembled into an e-nose [4]. Given the complexity of the problem, a real-time matrix of pQRS was first tested upon different pressures applied at different location of a composite sample. Secondly, the discrimination ability of an e-nose towards several biomarkers of the development of bedsore was evaluated from a simulated gaseous atmosphere. Both "Synthetic" and "Background" vapour blends were thus precisely separated by an array of vQRS.

- [1] K. Spilsbury, A. Nelson, N. Cullum, C. Iglesias, J. Nixon, S. Mason, Pressure ulcers and their treatment and effects on quality of life: hospital inpatient perspectives, *J. Adv. Nurs.* 57 (2007) 494–504.
- [2] K. Girouard, M.B. Harrison, E. VanDenKerkof, The symptom of pain with pressure ulcers: a review of the literature., *Ostomy. Wound. Manage.* 54 (2008) 30–40, 42.
- [3] T.T. Tung, C. Robert, M. Castro, J.F. Feller, T.Y. Kim, K.S. Suh, Enhancing the sensitivity of graphene/polyurethane nanocomposite flexible piezo-resistive pressure sensors with magnetite nano-spacers, *Carbon N. Y.* 108 (2016) 450–460.

- [4] T.T. Tung, M. Castro, J.F. Feller, T.Y. Kim, K.S. Suh, Hybrid film of chemically modified graphene and vapor-phase-polymerized PEDOT for electronic nose applications, *Org. Electron.* 14 (2013) 2789–2794.

Camille GOUDENHOFFT, Alain BOURMAUD, Christophe BALEY (Biocomposites Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient)

Influence de l'évolution de l'architecture de la plante sur les propriétés mécaniques des fibres de lin

Le développement accru des composites renforcés par des fibres de lin (*Linum Usitatissimum* L.) engendre de nouveaux défis pour les sélectionneurs. En effet, la qualité mais aussi la quantité de fibres produites doivent être contrôlées, voire garanties. Cependant, l'influence de la sélection variétale sur leurs propriétés mécaniques est encore inconnue. Dans cette étude, quatre variétés sont comparées (sélectionnées entre 1940 et 2011). Des changements anatomiques introduits par la sélection variétale sont mis en évidence par l'analyse de sections transverses de tiges. Parmi ces changements, des quantités de fibres plus importantes sont constatées pour les variétés les plus récentes. Cette tendance coïncide avec l'augmentation de la production de biomasse recherchée depuis des années par les sélectionneurs. De plus, les fibres ont conservé leurs performances mécaniques malgré les changements anatomiques des tiges. Ainsi, grâce à la sélection variétale, il est possible d'augmenter les rendements en fibres de lin tout en préservant les excellentes propriétés mécaniques spécifiques ces fibres.

Samuel REQUILÉ, Alain BOURMAUD, Antoine LEDUIGOU, Christophe BALEY (Biocomposites Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient)

Estimation de la rigidité longitudinale des fibres de chanvre à l'aide d'essais de flexion sur tiges

Le chanvre est la deuxième plante cultivée pour ses fibres en Europe. Leurs usages couvrent un large éventail d'applications nécessitant une connaissance précise de leurs propriétés mécaniques. Ce travail vise dans un premier temps à étudier la contribution des fibres à la rigidité d'une tige de chanvre lorsqu'elle est sollicitée en flexion. L'analyse est basée sur la différence de rigidité en flexion entre des tiges avec et sans fibres. Les caractérisations mécaniques montrent que les fibres contribuent à 54 %, en moyenne, de la rigidité d'une tige. Par la suite, une analyse de l'organisation interne des tiges a permis de connaître avec précision la position des fibres puis d'estimer leur module longitudinal moyen. La valeur obtenue est proche de celle mesurée par des essais de traction sur fibres élémentaires. Ces résultats permettent de proposer le test de flexion sur tige comme un essai standard pour l'estimation du module des fibres végétales.

Antoine LEDUIGOU¹, Mickaël CASTRO² (Biocomposites Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient, ² Smart Plastics Group, IRDL CNRS 3744 – UBS Lorient)

Hygromorph BioComposites : Analogue function and novel use for natural fibres

Hygroscopically active materials with self-shaping ability are developed. Their principle turns the water sensitivity of plant fibres, which is a well-known drawback for natural fibre composite development, into the driving force of the actuation of a hygromorph biocomposites (HBC) manufactured possibly by compression moulding or 3D printing. The actuation mechanism relies on the anisotropic swelling behaviour of plant fibre organized in a bilayer structure inspired from the structure of pine cone scale. Unlike work dedicated to wood bilayer [1][2], here the focus of the research is to eco-design a proper microstructure inspired from natural actuators. Thus, HBC could be used both as an analogue to deeper understand natural actuator but also as a novel function of plant fibre and plant fibre composite.

- [1] M. Rugeberg, I. Burgert, Bio-inspired wooden actuators for large scale applications, *PLoS One.* 10 (2015) 1–16.

- [2] S. Reichert, A. Menges, D. Correa, Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness, *Comput. Des.* 60

(2015) 50-69.

Maëlle GOUESSAN, Isabelle LINOSSIER, Fabienne FAY, Karine VALLEE (LBCM UBS Lorient)

Développement d'une peinture anti-fouling innovante

Le biofouling est défini par la colonisation successive de micro (bactéries...) et macro (algues, moules...) organismes marins sur des surfaces. Cette colonisation indésirable sur les coques de bateaux engendre à la fois des conséquences économiques et environnementales.

Dans les années 1970's, les peintures antifouling autoérodables libérant des biocides, à base de tributylétain (TBT), ont été développées. Leur activité antifouling a été approuvée or la libération de cette molécule engendre un impact néfaste sur le milieu marin.

Le projet consiste donc à développer une peinture antifouling érodable innovante plus respectueuse de l'environnement. Pour cela deux principaux axes sont pris en compte. Dans un premiers temps, l'utilisation d'un copolymère biodégradable comme liant servant de matrice érodable. Dans un second temps la substitution des biocides par d'autres additifs visant une diminution du taux de biocide.

Guillaume GILLET, Isabelle LINOSSIER, Fabienne FAY, Karine VALLEE (LBCM UBS Lorient)

Caractérisation de films amphiphiles à visée anti-fouling : impact de la taille du PDMS

La colonisation d'une surface commence immédiatement après son immersion dans l'eau de mer. Cet bio-accumulation d'organismes génère plusieurs problèmes économiques et environnementaux. Un système anti-adhérence dit "fouling release" a été étudié. Il est constitué de poly(diméthylsiloxane) (PDMS) et de poly(éthylène glycol) (PEG) fonctionnalisé, formulé puis mis en œuvre sous la forme de films. Ces films ont ensuite été caractérisés par 4 méthodes (goniomètre, soxhlet, tests de gonflements, microscopie électronique à balayage).

