

ESPCI  PARIS | PSL 

CHIMIE MOLÉCULAIRE, MACROMOLÉCULAIRE, MATÉRIAUX [C3M]

3

QUESTIONS À

≡ MICHEL CLOÎTRE ≡
Directeur de l'UMR C3M



Le laboratoire a changé de nom en 2019...

Oui car il a été rejoint par l'équipe de Chimie Moléculaire et Catalyse et est devenu le laboratoire "Chimie Moléculaire, Macromoléculaire, Matériaux". La nouvelle équipe apporte un axe orienté vers la chimie organique de synthèse et la catalyse. Cette opération initiée et soutenue par la direction de l'ESPCI Paris va créer des synergies nouvelles entre les différents pôles de l'unité et permettre une approche multi-échelles allant de la structure moléculaire aux propriétés macroscopiques.



Sur quoi travaillez-vous ?

Nos travaux poursuivent une démarche globale à la croisée de la chimie de synthèse, de la physicochimie de la matière molle pour la formulation, des propriétés physiques des matériaux et des applications. Nous concevons et synthétisons à façon des molécules fonctionnelles et de nouveaux matériaux à partir de concepts de chimie supramoléculaire et de chimie covalente réversible. Nous modifions leurs fonctions pour réaliser des synergies de propriétés, étudions et modélisons leurs propriétés rhéologiques, mécaniques ou optiques, les mettons en forme. Nos recherches ont des applications et des débouchés pratiques comme en témoignent nos nombreux partenariats industriels et le dépôt de brevets.



Quelle est la philosophie du laboratoire ?

Nous cultivons une démarche originale et historique qui associe science fondamentale, innovations et applications. Certains de nos projets sont inspirés de problèmes pratiques stimulés par nos partenaires industriels, d'autres résultent directement de concepts fondamentaux. Cette démarche nous a menés vers de beaux succès comme l'invention des vitrimères dont le développement se poursuit, la mise au point de matériaux pour la pratique médicale, la compréhension à l'échelle microscopique de l'écoulement de certains fluides à seuil utilisés en formulation.



12 chercheurs et
enseignants chercheurs

10 post-doctorants

22 doctorants

12 brevets déposés/
publiés

81 publications

VERRES HYBRIDES COLLOÏDE/POLYMÈRE

UN DÉFI POUR LES PHYSICIENS



Les verres polymères et colloïdaux continuent de défier les physiciens. Dans le cas des polymères, l'état vitreux s'obtient en abaissant la température. Dans les suspensions colloïdales, c'est en augmentant la fraction volumique, chaque particule se trouvant piégée dans l'environnement de ses voisines. Les équipes C3M combinent chimie et physique pour élaborer des matériaux vitreux à partir de particules complexes associant les caractéristiques propres aux polymères et aux colloïdes. L'objectif est d'apporter des solutions innovantes pour formuler des produits respectueux de l'environnement, concevoir et synthétiser des matériaux dotés de propriétés originales et faire progresser la compréhension des verres à l'échelle microscopique.

SYNTHÈSE ET FORMULATION

Les chercheurs ont ainsi développé des particules colloïdales qui associent la déformabilité des polymères à l'intégrité structurale des colloïdes (en collaboration avec la société Coatex) : des émulsions constituées d'un cœur liquide protégé par une membrane polymère ou des microréseaux de polymère appelés microgels. Ces derniers se gonflent d'eau sous l'action du pH ou par absorption de molécules "invitées" telles que des oligomères, des protéines ou des tensio-actifs. En décorant leur surface par des

groupes hydrophobes, ils acquièrent des propriétés associatives.

RHÉOLOGIE ET ÉCOULEMENT

La fraction volumique dans une suspension de particules déformables peut dépasser la limite d'empilement compact. Les matériaux obtenus sont solides au repos mais s'écoulent au-delà d'un seuil de contrainte. Cette propriété est mise à profit dans les applications (impression additive, formulations cosmétiques) mais sa compréhension microscopique reste un grand challenge. En collaboration avec l'équipe de Roger Bonnecaze de l'Université du Texas à Austin, un modèle micromécanique a été proposé. Il établit un lien entre le désordre spatio-temporel des trajectoires des particules dans l'écoulement et les propriétés rhéologiques.

DES COULEURS SANS PIGMENTS

En général les suspensions colloïdales ont un aspect laiteux à cause du phénomène de diffusion multiple. En ajustant le degré de réticulation des microgels, nous parvenons à réduire la turbidité et à faire apparaître des couleurs structurales. Celles-ci résultent de l'interaction de la lumière avec la structure des suspensions qui peut être vue comme un arrangement désordonné de particules séparées par une distance caractéristique. Les couleurs de ces suspensions photoniques sont ajustées à volonté en changeant la fraction volumique.

POUR EN SAVOIR PLUS

Versatile Encapsulation Technology Based on Tailored pHResponsive Amphiphilic Polymers: Emulsion Gels and Capsules, C. Locatelli-Champagne, J.-M. Suau, O. Guerret, C. Pellet, M. Cloitre, Langmuir, 2017.

On the universality of the flow properties of soft-particle glasses, T. Liu, F. Khabaz, R. T. Bonnecaze, M. Cloitre, Soft Matter, 2018.

EN BREF

Vitrimère pour applications à haute température

Le polytéréphtalate de butylène (PBT) est un polyester semi-cristallin très utilisé dans de nombreux objets du quotidien : connecteurs électriques, appareils médicaux, ustensiles de cuisine... Il a le défaut de s'écouler au-delà de 230 °C. En collaboration avec la société Sabic, les chercheurs sont parvenus à le transformer en vitrimère par extrusion réactive. Le "PBT vitrimère" possède les propriétés thermoplastiques du PBT en ayant les caractéristiques d'un matériau réticulé qui conserve ses propriétés mécaniques au-delà du point de fusion. Le procédé mis au point n'utilise pas de solvant et est aisément transposable à l'échelle industrielle.

À LIRE : *Cross-linking of poly(butylene terephthalate) by reactive extrusion using Zn(II) epoxy-vitrimer chemistry*, A. Demongeot, R. Groote, H. Goossens, T. Hoeks, F. Tournilhac, L. Leibler, *Macromolecules*, 50, 6117-6127, 2017.

Hydrogels pour la médecine



Décollement d'hydrogels d'un foie de porc dans les cas de contact lubrifié (gauche) et adhésif (droite)

Les hydrogels sont des matériaux souples constitués d'un réseau macromoléculaire gonflé par de l'eau. Leur structure et leurs propriétés, qui rappellent celles des tissus biologiques, en font des matériaux biocompatibles intéressants : implants, pansements, substrats pour la délivrance de médicaments ou de cellules. Cependant il est difficile de les fixer à la surface des organes et tissus internes, par exemple lors d'opérations chirurgicales. En étudiant l'adhésion entre des membranes hydrogels et des tissus biologiques, notamment en visualisant la déformation de l'interface gel-tissu, les scientifiques ont montré que le gonflement des hydrogels au contact des tissus vivants crée de l'adhérence et permet la fixation sur les tissus.

À LIRE : *Interfacial fluid transport is a key to hydrogel bioadhesion*, R. Michel, L. Poirier, Q. van Poelvoorde, J. Legagneux, M. Manassero, L. Corté *PNAS*, 2019.

Polyéthylène supramoléculaire

En collaboration avec le laboratoire C2P2 de l'Université Claude Bernard à Lyon, une équipe de C3M a synthétisé des chaînes de polyéthylène de faible masse molaire portant aux extrémités des groupes supramoléculaires incompatibles qui se ségrègent en lamelles et s'associent par des liaisons H. La microstructure résulte de la compétition entre ségrégation et cristallisation. Quand la température de cristallisation des unités supramoléculaires est supérieure à celle du polyéthylène, les chaînes sont confinées à l'état amorphe entre les lamelles. Dans le cas contraire, le polyéthylène cristallise. L'organisation mésoscopique est complètement différente de celle obtenue avec des chaînes enchevêtrées de grande masse molaire.

À LIRE : *Lamellar mesoscopic organization of supramolecular polymers: a necessary pre-ordering secondary structure*, J. Lacombe, C. Soulié-Ziakovic, *Polym. Chem.* 8, 5954-5961, 2017. *Structural and mechanical properties of supramolecular polyethylenes*, J. Lacombe, S. Pearson, F. Pirolt, S. Norsic, F. D'Agosto, C. Boisson, C. Soulié-Ziakovic, *Macromolecules*, 51, 2630-2640, 2018.

Catalyse métallique et diversité moléculaire

Disposer d'outils efficaces et sélectifs pour explorer "l'espace chimique" revêt un enjeu important dans la découverte de nouveaux médicaments. Plusieurs approches innovantes permettant de transformer ou d'assembler des molécules et d'engendrer de la diversité moléculaire sont inventées au laboratoire : des réactions de couplage catalysées par des métaux courants, fer ou cobalt, pour fonctionnaliser des hétérocycles azotés ; l'activation de liaisons C-H pour accéder à une diversité de macrocycles qui constituent une classe prometteuse de composés encore sous-exploitée en chimie médicinale. Ces recherches ont été menées avec plusieurs partenaires industriels.

À LIRE : *Cobalt-catalyzed cross-coupling of bromo amides with Grignard reagents*, E. Barde, A. Guérinot, J. Cossy, *Org. Lett.* 2017, 19, 6068-6071. *Rhodium(III)-catalyzed C-H activation/heterocyclization as a macrocyclization strategy. Synthesis of macrocyclic pyridones*, J.-P. Krieger, D. Lesuisse, G. Ricci, M.-A. Perrin, C. Meyer, J. Cossy, *Org. Lett.* 2017, 19, 2706-2709.

ESPCI  PARIS | PSL 

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE
INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS

10, rue Vauquelin, 75231 PARIS CEDEX 05
+ 33 1 40 79 44 00

espci.psl.eu

