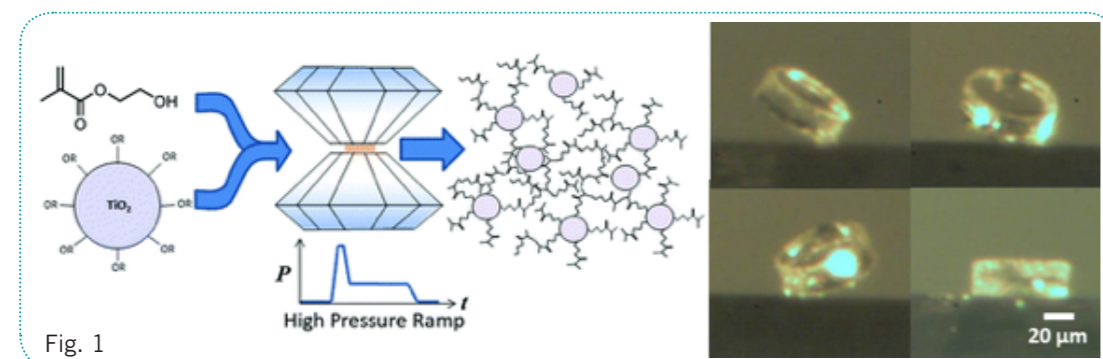


Hybrides organiques-inorganiques à base de nanoparticules présentant une concentration inorganique inédite

La combinaison des matériaux de nature différente, e. g. un solide inorganique et un polymère, permet d'obtenir des propriétés mécaniques ou fonctionnelles de ces hybrides non réalisables pour chacun des composants. Nous avons récemment synthétisé des hybrides, composés du HEMA polymérisé avec une concentration de nanoparticules de TiO_2 inédite.

Figure 1 : Les nanoparticules de TiO_2 dispersées dans le monomère liquide HEMA se transforment lors du processus HPR (réalisé dans une cellule à enclumes de diamant) en produits hybrides organiques-inorganiques solide (photographies).

L'idée de combiner des propriétés bénéfiques de composés/matériaux de natures différentes par la fabrication de matériaux composites/hybrides est « née » il y a plusieurs siècles, mais le nombre d'exemples de succès de leur mise en œuvre est encore trop limité. Toutefois, les quelques réussites ont permis un bond en avant dans le développement du secteur économique connexe, caractérisé par une croissance accélérée de productivité et de durabilité. Parmi ces exemples, le béton armé combinant la rigidité de roches et la ductilité d'un métal a permis la création et la construction de bâtiments, de ponts et d'autres objets ayant des caractéristiques inatteignables auparavant. L'invention de panneaux d'agglomérés ou de particules de bois a révolutionné la fabrication de meubles et permis une amélioration économique de l'espace de vie des familles à revenu modéré. La découverte des carbures cémentés a considérablement accru la productivité de l'industrie de l'usinage de l'acier, même si le prix initial des outils de coupe fabriqués à partir de ce matériau était supérieur à celui de l'or. La production en série de moteurs de toutes sortes, y compris les automobiles personnelles, en fut une conséquence.



Les matériaux hybrides organiques-inorganiques avec leur contrôle unique des relations structure-propriété, leur flexibilité de composition potentiellement illimitée et de mise en forme relativement facile ouvrent un large champ d'applications, bien au-delà des applications précédemment citées en matériaux de structure. L'un des enjeux majeurs des matériaux hybrides organiques-inorganiques fonctionnels est d'augmenter la concentration en composants inorganiques tout en préservant la tenue mécanique et le potentiel de mise en forme du matériau, ce qui peut être réalisé en utilisant des techniques connues de polymérisation laser à un ou à deux photons. Nous avons récemment développé un nouveau procédé de fabrication au LSPM d'un matériau hybride composé de méthacrylate de 2-hydroxyéthyle polymérisé (pHEMA) et de nanoparticules de TiO_2 avec une concentration du composant inorganique jamais atteinte, allant jusqu'à 12 mol/l [1].

Pour cela, nous avons utilisé le processus HPR [2] développé précédemment dans l'équipe, pour lequel le composant organique est d'abord activé par une compression à la pression supérieure ou égale à 6.5 GPa, puis polymérisé rapidement lorsque la pression est diminuée jusqu'à ~0,5 GPa. Des échantillons massifs de pHEMA- TiO_2 ont été élaborés avec une concentration inorganique quatre fois supérieure à celle obtenue par la polymérisation radicalaire classique, induite thermiquement ou par photons. Nous avons remarqué que ces matériaux possédaient une forte réponse photochromique liée à la séparation électron-trou à l'interface organique-inorganique, capable de stocker jusqu'à un électron par 5 unités de TiO_2 . Les trous de bande de valence induits par photons UV, s'échappent dans le composant organique, tandis que les électrons de bande de conduction se localisent sous forme de petits polarons Ti^{3+} dans le composant inorganique ; ces charges sont spatialement séparées à l'échelle nanométrique, empêchant ainsi leur recombinaison.

Une augmentation importante de la concentration en composants inorganiques et de sa capacité de stockage des électrons permet à la fois une augmentation de l'indice de réfraction statique ($n = 1,73$) et une forte modification de l'indice de réfraction transitoire, induite localement par laser, $\Delta n = -0,024$, ce qui en fait des candidats précieux pour la fabrication de systèmes micro-optiques, guides d'ondes, etc. Des applications en optoélectronique et en photonique peuvent aussi être envisagées.

Références :

1. Evlyukhin E., Museur L., Diaz-Gomez-Trevino A. P., Traore M., Brinza O., Zerr A., Kanaev A. "Synthesis of organic-inorganic hybrids via high-pressure-ramp process: Effect of inorganic nanoparticles loading on structural and photochromic properties" *Nanoscale* 10, 22293 (2018)
2. Evlyukhin E., Museur L., Traore M., Perruchot C., Zerr A., Kanaev A. "A new route for high-purity organic materials: High-pressure-ramp-induced ultrafast polymerization of 2-(hydroxyethyl) methacrylate" *Sci. Rep.* 5, 18244 (2015)

A. ZERR,¹ L. MUSEUR,² A. KANAEV¹

zerr@lspm.cnrs.fr, luc.museur@univ-paris13.fr, Andrei.KANAEV@lspm.cnrs.fr
¹ LSPM, CNRS, UP13/² LPL, CNRS, UP13

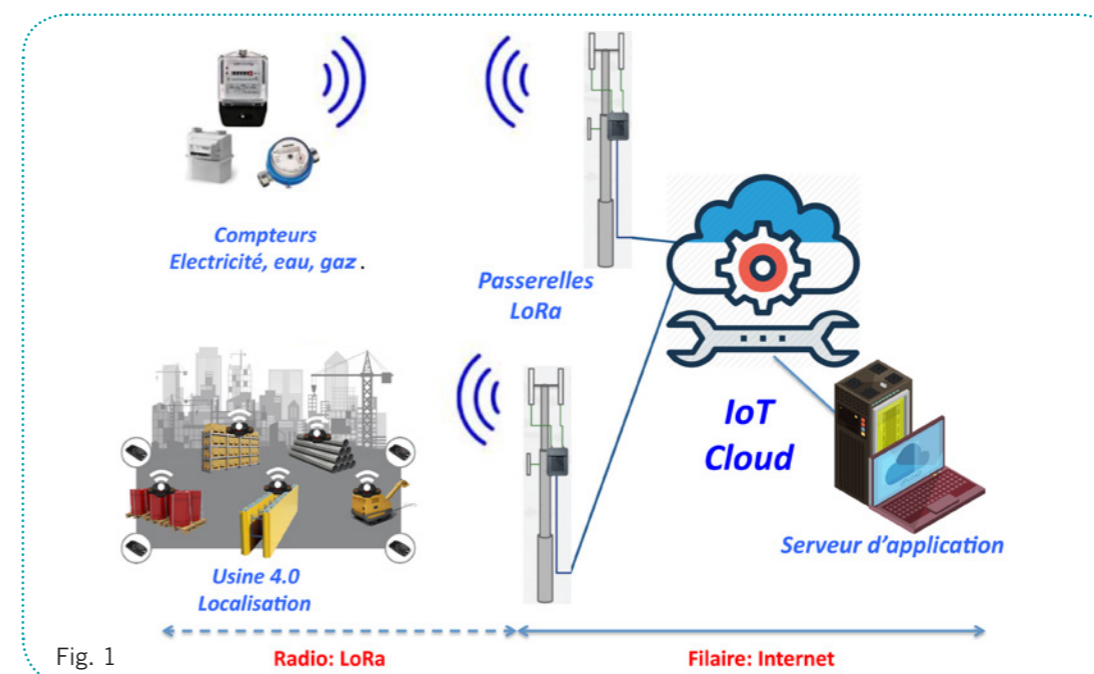
LoRa@UP 13 : Une plateforme d'expérimentation radio à longue portée pour l'IoT

L'équipe réseaux du L2TI conçoit et évalue des architectures et des mécanismes réseaux destinés à l'Internet des Objets (IoT). Outre la modélisation mathématique, une bonne partie de ses recherches sont aussi le fruit d'expérimentations. LoRa@UP13 est une plateforme d'expérimentation mise en place par le L2TI pour étudier les performances d'une technologie radio à longue portée pour l'IoT.

Les objets connectés sont de plus en plus nombreux et la collecte des données par liaisons radio dans un environnement urbain soulève de nombreuses difficultés, à cause de la densité et des contraintes d'autonomie énergétique ou de sécurité. Parmi les solutions émergentes, LoRaWAN (Long Range Wide-Area Network) est une technologie qui fédère de plus en plus les acteurs majeurs de l'IoT via le consortium LoRa Alliance. Cette technologie radio à longue portée est conçue pour collecter les données de divers capteurs ayant une faible autonomie énergétique et générant un trafic bas débit. Les applications sont nombreuses et concernent par exemple la télémétrie dans la ville intelligente, la localisation d'objets dans l'usine 4.0 ou encore l'e-santé. Comme le montre la figure 1, l'infrastructure typique est composée de passerelles qui assurent le lien entre le serveur d'application et les objets connectés.

Les évaluations de performances s'appuient pour le moment sur des modèles théoriques. Le principal verrou pour les académiques est dû à l'absence de plateformes d'expérimentation ouvertes à des fins de recherche académique ou pédagogique. Au niveau mondial, quelques plateformes d'expérimentation commencent à être déployées, mais sont pour le moment dédiées aux chercheurs locaux. Afin de lever ce verrou, l'équipe Réseaux du laboratoire L2TI porte un projet Bonus Qualité Recherche financé par l'université Paris 13 en vue de déployer une plateforme d'expérimentation LoRaWAN sur le campus de Villetaneuse. L'infrastructure est composée de 3 passerelles externes LoRaWAN, 3 passerelles internes LoRa, de divers serveurs et de plusieurs dizaines de capteurs et de nœuds LoRa.

Figure 1 : Architecture LoRaWAN@UP13



Chaque passerelle est un point d'accès qui peut collecter les données d'équipements terminaux (e.g. capteurs) déployés sur un rayon de plusieurs kilomètres en utilisant la technologie de communication sans fil LoRa. Cette dernière offre une connectivité radio montante à faible débit, permettant de réduire la consommation énergétique. L'autonomie est améliorée grâce à un mécanisme de mise en veille de l'interface radio des équipements. Les données reçues par chaque passerelle sont ensuite relayées via l'Internet vers le serveur d'application qui peut traiter et visualiser les données collectées.

Les performances réelles de la technologie LoRa sont peu connues. Les premiers travaux de recherche ont été publiés fin 2016.

Le projet est mené en coopération avec l'équipe AGORA de l'INRIA Lyon, dans l'idée de réaliser des expérimentations multi-sites. Les premières études visent à évaluer l'impact de l'environnement urbain, les conditions météorologiques, l'hétérogénéité et la densité des équipements sur les performances des technologies LoRaWAN.

La finalité étant de proposer des modèles mathématiques, servant à dimensionner un réseau de collecte de données pour l'IoT à longue portée radio et de proposer des solutions de déploiement et d'amélioration des mécanismes réseaux utilisés.

Khaled BOUSSETTA

Khaled.Boussetta@univ-paris13.fr

contact

Laboratoire
Des Sciences
Des Procédés et
Des Matériaux
(LSPM)
CNRS-UPR 3407

Directeur:
Dominique Vrel
01 49 40 34 37
Institut Galilée

contact

Laboratoire
de Traitement
et de Transport
de l'Information
(L2TI)
EA 3043

Directrice :
Anissa Mokraoui
01 49 40 40 57
Institut Galilée