

ESPCI  PARIS | PSL 

# INSTITUT DES MATÉRIAUX POREUX [IMAP]

# 3

## QUESTIONS À

== CHRISTIAN SERRE ==  
Directeur de l'IMAP

### Quelle est l'origine de ce nouveau laboratoire ?

Nous étions à l'origine une équipe de recherche située à l'Institut Lavoisier, à l'université Versailles-Saint-Quentin, et nous avons créé cette nouvelle UMR avec le soutien de PSL et du CNRS en septembre 2016. C'est la seule unité mixte à ce jour entre l'ENS, l'ESPCI Paris et le CNRS.

### Pourquoi avoir choisi l'ESPCI ?

Au-delà de la forte densité de chercheurs de haut niveau que l'on trouve sur le site, l'objectif était de développer le potentiel applicatif de nos solides poreux en les combinant avec d'autres expertises ou matériaux disponibles à l'ESPCI. Nous sommes des chimistes des matériaux, avec comme spécialité les solides poreux cristallisés. Nous les créons en vue d'applications à fort intérêt sociétal, dans l'environnement, l'énergie, la santé... Or ici on trouve des équipes de renom qui travaillent le plus souvent en forte interaction avec le tissu socioéconomique en s'appuyant sur des matériaux et/ou procédés aux propriétés complémentaires des nôtres, par exemple les polymères -gels-, les matériaux inorganiques -quantum dots ou oxydes-, la détection -à Langevin-, la physique pour la médecine -à PhysMed-, la séparation chromatographique, la récupération d'énergie etc... C'est donc un environnement idéal pour collaborer et développer ensemble de nouveaux composites, dispositifs ou procédés innovants etc... En outre en arrivant ici nous avons encore accru notre visibilité. Nous recevons déjà plus de demandes d'étudiants brillants qu'avant, notamment de l'ESPCI ou de PSL, mais aussi de l'étranger avec des étudiants qui le plus souvent viennent avec leur financement.

### Quelle est la composition du laboratoire ?

Nous sommes maintenant neuf permanents : trois chercheurs, un ingénieur et une technicienne CNRS, une maître de conférences et un assistant-ingénieur ENS, une maître de conférences ESPCI et une professeure de Versailles-Saint-Quentin (à temps partiel). Nous accueillons environ une vingtaine d'étudiants en thèse et de post-docs. Pour l'instant nos locaux (ESPCI et ENS) sont un peu exigus et très dispersés, mais la situation s'améliorera une fois le nouveau bâtiment construit à l'ESPCI et suite à d'importants travaux prévus à l'ENS.

**20** brevets

**2** licences avec la société américaine Framergy

**25** publications  
en 2018 (dont Nature Energy, Nature Communications, JACS, ACIE, Adv. Matter...)

# UNE STABILITÉ CHIMIQUE EN GUISE DE SIGNATURE



## UNE MULTITUDE D'APPLICATIONS

Quand on évoque les solides poreux, on pense généralement aux charbons actifs, structures amorphes présentant des micro et mésopores, ou aux zéolithes, des aluminosilicates microporeux cristallisés utilisés classiquement dans des réactions de catalyse de type craquage du pétrole. Les solides développés par l'Institut des MATériaux poreux de Paris (IMAP), appelés communément Metal Organic Frameworks ou MOFs, se situent quelque part entre les deux : ils comportent une partie minérale et un partie organique, sont ordonnés et possèdent une porosité importante, micro ou méso-poreuse. Cette chimie est assez récente, et a pris véritablement son essor à la fin des années 1990, et reste actuellement très active sur le plan international : dans le domaine des matériaux, en termes de nombres de publications, cela se situe juste après les matériaux 2D de type Graphène. Désormais, cette chimie est suffisamment mature pour concevoir ces matériaux à façon : en variant les compositions et les structures, on peut les rendre très hydrophiles, hydrophobes, varier la tailles des pores, obtenir des propriétés acides, redox, luminescentes, moduler la taille des particules, les mettre en forme et à l'échelle... Et il est relativement aisé de combiner ces poudres à d'autres matériaux (polymères, nanoparticules inorganiques...) pour améliorer leurs propriétés ou leur mise en forme.

L'IMAP se distingue des autres équipes travaillant dans ce domaine de par le monde par l'accent qu'il met sur la stabilité chimique des MOFs qu'il fabrique. Cela rend la découverte de nouveaux solides plus ardue tant cette contrainte oblige à s'attaquer à des chimies plus difficiles à maîtriser, mais une fois les bons solides obtenus, cela ouvre beaucoup plus de possibilités sur le plan applicatif. De nombreux domaines sont concernés, que ce soit l'énergie, avec la récupération de chaleur perdue (ex : dans l'habitat, dans l'industrie), la conduction protonique avec les membranes des piles à combustible (notamment pour remplacer le Nafion, cher et peu stable), le domaine biomédical, avec la libération retard de principes actifs (en complément des liposomes ou nanoparticules de polymères, qui ne sont pas adaptés à tous les principes actifs), ou dans l'environnement, avec la capture du CO<sub>2</sub> ou de composés organovolatils.

## UNE LOGIQUE DE BREVETS

Une fois caractérisés, le laboratoire cherche à valoriser ses nouveaux matériaux : leur mise à l'échelle en conditions si possibles vertes et leur mise en forme sont étudiées et des tests applicatifs préliminaires sont réalisés au laboratoire pour tester leurs propriétés d'adsorption, la libération contrôlée de médicament, l'énergie... Cela avant d'engager sur les solides les plus prometteurs des collaborations avec des équipes spécialisées dans ces domaines applicatifs. Le plus souvent, un nouveau brevet est déposé soit quand un nouveau matériau potentiellement intéressant est créé soit quand un procédé de synthèse d'un MOF d'intérêt est optimisé (par exemple une synthèse en conditions vertes, et/ou avec un rendement de synthèse optimal) ou une amélioration de performance significative est établie (par exemple pour la capture de l'acide acétique pour la préservation des œuvres d'art, le transfert de chaleur, la catalyse environnementale, ...).

Dans un futur proche, les nouvelles thématiques à explorer ne manquent pas : la valorisation du CO<sub>2</sub> pour le transformer par exemple en méthanol, la nanobiodétection permettant de détecter les molécules uniques à partir de membranes, de nouvelles membranes efficaces pour les batteries et les piles à combustibles, la détection et la dégradation de polluants... Dans tous les cas, cela nécessitera de revenir à la chimie pour découvrir de nouveaux matériaux et/ou optimiser les matériaux existants ou les produire sous forme de composites ou à plus grande échelle.

# EN BREF

## Sauvegarde du patrimoine ancien

L'acide acétique est un composé volatil issu de l'hydrolyse des papiers, toiles et films anciens à base de cellulose qui accélère leur dégradation. Le sauvetage de ces objets du patrimoine passe donc, entre autres, par la captation de cette molécule sous forme de traces le tout en présence d'humidité, pour laquelle les adsorbants connus (charbons, zéolithes) ne sont pas assez efficaces. Dans ce contexte, l'IMAP a mis au point une série de MOFs hydrophobes mais pas uniquement ; seule une subtile combinaison de taille de pores et de groupements fonctionnels adaptés a permis d'arriver à une meilleure préservation des œuvres anciennes. Ces résultats ont servi de socle au montage d'un projet européen H2020 actuellement en cours associant chimistes, spécialistes de l'adsorption, experts en matériaux composites et leur mise en forme mais aussi des experts en conservation du patrimoine ([www.nemosineproject.eu/](http://www.nemosineproject.eu/)).

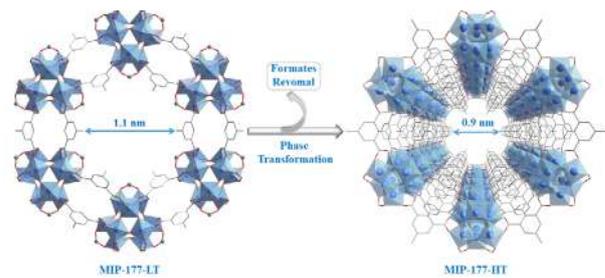
**À LIRE :** *Metal-organic frameworks for cultural heritage preservation: the case of acetic acid removal*, K. Dedecker et al., *Applied Materials & Interfaces*, 2018.

## Les futures applications pour la santé

L'utilisation des MOFs dans le domaine biomédical a rapidement émergé avec des études récentes démontrant les avantages *in vivo* des nanoparticules de MOFs biocompatibles (nanoMOFs) par exemple pour le traitement du cancer, notamment au travers de la charge record de substances actives qu'ils peuvent embarquer, bien souvent très supérieure à la plupart des autres systèmes de libération contrôlée tout en étant biodégradables et non toxiques. Les années à venir s'annoncent très riches en découvertes dans ce domaine. Si le traitement du cancer par encapsulation et libération de principes actifs reste pour l'instant la principale application visée pour les nanoMOFs en biomédecine, d'autres thérapies peuvent être envisagées pour la suite, par exemple sur la libération de gènes non viraux, d'adjuvants vaccinaux, le diagnostic, la détoxification, entre autres.

**À LIRE :** *Nanoparticles of metal-organic frameworks: on the road to in vivo efficacy in biomedicine*, T. Simon-Yarza, A. Mielcarek, P. Couvreur et C. Serre, *Advanced Materials*, 2018.

## De nouveaux matériaux dans le monde de l'énergie



Les matériaux poreux créés par le laboratoire présentent un fort intérêt pour de nombreuses applications dans le domaine de l'énergie. Ainsi, un composé hybride comprenant un cœur d'oxyde de titane ( $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ) et un ligand tétracarboxylate, le MIP-177 (MIP pour Matériaux de l'Institut des matériaux poreux de Paris), présente des propriétés de photoconduction inédites. L'introduction d'un polymère conducteur dans ses pores augmente grandement la durée de vie de séparation des charges sous irradiation. Parallèlement, le laboratoire a découvert un adsorbant d'eau plus efficace pour les applications de type réfrigération, le carboxylate de zirconium MIP-200, qui représente une alternative aux adsorbants utilisés sur le marché. Enfin, le laboratoire a découvert un matériau hybride conçu à partir d'acide aminé stable à l'eau, le MIP-202, qui présente une conductivité protonique proche de celle du polymère commercial, le Nafion, mais moins onéreux et plus stable, ce qui est très prometteur pour les piles à combustible. Dans tous les cas, ces solides utilisent des réactifs qui sont simples, verts et bon marché.

**À LIRE :** *A robust large-pore zirconium carboxylate metal-organic framework for energy-efficient water-sorption-driven refrigeration*, S. Wang et al., *Nature Energy*, 2018. *A phase transformable ultrastable titanium carboxylate framework for photoconduction*, S. Wang et al., *Nature Communications*, 2018.

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](http://espci.psl.eu)

