LCP-A2MC : une recherche multi-échelles engagée pour l'environnement et l'innovation en région Grand-Est

Au cœur de la Moselle, entre Metz, Saint-Avold et Forbach, le Laboratoire de Chimie et Physique – Approche Multi-échelles des Milieux Complexes (LCP-A2MC) de l'Université de Lorraine développe une recherche interdisciplinaire au croisement de la chimie, de la physique et des sciences de l'environnement.

En juillet dernier, nous mettions à l'honneur la spectrométrie de masse avec la présentation notamment de deux entités de la région Grand-Est : la plateforme MassLor - Infrastructure de Recherche en Spectrométrie de Masse de l'Université de Lorraine et du pôle Chimie et Physique Moléculaire (CPM) - et le groupe spectrométrie de masse de l'équipe « Chimie durable et Environnement » du LCP-A2MC.

Au sein de cette équipe, dirigée par le Pr Frédéric AUBRIET, s'illustrent deux autres groupes de recherche que nous vous proposons de découvrir aujourd'hui : Catalyse & Adsorption et Synthèse Organique. Entre dépollution, chimie verte, valorisation de la biomasse et sécurité nucléaire, l'objectif est de concevoir des procédés, des matériaux et des outils analytiques capables de répondre aux défis contemporains de la transition écologique…

➤➤➤

Catalyse & Adsorption : entre sécurité nucléaire et dépollution

Le groupe Catalyse & Adsorption, principalement implanté à Saint Avold, développe des matériaux destinés à la capture et à la transformation de polluants gazeux et aqueux. Historiquement orientées vers la dépollution automobile, ses recherches se sont étendues aux problématiques de sûreté nucléaire, à la suite de l'accident de Fukushima, en 2013. « *Nos travaux visent notamment à développer des matériaux capables de piéger les espèces iodées volatiles susceptibles d'être libérées lors d'un accident nucléaire grave* », explique le Pr Bruno AZAMBRE, enseignant-chercheur au sein du groupe Catalyse et Adsorption. « *Les centrales disposent aujourd'hui de systèmes de filtration efficaces pour les aérosols, mais les dispositifs de filtration des gaz radioactifs comme l'iode moléculaire ou l'iodure de méthyle demeurent beaucoup plus limités.* »



Pr. Bruno AZAMBRE, enseignant-chercheur au sein du groupe Catalyse et Adsorption

Pour répondre à cet enjeu, les chercheurs ont développé des zéolithes fonctionnalisées à l'argent, des matériaux microporeux capables de transformer l'iode gazeux en iodure d'argent stable et insoluble, afin de disposer de systèmes de filtration robustes, performants et compatibles avec une industrialisation à grande échelle. Des essais préindustriels menés entre 2022 et 2024 ont d'ailleurs confirmé que les zéolithes synthétiques (Ag/Y) développées par l'équipe, peuvent être synthétisées à plus large échelle sans perte d'efficacité, et se révèlent peu sensibles au vieillissement lors de simulation d'exposition des filtres à des polluants atmosphériques.

« *Une solution alternative moins coûteuse a également été envisagée* », ajoute Bruno AZAMBRE. « *Des tests effectués par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) au Service d'Etude et de Recherches Expérimentales (SEREX) de Cadarache et au Service Central d'Analyse (SCA) à Saclay, ont montré que des zéolithes naturelles contenant de l'argent sont également efficaces pour filtrer l'iode gazeux dans des conditions très pénalisantes (grandes concentrations en vapeur d'eau, T = 140°C).* »

« D'autres types de matériaux filtrants pour l'iode comme les charbons actifs ex-noix de coco imprégnés au KI ou à la triéthylènediamine (TEDA)—*sont déjà utilisés dans les circuits de ventilation des installations nucléaires depuis une trentaine d'années. Nous avons pu mettre en évidence des phénomènes d'échange isotopique entre l'iodure de potassium imprégné et l'iode radioactif tout en identifiant pour la première fois la nature des espèces formées par chimisorption entre la triéthylènediamine imprégnée et l'iodure de méthyle (CH_3I)* », explique Bruno AZAMBRE. « *L'objectif à terme pour l'exploitant est de pouvoir effectuer un contrôle annuel de ces pièges, sans utiliser d'iode radioactif.* »

Les recherches se poursuivent désormais autour des problématiques d'industrialisation, de vieillissement des filtres et de changement d'échelle. Les travaux sont menés en collaboration toujours avec l'ASNR, qui teste les matériaux en conditions semi-pilotes. Point important : toutes les expériences réalisées à Saint-Avold utilisent de l'iode non radioactif, dont le comportement chimique est identique à celui des isotopes radioactifs.

Au-delà de ces applications, le groupe développe également une activité de recherche fondamentale transversale, avec pour objectifs :

→ de mettre au point des adsorbants innovants aux propriétés d'adsorption optimisées, notamment des silices mésoporeuses et des carbones nanostructurés fonctionnalisés ;

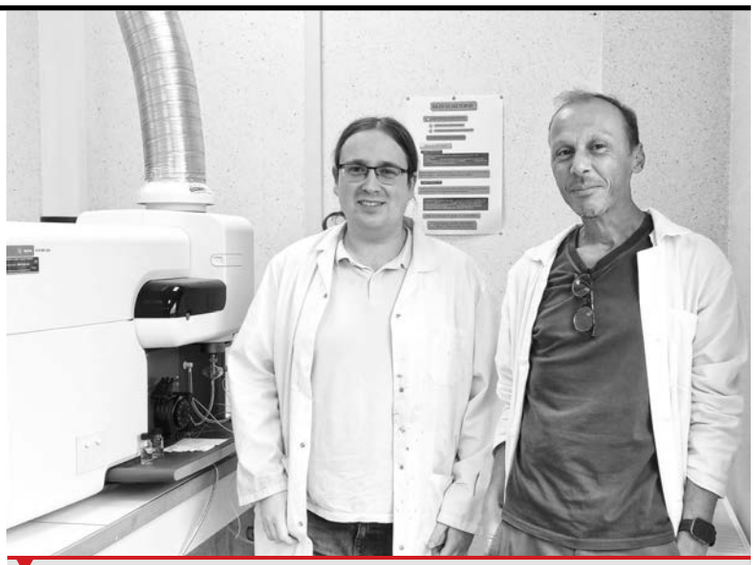
→ d'élucider les mécanismes réactionnels impliqués dans le piégeage des polluants tels que CH_3I sur différents types de surface : oxydes fonctionnalisés, zéolithes, matériaux carbonés...

Spectroscopie infrarouge, UV-Visible en réflexion diffuse et désorption programmée en température sont utilisées, souvent en conditions *in situ*, sous atmosphère réactive afin d'identifier les intermédiaires gazeux et adsorbés à la surface des filtres.

Dans le domaine de la dépollution catalytique, le groupe travaille actuellement avec l'équipe Nanomatériaux sur la mise en œuvre et la caractérisation fine de catalyseurs supportés ultradispersés à l'or. Cette recherche, à vocation fondamentale, a pour objectif d'établir des relations structure-propriétés entre la taille et l'état électronique des entités d'or et leur activité pour l'oxydation du monoxyde de carbone (CO).

Chimie organique : vers des procédés de synthèse plus responsables

Autre axe fort du laboratoire : la chimie organique verte, visant à limiter l'impact environnemental des procédés de synthèse. « *Deux axes majeurs sont étudiés depuis 2022 : la mise au point de nouvelles stratégies de synthèse utilisant des solvants respectueux de l'environnement et le développement de méthodes d'activation moins énergivores* », explique Michèle SINDT, maître de conférences.



Pierre SCHNEIDER, doctorant travaillant sur la catalyse à l'or, et Bruno AZAMBRE

L'idée est de remplacer des solvants pétrosourcés, toxiques ou difficiles à recycler, par des solvants eutectiques profonds, appelés DES pour *Deep Eutectic Solvents*. Ces mélanges, généralement biodégradables et peu volatils, sont souvent obtenus par combinaison de composés naturels abondants. Ils ont ainsi l'avantage de présenter une toxicité réduite, une biodégradabilité accrue et des propriétés physico-chimiques modulables. Alors que la majorité des travaux publiés dans la littérature reposent sur des solvants à base de chlorure de choline, l'équipe messine a choisi une voie originale en développant des DES à base de L-proline, un acide aminé naturel. Associée à des polyols comme le glycérol ou le propylène glycol, la L-proline permet d'obtenir des milieux réactionnels plus vertueux.

« *Notre but est de transposer des réactions réalisées dans des conditions peu respectueuses de l'environnement vers des procédés plus durables* », résume Stéphanie HESSE, professeure en synthèse organique. « *Nous nous intéressons à la synthèse multi-étapes d'hétérocycles susceptibles de présenter des propriétés biologiques ou photophysiques intéressantes.* » Les procédés sont également associés à des activations par micro-ondes ou ultrasons afin de réduire les temps de chauffe et les consommations énergétiques. Certaines réactions peuvent ainsi désormais être réalisées plus rapidement, à plus basse température et sans purification chromatographique lourde, tout en limitant l'usage de catalyseurs polluants. Les différents composés synthétisés sont ensuite analysés par RMN, HR-MS, UV-visible, fluorescence...

Même si cette thématique reste récente, les premiers résultats sont très prometteurs : plusieurs publications ont déjà démontré l'efficacité des solvants développés à Metz. Le groupe souhaite désormais renforcer ses collaborations industrielles autour des problématiques de chimie durable. « *Ces approches visent à développer des méthodes plus efficaces mais aussi plus respectueuses de l'environnement et de la santé des opérateurs. L'idée est d'intégrer les principes de la chimie verte dès la conception des procédés* », ajoute Stéphanie HESSE.

Plusieurs collaborations existent déjà sur certaines thématiques avec des industriels régionaux tels qu'ArcelorMittal, ouvrant des perspectives concrètes de transfert technologique. « *Nous développons également des prestations de services, en réponse aux problématiques des industriels mosellans* », ajoute Sandrine RUP-JACQUES, ingénieure d'études, responsable de la RMN et de l'hygiène & sécurité.

Une recherche pluridisciplinaire au service des transitions

Les groupes Catalyse & Adsorption et Synthèse organique complètent ainsi, aux côtés du groupe Spectrométrie de masse, l'équipe *Chimie durable et Environnement* du LCP-A2MC. À travers des approches complémentaires, ils illustrent une même ambition : développer des matériaux, des procédés et des outils analytiques capables de répondre aux enjeux de la transition écologique, de la sécurité industrielle et de la valorisation durable des ressources.

Né en 2012 de la fusion de 4 unités de physique et chimie de l'Université de Lorraine, le LCP-A2MC fédère aujourd'hui des compétences reconnues autour de 3 équipes de recherche :

- *Chimie durable et Environnement ;*

- *Nanomatériaux* : nanosciences appliquées à la catalyse, à la photocatalyse et à la biodétection ;

- *Ordre-Désordre – Auto-organisation* : rhéophysique des colloïdes et le désordre d'alliage dans les systèmes atomiques.

Cette dynamique scientifique s'appuie sur des plateformes expérimentales de pointe, parmi lesquelles la spectrométrie de masse (MassLor), la RMN et l'Ellipsométrie. Depuis les sites de Metz, Saint-Avold et Forbach, le LCP-A2MC mène ainsi une recherche pluridisciplinaire tournée vers l'innovation, le transfert de technologies et les partenariats. « *Comprendre, transformer et contrôler* » résume l'approche développée par les chercheurs, dans une logique de réduction des impacts et d'optimisation des procédés, face aux grands défis scientifiques, industriels et sociétaux.

Pour en savoir plus :
urlr.me/mu3UZF

S. DENIS

©La Gazette du Laboratoire