



Spectrométrie de masse et région Grand-Est - Gros plan sur la plateforme MassLor et le LCP-A2MC, Laboratoire de Chimie et Physique — Approche Multi-échelles des Milieux Complexes !

L'Université de Lorraine nourrit depuis plus de 40 ans un savoir-faire scientifique unique en région Grand-Est. Une expertise mobilisée pour l'analyse de matrices complexes, de pétroles et de polluants émergents à la valorisation de la biomasse, jusqu'aux vestiges archéologiques et météorites... Le point commun à toutes ces applications, extrêmement pointues et variées : la spectrométrie de masse !

Derrière des instruments capables de détecter et d'identifier une molécule parmi des milliers, à des concentrations ultimes et dans des délais toujours plus courts, ce sont plusieurs décennies d'innovation instrumentale, de collaborations et de développements méthodologiques que nous invitent à découvrir le groupe spectrométrie de masse de l'équipe « Chimie durable et Environnement » du LCP-A2MC et la plateforme MassLor...

Près de 40 ans d'histoire pour une expertise unique dans le Grand-Est

L'histoire de la spectrométrie de masse en Moselle débute dans les années 1980. « La création d'un service commun doté de la toute première micro-sonde laser LAMMA couplée à un spectromètre à temps de vol s'est concrétisée à l'Université de Metz - prédécesseur de l'Université de Lorraine - sous l'impulsion du Pr. Jean-François MULLER », rappelle Lionel VERNEX-LOSET, responsable technique de la plateforme MassLor. « Des progrès significatifs ont rapidement permis de gagner en sensibilité et résolution. »

Dès 1985, une nouvelle étape est franchie, avec l'introduction de la première micro-sonde laser FT-ICR-MS 3T et le développement, en partenariat avec un industriel, d'une source d'ionisation adaptée à la désorption laser, donnant lieu à plusieurs brevets. Cette culture d'innovation est restée au fil des décennies un atout majeur du laboratoire, soutenue par l'acquisition régulière d'instruments toujours plus performants – notamment un FT-ICR MS 9T en 2005, un FT-ICR MS 7T 2XR en 2019, puis un Tims TOF Pro 2 en 2025 - jusqu'à faire du site messin l'un des pôles français de référence en spectrométrie de masse à très haute résolution.

MassLor, une plateforme au service des chercheurs et de l'industrie

Créée en 2020, la plateforme MassLor associe deux laboratoires sur deux sites distincts : le LCP-A2MC à Metz et le L2CM, Laboratoire Lorrain de Chimie Moléculaire, à Nancy. Cette dualité géographique permet une répartition stratégique des ressources humaines et des expertises, avec un objectif commun : mettre à disposition de la communauté scientifique et des industriels des outils analytiques de premier plan.

« Les ingénieurs, chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire sont directement impliqués dans MassLor, ce qui garantit la haute qualité des analyses tout en offrant à nos partenaires académiques et industriels une dynamique constante d'innovation », ajoute Frédéric AUBRIET,

à la tête de l'équipe « Chimie durable et Environnement » et responsable scientifique de la plateforme MassLor.

Intégrée au réseau national Infranalytics, MassLor y occupe une place singulière, gage de reconnaissance de son expertise : seul site FT-ICR MS du Grand Est et seul laboratoire non CNRS ! La plateforme offre aux chercheurs français et internationaux un accès à des équipements de pointe et accompagne également les projets industriels. L'accès gratuit au FT-ICR MS dans le cadre du réseau Infranalytics est assuré sur dépôt de projet.

Une boîte à outils unique pour décrypter la complexité

« Notre mission ne se limite pas à fournir un accès aux équipements ; nous accompagnons les projets depuis la définition de la problématique jusqu'à l'interprétation des résultats. », explique Frédéric AUBRIET. Cette approche est essentielle face à des matrices très complexes telles que bio-huiles, pétroles, substances naturelles, polymères, nanomatériaux ou produits de synthèse, parfois composés de dizaines de milliers de molécules.

L'une des forces du laboratoire réside dans sa capacité d'adaptation. Préparation des échantillons, séparation chromatographique, injection directe ou choix de la source d'ionisation la plus appropriée : ESI, APPI, DART ou désorption laser, chaque stratégie apporte un éclairage complémentaire sur les molécules étudiées.

La plateforme s'appuie ensuite sur une large gamme d'équipements analytiques : chromatographies liquide et gazeuse couplées à la spectrométrie de masse, GC triple quadripolaire et spectromètres FT-ICR-MS à ultra-haute résolution, spectromètre de masse à temps de vol, trappe ionique ou couplage avec l'électrophorèse capillaire... Chaque technique a sa spécificité.

« L'arrivée du TimsTOF Pro a marqué une évolution importante », commente M. VERNEX-LOSET. « Grâce à la mobilité ionique, l'instrument distingue des ions de même masse mais de formes différentes, ce qui permet la caractérisation d'isomères difficiles à séparer. Le FT-ICR demeure l'outil de référence pour l'analyse de matrices complexes, tandis que le triple quadripôle et le temps de vol sont privilégiés pour la quantification et les vitesses d'analyse élevées. »

De la valorisation de la biomasse au recyclage des plastiques

« Un axe majeur de nos travaux porte sur la valorisation thermochimique de biomasses lignocellulosiques - paille, sciures ou déchets de bois - afin de développer des alternatives aux ressources fossiles », présente Frédéric AUBRIET. Les chercheurs étudient notamment les procédés de pyrolyse et de liquéfaction, avec ou sans catalyse, pour produire des biocarburants, des polymères biosourcés et d'autres molécules à forte valeur ajoutée.

Dans un projet ANR mené avec le Laboratoire Réactions et Génie des Procédés de Nancy et le laboratoire



Spectromètre de masse FT-ICR

Catalyse et Spectrochimie de Caen, les procédés de pyrolyse ont été miniaturisés directement à l'entrée du spectromètre de masse. Cette approche permet de caractériser en moins d'une heure la quasi-totalité des produits formés lors de la conversion catalytique, contre plusieurs jours avec les méthodes conventionnelles.

« C'était l'objet de ma thèse », explique Jasmine HERTZOG, aujourd'hui ingénieure de recherche au sein du LCP-A2MC. « Mes travaux portaient sur les bio-huiles issues de la pyrolyse. La FT-ICR nous a permis de comparer leur composition avant et après traitement catalytique, et de mettre ainsi en évidence la formation de composés moins oxygénés, plus adaptés à une valorisation énergétique. »

Les mêmes approches sont aujourd'hui appliquées au recyclage des plastiques par pyrolyse afin de suivre leur transformation en monomères réutilisables...

Comprendre et surveiller les pollutions environnementales

Un autre volet est environnemental, avec la détection de contaminants émergents tels que les PFAS, dans l'eau et les particules atmosphériques. Les chercheurs combinent des approches ciblées et non ciblées associant chromatographie et spectrométrie de masse à haute résolution pour identifier non seulement des composés déjà répertoriés, mais aussi de nouvelles molécules absentes des bases de données actuelles.

D'autres travaux concernent la caractérisation par FT-ICR MS de la matière organique dissoute dans les eaux souterraines et fluviales. « Nous avons ainsi mis en évidence une grande diversité moléculaire et l'intérêt donc de combiner plusieurs sources d'ionisation telles qu'ESI et APPI pour une vision plus complète », commente Sébastien SCHRAMM, maître de conférences. En parallèle, des méthodologies innovantes de suivi de la pollution atmosphérique sont développées grâce à des sources DART, permettant l'analyse rapide des échantillons sans préparation préalable.

Explorer les interactions chimiques du vivant

L'équipe Chimie durable et Environnement développe par ailleurs des recherches en écologie chimique et en métabolomique appliquée aux systèmes végétaux. « L'objectif est d'identifier des marqueurs précoces de stress ou de maladies, et d'envisager des alternatives aux produits phytosanitaires conventionnels », commente Vincent CARRÉ. « Nous cherchons ainsi à comprendre pourquoi certaines plantes résistent naturellement

à des pathogènes alors que d'autres y sont sensibles. »

Grâce à l'imagerie par spectrométrie de masse, il est possible de cartographier la distribution spatiale des molécules directement au sein des tissus biologiques. Concrètement, ces approches permettent de visualiser où se concentrent les métabolites de défense dans une feuille infectée, de suivre les échanges moléculaires entre une plante et une bactérie ou encore d'observer l'impact de contaminants sur les systèmes vivants.

Jusqu'aux applications les plus inattendues : archéologie et astrochimie

La spectrométrie de masse du LCP-A2MC s'ouvre également à des terrains inattendus, comme l'archéologie ou l'astrochimie. « Des collaborations avec le Centre de Recherche et de Restauration des musées de France ont par exemple permis de caractériser par FT-ICR MS des matériaux de momification avec une précision inédite. Plusieurs milliers de formules moléculaires, inaccessibles par d'autres méthodes, ont ainsi été identifiées, apportant de nouvelles informations sur les substances utilisées dans l'Égypte ancienne », précise Jasmine HERTZOG.

D'autres projets concernent l'étude de météorites, d'échantillons issus de missions spatiales ou la reconstitution de chimies analogues à celles observées dans certaines atmosphères planétaires. Ces matrices pouvant compter jusqu'à 15 000 formules moléculaires dans un même échantillon figurent parmi les plus complexes à analyser.

La diversité des projets accueillis par MassLor illustre l'étendue des possibilités offertes par la spectrométrie de masse moderne. Plus qu'un simple plateau technique, la plateforme se distingue par sa capacité à s'adapter à chaque problématique. Cette flexibilité, associée à une forte culture du partenariat, permet à l'équipe lorraine de mettre à disposition une expertise transversale, capable de rendre lisible l'infiniment complexe et d'ouvrir de nouvelles perspectives, de la transition énergétique à la compréhension des origines de la matière.

Pour en savoir plus :

<https://lcp-a2mc.univ-lorraine.fr/plateformes/masslor/>

Déposer un projet :

infranalytics.fr/intranet/deposer-un-projet