

## Nominations et distinctions

### Les Médailles 2016 du CNRS

Le 25 février dernier, le CNRS a publié le palmarès de ses Médailles 2016 d'argent et de bronze. Concernant l'Institut de chimie, les lauréats sont :

*Les Médailles d'argent du CNRS distinguent un chercheur pour l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux, reconnus sur le plan national et international.*

#### • Didier Bourissou



Directeur de recherche CNRS à l'Université Paul Sabatier de Toulouse (Laboratoire Hétérochimie Fondamentale et Appliquée), Didier Bourissou est reconnu internationalement pour ses contributions majeures à l'élaboration de ligands bifonctionnels originaux et innovants, pour des applications en chimie organométallique et organique, ainsi que pour le développement de méthodes de synthèse de polymères biodégradables à visée biomédicale. La chimie des hétéroéléments et une approche moléculaire sont les dénominateurs communs de toutes ses thématiques. Dans l'étude de ligands et autres dérivés inhabituels, il a su mettre à profit les techniques analytiques et théoriques les plus modernes pour définir leurs structures et rationaliser leurs propriétés.

Plusieurs thématiques majeures peuvent être mises en exergue parmi celles développées ces dernières années : les ligands amphiphiles, les ligands pinces dérivés de l'indène, les polymères biodégradables (synthèse contrôlée par polymérisation organo-catalysée ou duale d'hétérocycles et applications pour la formulation de principes actifs), les carbènes et diradicaux (modes de stabilisation et réactivité).

En quelques années, il a su créer un réseau de collaborations avec des scientifiques de renom à l'étranger comme en France et est l'une des premières références mondiales dans le domaine de la chimie des hétéroéléments. Dans tous les domaines qu'il aborde, il remet en question les dogmes établis et introduit de nouveaux concepts qui le placent toujours au plus haut niveau.

Auteur de plus de 160 articles, 20 brevets, 5 chapitres de livres, de nombreuses fois invité comme conférencier dans des universités et industries ainsi

qu'aux très sélectifs Gordon Research Conferences et ACS Meetings aux États-Unis, ses travaux lui ont valu de nombreuses distinctions : Prix Dina Surdin de la Société Chimique de France (SCF) (1999), Médaille de bronze du CNRS (2005)\*, Prix Clavel Lespiau de l'Académie des sciences (2006), Prix Acros de la SCF (2009), Experienced Researcher Fellowship de l'Alexander von Humboldt Fondation (2011-13), Membre distingué junior de la SCF (2013).

\* Voir l'article qu'il avait publié dans nos colonnes à cette occasion : « Les hétéroéléments, des outils de choix pour l'étude des surfaces de potentiel : exemple de la combinaison phosphore/bore et des diradicaux-1,3 » (2007, 307, p. 21).

#### • Catherine Picart



Professeur des universités dans une unité mixte CNRS/Grenoble -INP, Catherine Picart dirige le groupe Interfaces entre Matériaux et Matière Biologique au sein du Laboratoire

des Matériaux et Génie Physique (LMGP). Depuis le début de sa carrière, cette physicienne des matériaux et de la matière molle a choisi d'appliquer ses recherches au domaine de l'ingénierie biomédicale. Ses thématiques sont variées et portent sur les interactions cellules/matériaux et la biophysique cellulaire, en alliant des aspects fondamentaux à des applications au domaine de l'ingénierie tissulaire. Co-auteur de 101 articles et 2 brevets, elle a donné plus de 90 conférences et séminaires en tant qu'invitée.

Ses travaux les plus importants concernent la délivrance de molécules bioactives par les films multicouches de polyélectrolytes, l'ingénierie de tissu musculaire grâce à des matériaux multifonctionnels et la biophysique des interactions entre protéines et membranes biomimétiques. Elle développe notamment une recherche fondamentale et appliquée originale sur des systèmes multicouches de polyélectrolytes pour le traitement de pathologies musculo-squelettiques. Ceci a été possible grâce à ses travaux initiaux dans une équipe phare du domaine (Strasbourg) suite auxquels elle s'est démarquée de la concurrence nationale et internationale en visant spécifiquement à appliquer ces films au domaine de la régénération musculo-squelettique et aux processus cancéreux. Elle a étudié la structure et la dynamique de films minces polymères et cherche désormais à comprendre comment les cellules précurseur des tissus musculo-squelettiques répondent à leur environnement, en contrôlant la rigidité des films, leur topographie et leur bioactivité.

Outre la qualité et l'originalité de ses

travaux, elle a imaginé des matériaux dont les applications biologiques sont toujours extrêmement pertinentes. Récemment, son équipe a été pionnière dans le développement de revêtements ostéoinducteurs chargés en facteurs ostéogéniques (BMP) pour l'ingénierie tissulaire osseuse présentant un immense potentiel applicatif en médecine régénératrice. Elle a établi des partenariats pour développer ces films en collaboration étroite avec des biologistes et cliniciens spécialistes du domaine. Elle a d'ailleurs obtenu pour ce projet un financement ERC Proof-of-Concept (OSCODI : OSTeo-inductive COating of orthopedic and Dental Implants). Le projet est désormais soutenu par la SATT (Société d'Accélération de Transfert et de Technologie) Linksium de Grenoble.

Au niveau fondamental, elle a noué un partenariat fructueux avec une équipe de biologistes grenobloise pour étudier les mécanismes moléculaires d'interaction entre les récepteurs aux facteurs de croissance et les récepteurs d'adhésion cellulaire. Ces aspects fondamentaux apportent des connaissances primordiales pour les futures applications cliniques de ces films, et de façon plus générale, pour la compréhension des mécanismes de signalisation des facteurs de croissance présentés à la surface de biomatériaux.

L'expertise incontournable qu'elle a acquise sur ces revêtements de surface associés aux protéines bioactives fait d'elle la chercheuse française la plus reconnue au niveau international dans le domaine des biomatériaux et de l'ingénierie tissulaire, ce qui lui a valu de nombreuses distinctions : prix Jeune chercheur de la Société Française de Biomécanique (1999), Prix Jean-Marc Lhoste de la Société Française de Biophysique (2007), Membre Junior de l'Institut Universitaire de France (2007), Chevalier de l'Ordre national du Mérite en 2013.

*Les Médailles de bronze récompensent le premier travail d'un chercheur qui fait de lui un spécialiste de talent dans son domaine. Elles représentent un encouragement du CNRS à poursuivre des recherches bien engagées et déjà fécondes.*

#### • Frédéric De Geuser



Chargé de recherche CNRS au SIMaP à Grenoble, Frédéric De Geuser étudie les transformations de phases dans les alliages métalliques en utilisant de grands

instruments et particulièrement le rayonnement synchrotron. En association avec les compétences développées durant sa thèse (sonde atomique tomographique) et son postdoctorat (modélisation Monte Carlo cinétique), il maîtrise au plus haut niveau un panel particulièrement large et complémentaire de compétences dans le domaine de la caractérisation et de la modélisation des nanostructures dans les alliages métalliques. C'est notamment l'un des seuls spécialistes au niveau mondial qui maîtrise à la fois les techniques de sonde atomique et de mesure par rayons X (diffusion centrale et diffraction) pour l'étude des transformations de phases. Pour cette dernière technique, il a développé une méthode originale d'exploitation des résultats qui tient compte de la forme spécifique des précipités (plaquettes) et, combinée à une analyse de la texture, permet de décrire précisément la microstructure de l'alliage.

Dans son programme, il se consacre à l'étude, si possible *in situ*, des transformations de phases dans les alliages métalliques. Il étudie en particulier les phénomènes de précipitation dans les alliages Al-Li-Cu et Al-Zn-Mg. La combinaison unique de techniques expérimentales qu'il maîtrise lui permet de décrire très précisément les microstructures de précipitation en fonction des traitements thermomécaniques appliqués, données qui lui servent de base pour la modélisation des mécanismes de durcissement de ces alliages. Il applique également avec succès ses compétences à l'étude du vieillissement par décomposition spinodale à basse température d'un acier inox martensitique utilisé pour les mâts de réacteurs dans l'aéronautique.

Ses compétences uniques, associées à des sujets de recherche à la pointe de la science dans le domaine des transformations de phases dans les alliages métalliques, lui ont déjà valu en 2012 la Médaille Jean Rist de la Société Française de Métallurgie et de Matériaux (SF2M) qui récompense chaque année de jeunes métallurgistes ou spécialistes de matériaux pour l'excellence de leur travail.

#### • Marc Dussauze



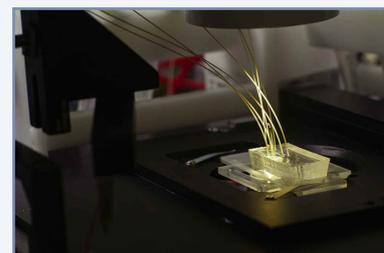
Marc Dussauze est chargé de recherche CNRS au sein du Groupe de Spectroscopie moléculaire à l'ISM de Bordeaux, où son activité se répartit autour de trois axes principaux : le développement d'une technique d'imagerie corrélative de

spectroscopie vibrationnelle et d'optique non linéaire (ONL) ; l'étude des relations structures/propriétés de nouvelles compositions de verres, vitrocéramiques et couches minces vitreuses ; la mise au point de procédés permettant la structuration spatiale des propriétés optiques de verres inorganiques par polarisation thermique et irradiation laser.

Il a obtenu plusieurs résultats marquants ces dernières années. En collaboration avec plusieurs laboratoires bordelais, il a étudié l'influence d'irradiations laser femtosecondes sur différents systèmes cristallisés ou amorphes, en décryptant notamment les mécanismes d'inscription de motifs fluorescents dans des verres phosphates d'argent photosensibles. Ses études sur la polarisation des verres oxydes et chalcogénures ont permis une réelle amélioration de la compréhension des mécanismes d'implémentation de la charge d'espace au sein du verre. Ces avancées significatives permettent désormais d'envisager les verres polarisés pour la fabrication de microsystèmes optiques intégrés. Enfin, des résultats originaux ont été obtenus sur l'étude de vitrocéramiques possédant une remarquable réponse de génération de second harmonique (GSH) isotrope, ce qui est paradoxalement contradictoire avec le caractère anisotrope requis pour tout matériau classiquement actif en optique non linéaire du second ordre.

Au sein de l'ISM, son travail s'appuie sur un vaste réseau de collaborations pluridisciplinaires régionales, nationales et internationales, ce qui lui a permis d'étudier une grande variété de matériaux tels que des verres oxydes ou chalcogénures, des vitrocéramiques, des matériaux hybrides, ainsi que leur structuration par irradiation laser ou polarisation thermique. Son expertise de physico-chimiste concerne principalement la spectroscopie optique, l'optique non linéaire et la chimie du verre. Il s'intéresse essentiellement aux mécanismes de polarisation pour faire émerger de nouvelles propriétés physico-chimiques inédites. Cet ensemble de compétences lui a permis d'occuper une position centrale dans la dynamique de ses recherches collaboratives, entre les aspects de chimie de l'état solide et de physique appliquée. Pour les années à venir, ses projets seront focalisés sur la conception de nouveaux systèmes vitreux ou amorphes et sur la structuration de leurs propriétés à la fois de façon multifonctionnelle et multi-échelle. Deux nouvelles voies seront explorées : la structuration de propriétés d'optique linéaire et non linéaire de verres par propagation

### La microfluidique et l'incubateur de l'ESPCI à l'honneur



Système de microfluidique. © Laurent Ollier.

Le 14 mars dernier, l'Institut Pierre-Gilles de Gennes\* (IPGG) pour la microfluidique et l'incubateur de l'ESPCI Paris ont été inaugurés en présence du Président de la République, François Hollande, de la maire de Paris, Anne Hidalgo, et du directeur général de l'ESPCI Paris, Jean-François Joanny, parmi d'autres personnalités. C'est un honneur pour l'ESPCI d'héberger ce nouveau centre de recherche de plus de 4 000 m<sup>2</sup> dédié à une technologie révolutionnaire, qui permet de manipuler des volumes de fluides de l'ordre du micro-, nano-, voire femtolitre (10<sup>-15</sup>) !

La microfluidique suscite un vif engouement chez les chercheurs et industriels (avec la création de près de 400 start-up), qui peuvent étudier et analyser des échantillons à l'aide de véritables microprocesseurs pour la biologie, moins encombrants, moins dangereux, moins coûteux et moins polluants. Les perspectives d'applications sont nombreuses et prometteuses en santé, énergie, chimie verte, cosmétique, agroalimentaire : détection précoce de maladies (tumeurs dans le sang par ex.), séquençage d'ADN, détection de traces de pollution (air et eau), gels cosmétiques microfluidiques, imprimantes 3D d'organes sur puces...

Plateforme d'excellence interdisciplinaire et lieu de collaborations internationales entre public et privé, l'IPGG est promis au rang de leader mondial pour la microfluidique. Fidèle à la culture entrepreneuriale de l'ESPCI, il héberge un incubateur labellisé en 2014 par la Ville de Paris, et qui accueille déjà dix start-up depuis janvier 2016.

Étudiants, doctorants, postdoctorants, ingénieurs, techniciens, chercheurs, créateurs d'entreprise : les candidatures sont lancées !

\*[www.institut-pgg.fr](http://www.institut-pgg.fr)

planaire de plasma du type décharge à barrière diélectrique (les mécanismes physiques à l'origine de ces effets ne sont pas encore clairement définis, alors que cette approche est très prometteuse et simple à mettre en œuvre pour effectuer la structuration de propriétés optiques) ; la structuration de fonctionnalités chimiques et de charges en surface de matériaux vitreux, par traitement de polarisation, puis fonctionnalisation par voie chimique. Ces matériaux et méthodes de fabrication présentent un grand intérêt socio-économique avec de multiples applications potentielles (biotechnologies, interfaces nanostructurées, etc.).

#### • Vincent Fourmond



Chargé de recherche CNRS dans l'équipe de Christophe Léger au BIP (Bioénergétique et Ingénierie des Protéines, Marseille), Vincent Fourmond développe une recherche

autour de l'étude de métalloenzymes redox impliquées dans le métabolisme énergétique de bactéries en utilisant et développant la technique phare de l'équipe : l'électrochimie directe de films protéiques.

Le premier axe de ses recherches consiste à mettre au point des outils de modélisation des données collectées par électrochimie directe de films protéiques\*. Cette technique permet de mesurer directement l'activité d'une métalloenzyme déposée sur un film positionné sur une électrode en rotation rapide pour s'affranchir du transport de masse du substrat. Le courant généré est proportionnel au turnover de l'enzyme. Il est alors possible de modifier les conditions (potentiel à l'électrode, composition de la solution, gaz, pH, température...) et d'observer les effets sur la cinétique des transferts d'électrons. Vincent Fourmond apporte ses compétences complémentaires à celle de C. Léger qui sont cruciales dans l'analyse quantitative des « formes de vague » (profils d'activité en fonction de la force motrice de la réaction) *via* l'extraction de constantes cinétiques et la compréhension des phénomènes physiques et des réactions chimiques sur l'électrode.

Le second axe concerne l'étude de la CO déshydrogénase, enzyme dont il porte l'étude électrochimique au laboratoire. Une de ses contributions majeures a été le développement d'outils mathématiques et informatiques pour l'analyse quantitative des données issues de l'électrochimie directe des films protéiques. Le logiciel QSoas

qui découle de ce travail méthodologique de fond est libre et devient progressivement une référence, attirant des collaborations à l'international. Ces outils ont permis de comprendre comment l'hydrogénase à FeFe (enzyme qui produit ou consomme H<sub>2</sub>) s'inactive de manière réversible dans des conditions fortement oxydantes, protégeant l'enzyme des dégradations irréversibles. Ce travail, publié dans *Nature Chemistry*, aura un fort impact sur le design de nouvelles hydrogénases plus actives et robustes pour l'oxydation de H<sub>2</sub> dans les biopiles.

Un axe futur de son travail consistera à étudier l'électrochimie de la CO déshydrogénase, enzyme qui catalyse l'oxydation réversible du CO en CO<sub>2</sub>, et qui pourrait servir d'inspiration pour la conception de catalyseurs pour la réduction du CO<sub>2</sub>. Un autre axe sera de continuer à améliorer la technique d'électrochimie directe tant du côté de la modélisation des données que pour mieux comprendre et maîtriser les écoulements hydrodynamiques, et ainsi mieux contrôler l'apport du substrat à l'électrode.

\* Voir l'article récemment publié dans nos colonnes : Baffert C., Dementin S., Fourmond V., Léger C., « L'électrochimie, un outil pour étudier les mécanismes enzymatiques » (2015, 392, p. 9).

#### • Estelle Métay



Estelle Métay est chargée de recherche CNRS à l'Institut de Chimie et Biochimie Moléculaires et Supramoléculaires (ICBMS, Lyon) au sein de l'équipe

CASYEN (groupe de Marc Lemaire). Ses recherches portent sur le développement de nouvelles méthodologies alternatives en synthèse organique, notamment pour des applications dans l'industrie chimique. Ce travail combine plusieurs facettes de la chimie et s'attache à utiliser des réactifs et méthodes respectueuses de l'environnement et/ou tirant profit de matériaux biosourcés. Des solutions performantes, économiquement et écologiquement durables et directement transposables à plus grande échelle sont ainsi développées, et ont donné lieu depuis 2013 au dépôt de six brevets en co-détention avec des sociétés chimiques.

Sa contribution porte principalement sur le développement et l'optimisation de i) nouvelles voies d'accès économiquement et écologiquement durables (substitution nucléophile oxydante du bore, formation d'éthers et d'amines aromatiques à partir de cétones, cata-

lyse asymétrique, coupure oxydante) et ii) de réactifs moins toxiques et dangereux respectant la réglementation REACH (réducteurs donneurs d'hydrure, solvants biosourcés). Elle développe des méthodes innovantes et variées en synthèse organique en tenant compte des contraintes associées aux nouvelles réglementations, aux coûts et à leurs applications.

Son programme de recherche s'inscrit dans la continuité des projets développés actuellement, en collaboration avec plusieurs partenaires industriels et également académiques. De nouvelles voies sont explorées avec l'utilisation d'hydrure de calcium (CaH<sub>2</sub>) en présence de quantité catalytique d'un métal de transition pour des réactions combinées de Knoevenagel/hydrogénation et le développement de nouvelles méthodes à faible impact environnemental pour la préparation d'acides carboxyliques à plus forte valeur ajoutée à partir de diols vicinaux issus de la valorisation d'huiles végétales. Ce projet a été sélectionné dans l'appel à projet « Chimie durable – Industries, Innovation 2013 » et est financé par l'ANR.

L'apport scientifique des travaux de cette chercheuse est très important du fait des avancées apportées autant d'un point de vue académique qu'industriel et de l'impact socioéconomique direct de ces développements. Estelle Métay a su apporter une contribution originale, développant de nouveaux outils synthétiques en tenant compte de leur impact environnemental, faisant le lien entre le monde académique et industriel.

#### • Thierry Mora



Chargé de recherche CNRS au Laboratoire de Physique Statistique (CNRS/École Normale Supérieure, Paris), Thierry Mora est un physicien théoricien de la bio-

physique dont les principales recherches portent sur des applications de la physique statistique aux comportements collectifs, aux phénomènes critiques, aux biofilms et à la recombinaison ADN. Le thème général de ses activités est le développement de méthodes théoriques issues de la physique statistique, afin de comprendre les systèmes biologiques faisant intervenir un grand nombre d'unités en interaction. Ces systèmes vont de l'échelle moléculaire à celle de populations d'individus. Depuis son entrée au CNRS il y a cinq ans, ses travaux se focalisent

principalement sur quatre grands thèmes, pour lesquels il a développé des contacts avec des équipes expérimentales et théoriques, aussi bien en France qu'à l'étranger : l'écologie de colonies bactériennes ; l'immunologie moléculaire ; l'étude du comportement collectif d'oiseaux ; le codage collectif dans des populations de neurones de la rétine. Il a travaillé par ailleurs sur d'autres thèmes connexes, en particulier les effets coopératifs dans la prédiction de sites de liaison sur l'ADN, la prédiction de contacts dans les protéines, et la précision de la détection de concentration par des récepteurs biologiques.

Ses travaux s'inscrivent dans la ligne fondamentale, avec un fil conducteur qui relie les différents systèmes, très divers et couvrant plusieurs échelles de longueur et de temps, mettant en jeu un grand nombre d'agents (acides aminés, bactéries, neurones, individus), dont le comportement donne lieu à un riche éventail de phénomènes spécifiques aux systèmes étudiés avec une équivalence mathématique avec les phénomènes critiques en physique.

#### • Grégory Nocton



Chargé de recherche CNRS au Laboratoire de Chimie Moléculaire (École polytechnique, Palaiseau), Grégory Nocton est un jeune chercheur dynamique qui développe une chimie très innovante et de haut niveau scientifique dans le domaine de la chimie de coordination et de la chimie organométallique de métaux de transition (niobium, platine, palladium) et de lanthanides et en étudie aussi bien les propriétés en spectroscopie (magnétisme et optique) qu'en réactivité chimique.

Ses axes de recherche portent notamment sur des complexes organométalliques de niobium à basse valence et à valence mixte, des complexes organométalliques du platine pour l'activation de petites molécules, mais le cœur de ses travaux s'articule autour de l'étude de transferts électroniques dans des complexes organométalliques de lanthanides contenant des ligands redox non innocents. Ces derniers travaux ont permis des avancées très originales dans le domaine de l'activation de petites molécules ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), de la formation de liaison C-C ou dans l'activation de liaisons C-H.

Son programme aux perspectives ambitieuses sera centré sur la synthèse et la caractérisation de complexes

### Colloque « Ruptures, évolutions, innovations : la chimie aux frontières », 19 mai 2016



Qu'est-ce qui favorise l'émergence de nouveaux concepts et l'innovation en chimie ? Le 19 mai prochain, le CNRS nous propose d'explorer les facteurs qui ont pu déclencher ces dernières années des bouleversements dans la discipline et à ses interfaces. Hasard, vision, persévérance, force de conviction individuelle, synergie de communautés, interdisciplinarité... La journée laissera place aux récits et témoignages croisés de chercheuses et chercheurs, issus de différentes communautés scientifiques et du monde industriel.

- Au siège du CNRS – Campus Paris Michel-Auge, Auditorium Marie Curie.
- Pour en savoir plus : [chimie.sciencesconf.org](http://chimie.sciencesconf.org)

organométalliques présentant une structure électronique et une réactivité chimique particulières. Les travaux auront pour objectif la compréhension des différentes étapes de réduction et de fonctionnalisation de petites molécules assistées par leur coordination à un centre métallique.

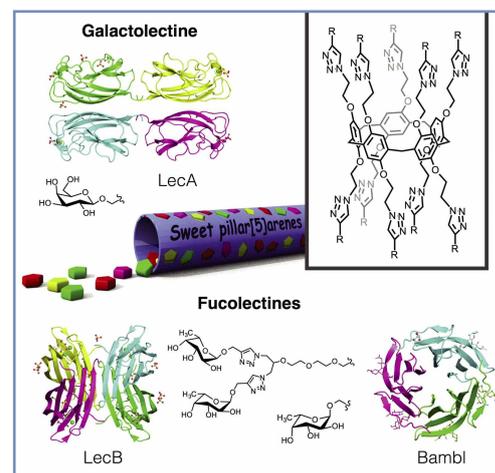
#### Recherche et développement

### Un Velcro® moléculaire se fixant sur des protéines bactériennes

Lors d'une infection bactérienne, les bactéries utilisent des protéines appelées lectines pour s'accrocher aux sucres présents à la surface de leurs cellules cibles avant de les pénétrer. L'interaction de certaines lectines bactériennes avec des sucres intervient aussi dans la formation des biofilms : des communautés complexes de bactéries adhérant entre elles et formant une matrice protectrice sous forme de film. Une piste pour réduire la virulence des bactéries consiste donc à limiter ou empêcher les phénomènes d'adhésion des lectines bactériennes en disposant de molécules ayant une plus forte affinité pour la lectine que pour son ligand naturel. Or l'affinité de la lectine pour sa cible est très forte, principalement en raison de l'interaction simultanée de plusieurs sucres avec la même protéine. Ceci peut être vu comme un effet Velcro® où la somme d'interactions faibles conduit à une forte adhésion. Le chimiste doit donc concevoir de véritables « velcros moléculaires » capables de s'accrocher fortement aux lectines bactériennes par des interactions multiples. C'est sur ce concept que s'est penchée une équipe de chercheurs CNRS, menée par Jean-François Nierengarten (Univ. Strasbourg),

Sébastien Vidal (Univ. Claude Bernard Lyon 1) et Anne Imberty (Univ. Grenoble Alpes), en collaboration avec des chercheurs belges et anglais\* [1]. Former des « velcros moléculaires » est possible en préparant des molécules présentant plusieurs sucres périphériques. Les chimistes se sont naturellement tournés vers des molécules ramifiées (dendrimères) portant des sucres au bout de leurs branches et permettant ainsi une offre multivalente de ses sucres périphériques.

Cependant, la préparation de ce type de molécules nécessite beaucoup d'étapes de synthèse et reste extrêmement fastidieuse. Une stratégie alternative consiste à greffer de nombreux sucres sur un cœur compact comportant plusieurs points de greffage. Les



Des molécules Velcro® comportant un cœur pillar[5]arène et des sucres en périphérie ont été construites en greffant des sucres sur le cœur macrocyclique (encadré). La molécule comportant dix unités galactose a une forte affinité pour la lectine bactérienne LecA, alors que les molécules comportant 10 ou 20 unités fucose ont une forte affinité pour les fucolectines LecB et Bambl. LecA et LecB sont des lectines de *Pseudomonas aeruginosa* possédant quatre poches de reconnaissance. Bambl est une lectine d'une bactérie appartenant au groupe des *Burkholderia cepacia* et possède six poches de reconnaissance. Les structures de ces trois lectines sont représentées avec les substituants périphériques de leurs ligands pillar[5]arènes. © Jean-François Nierengarten.

chimistes ont choisi un cœur pillar[5]-arène, molécule cyclique possédant cinq bras fonctionnalisables sur chacune de ses deux faces, permettant donc le greffage de dix sucres périphériques (galactose ou fucose, voir *figure*). Avantage de ces glycoconjugués : ils sont préparés en un nombre minimum d'étapes de synthèse. L'affinité de ces « velcros moléculaires » a été testée pour différentes lectines bactériennes. Les deux premières, LecA et LecB, sont des lectines du bacille pyocyanique qui est l'une des bactéries les plus difficiles à traiter cliniquement. Elle est responsable de diverses pathologies allant d'infections postopératoires à des infections systémiques chez les patients immunodéprimés ou atteints de mucoviscidose. Elles possèdent quatre poches de reconnaissance permettant de se lier à quatre sucres. La troisième lectine sélectionnée est BambL. Cet agent pathogène provoque le plus souvent des pneumonies chez les patients immunodéprimés ou ayant une maladie pulmonaire sous-jacente comme la mucoviscidose. Elle possède six poches de reconnaissance.

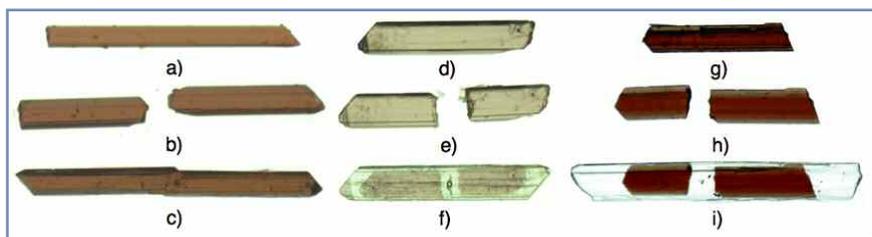
Dans tous les cas, les pillar[5]arènes sucrés ont montré de très fortes affinités pour les lectines. L'effet Velcro® s'est révélé très efficace car les pillar[5]arènes sucrés ont des affinités nettement supérieures aux composés ne présentant qu'un sucre. En combinant une forte affinité avec une synthèse simple et efficace, ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour le développement d'agents antibactériens par une stratégie antiadhésive et non plus antibiotique, domaine de recherche devenu essentiel étant donnée la résistance croissante des bactéries aux antibiotiques.

\* Source : CNRS, 14/03/2016.

\* Laboratoire de chimie moléculaire (CNRS/Univ. Strasbourg), Institut de chimie et biochimie moléculaires et supramoléculaires (CNRS/Univ. Claude Bernard Lyon 1), Centre de recherche sur les macromolécules végétales (CNRS/Univ. Grenoble Alpes), Université de Namur (Belgique) et Université de East Anglia (Angleterre).

[1] Buffet K. *et al.*, Pillar[5]arene-based glycoclusters: synthesis and multivalent binding to pathogenic bacterial lectins, *Chem. Eur. J.*, 2016, 22(9), p. 2955.

### La soudure cristalline, une première mondiale !



Soudure cristalline : les cristaux (a, d, g) ont été coupés, placés et orientés (b, e, h), puis soudés (homomère (c) et hétéro (f, i)) en monocristaux par croissance épitaxiale en solution sous conditions douces (25 °C). © M.W. Hosseini.

Par la méthode dite de « tectonique moléculaire », une équipe de chercheurs du Laboratoire de chimie de la matière complexe (CNRS/Univ. Strasbourg) menée par Mir Wais Hosseini et Sylvie Ferlay est parvenue à réaliser une véritable soudure de cristaux. Comment ? En considérant qu'un cristal est le fruit de l'autoassemblage de briques moléculaires de base et qu'en maîtrisant la conception de ces briques, il est possible de prévoir et contrôler leur assemblage moléculaire. Ils ont ainsi réalisé la soudure de deux cristaux, formant un monocristal multidomaine et ont également fabriqué des cristaux de type cœur-coquille [1].

Alors qu'au niveau microscopique, l'organisation des atomes en molécules par synthèse chimique est de mieux en mieux maîtrisée, le passage au monde macroscopique cristallin avec un contrôle précis de l'organisation spatiale des molécules reste un défi car il nécessite un nombre très important d'opérations d'assemblage. Ce passage micro/macro peut être réalisé par la tectonique moléculaire, une approche fondée sur l'autoassemblage moléculaire mettant en place des processus itératifs de reconnaissance moléculaire entre briques de construction (tectons) programmées conduisant à la création de réseaux moléculaires, architectures ordonnées et périodiques. Pour cette stratégie, relevant de la synthèse supramoléculaire, les liens entre les molécules se font par interactions intermoléculaires réversibles (liaison hydrogène par ex.). Le contrôle strict de l'ordre et de la périodicité aux niveaux micro- et macroscopiques sont incontournables pour le développement de nouveaux matériaux et dispositifs dits « intelligents ».

Les chercheurs strasbourgeois ont développé une stratégie fondée sur la croissance épitaxiale en trois dimensions pour souder en solution, dans des conditions douces (25 °C), des cristaux moléculaires en réseaux de cristaux. Ils ont tout d'abord synthétisé des cristaux isostructuraux (même groupe d'espace et système cristallin) et quasi isométriques (paramètres de maille proches) de différentes couleurs,

en assemblant des tectons cationiques donneurs de liaisons hydrogène et de métallotectons anioniques (complexes de métaux de transition) accepteurs de liaisons hydrogène. Ils ont ensuite utilisé ces cristaux isostructuraux pour confectionner des cristaux de type cœur-coquille, mais également pour les souder en monocristaux multidomaines par croissance épitaxiale en solution (voir *figure*).

Souder des cristaux en réseaux macroscopiques par des processus d'autoassemblage est une stratégie nouvelle pour la conception et la fabrication de matériaux organisés de façon hiérarchique en sous-domaines ordonnés présentant différentes propriétés ciblées (voir *figure*). La soudure cristalline peut être vue comme une première étape vers la conception de systèmes moléculaires complexes organisés de façon hiérarchique.

Ces travaux ont été soutenus par le Labex « Chimie des systèmes complexes », le Centre international de recherche aux frontières de la chimie et le CNRS.

\* Source : CNRS, 25/02/2016.

[1] Adolf C.R.R., Ferlay S., Kyritsakas N., Hosseini M.W., Welding molecular crystals, *J. Am. Chem. Soc.*, 2015, 137(49), p. 15390.

## Industrie

### Air Liquide confiant pour 2016

Dans le contexte d'une croissance mondiale ralentie, le groupe a réalisé en 2015 une solide performance avec une nouvelle hausse de son chiffre d'affaires (16 380 M€, + 6,7 %), due principalement au dynamisme de son secteur « Santé » et au fort développement du secteur « Électronique ». Parmi les faits marquants de l'année, on peut retenir la poursuite des acquisitions dans la santé à domicile en Europe (son marché « historique »), le démarrage du site hydrogène de Yanbu en Arabie saoudite, de nouveaux contrats dans les marchés de croissance (Afrique du Sud, Chine, Colombie, marché des semi-conducteurs en Asie-Pacifique), la création de l'activité « Marchés globaux & Technologies » – une « nouvelle division symbole de l'innovation » –, et les décisions d'investissements (2,4 Md€), avec en particulier la signature d'un accord pour l'acquisition de la société américaine Airgas. Cette acquisition, en cours de finalisation, constitue une étape majeure dans le développement du groupe en renforçant sa présence sur le marché américain, le plus grand marché



Taxi de la flotte Hype (STEP) se réapprovisionnant à la station hydrogène installée au pont de l'Alma à Paris. Cette station, comme toutes celles conçues et installées par Air Liquide, permet aux véhicules électriques à hydrogène de se recharger en moins de 5 min pour une autonomie pouvant atteindre environ 500 km. © Joseph Melin.

des gaz industriels du monde. Cet investissement entraînera dans le courant de l'année une augmentation de capital, ce qui n'avait pas eu lieu depuis trente ans.

Dans la cryogénie extrême, le groupe a annoncé la signature d'un nouveau contrat avec ITER-India pour la conception et la fabrication de 19 lignes cryogéniques. Cette signature vient compléter deux contrats déjà signés en 2012 et 2013, portant à environ 250 M€ le montant global des contrats signés pour le projet ITER par Air Liquide. Ce dernier vise à développer un réacteur expérimental pour démontrer la faisabilité scientifique et technologique de la fusion en tant que nouvelle source d'énergie.

En France, rappelons qu'Air Liquide a inauguré Cryocap™, une installation industrielle unique qui permet le captage par procédé cryogénique du CO<sub>2</sub> émis lors de la production d'hydrogène. Une fois purifié, le CO<sub>2</sub> récupéré permet de répondre aux besoins d'approvisionnement de ce gaz dans différentes applications industrielles. Cette innovation s'inscrit dans la démarche « Blue Hydrogen » du groupe qui vise à décarboner progressivement sa production d'hydrogène dédié aux applications énergétiques liées à la mobilité. Dans cette démarche, Air Liquide s'engage d'ici à 2020 à augmenter progressivement la part d'hydrogène produit à partir de sources d'énergie décarbonées (actuellement 95 % de l'hydrogène produit par le groupe l'est encore à partir de gaz naturel).

Dans le cadre de son plan « mobilité hydrogène », le groupe poursuit ses développements en Allemagne (400 stations service), mais aussi au Japon, Danemark, en Belgique et aux États-Unis. L'objectif était pour Benoît Potier, PDG du groupe, de « semer les graines ». En France, à l'occasion de la COP21 et en partenariat avec la start-up STEP (Société du Taxi

Électrique Parisien), Air Liquide a installé en décembre dernier au centre de Paris une station de recharge d'hydrogène qui a permis de lancer le déploiement de « Hype », la première flotte de taxis électriques à hydrogène (voir photo). Constituée dans un premier temps de cinq voitures Hyundai ix35, cette flotte devrait compter environ 70 véhicules d'ici un an et plusieurs centaines d'ici cinq ans. Un réseau permanent de stations hydrogène, destinées notamment à recharger cette flotte de taxis, sera progressivement installé dans la région parisienne (aéroports...). Par ailleurs, Air Liquide a été choisi par le groupe international FM Logistic dans le cadre du développement de chariots de manutention à hydrogène. Une station destinée à alimenter les chariots munis de piles à hydrogène a été installée sur une plateforme logistique proche d'Orléans. Ces « expériences symboliques », qui restent encore un marché de niche, contribuent à montrer les bénéfices de l'hydrogène comme énergie propre et à relever le défi de la transition énergétique.

#### Roselyne Messal

\* Source : Conférence de presse Air Liquide, Paris, 16/02/2016.

### Les biofertilisants : en route pour une agriculture vivante

Le 10 mars 2016, Cédric Cabanes, président d'AgroNutrition\* et de l'UIC Midi-Pyrénées, a annoncé le lancement de Connectis®, un biofertilisant qui vient d'être homologué AMM pour l'arboriculture fruitière, la vigne, l'horticulture, les grandes cultures et les cultures maraîchères. Fruit de six années de R & D au sein de son laboratoire de biotechnologies du sol de Toulouse-Labège, en collaboration avec le CNRS/Université Paul Sabatier et Institut national polytechnique de Toulouse, ce produit novateur a mobilisé des compétences alliant agronomie, microbiologie et chimie.

Connectis® est une savante formulation liquide de champignons endomycorhiziens *Rhizofagus irregularis*, qui se greffent en symbiose aux racines de nombreuses plantes – la plus ancienne symbiose connue, remontant à plus de 400 millions d'années –, stimulant leur croissance et renforçant leur résistance, limitant ainsi les apports en eau et en intrants. Ce champignon est capable de puiser profondément dans les sols des éléments minéraux (phosphate, azote...) et de l'eau pour nourrir la plante.

AgroNutrition propose ses compléments nutritionnels aux agriculteurs du monde entier, à travers un service personnalisé, Solactiv®, qui consiste en une bioamplification (mécanisme de biodynamisation naturelle des sols) des micro-organismes endogènes présentant le meilleur intérêt agronomique pour chaque type de parcelle prélevé puis réinjecté par pulvérisation dans le champ. Une démarche originale, car elle exploite le potentiel vivant de chaque type de sol, et plus efficace (amélioration du rendement) qu'un apport de micro-organismes exogènes. Ainsi, la bioamplification azotée remplace 10 à 20 % des apports d'azote de synthèse. Autre avantage de ce procédé contribuant à diminuer l'empreinte environnementale : il limite la perte d'azote par les eaux (lessivage) et par l'air (sous forme de protoxyde d'azote, gaz à effet de serre).

L'année 2016 est un tournant pour Solactiv®, en cours de transfert de technologie sur quatre continents (France, Canada, Chine, Caraïbes), pour aider des coopératives, par cession de licences et accompagnement/formation sur place, à développer leurs propres laboratoires afin de proposer directement le service à leurs clients agriculteurs. Les tests sont en cours, et les Caraïbes sont sur le point d'ouvrir le premier laboratoire dès 2017 pour la culture de bananes.

La bioamplification avec des biofertilisants comme Connectis®, qui contribue à améliorer les rendements sur des cultures pérennes, est vouée à une application en culture intensive. Son avenir est prometteur avec des projets de R & D collaboratifs qui se multiplient (projets CNRS, INRA, CIRAD, financements ANR...). Pour Cédric Cabanes, on peut voir des perspectives de caractérisations plus fines des populations bactériennes des sols grâce à la nouvelle technique de microfluidique inaugurée il y a quelques jours à l'ESPCI Paris (voir encadré p. 51). Il faut aussi mentionner les progrès dans le séquençage des génomes ; et le vivant recèle encore des mystères puisque nous sommes encore loin de comprendre la totalité du monde vivant dans les sols, ajoute-t-il... Cette aventure agronomique et scientifique ne fait que commencer !

Minh-Thu Dinh-Audouin

\*www.agronutrition.com

Retrouvez toutes les brèves de l'Institut de chimie du CNRS sur [www.cnrs.fr/inc](http://www.cnrs.fr/inc)