

Recherche et développement

Une nouvelle génération de catalyseurs pour la synthèse éco-efficace de l'ammoniac

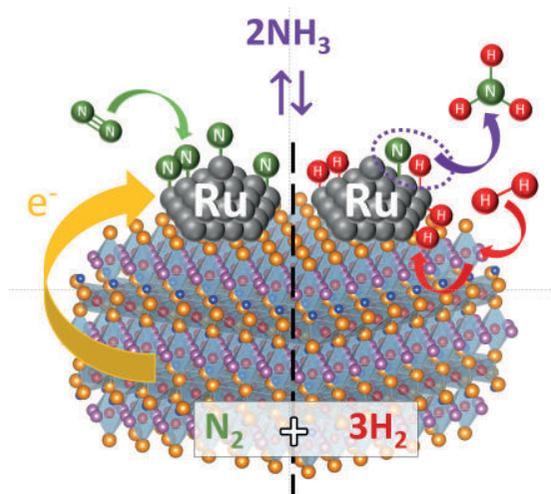


Schéma de la réaction de synthèse de NH_3 sur des matériaux intermétalliques ternaires supportés au ruthénium. © Fabien Can.

La production mondiale annuelle d'ammoniac (NH_3) s'élève à près de 180 millions de tonnes (Mt), avec une croissance évaluée à 40 % d'ici 2050, sans compter l'utilisation future éventuelle de cette molécule comme moyen de stockage de l'hydrogène [1]. Sa synthèse, via le procédé historique Haber-Bosch (HB), représente pourtant un défi environnemental et énergétique majeur puisqu'elle contribue à 1,3 % des émissions mondiales de CO_2 (620 Mt) et consomme 1 % de la consommation d'énergie planétaire. Cette empreinte carbone spectaculaire est directement liée à l'utilisation d'hydrogène (H_2) gris actuellement produit par reformage à la vapeur de gaz naturel ou par gazéification du charbon. Le développement d'hydrogène vert obtenu par électrolyse de l'eau alimentée par les énergies renouvelables apporte l'espoir de rendre ce procédé plus vertueux.

Contrairement au procédé HB conçu pour une production centralisée à grande échelle (> 1 000 t NH_3 /jour) réalisée sous 200 bars de pression et 600 °C, la conversion d'hydrogène vert en ammoniac devra se faire dans des petites unités flexibles et décentralisées capables de supporter la nature intermittente des énergies renouvelables. Ces unités seront viables économiquement à condition de pouvoir réaliser la synthèse dans des conditions de température et de pression beaucoup plus modérées (300 à 350 °C et 10 à 50 bars). La course est donc lancée pour concevoir des catalyseurs permettant d'atteindre cet objectif.

Des chimistes de l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP, CNRS/Université de Poitiers), en collaboration avec une équipe de l'Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux (ICMCB, CNRS/Université de Bordeaux), ont mis au point une série de catalyseurs composés de nanoparticules de ruthénium supportées sur des phases intermétalliques de type $R\text{ScSi}$ où R est une terre rare. Ces composés intermétalliques ternaires, jusqu'ici développés pour stocker de l'hydrogène sous forme d'hydrures [2],

s'avèrent être de très bons supports de catalyseurs à base de ruthénium pour générer l'ammoniac. En particulier, les composés intermétalliques à base de cérium (Ru/CeScSi) montrent une activité catalytique remarquable dans des conditions modérées et permettent d'obtenir des rendements en NH_3 dès 300 °C et sous pression atmosphérique, là où les catalyseurs classiques (généralement à base de ruthénium supporté sur MgO , dopé ou non au césium) sont inactifs. Ces résultats ouvrent un nouvel horizon pour une production durable d'ammoniac.

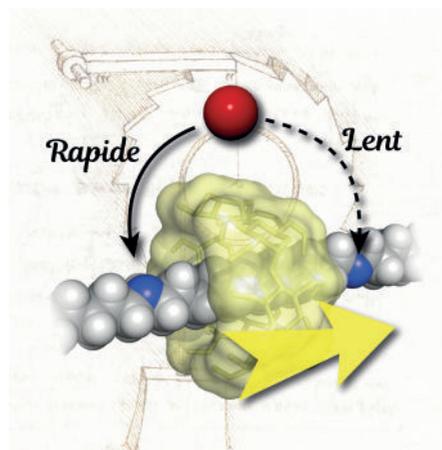
• Source : CNRS, 07/02/2023.

Réf. : C. Croisé, K. Alabd, S. Tencé, E. Gaudin, A. Villesuzanne, X. Courtois, N. Bion, F. Can, Influence of the rare earth (R) element in Ru-supported $R\text{ScSi}$ electride-like intermetallic catalysts for ammonia synthesis at low pressure: insight into NH_3 formation mechanism, *ChemCatChem*, déc. 2022, <https://doi.org/10.1002/cctc.202201172>

[1] H. Liu, *Chin. J. Catal.*, 2014, 35, p. 1619-40.

[2] T. Mahon *et al.*, *Inorg. Chem.*, 2018, 57, p. 14230-239.

Une nouvelle manière d'imposer aux machines moléculaires un mouvement unidirectionnel



© GOBS.

Une protéine qui marche sur un fil, une autre qui tourne sur son axe, toutes deux dans une seule direction, ce sont la kinésine et l'ATP-synthase. Ces protéines essentielles à la vie sont remarquables par leur capacité à se déplacer de manière unidirectionnelle. Fascinés par cette capacité de la nature à construire ces machines moléculaires* et inspirés par le défi lancé par Richard Feynman en 1959 dans sa conférence, désormais classique à CalTech, « There's plenty of room at the bottom », de construire des « machines minuscules avec des parties mobiles », les chimistes ont entrepris de concevoir de tels engins moléculaires synthétiques. De nombreux types de machines ont ainsi été réalisés: pompes, rotors, muscles, marcheurs, navettes, interrupteurs... qui offrent des perspectives en nanotechnologie (composants électroniques miniatures) et nanomédecine. Ce domaine a d'ailleurs été récompensé en 2016 par le prix Nobel de chimie pour ses pionniers : J.-P. Sauvage, F. Stoddard et B. Feringa.

Jusqu'à maintenant, très peu de moteurs à mouvement unidirectionnel ont été synthétisés. En effet, le sens unique du mouvement est assuré par un mécanisme s'apparentant à celui d'un cliquet qui empêche le retour en arrière d'un mouvement au départ aléatoire. Or il n'est physiquement pas possible

de réaliser un tel cliquet mécanique à l'échelle moléculaire. Pour contourner cet obstacle, il est donc crucial de développer des cliquets d'un autre type dits « d'information », qui transmettent une information de nature chimique à la partie mobile pour lui imposer une direction. Dans un article publié dans la revue *Chem* (CellPress), les scientifiques de l'Institut parisien de chimie moléculaire (CNRS/Sorbonne Université) décrivent comment, grâce à la structure particulière de la cyclodextrine**, ils sont parvenus à établir un nouveau type de cliquet. Ils montrent que sa nature chirale, sa forme conique et son orientation par rapport à l'axe sur lequel elle est enfilée, génèrent une asymétrie qui joue le rôle de cliquet d'information et amène son mouvement de translation à ne s'effectuer que dans un sens. Cette propriété pourrait être utilisée pour la réalisation de moteurs moléculaires pouvant par exemple transporter des molécules d'intérêt en milieu biologique d'un point à un autre.

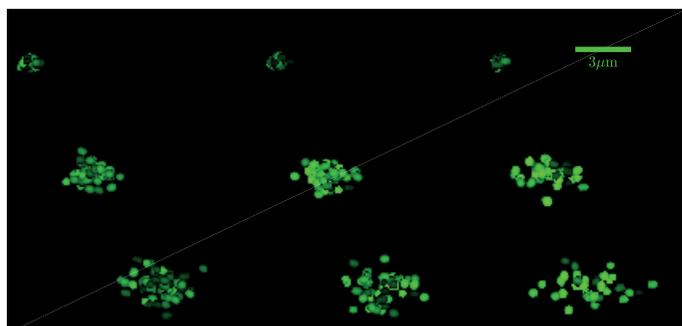
• Source : CNRS, 19/01/2023.

Réf. : E. Liu, S. Cherraben, L. Boulo, C. Troufflard, B. Hasenknopf, G. Vives, M. Sollogoub, A molecular information ratchet using a cone-shaped macrocycle, *Chem.*, 2023, [https://www.cell.com/chem/fulltext/S2451-9294\(22\)00660-X](https://www.cell.com/chem/fulltext/S2451-9294(22)00660-X)

*Assemblage de composants moléculaires conçu pour effectuer des mouvements comme une machine sous l'effet d'un stimulus extérieur et via un apport d'énergie.

**Les cyclodextrines sont des molécules naturelles, chirales et coniques couramment utilisées comme excipient de formulation dans les médicaments car elles peuvent encapsuler des principes actifs sensibles ou très réactifs pour les protéger ou les stabiliser.

Se disperser malgré de repoussantes et dévorantes interfaces !



© Alexandre Vilquin.

La dispersion de particules microscopiques dans un liquide est principalement gouvernée par le phénomène de diffusion. En présence d'un écoulement, ce phénomène peut être amplifié de plusieurs ordres de grandeur en raison du mouvement Brownien des particules transportées par le liquide en mouvement. Ce processus bien connu, appelé dispersion de Taylor, augmente la diffusivité des particules dans la direction de l'écoulement, c'est-à-dire la vitesse à laquelle elles diffusent dans cette direction. Cette diffusion « augmentée » est observée dans de nombreux systèmes biologiques où des fluides circulent en permanence, d'où l'intérêt que lui portent les scientifiques. Malgré cela, de nombreuses questions demeurent, en particulier sur le rôle joué par l'environnement. Dans ce contexte, l'équipe INDYSOFT du Laboratoire Gulliver (CNRS/ESPCI/PSL Université) travaillant au sein de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes (CNRS/PSL Université/ESPCI/Inserm/Sorbonne Université/Université de Paris), en collaboration avec le Laboratoire Ondes et matière d'aquitaine (CNRS/Université de Bordeaux) met en évidence pour la première fois le rôle crucial, dans le processus de diffusion, joué par les surfaces du contenant dans lequel se déplace le liquide. Grâce à la microscopie à onde évanescence permettant d'observer une région de moins d'un micron au voisinage des parois,

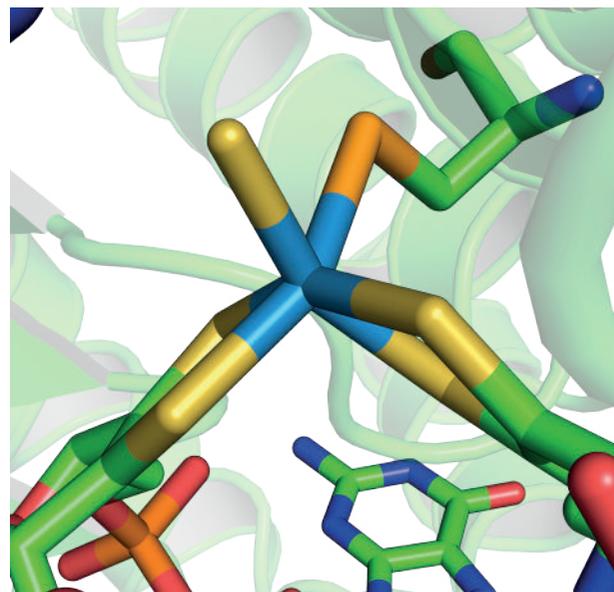
ils montrent que la répulsion électrostatique et la perte de particules au contact de ces parois réduisent drastiquement leur dispersion.

La dispersion de Taylor jouant un rôle très important dans quantité de processus biologiques et de nouvelles techniques d'analyse prometteuses, ces résultats vont permettre de mieux comprendre comment les propriétés de surface influencent le transport d'entités microscopiques en milieu confiné.

• Source : CNRS, 26/01/2023.

Réf. : A. Vilquin, V. Bertin, E. Raphaël, D.S. Dean, T. Salez, J.D. McGraw, Nanoparticle Taylor dispersion near charged surfaces with an open boundary, *Physical Review Letters*, 2023, 130(3), 038201, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.038201>

L'électrochimie pour élucider le mécanisme de valorisation du CO₂ chez certaines bactéries



Structure du site actif de la formiate déshydrogénase de *D. vulgaris* montrant une sphère de coordination du tungstène (bleu) complètement saturée, ce qui empêche la coordination directe du formiate. © Vincent Fourmond.

La transformation biologique du CO₂ atmosphérique en glucose se produit dans les plantes grâce à la photosynthèse qui est catalysée par l'enzyme Rubisco. D'autres processus bactériens non photosynthétiques savent aussi valoriser le CO₂ et réduire cette molécule en source de carbone directement utilisable par la cellule, comme le pyruvate, le monoxyde de carbone ou encore le formiate. Cette dernière réaction est catalysée par l'enzyme formiate déshydrogénase, et en particulier par son site actif à base de molybdène/tungstène. Mais les mécanismes de cette réduction restent encore peu compris.

Des équipes du Laboratoire Bioénergétique et ingénierie des protéines (BIP), du Laboratoire de chimie bactérienne (LCB, CNRS/Aix-Marseille Université) et de l'ITQB à Lisbonne ont utilisé une méthode cinétique basée sur des mesures d'électrochimie et développée au BIP pour mesurer l'activité de l'enzyme formiate déshydrogénase et clarifier plusieurs questions liées à son mécanisme catalytique. La première concerne la molécule sur laquelle l'enzyme agit et qu'on appelle substrat : s'agit-il du CO₂ ou du bicarbonate, la forme la plus abondante du CO₂ dans des conditions physiologiques ? La preuve que le substrat est bien le CO₂ a été apportée par des expériences de mesures d'activité électrochimique résolues en temps réel en suivant l'équilibration lente du rapport CO₂/bicarbonate.

La seconde question concerne le cycle catalytique. L'analyse de la façon dont l'activité enzymatique dépend des différents paramètres expérimentaux (concentration en CO₂, acidité et

potentiel d'électrode) a permis de déterminer l'enchaînement des étapes du cycle catalytique et trancher parmi les hypothèses rencontrées dans la littérature. L'excellente résolution temporelle et le contrôle sur l'état de l'enzyme sont les principaux avantages de la mesure d'activité enzymatique par électrochimie utilisée ici.

Ces résultats apportent des éléments clés dont la chimie pourrait s'inspirer pour valoriser le CO₂ atmosphérique.

• Source : CNRS, 24/01/2023.

Réf. : M. Meneghello, A.R. Oliveira, A. Jacq-Bailly, I.A.C. Pereira, C. Léger, V. Fourmond, Formate dehydrogenases reduce CO₂ rather than HCO₃⁻: an electrochemical demonstration, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 2021, doi: 10.1002/anie.202101167 ; M. Meneghello, A. Uzel, M. Broc, R.R. Manuel, A. Magalon, C. Léger, I.A.C. Pereira, A. Walburger, V. Fourmond, Electrochemical kinetics support a second coordination sphere mechanism in metal-based formate dehydrogenase, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 2022, https://doi.org/10.1002/anie.202212224

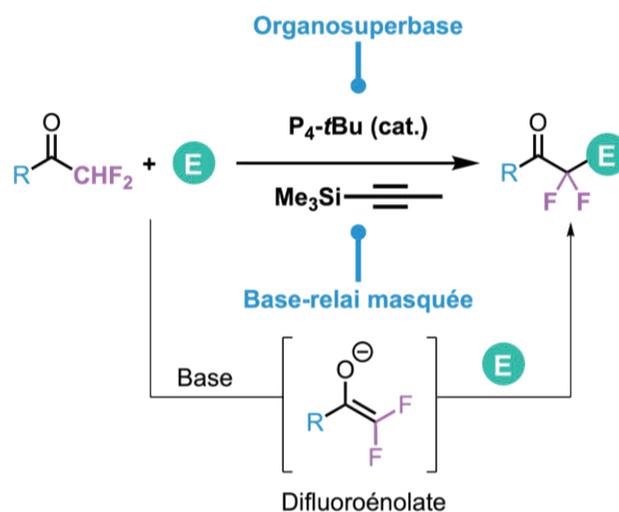
Incorporer des nanocatalyseurs de nickel dans une argile naturelle pour augmenter leur sélectivité

Transformer industriellement les substrats de la biomasse en molécules à haute valeur ajoutée par hydrogénation pour le bioraffinage ou l'industrie cosmétique nécessite des catalyseurs particulièrement performants et sélectifs. En effet, étant donné le grand nombre d'espèces naturellement présentes dans le milieu réactionnel, ils doivent présenter une sélectivité chimique élevée pour que la réaction mène uniquement au produit désiré. Pour cela, les scientifiques du Laboratoire Hétérochimie fondamentale et appliquée (CNRS/Université de Toulouse) ont immobilisé des nanoparticules de nickel connues pour catalyser ces réactions d'hydrogénation dans une argile nanostructurée, la halloysite. Dans une étude récemment parue dans *ChemCatChem*, ils montrent que cette stratégie génère des catalyseurs hautement chimiosélectifs. En effet, le greffage de différentes fonctions chimiques sur l'argile permet de moduler les propriétés catalytiques des nanoparticules de nickel, et ainsi de mieux contrôler la sélectivité des réactions d'hydrogénation. Ceci conduit, dans des conditions douces, à une large cible de composés d'intérêt industriel comme le lactate d'éthyle, la g-valerolactone, l'alcool furfurylique ou le squalane. De plus, étant donnée l'efficacité de l'immobilisation du catalyseur de nickel sur l'argile, les produits de réaction sont particulièrement purs, exempts de toute pollution métallique. Des résultats qui devraient intéresser rapidement la filière industrielle !

• Source : CNRS, 18/01/2023.

Réf. : A. Pérez Alonso, S. Mauriés, J.-B. Ledeuil, L. Madec, D. P. Minh, D. Pla, M. Gómez, Nickel nanoparticles immobilized on pristine halloysite: an outstanding catalyst for hydrogenation processes, *ChemCatChem*, 2022, https://doi.org/10.1002/cctc.202200775

Nouvelle stratégie de synthèse de dérivés fluorés pour la santé et l'agrochimie



Déprotonation et fonctionnalisation de difluorocétone grâce à un système organocatalytique. © Frédéric Leroux.

Les molécules organiques fluorées intéressent tout particulièrement les industriels, car elles sont utilisées pour préparer de nombreux principes actifs de médicaments ou de produits pour la protection des cultures. Cependant, leur stratégie de synthèse est délicate à mettre au point, car la présence d'atomes de fluor rend souvent les intermédiaires réactionnels trop instables pour que la réaction puisse se poursuivre jusqu'au produit souhaité.

Pour contourner cette difficulté, les scientifiques du Laboratoire d'innovation moléculaire et applications (CNRS/Université de Strasbourg/Université de Haute-Alsace) et du Tokyo Institute of Technology ont remplacé, dans l'une des stratégies majeures d'accès à des produits fluorés, le composé métallique traditionnellement utilisé pour rendre le milieu réactionnel basique par une base organique plus forte appelée base de Schwesinger. Dans ces conditions, ils sont parvenus à stabiliser l'intermédiaire réactionnel difluorénoolate qui intervient dans la synthèse de nombreux composés gem-difluorés*, largement utilisés ensuite pour la synthèse de produits fluorés d'intérêt médical ou agrochimique.

• Source : CNRS, 23/01/2023.

Réf. : A. Messara, A. Panossian, K. Mikami, G. Hanquet, F.R. Leroux, Direct deprotonative functionalization of α,α -difluoromethyl ketones using a catalytic organosuperbase, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 2023, https://doi.org/10.1002/anie.202215899

*Les produits gem-difluorés contiennent le motif chimique « difluorométhylène », un mime des fonctions carbonyle ou pont oxo se retrouvant dans de nombreux principes actifs actuellement sur le marché.

Le printemps de l'esprit critique



Jamais l'information et la connaissance n'ont été aussi facilement accessibles, grâce à la révolution numérique. Jamais non plus n'a-t-il été aussi aisé de diffuser massivement, par les mêmes canaux, informations simplement erronées ou « infox » sciemment produites, notamment sur des sujets scientifiques, médicaux ou environnementaux.

Dans ce contexte, le développement de l'esprit critique – la capacité à trier et qualifier l'information disponible, à mettre en question ses propres convictions, à formuler son propre jugement – devient une priorité fondamentale pour notre société. C'est l'objectif du Printemps et du Baromètre de l'esprit critique d'Universcience.

Pour sa deuxième édition, Universcience propose à nouveau, pour tous les publics, de nombreux rendez-vous, médiations, ateliers, tables rondes, conférences et vidéos. Point d'orgue de cette programmation : la présentation des résultats 2023 du Baromètre de l'esprit critique. Lancé en 2022, le Baromètre* comportera cette année de nouvelles questions liées à la crise climatique, en écho à l'exposition permanente Urgence climatique que s'apprête à ouvrir la Cité le 16 mai prochain.

• Du 21 mars au 2 avril 2023 à la Cité des sciences et de l'industrie, aux Étincelles du Palais de la découverte et sur le blob.fr

* www.universcience.fr/fr/professionnels/presse-et-medias/barometre-de-l'esprit-critique

Utiliser la chimie supramoléculaire pour fabriquer des robots

Thomas Hermans, professeur au sein de l'UMR Chimie de la matière complexe (CNRS – Unistra), remporte une ERC (European Research Council Consolidator Grant) 2022 pour son projet « **Suprobot - Swarming supramolecular robots** » (ou « essaim de robots supramoléculaires »). Il est l'un des trente et un chercheurs français lauréats.

Son projet, qui remporte 2,87 millions d'euros pour une durée de cinq ans, vise à créer, étudier et contrôler des interactions complexes entre robots à l'échelle micrométrique, comme cela se fait à l'intérieur d'un être vivant. Le challenge réside dans l'utilisation de la chimie supramoléculaire pour fabriquer ces robots.

Ces robots sont composés de polymères supramoléculaires inspirés des cellules du corps humain et notamment des microtubules. Ces derniers sont des tuyaux de l'ordre du micromètre présents dans les cellules qui s'assemblent et se désassemblent pour former le cytosquelette donnant à la cellule ses propriétés mécaniques. Durant de précédents travaux, le chercheur et son équipe sont parvenus à recréer des polymères supramoléculaires dotés d'un système imitant ces microtubules. La nature utilise des molécules à haut pouvoir carburant comme l'adénosine triphosphate (ATP) qui proviennent indirectement de la respiration, de la nourriture et d'autres sources. Pour être au plus proche de celle-ci, Thomas Hermans a créé des matériaux dépendant d'un carburant, similaire à l'ATP. Cette recherche s'inscrit dans le domaine de la chimie des systèmes qui se développe depuis une dizaine d'années. Ses recherches, dont les scientifiques ne connaissent pas encore toutes les applications, pourraient être appliquées dans le domaine médical d'ici une vingtaine d'années.

Thomas Hermans a déjà été titulaire d'une bourse Starting Grants en 2017 pour son travail sur les polymères supramoléculaires hors équilibre.

• Source : Université de Strasbourg/CNRS, 01/02/2023.

Valoriser les cabosses du cacao



Déchets de cabosses vidées de leurs fèves de cacao. © Prince Amaniampong.

Une équipe de recherche franco-ghanéenne s'efforce de rendre la filière du cacao plus durable et plus rentable. Actuellement, les cabosses – le fruit qui contient les fèves de cacao vides – sont considérées comme des déchets et ces déchets sont des incubateurs pour la bactérie de la pourriture brune, une maladie du cacao qui réduit de façon importante sa production. Les chercheurs tentent ainsi d'extraire des cabosses des molécules d'intérêt industriel. Un consortium de recherche franco-ghanéen impliquant l'Institut de chimie des milieux et

matériaux de Poitiers (IC2MP), l'Université du Ghana à Accra et l'Université des sciences et de la technologie Kwame Nkrumah (Ghana) a donc été mis en place. L'objectif des recherches est d'extraire de ces cabosses des sucres d'intérêt. Ceux-ci pourraient servir pour la synthèse de tensioactifs pour l'industrie cosmétique, d'agents sucrants pour les chocolatiers, ou encore de biostimulants pour l'agriculture. Les analyses ont déjà montré que les cabosses de cacao sont riches en composés rares comme l'acide galacturonique, qui pourraient trouver différents débouchés industriels. Les chercheurs espèrent ainsi donner de la valeur ajoutée aux dix millions de tonnes de cabosses générées annuellement au Ghana.

Le processus d'extraction des sucres commence en France. Les cabosses sont introduites dans un broyeur où elles subissent un premier traitement en milieu acide pour casser les liaisons entre les sucres. Les chercheurs obtiennent ainsi un mélange de lignine, de polyphénols et de sucres dissous en milieu aqueux. Ces sucres et les polyphénols peuvent déjà être valorisés, tandis que la lignine est renvoyée au Ghana, où elle subit un processus de pyrolyse. Ce chauffage en absence d'oxygène permet d'obtenir une biohuile riche en composés phénoliques qui pourrait intéresser l'industrie. Ceux-ci pourraient notamment servir à booster la croissance des plants de cacao.

Ces recherches sont encore à un stade préliminaire et les chercheurs tentent de rendre le processus moins énergivore et d'obtenir des réactions plus sélectives afin d'obtenir les composés à plus haute valeur ajoutée.

• Source : CNRS, 23/01/2023.

Un programme de recherche pour développer les futures générations de batteries



Cellules de batterie sodium-ion (Na-ion) au format 18650. © Cyril FRESILLON/Tiamat/CNRS Photothèque.

Piloté par le CEA et le CNRS pour le compte de l'État, le programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) « Soutenir l'innovation pour développer les futures générations de batteries » a été lancé le 10 janvier. Il vise à accompagner la filière avec des activités transférables à court-moyen terme aux acteurs économiques et préparer le long terme. Financé dans le cadre de France 2030, ce PEPR s'inscrit dans la stratégie nationale sur les batteries, qui a pour objectif d'aider au développement de l'offre et de la demande des batteries, notamment dans le but d'accélérer la transition énergétique dans le domaine des transports.

Les priorités de la stratégie nationale portent sur le développement des batteries actuelles et futures, l'approvisionnement et le développement de matériaux nécessaires à leur fabrication, et la gestion de leur fin de vie par reconditionnement ou

Des femmes chimistes qui œuvrent durablement pour l'environnement

À l'occasion de la journée internationale de la femme célébrée le 8 mars, le CNRS et *L'Actualité Chimique* vous invitent à (re)découvrir quelques portraits*.

Polymères biosourcés, molécules naturelles et nouveaux médicaments, valorisation chimique du CO₂ atmosphérique, matériaux organiques pour le photovoltaïque, traitement des déchets électroniques, chimie des nuages, chimie verte... Ces thématiques de recherche sont portées par des femmes scientifiques qui apportent un éclairage et des solutions pour l'environnement :

- Contrôler les propriétés des plastiques, faciliter leur recyclage en fin de vie et concevoir davantage de polymères respectueux de l'environnement, tels sont les leitmotifs de **Jannick Duchet-Rumeau**, directrice du Laboratoire IMP (CNRS/INSA Lyon/ Université Claude Bernard/Université Jean Monnet).

- **Véronique Éparvier**, directrice de recherche à l'Institut de chimie des substances naturelles (CNRS/Université Paris Saclay), explore la forêt tropicale qui abrite une chimiodiversité infinie de molécules à protéger, sources de médicaments pour demain.

- Spécialiste des questions de chimie atmosphérique au Laboratoire de chimie de l'environnement (CNRS/Aix-Marseille Université), **Anne Monod** explore les phénomènes naturels qui se produisent dans l'atmosphère et qui impactent, de façon directe ou indirecte, la qualité de l'air et le climat. Elle a été la première à élaborer un système pour collecter l'eau des nuages depuis un ULM.

- **Cécile Monteux**, physico-chimiste au Laboratoire Sciences et ingénierie de la matière molle (CNRS/ESPCI-PSL/Sorbonne Université) se demande comment les mousses et les émulsions, dont elle est spécialiste, pourraient être utilisées pour le recyclage des métaux ou la purification de l'eau.

- Chercheuse au parcours résolument international, **Alessandra Quadrelli**, directrice de recherche à IRCELYON (CNRS/Université de Lyon 1), nous emmène au-delà des frontières, disciplinaires cette fois, pour une réflexion sur les chimies qui mobilisent à la fois la chimie, l'analyse des systèmes complexes et les sciences humaines et sociales. Une approche insolite qui fait le lien entre transition énergétique, parité et réflexion sur la science et son adaptation à l'accélération de défis environnementaux.

- **Lydia Sosa Vargas**, chercheuse à l'Institut parisien de chimie moléculaire (IPCM - CNRS/Sorbonne Université) cultive son « jardin moléculaire » grâce à une chimie bioinspirée en vue d'élaborer des matériaux pour l'électronique organique.

- Sans oublier **Claude Grison**, directrice de recherche au CNRS, directrice du Laboratoire ChimEco (Laboratoire de chimie bioinspirée et d'innovations écologiques), Médaille de l'innovation en 2014 et Prix de l'inventeur européen 2022, qui utilise les plantes qu'elle a développées pour extraire les éléments métalliques d'un sol pollué et utiliser ces « écocatalyseurs » pour créer de nouvelles molécules pour l'industrie**.

*Source : CNRS, 10 et 25/01/2023.

*<https://www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/des-femmes-chimistes-qui-oeuvrent-durablement-pour-lenvironnement>

**<https://lejournal.cnrs.fr/articles/claude-grison-bon-genie-de-la-chimie-verte>



6-17 March 2023 INNOVATION AND TECHNOLOGICAL CHANGE
COMMISSION ON THE STATUS OF WOMEN **CSW67** EDUCATION IN THE DIGITAL AGE
Progress toward gender equality

recyclage. Si l'électrification de l'automobile est la première application visée, le développement de batteries destinées à d'autres marchés comme l'aéronautique, le spatial, le stationnaire et l'Internet des objets est aussi concerné.

Les activités du PEPR sont articulées autour de trois axes : les chimies innovantes (technologie tout solide, chimie post Li-ion), les systèmes de gestion de batteries innovants adaptés à ces nouvelles chimies, et le développement de nouveaux outils de caractérisation et de simulation pour mener ces recherches. Doté d'un budget de 45,66 millions d'euros (M€) de France 2030 sur sept ans, ce PEPR finance depuis début janvier cinq grands projets à fort enjeu, portés par des équipes de chercheurs reconnues dans le monde des batteries. Il financera également les lauréats d'un appel à projets lancé en novembre dernier et opéré par l'ANR, pour un montant total de 15 M€. Les prochains projets sélectionnés compléteront les activités de recherche déjà engagées. Leur démarrage est prévu à l'été 2023.

- Le projet **LIMASSE** vise à développer des prototypes fiables de batteries « tout-solide », utilisant le lithium métal à l'électrode négative, avec des densités d'énergie améliorées et une bonne rétention de capacité. Deux types d'électrodes positives seront ciblés. Les travaux s'attacheront à résoudre les problèmes d'interface, particulièrement cruciaux pour les batteries tout-solide.

- Le projet **HIPOHYBAT** a pour objectifs de développer deux technologies de batteries de forte densité de puissance : la première est basée sur la technologie sodium-ion et vise à la rendre plus durable, plus sûre et à augmenter les densités d'énergie et de puissance ; la seconde est celle des supercondensateurs. Le projet vise à développer des batteries hybrides à densité d'énergie supérieure aux batteries au plomb, capables de se recharger en une minute avec une durée de vie supérieure à 50 000 cycles. Leur conception repose sur la préparation de nouveaux matériaux d'électrodes positives et négatives et d'électrolytes innovants, tous basés sur des éléments durables et des processus de synthèse écologiques.

- Le projet **SENSIGA** veut répondre à un besoin crucial dans le domaine du diagnostic des batteries pour améliorer leur qualité, leur fiabilité et leur durée de vie par une surveillance non invasive des performances et un contrôle de leur état de santé, de charge, d'énergie, de puissance et de sécurité. Il s'agira de développer des capteurs optiques ultra sensibles pour suivre en conditions réelles de fonctionnement les paramètres physico-thermiques de la batterie ainsi que sa chimie avec le rêve ultime de réaliser un « laboratoire-sur-fibre » pour révolutionner la surveillance des batteries.

- Le projet **OPENSTORM** va développer des techniques expérimentales, du laboratoire aux grands instruments, utiles pour accélérer l'étude des futures générations de batteries (tout-solide, puissance et post lithium-ion). Il s'agit de transférer le savoir-faire et les méthodologies existantes, développées depuis vingt ans pour le Li-ion, mais aussi de mettre au point de nouvelles techniques et approches adaptées aux problématiques des nouvelles chimies développées dans le cadre de ce PEPR.

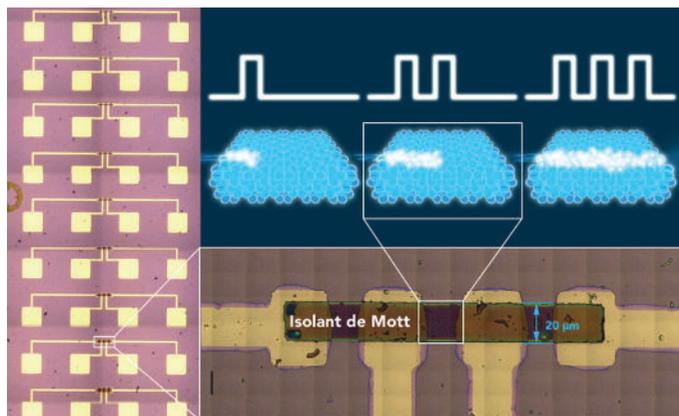
- Le projet **BATMAN** vise à introduire de l'intelligence artificielle dans le développement des batteries de nouvelle génération. Les travaux porteront plus précisément sur trois objectifs pour lesquels les expériences seules ne peuvent apporter de réponses définitives : le criblage haut débit d'électrolytes optimisés pour les batteries de prochaine génération et de matériaux pour les dispositifs à haute puissance, la compréhension des réactions chimiques qui se produisent

aux interfaces des batteries et le développement de jumeaux numériques pour optimiser les processus de fabrication des batteries.

« Grâce au PEPR Batteries, des projets d'envergure seront initiés sur des sujets amont dans différents domaines stratégiques pour concevoir les futures générations de batteries. Il vient ainsi renforcer les actions développées par la communauté scientifique sur cette thématique, fédérée au sein du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E) du CNRS qui rassemble une trentaine de partenaires académiques et industriels » (Patrice Simon, copilote CNRS du PEPR).

• Source : CNRS, 10/01/2023.

Un démonstrateur de réseaux de neurones artificiels pour une IA durable



Réalisation du premier neurone artificiel de type « LIF » à base d'isolant de Mott et illustration du phénomène d'intégration lors de l'application d'impulsions électriques. © IMN (CNRS/Nantes Université) avec « Com par l'image ».

Comment consommer moins et plus durablement ? Cette question touche également les domaines du numérique, tant sur les aspects matériels (le silicium au cœur des dispositifs microélectroniques étant une ressource limitée) que sur la gestion des données générées par les nouveaux outils à notre disposition, et notamment toutes les technologies liées à l'intelligence artificielle. Changer d'architecture et rechercher de nouveaux matériaux plus performants constituent une nouvelle approche prometteuse pour concevoir des composants moins consommateurs en énergie. Une piste de recherche explorée : s'inspirer du cerveau des mammifères, capable de traiter un grand nombre d'informations en dépensant très peu d'énergie, en reproduisant le réseau interconnecté de synapses et de neurones.

C'est dans ce cadre que des scientifiques de l'Institut des matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN-CNRS/Nantes Université) ont découvert que des matériaux, les isolants de Mott, peuvent basculer à l'état conducteur et inversement lorsqu'ils sont soumis à une simple tension électrique. Cette découverte, nommée transition de Mott électrique, ouvre la voie à l'émergence d'une nouvelle électronique basée sur l'utilisation des isolants de Mott : la Mottronique, capable entre autres de reproduire le comportement électrique des neurones. Dans le cerveau, un neurone réalise en effet trois fonctions de base : il reçoit des impulsions électriques des neurones voisins et les intègre via sa membrane ; entre les impulsions sa membrane se décharge et quand le potentiel de la membrane atteint un certain seuil, le neurone envoie lui-même une impulsion vers les autres neurones. Toutes ces fonctions ont pu être réalisées avec un isolant de Mott intégré en couches minces dans un dispositif adaptable pour l'industrie microélectronique.

Le démonstrateur testé dans le cadre du projet Mott-IA, financé à hauteur de 1,3 million d'euros par la Région des Pays de la Loire dans le cadre de son appel à projets « démonstrateur de recherche académique », et cofinancé à hauteur de 630 000 € par le CNRS et Nantes Université, permettra de concevoir, fabriquer et modéliser le premier réseau de neurones et de synapses artificiels mono-composants à base d'isolants de Mott, afin d'atteindre un niveau TRL 4-5*.

Les performances démontrées dans le cadre de ce projet permettront de susciter l'intérêt des industriels et de transférer la technologie Mott-IA vers l'industrie microélectronique. Plusieurs scénarios de valorisation et de protection des résultats du projet sont aujourd'hui à l'étude avec la SATT Ouest Valorisation. Ces perspectives pourraient par exemple prendre la forme d'une création de start-up, d'un accord de collaboration avec un industriel pour développer la technologie, d'octroi de licence à des tiers ou de création de consortium avec l'industrie visant à augmenter la maturité technologique dans le cadre d'un projet européen. Cette stratégie inclut par ailleurs une réflexion autour du dépôt de nouveaux brevets. En rendant cette IA et le stockage des données plus rapide et moins énergivore, la « Mottronique » aura des retombées bien plus larges que l'unique domaine de l'électronique. « *De la réalisation de mémoires de Mott intégrables sur wafers pour le stockage de l'information (en collaboration avec le CEA) aux neurones artificiels pour l'informatique bioinspirée, cette nouvelle technologie – la Mottronique – ouvre la porte à une façon plus vertueuse d'accompagner la montée en puissance de l'électronique* » (Jacques Maddaluno, directeur de l'Institut de chimie du CNRS).

• Source : CNRS, 25/01/2023.

*Les TRL forment une échelle d'évaluation du degré de maturité atteint par une technologie. Le niveau 4 concerne la validation de composants et/ou de maquettes en laboratoire et le niveau 5 la validation de composants et/ou de maquettes en environnement représentatif.

RISE : de nouveaux projets de startup soutenus par le CNRS

Le programme d'accompagnement RISE du CNRS, opéré par CNRS Innovation, a pour objectif d'accompagner les projets de création d'entreprise deeptech ayant vocation à exploiter les technologies développées au sein des laboratoires dont le CNRS assure une tutelle.

Parmi les treize nouveaux projets de startup issus des laboratoires du CNRS sélectionnés dans la huitième promotion figurent :

- **Elyris Pharma**, porté par Jean-Philippe Herbeuval et Nasima Bekaddour, chercheurs au sein du Laboratoire de chimie et biochimie pharmacologiques et toxicologiques (CNRS/Université Paris Cité). Le projet est basé sur la découverte d'un nouveau mécanisme dans lequel une kinase exerce un effet immunosuppresseur vis-à-vis de plusieurs facteurs inflammatoires. Elyris Pharma développe de nouvelles petites molécules, ciblant cette kinase, disponibles oralement, pour le traitement des maladies inflammatoires et auto-immunes, dont l'arthrite rhumatoïde.

- **Epitaqsi**, porté par Adrien Carretero, avec David Sanchez et Ricardo Garcia, à l'Institut d'électronique et systèmes (CNRS/Université de Montpellier), développe des solutions innovantes pour l'intégration d'oxydes multifonctionnels dans la technologie du silicium et son micro-usinage. L'objectif est de mettre au point des dispositifs rentables dont les performances seront supérieures aux systèmes actuels. Le projet est basé sur une nouvelle technologie de dépôt chimique en phase liquide plus adaptée au format de la microélectronique, qui permet

de développer des oxydes épitaxiés sur des grandes surfaces (jusqu'à des wafers de silicium de 6 pouces) par une croissance de type additif à des échelles inférieures au micron.

- **Optipus**, porté par Jörg Ackermann, Olivier Margeat, chercheurs au Centre interdisciplinaire de nanoscience de Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université) et David Duché, chercheur à l'Institut des matériaux, de microélectronique et des nanosciences de Provence (CNRS/Aix-Marseille Université). Le projet développe des modules solaires polychromes à haut rendement qui, grâce à une technologie brevetée, pourront adapter leur apparence de façon à s'intégrer de manière pratiquement invisible dans différents produits destinés à des applications extérieures. Optimus exploite les propriétés uniques du photovoltaïque organique pour créer des modules colorés, flexibles et ultra légers.

- **Senscellar**, porté par Grégoire Herzog et Mathieu Etienne, chercheurs au sein du Laboratoire de chimie physique et microbiologie pour les matériaux et l'environnement (CNRS/Université de Lorraine), est un projet fondé sur un capteur portable permettant de doser précisément les sulfites dans les vins rouges et vins blancs, avec un temps d'analyse inférieur à cinq minutes. L'objectif est de proposer une solution utilisable par les vignerons directement sur leur lieu de travail.

• Source : CNRS, 18/01/2023.

Industrie

Partenariat Air Liquide et TotalEnergies pour développer un réseau de stations hydrogène pour les poids lourds

Air Liquide et TotalEnergies ont annoncé créer une coentreprise pour développer un réseau de stations hydrogène destiné aux poids lourds sur les grands axes routiers européens. Cette initiative contribuera à faciliter l'accès à l'hydrogène, permettant ainsi d'en développer l'usage dans le transport de marchandises et de continuer à renforcer la filière hydrogène. Les partenaires ont pour objectif de déployer plus de cent stations hydrogène sur les grands axes routiers européens – en France, au Benelux et en Allemagne – dans les prochaines années. Les stations, sous la marque TotalEnergies, seront situées sur des grands corridors stratégiques, pour contribuer à la décarbonation du transport routier en Europe.

Les deux entreprises mettront en commun leurs savoir-faire et compétences dans les infrastructures, la distribution d'hydrogène et la mobilité. La coentreprise, gérée conjointement, assurera l'investissement, la construction, l'exploitation de ces stations, ainsi que l'approvisionnement d'hydrogène sur le marché et sa commercialisation.

Les deux partenaires prévoient de procéder à la constitution de leur coentreprise courant 2023, sous réserve de la finalisation de la documentation contractuelle appropriée et de l'obtention des nécessaires autorisations réglementaires.

• Source : Air Liquide/TotalEnergies, 02/02/2023.

Enseignement et formation

Formation Fiches de sécurité étendues

Conformément au règlement REACH, les utilisateurs de produits chimiques, à réception de fiches de données de sécurité

étendues (FDS qui comprennent des scénarios d'exposition en annexe), doivent vérifier que leur(s) utilisation(s) sont couvertes par les FDS étendues et sont conformes aux scénarios d'exposition ainsi que respecter les conditions opératoires et les mesures de gestion des risques liées à leurs usages.

Afin d'aider les utilisateurs à mieux comprendre le contexte réglementaire lié aux scénarios d'exposition, à les décrypter et à déterminer les actions à mettre en place, France Chimie Ile-de-France et l'AFINEGE proposent le 11 avril prochain* la formation « FDS étendues : les utilisateurs en aval face aux scénarios d'exposition ».

• Information : Adelita Aullet (a.aullet@chimie-idf.fr).

*De 9 h 30 à 17 h 30, Diamant A, 14 rue de la République, 92800 Puteaux.

Faire sa thèse avec l'ADEME



Établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, l'ADEME (Agence de la transition écologique) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Le programme Thèses est un des outils pour mettre en œuvre la stratégie Recherche de l'agence, qui vise à encourager les recherches accompagnant la transition énergétique et écolo-

gique dans un contexte de changement climatique en vue de préparer et de soutenir ses actions.

Chaque année, l'ADEME sélectionne environ 50 nouveaux doctorants, sur une base moyenne de 200 candidats.

Date limite de dépôt des dossiers : 30 mars 2023.

• <https://theses.ademe.fr>

Inauguration du pôle ECOMARCH

Le pôle ECOMARCH (ECO-conception des Matériaux ARCHitecturés) a été inauguré en janvier dernier sur le campus de Saint-Martin d'Hères près de Grenoble. Porté par Grenoble INP - UGA, il accueillera deux filières de formation de Grenoble INP - Phelma, UGA (Électrochimie et procédés pour l'énergie et l'environnement ; Science et ingénierie des matériaux), ainsi que deux laboratoires phares en sciences des matériaux : le SIMaP (Laboratoire de science et ingénierie des matériaux et procédés (CNRS, UGA, Grenoble INP - UGA) et le LEPMI (Laboratoire d'électrochimie et de physicochimie des matériaux et des interfaces (CNRS, UGA, Grenoble INP - UGA, USMB).

Le nouveau bâtiment (environ 2 000 m²), construit sur l'emplacement de l'ancien bâtiment « usine », permet de réunir des espaces consacrés aux matériaux (dépôts CVD/ALD, fabrication additive métallique, frittage de poudres, injection d'amorphes métalliques...) et des espaces de caractérisation mécanique et d'imagerie 3D par micro-tomographie X, et ce à proximité immédiate de la plateforme CMTC (consortium des moyens techniques communs) qui réunit des équipements d'imagerie permettant d'étudier la structure des matériaux à différentes échelles. ECOMARCH accueille également des espaces expérimentaux pour startups, aujourd'hui utilisés par Vulkam, spécialisée dans les alliages métalliques amorphes, et par Cilkoa, spécialisée dans les emballages zéro plastique. Le projet a également permis sur le campus grenoblois le réaménagement de plusieurs salles expérimentales du LEPMI.

Le centre ECOMARCH contribuera à renforcer non seulement l'excellence de la formation des ingénieurs mais également la capacité des acteurs académiques et des entreprises à innover ensemble.

• Source : Agence MCM/Grenoble INP - UGA, 24/01/2023.

Sous le haut patronage de
Monsieur Emmanuel MACRON
Président de la République

10ème édition
JNI
2023

JOURNÉES NATIONALES DE L'INGÉNIEUR

IESF SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE JNI

4-19 MARS

JNI.IESF.FR #JNI2023