

## Prix et distinctions

### Prix Nobel de chimie 2023



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.

Le prix Nobel de chimie a été attribué cette année au professeur **Mounqi G. Bawendi** (Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, E.-U.), au professeur **Louis E. Brus** (Columbia University, New York, NY, E.-U), et à **Alexei I. Ekimov** (Nanocrystals Technology Inc., New York, NY, E.-U), « *for the discovery and synthesis of quantum dots* ».

Ces chercheurs ont réussi à produire des particules si petites que leurs propriétés sont déterminées par des phénomènes quantiques. Ces particules, appelées points quantiques (« quantum dots »), revêtent désormais une grande importance en nanotechnologie car elles possèdent de nombreuses propriétés fascinantes et inhabituelles, telles que des couleurs différentes selon leur taille.

Les physiciens savaient depuis longtemps qu'en théorie des effets quantiques dépendant de la taille pouvaient survenir dans les nanoparticules, mais à cette époque, il était presque impossible de les sculpter dans des nanodimensions. Par conséquent, on ne pensait pas que ces connaissances seraient mises en pratique.

Cependant, au début des années 1980, Alexei Ekimov a réussi à créer des effets quantiques dépendant de la taille dans le verre coloré. La couleur provenait de nanoparticules de chlorure de cuivre et Ekimov a démontré que la taille des particules affectait la couleur du verre via des effets quantiques.

Quelques années plus tard, Louis Brus fut le premier scientifique au monde à prouver des effets quantiques dépendant de la taille des particules flottant librement dans un fluide.

En 1993, Mounqi Bawendi a révolutionné la production chimique de points quantiques, donnant naissance à des particules presque parfaites. Cette haute qualité était nécessaire pour qu'ils puissent être utilisés dans des applications.

Aujourd'hui, les points quantiques éclairent désormais les écrans d'ordinateur et de télévision grâce à la technologie QLED. Ils ajoutent également des nuances à la lumière de certaines lampes LED, et les biochimistes et les médecins les utilisent pour cartographier les tissus biologiques.

Les chercheurs pensent qu'à l'avenir, ils pourraient contribuer à une électronique flexible, à de minuscules capteurs, à des cellules solaires plus fines et à une communication quantique cryptée. Le potentiel de ces minuscules particules vient tout juste de commencer à être exploré.

• Source : The Royal Swedish Academy of Sciences, 04/10/2023.

Voir article p. 9.

### Sandra Lavorel, Médaille d'or 2023 du CNRS



Sandra Lavorel au col du Lautaret dans les Alpes. © Hubert RAGUET/CNRS Images.

Créée en 1954, la Médaille d'or distingue des carrières scientifiques ayant contribué de manière exceptionnelle au dynamisme et au rayonnement de la recherche française. Elle distingue cette année Sandra Lavorel (Laboratoire d'Écologie alpine, LECA), spécialiste du fonctionnement des écosystèmes. Depuis trente ans, cette chercheuse du CNRS a mis en évidence les contributions de la biodiversité à la vie humaine et révélé les impacts sociétaux et économiques de ses altérations par les changements environnementaux, œuvrant régulièrement à mettre son expertise en appui aux politiques publiques. Son terrain de jeu favori : les Alpes, où elle mime les effets du réchauffement climatique sur les prairies d'altitude. Après des études à l'Institut national agronomique Paris-Grignon, Sandra Lavorel a obtenu un doctorat en écologie et sciences de l'évolution à l'Université des sciences et techniques du Languedoc (aujourd'hui AgroParisTech et Université de Montpellier) suivi d'un postdoctorat à l'Université nationale australienne. De retour en France, elle intègre en 1994 le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CNRS/EPHE – PSL/IRD/Université de Montpellier) avant de rejoindre en 2003 le Laboratoire d'Écologie alpine (CNRS/Université Grenoble Alpes/Université Savoie Mont Blanc), où elle mène aujourd'hui encore ses recherches. En 2020, elle effectue un détachement de deux ans au Manaaki Whenua Landcare Research en Nouvelle-Zélande, institut de recherche duquel elle est depuis chercheuse associée.

Au cours de sa carrière, Sandra Lavorel a montré que les changements climatiques et d'usage des sols affectent la morphologie et la physiologie des plantes, et comment ces adaptations ont des effets sur les écosystèmes auxquels elles appartiennent. Ces travaux pionniers ont posé les fondements de nouveaux axes de recherche sur la dynamique de la biodiversité et des écosystèmes. Ils permettent notamment d'élaborer des scénarios d'évolution des paysages particulièrement utiles aux politiques d'aménagement et de gestion de la biodiversité. Ses recherches interdisciplinaires ont aussi contribué au développement du concept de contribution de la nature à l'adaptation sociale, une nouvelle manière d'explorer les solutions fondées sur la nature pour faire face aux changements globaux.

Membre de l'Académie des sciences depuis 2013, officier de l'ordre national du Mérite (2016), officier de la Légion

## Grand Prix de la Fondation de la Maison de la Chimie 2024

### Appel à candidatures

Le Grand Prix de la Fondation est destiné à récompenser une œuvre originale concernant la chimie, au bénéfice de l'homme, de la vie, de la société ou de la nature. Ce prix, d'un montant de 35 000 €, sera décerné pour la dix-neuvième fois en 2024 à une ou plusieurs personnes physiques, quelle qu'en soit la nationalité.

Les candidatures doivent être obligatoirement présentées par une société savante ou par un organisme scientifique national ou international sans lien direct avec le candidat. La remise du prix aura lieu à la Maison de la Chimie à Paris, lors d'une séance solennelle qui se déroulera en février 2025. À cette occasion, le lauréat sera invité à faire un exposé sur ses travaux.

**Date limite de réception des dossiers : 30 avril 2024.**

• <https://actions.maisondelachimie.com/les-prix-de-la-fondation/grand-prix-de-la-fondation>

d'honneur (2022), elle reçoit en 2020 la plus haute distinction de la British Ecological Society en étant nommée membre honoraire, et devient la même année membre étrangère de la National Academy of Sciences des États-Unis. Sa carrière est également marquée par plusieurs récompenses remarquables, parmi lesquelles le prix Ramon Margalef d'écologie décerné en 2020 par la Généralité de Catalogne et le prix Frontiers of Knowledge Award de la Fondation BBVA dans la catégorie écologie et conservation de la biodiversité en 2021.

Son expertise lui a valu d'être impliquée dans différentes instances d'évaluation nationales et internationales. De 2018 à 2022, elle a été membre du comité interdisciplinaire d'experts de l'IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), la plateforme internationale de référence sur la biodiversité (comme l'est le GIEC sur le climat). Dans ce cadre, elle a co-édité le rapport GIECC-IPBES sur la biodiversité et le changement climatique paru en 2021. Elle participe actuellement à l'évaluation Nexus sur les liens d'interdépendance entre la biodiversité, l'eau, l'alimentation, la santé et le climat de l'IPBES.

La Médaille lui sera remise le 20 décembre lors d'une cérémonie à la Maison de la Chimie à Paris.

## Prix Nobel de physique 2023



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.

Le prix est attribué au chercheur français **Pierre Agostini**, professeur à l'Ohio State University (Columbus, OH, E.-U.), au physicien hongrois **Ferenc Krausz**, directeur du Max Planck Institute of Quantum Optics (Garching, Allemagne), et à la professeure de physique atomique franco-suédoise **Anne L'Huillier** (Lund University, Suède), « *for experimental methods that generate attosecond pulses of light for the study of electron dynamics in matter* ».

Les avancées des trois physiciens ont permis d'explorer des processus tellement rapides qu'ils étaient auparavant impossibles à suivre. Ils ont réussi à créer des impulsions de lumière de l'ordre de l'attoseconde – la plus petite unité de temps mesurable (un milliardième de milliardième de seconde).

Anne L'Huillier avait déjà remporté le prestigieux prix Wolf en 2022, parfois annonciateur du Nobel, conjointement avec Ferenc Krausz et le Canadien Paul Corkum, pour leurs contributions pionnières à la science des lasers ultrarapides et à la physique des attosecondes.

Avant Anne L'Huillier, quatre femmes seulement avaient obtenu le prix Nobel de physique depuis 1901 : Marie Curie (1903), Maria Goeppert-Mayer (1963), Donna Strickland (2018) et Andrea Ghez (2020).

## Prix Jeunes Talents France 2023 L'Oréal-UNESCO « Pour les Femmes et la Science »



Les 35 jeunes chercheuses primées. © Nicolas Gouhier.

Alors que les grandes transformations environnementales et sociétales de notre temps réclament d'urgentes réponses, la sous-représentation des femmes dans les filières et métiers scientifiques reste toujours aussi criante. Les programmes nationaux et régionaux Jeunes Talents Pour les Femmes et la Science de la Fondation L'Oréal, en partenariat avec l'UNESCO, permettent de remettre chaque année près de 250 dotations dans plus de 110 pays. Ces prix apportent aux jeunes talents un soutien spécifique à un moment charnière de leur carrière scientifique.

Pour cette 17<sup>e</sup> édition, vingt doctorantes et quinze postdoctorantes ont été sélectionnées en France, parmi 618 candidatures, par un jury composé de trente-deux chercheurs de l'Académie des sciences présidé par Patrick Flandrin, directeur de recherche au CNRS et président sortant de l'Académie des sciences. La co-présidence du jury est assurée par Odile Eisenstein, directrice de recherche émérite au CNRS, et Alain Fischer, professeur émérite au Collège de France et président de l'Académie des sciences.

Provenant de France métropolitaine et des régions d'Outre-mer, avec des domaines de recherche très divers, ces scientifiques prometteuses se voient attribuer une dotation – 15 000 € pour les doctorantes, 20 000 € pour les postdoctorantes – qui les aidera à poursuivre leurs travaux de recherche. Elles vont également bénéficier de formations au « leadership », visant à leur donner des moyens supplémentaires pour affronter le « plafond de verre » et mieux valoriser leurs recherches scientifiques.

• Source : Fondation L'Oréal, 10/10/2023.

Pour découvrir le palmarès : [www.fondationloreal.com/sites/default/files/2023-10/cp\\_fondation\\_l\\_oreal\\_jeunes\\_talents\\_2023.pdf](http://www.fondationloreal.com/sites/default/files/2023-10/cp_fondation_l_oreal_jeunes_talents_2023.pdf)

## Du prix international L'Oréal-UNESCO « Pour les Femmes et la Science » au prix Nobel

**Katalin Kariko**, lauréate du prix international L'Oréal-UNESCO « Pour les Femmes et la Science » en 2022, et **Anne L'Huillier**, lauréate de ce même prix en 2011, ont respectivement reçu cette année le prix Nobel de médecine et celui de physique. Professeure en biochimie, Katalin Karikó est récompensée pour ses travaux pionniers sur une technologie de vaccin efficace contre le Covid-19, et la professeure de physique atomique Anne L'Huillier pour ses travaux sur des impulsions lumineuses ouvrant une fenêtre sur le comportement des électrons dans la matière.

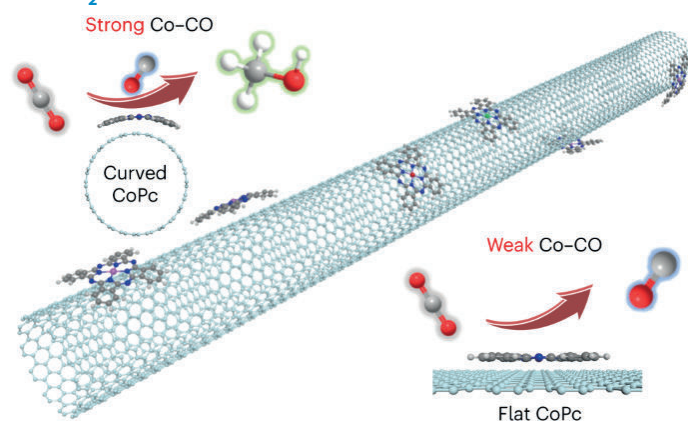
Aujourd'hui en France, les femmes sont encore trop peu présentes dans la recherche scientifique : elles ne représentent que 29 % des chercheurs, contre 33,3 % au niveau mondial. En outre, elles rencontrent des difficultés à poursuivre leur carrière scientifique et accéder à la reconnaissance qu'elles méritent. Depuis la création des prix Nobel en 1901, parmi les 640 scientifiques récompensés en physique, chimie et médecine, on compte seulement vingt-six femmes.

Les prix Nobel décernés cette année à Katalin Karikó et Anne L'Huillier portent à sept le nombre de lauréates du Prix international L'Oréal-UNESCO Pour les Femmes et la Science à avoir reçu une telle distinction. Christiane Nüsslein-Volhard (prix Nobel de physiologie ou médecine en 1995), Ada Yonath (prix Nobel de chimie en 2009), Elizabeth H. Blackburn (prix Nobel de physiologie ou médecine en 2009), Emmanuelle Charpentier (prix Nobel de chimie en 2020), et Jennifer A. Doudna (prix Nobel de chimie en 2020) les avaient précédées.

• Source : Fondation L'Oréal, 05/10/2023.

## Recherche et développement

### Une nouvelle avancée vers la valorisation durable du CO<sub>2</sub> comme carburant



L'utilisation d'un catalyseur moléculaire de cobalt ancré à la surface courbe de nanotubes de carbone favorise la réduction sélective du CO<sub>2</sub> en méthanol avec des rendements élevés. Cette même réduction n'est pas favorisée si le catalyseur est sur une surface plane. © Marc Robert.

Faire du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) une source renouvelable et durable de carbone est un défi majeur pour la recherche scientifique et un enjeu politique de premier plan. La nature a déjà eu cette idée puisqu'elle transforme le CO<sub>2</sub> et l'eau en glucose grâce à l'énergie du soleil via la photosynthèse : une forme remarquable de stockage d'énergie. La recherche s'en inspire pour mettre au point des procédés photo-électrochimiques capables de convertir le CO<sub>2</sub> en un large éventail de molécules organiques à haute valeur ajoutée comme l'acide formique,

30 novembre 2023

## Journée scientifique d'inauguration de l'axe Papiers & Cartons Saint-Martin-d'Hères



Cet événement fait suite au lancement le 31 mai 2023 du Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) « Recyclage, recyclabilité et ré-utilisation des matières », centré sur cinq grandes familles de matériaux utilisés quotidiennement : plastiques, matériaux composites, textiles, métaux stratégiques et papiers/cartons.

Les différents objectifs et acteurs de ce consortium seront présentés lors de courtes prises de paroles, de conférences et d'une table ronde. La présence d'acteurs scientifiques, institutionnels et industriels, a pour but de stimuler les échanges sur les enjeux et challenges du recyclage des papiers & cartons et d'initier les lignes directrices des futurs appels à manifestation d'intérêt.

**Inscription gratuite obligatoire.**

• [nathalie.marlin@grenoble-inp.fr](mailto:nathalie.marlin@grenoble-inp.fr)

le méthane, le méthanol ou l'éthanol. Au cours de ces processus, la molécule de CO<sub>2</sub> perd progressivement ses atomes d'oxygène qui sont remplacés par des atomes d'hydrogène, stockant au passage de l'énergie sous forme de liaisons chimiques. Cette transformation, dite « réaction de réduction », nécessite de l'énergie mais également des catalyseurs actifs, sélectifs et durables pour vaincre la très grande stabilité des liaisons C-O et ne favoriser que la réduction souhaitée, en méthanol par exemple, parmi les nombreuses réactions possibles. Un point crucial qui ralentit fortement le déploiement de ces solutions très attractives.

Dans ce contexte, des scientifiques du Laboratoire d'électrochimie moléculaire (LEM, CNRS/Université Paris Cité), en collaboration avec des équipes chinoises, ont mis au point un catalyseur modèle à atome de cobalt unique avec une structure de coordination bien définie pour étudier le mécanisme sous-jacent des réactions de réduction du CO<sub>2</sub> mais aussi du CO (monoxyde de carbone) en méthanol. Le complexe moléculaire de cobalt choisi est la phtalocyanine de cobalt. En présence de CO<sub>2</sub>, le processus de réduction s'arrête à la formation de CO et la production de méthanol est infime. Par contre, en présence de CO seul, la réduction de ce dernier en méthanol se fait de façon sélective et avec un très bon rendement. Les scientifiques ont montré que ce mécanisme, lié au trop faible temps de séjour du CO à la surface du catalyseur en présence de CO<sub>2</sub>, pouvait être contourné en jouant sur la géométrie du support du catalyseur. En effet, une fois ancré à la surface de nanotubes de carbone, la disposition contrainte et fortement courbée des molécules de catalyseur favorise l'interaction

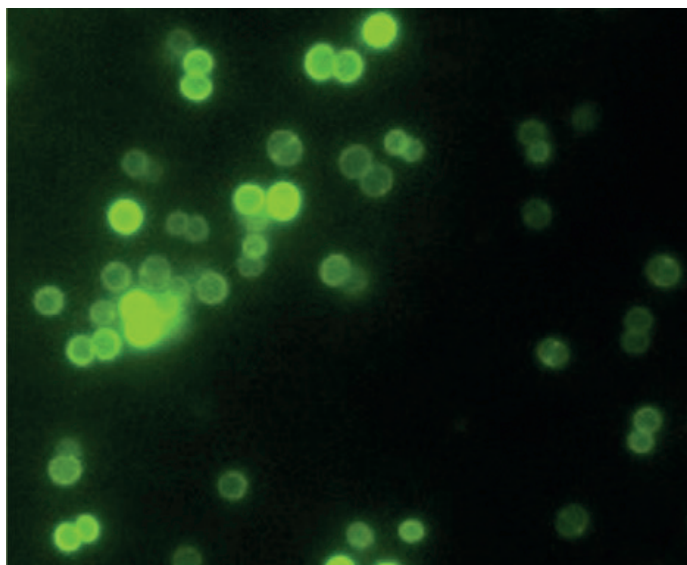
entre atomes de cobalt et molécules de CO. Cette interaction forte se traduit par un plus long temps de séjour qui favorise la poursuite du processus de réduction du monoxyde de carbone en méthanol avec un rendement élevé.

Ces résultats, qui ont fait l'objet d'une double publication dans *Nature Catalysis* et *Nature Communications*, devraient permettre l'optimisation et le développement de catalyseurs moléculaires à base de métaux non critiques particulièrement actifs et sélectifs pour produire du méthanol à partir du CO<sub>2</sub> issu de fumées industrielles, voire de sources moins concentrées.

• Source : INC/CNRS, 19/09/2023.

Réf. : X. Ren, J. Zhao, X. Li, J. Shao, B. Pan, A. Salamé, E. Boutin, T. Groizard, S. Wang, J. Ding, X. Zhang, W.Y. Huang, W.J. Zeng, C. Liu, Y. Li, S.-F. Hung, Y. Huang, M. Robert, B. Liu, In-situ spectroscopic probe of the intrinsic structure feature of single-atom center in electrochemical CO/CO<sub>2</sub> reduction to methanol, *Nat. Commun.*, 2023, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39153-6>; J. Su, C.B. Musgrave, Y. Song, L. Huang, Y. Liu, G. Li, Y. Xin, P. Xiong, M.M.J. Li, H. Wu, M. Zhu, H. Ming Chen, J. Zhang, H. Shen, Z. Tang, M. Robert, W.A. Goddard, R. Ye, Strain enhances the activity of molecular electrocatalysts via carbon nanotube supports, *Nat. Catal.*, 2023, <https://doi.org/10.1038/s41929-023-01005-3>.

## Modifier rapidement par électrochimie des surfaces virales, bactériennes ou cellulaires



© Sébastien Gouin.

Les protéines à la surface des membranes bactériennes, cellulaires ou virales, jouent un rôle fondamental dans bon nombre de fonctions biologiques : adhérence, communication et identification cellulaire, transport de nutriments, adaptation à l'environnement...

Agir sur ces protéines de surface, les modifier, permettrait de conférer de nouvelles propriétés aux vecteurs viraux utilisés en thérapie génique ou aux cellules souches et immunitaires utilisées en thérapies cellulaires régénératives et anticancéreuses. En effet, ces modifications pourraient permettre de diriger le tropisme naturel de ces entités vers les organes cibles pour délivrer un gène d'intérêt, des sondes chimiques ou des molécules cytotoxiques. Cette perspective justifie les efforts importants réalisés pour développer des méthodes efficaces et fiables de greffage moléculaire sur la surface de virus, de bactéries ou de cellules vivantes.

Actuellement, la méthode de choix reste l'expression d'un sucre présentant une « étiquette chimique » accessible à des réactions de chimie click. Elle nécessite toutefois de cultiver les bactéries/cellules pendant plusieurs heures/jours en présence du sucre modifié, comporte un taux d'incorporation de ces sucres variable selon les lignées cellulaires, et n'est pas

applicable aux virus. Il est donc urgent de développer des méthodes alternatives permettant de s'affranchir de cette étape de bio-incorporation.

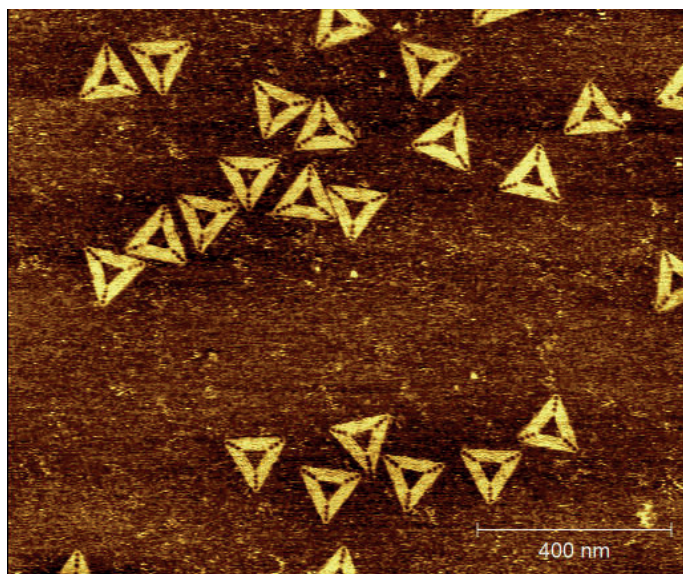
Des scientifiques des Laboratoires Chimie et interdisciplinarité, synthèse, analyse, modélisation (CNRS/ Nantes Université), Translational Research in Gene Therapy (INSERM, Nantes Université) et Unité en sciences biologiques et biotechnologies (CNRS/Nantes Université) sont parvenus à fonctionnaliser par électrochimie la surface de vecteurs viraux, de bactéries et de cellules. Ils ont utilisé des dérivés du N-méthyluminol (NML), une fonction d'ancrage aux protéines. La fonctionnalisation a été réalisée électrochimiquement et *in situ* en appliquant un potentiel électrique à des solutions aqueuses contenant du NML fonctionnalisé en présence de virus, de bactéries ou de cellules. Testée sur des virus adéno-associés recombinants (rAAV2) utilisés en thérapie génique, leur méthode de synthèse peut être réalisée en quelques minutes pour produire des vecteurs viraux fonctionnalisés qui conservent à la fois leur intégrité structurale et leur propriété infectieuse. Dans le cas de souches bactériennes d'*Escherichia coli* (Gram-) et de *Staphylococcus epidermidis* (Gram+), ainsi que sur plusieurs lignées cellulaires eucaryotes, les scientifiques ont obtenu des bactéries et des cellules marquées sans impact sur leur viabilité, et qui conservent leur capacité à se diviser.

Cette méthode, simple à mettre en œuvre, devrait permettre d'optimiser la conception de vecteurs thérapeutiques viraux, bactériens et cellulaires.

• Source : INC/CNRS, 19/09/2023.

Réf. : S. Depienne, M. Bouzelha, E. Courtois, K. Pavageau, P.-A. Lalys, M. Marchand, D. Alvarez-Dorta, S. Nedellec, L. Marin-Fernandez, C. Grandjean, M. Boujtita, D. Deniaud, M. Mével, S.G. Gouin, Click-electrochemistry for the rapid labeling of virus, bacteria and cell surfaces, *Nat. Commun.*, 2023, 14, 5122, <https://rdcu.be/dkdbt>.

## Nanotechnologies ADN : des origamis dynamiques et évolutifs



Les origamis produits par cette méthode sont évolutifs. Ici, on peut observer des origamis de forme triangulaire qui auparavant étaient rectangulaires. Ceux-ci ont été capables de se transformer de manière isotherme lors de l'ajout de brins compétitifs d'ADN qui ont changé le minimum énergétique du système. C'est la première fois que ce type de transformation morphologique a pu être réalisé. © Damien Baigl.

L'ADN est la molécule qui stocke et transmet les informations génétiques dans les systèmes biologiques. Les nanotechnologies structurales à base d'ADN sortent cette molécule de son contexte et utilisent l'information chimique qu'elle contient pour guider l'auto-assemblage de morceaux d'ADN synthé-

tiques en diverses structures 1D, 2D ou 3D. Le jeu de complémentarité des bases qui les constituent permet en effet de programmer l'assemblage de briques d'ADN pour former des nano-objets de nature chimique et de formes variées. La possibilité d'y positionner des invités (molécules, protéines, nanoparticules) avec une résolution spatiale inégalée participe au succès de cette technologie.

En plein essor ces vingt dernières années, les nanotechnologies ADN ont eu un impact remarquable sur les nanosciences et les nanotechnologies dans des domaines aussi variés que la biophysique, le diagnostic, l'assemblage de nanoparticules et de protéines, la détermination de la structure des biomolécules, l'administration de médicaments et la biologie synthétique. Cependant, les structures auto-assemblées sont généralement obtenues par un recuit thermique au cours duquel on chauffe le système à une température assez élevée (autour de 80°) avant de le refroidir progressivement. Il n'est donc pas possible de former ces objets *in situ* dans un milieu à température ambiante ou physiologique. De plus, les objets obtenus sont statiques et ne sont pas capables de reconfiguration majeure une fois formés.

Dans un article récemment paru dans *Nature Nanotechnology*, une équipe du Laboratoire PASTEUR (CNRS/ENS-PSL/Sorbonne Université), en collaboration avec des chercheurs du Centre de biologie structurale (CNRS/Inserm/Université Montpellier) et une équipe japonaise, décrit une méthode innovante grâce à laquelle des centaines de briques d'ADN différentes peuvent s'auto-assembler spontanément à température ambiante ou physiologique pour aboutir à la forme désirée. La méthode, qui utilise un simple tampon de chlorure de sodium, est générique et s'applique à un grand nombre de structures différentes : origamis d'ADN 2D ou 3D, nanogrilles étendues, nanotuilles, etc. Elle permet également d'auto-assembler des protéines par voie isotherme à des positions désirées sur ces nano-objets. Les scientifiques ont également imagé le mécanisme d'assemblage *in situ* et en temps réel par microscopie à force atomique (AFM) haute résolution haute vitesse. Ces observations révèlent la capacité du système à explorer des chemins de repliements différents jusqu'à atteindre la morphologie désirée.

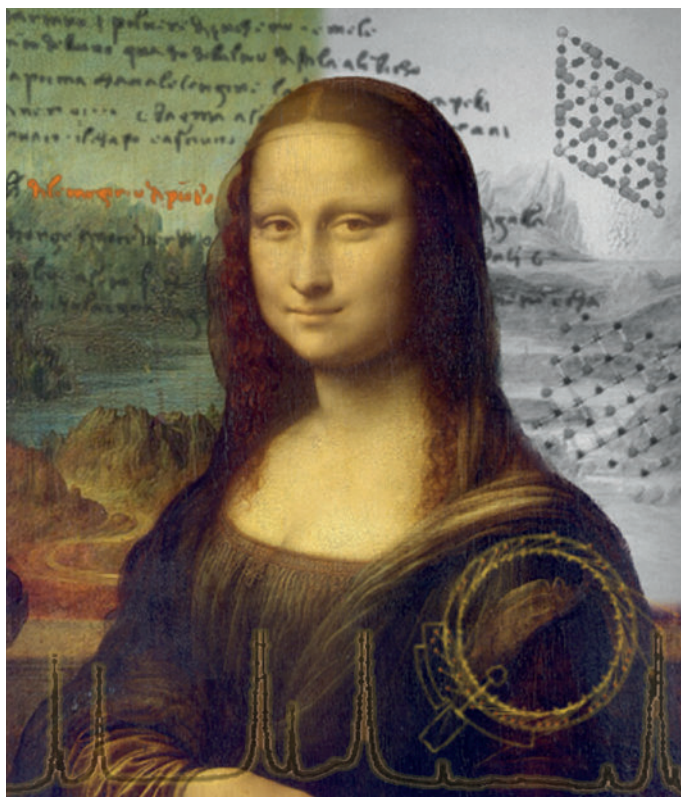
Enfin, les structures obtenues sont dynamiques, évolutives et reconfigurables. Ils ont ainsi pu démontrer la première transformation isotherme et complète d'un origami d'ADN, d'une morphologie à une autre complètement différente (ici d'un rectangle à un triangle). Ces résultats augmentent de manière considérable les perspectives offertes par l'auto-assemblage moléculaire d'ADN. Ils permettent d'envisager des nanostructures sophistiquées et programmables à température ambiante ou physiologique, capables de répondre et s'adapter de manière isothermique aux signaux chimiques ou biochimiques dans des environnements fluctuants. De quoi répondre à une des promesses majeures de la nanotechnologie de l'ADN : la démonstration de machines moléculaires artificielles, autonomes, reconfigurables, et capables d'interagir avec leur environnement de manière adaptative et/ou évolutive.

• Source : INC/CNRS, 19/09/2023.

Réf. : C. Rossi-Gendron, F. El Fakih, L. Bourdon, K. Nakazawa, J. Finkel, N. Triomphe, L. Chocron, M. Endo, H. Sugiyama, G. Bellot, M. Morel, S. Rudiuk, D. Baigl, Isothermal self-assembly of multicomponent and evolutive DNA nanostructures, *Nat. Nanotechnol.*, 2023, <https://doi.org/10.1038/s41565-023-01468-2>.

À lire aussi : E. Franco, Shaken, not heated: DNA self-assembly at room temperature, *Nat. Nanotechnol.*, 2023, [www.nature.com/articles/s41565-023-01467-3](http://www.nature.com/articles/s41565-023-01467-3).

## La Joconde fait de l'œil aux chimistes



© I. Fazlic, M. Cotte & V. Gonzalez.

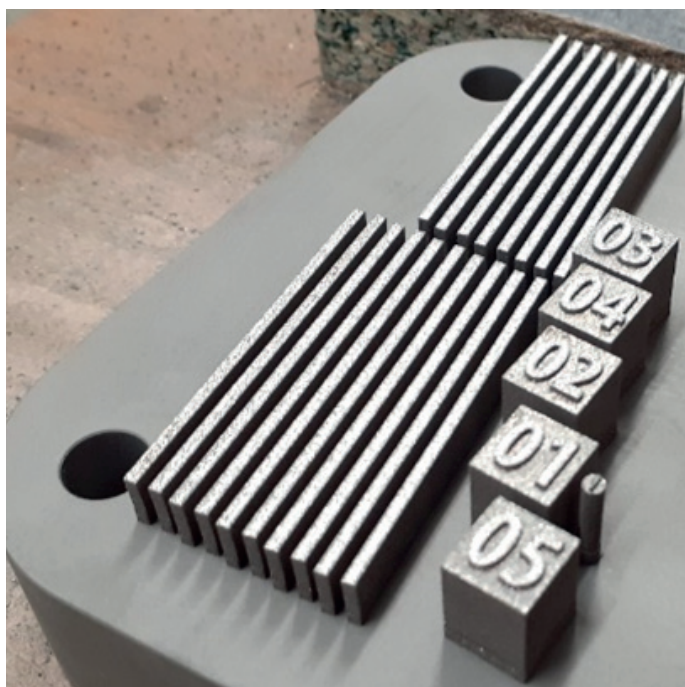
Le mystère de *La Joconde* ne réside pas tant dans son sourire que dans les techniques picturales utilisées par Léonard de Vinci. Artiste, ingénieur et architecte, il était aussi chimiste expérimentateur, et *La Joconde* était un véritable laboratoire ! C'est ce que démontre une équipe du Laboratoire Photo-physique et photochimie supramoléculaires et macromoléculaires (CNRS/ENS Paris-Saclay), de l'Institut de recherche de chimie Paris (CNRS/Chimie ParisTech - PSL), du Centre de recherche et de restauration des musées de France (ministère de la Culture), du Synchrotron européen de Grenoble (ESRF), du musée du Louvre et du Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale (CNRS/Sorbonne Université), dirigée par des scientifiques du CNRS, impliquant tout particulièrement le Synchrotron européen de Grenoble (ESRF), le musée du Louvre et le ministère de la Culture.

Cette collaboration a permis d'étudier un microéchantillon exceptionnel de la sous-couche de préparation du chef d'œuvre. Les observations, menées à l'échelle microscopique à l'aide du rayonnement synchrotron, révèlent un mélange singulier d'huile au plomb, très différent en composition de ceux habituellement observés dans les peintures à l'huile de cette époque. La présence d'un composé rare et instable, la plumbonacrite, également retrouvé sur des fragments de *La Cène*, chef d'œuvre de la peinture murale de Léonard de Vinci, suggère une volonté d'innover dans la préparation de sous-couches de peinture épaisses et opaques en traitant l'huile avec une forte charge d'oxyde de plomb. Si l'examen des manuscrits de l'artiste suggérait ces pratiques avec des informations ambiguës, l'étude paru dans *JACS* apporte de nouveaux éléments clés pour comprendre ses recettes et l'évolution de ses peintures dans le temps.

• Source : INC/CNRS, 11/10/2023.

Réf. : V. Gonzalez, G. Wallez, E. Ravaud, M. Eveno, I. Fazlic, T. Fabris, A. Nevin, T. Calligaro, M. Menu, V. Delieuvin, M. Cotte, X-ray and infrared micro-analyses of Mona Lisa's ground layer and significance regarding Leonardo da Vinci's palette, *JACS*, 2023, DOI : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.3c07000>.

## Les bonnes recettes de la métallurgie pour la fabrication 3D d'implants médicaux innovants



© Thierry Gloriant.

Prothèses, implants dentaires, agrafes orthopédiques, stents cardiovasculaires..., les implants métalliques sont largement utilisés pour réparer le corps humain. Malgré leurs atouts, ils présentent des failles difficilement remédiables comme la perte de biocompatibilité sur le long terme, une trop grande rigidité par rapport à la matière qui les entoure ou le manque de souplesse dans leur design et leur fabrication. Des matériaux très étudiés qui seraient bien plus adaptés sont les alliages de titane contenant des éléments biocompatibles comme le niobium, le tantale et le zirconium. En effet, ces alliages possèdent des modules d'élasticité très faibles, proches de celui de l'os, et permettent d'éviter la résorption osseuse (l'os qui se retire) en pourtour d'implant et l'échec de l'implantation. Cependant, les tentatives de les fabriquer par technologie additive pour obtenir des dispositifs aux formes et designs extrêmement complexes restent encore très marginales. La fusion laser sur lit de poudre\*, par exemple, se révèle particulièrement intéressante pour obtenir des implants chirurgicaux métalliques sur mesure et au plus proche de la morphologie des patients à partir de scans traités via des logiciels de segmentation numériques. Cette technologie additive utilise des poudres pré-alliées qui, pour des compositions « exotiques », nécessitent la mise en œuvre de techniques d'atomisation coûteuses et fastidieuses qui représentent un verrou technologique important.

Pour lever ce verrou, des métallurgistes de l'Institut des sciences chimiques de Rennes, en collaboration avec l'entreprise bretonne SLS-France, ont mis au point un mode de fabrication original, dit « *in situ* », consistant à utiliser un mélange de poudres élémentaires commercialement pures pour réaliser l'alliage des différents éléments au moment de la fusion par le balayage laser. Ce mode de fabrication, associé à des choix de compositions d'alliages optimisées, a fait l'objet d'un brevet déposé en 2022. Il permet de contourner l'étape critique d'atomisation de poudres et offre une plus grande flexibilité dans les quantités et les compositions à préparer. Leur étude a débouché sur des alliages denses et homogènes du système Ti-Zr-Nb-Sn très prometteurs. En effet, avec des résistances

mécaniques comparables, ces nouveaux alliages présentent des modules de rigidité deux fois moindres que l'alliage de titane de grade médical actuellement utilisé. De plus, certaines compositions ont démontré une consolidation sous charge assez exceptionnelle en comparaison aux alliages élaborés par des procédés classiques. Ces excellentes propriétés ont pour origine une transformation de phase activée sous l'effet de la contrainte et dont les mécanismes de formation en relation avec la déformation plastique restent encore à élucider.

Forts de ces résultats très prometteurs, le laboratoire et l'entreprise ont décidé de renforcer la synergie qui les unit par la création du laboratoire commun (LabCom) LABIOFAB. Les activités de ce LabCom viseront à prototyper des dispositifs médicaux 3D à partir d'alliages de titane aux compositions optimisées, avec l'objectif, à terme, d'une mise sur le marché de dispositifs implantables plus durables et sans complication pour l'hôte.

\* Source : INC/CNRS, 03/10/2023.

Réf. : H. Schaal, P. Castany, P. Laheurte, T. Gloriant, Design of a low Young's modulus Ti-Zr-Nb-Sn biocompatible alloy by *in situ* laser powder bed fusion additive manufacturing process, *J. Alloys Compd.*, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171539>.

H. Schaal, P. Castany, T. Gloriant, Outstanding strain-hardening of a new metastable  $\beta$ -titanium alloy elaborated by *in situ* additive manufacturing L-PBF process, *Mater. Sci. Eng. A*, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145117>.

\*La fusion sur lit de poudre est un processus de fabrication additive dans lequel une source d'énergie telle qu'un laser ou un faisceau d'électrons est utilisée pour fusionner des matériaux particuliers (métaux, céramiques ou polymères) afin de créer un objet tridimensionnel.

## De nouvelles métalloenzymes chimériques

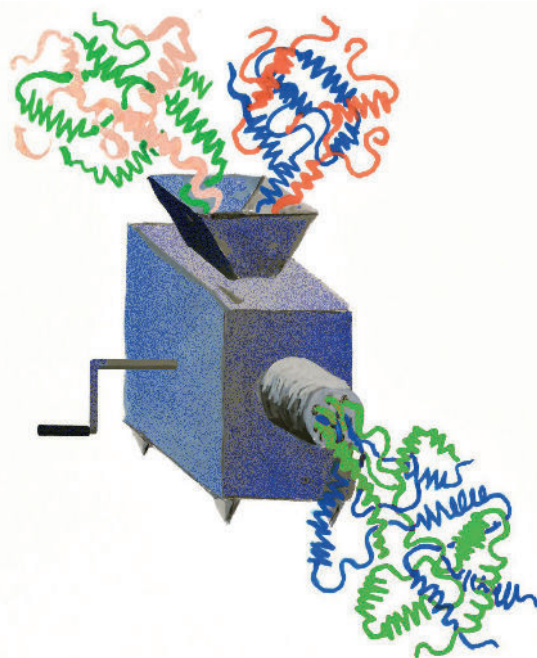


Illustration artistique de la stratégie d'ingénierie consistant à recombinaison de sous-unités protéiques de complexes distincts, pour fabriquer un dimère chimérique. © Laurent Eisler.

Les enzymes sont des protéines essentielles dans le monde du vivant. Elles permettent d'accélérer des réactions chimiques spécifiques nécessaires à la vie. Ces enzymes sont classées en familles, en fonction de la structure de leur site actif (organique ou inorganique), où se déroulent les réactions chimiques qu'elles catalysent. Chaque famille peut contenir plusieurs enzymes homologues, c'est-à-dire ayant une structure de site actif identique, des séquences d'acides aminés similaires, et des propriétés catalytiques différentes (notamment en ce qui concerne leur capacité à catalyser la réaction chimique dans l'une ou l'autre des deux directions, et leur résistance aux inhibiteurs).

Cette variabilité fonctionnelle illustre l'importance d'éléments structuraux éloignés des ions métalliques du site actif, qui déterminent les propriétés de l'enzyme en ayant un effet à longue distance. Lorsqu'une enzyme est un complexe de plusieurs sous-unités protéiques, il peut même arriver que ses propriétés catalytiques soient influencées par les sous-unités autres que celle qui contient le site actif.

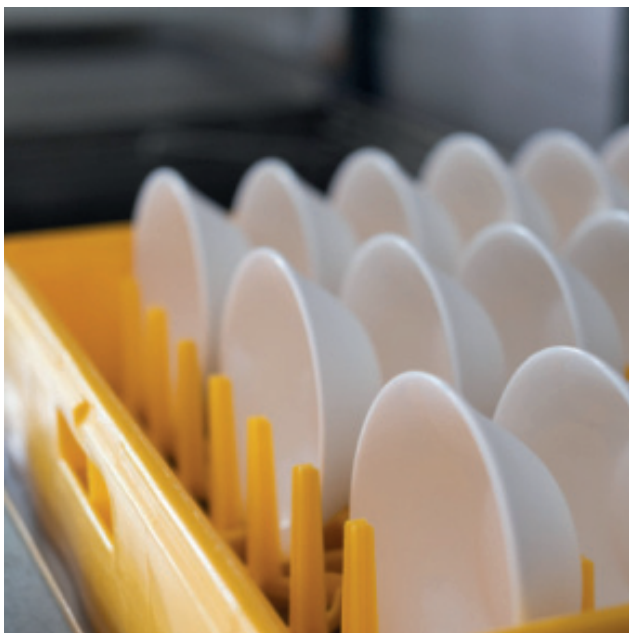
Pour comprendre ces effets, les scientifiques du Laboratoire de bioénergie et ingénierie des protéines (CNRS/Université Aix-Marseille) ont pris comme exemple deux hydrogénases homologues dimériques, c'est-à-dire constituées de l'assemblage de deux sous-unités dont l'une contient le site catalytique. Ces deux enzymes catalysent l'oxydation du dihydrogène, mais l'une des deux seulement catalyse aussi la réaction inverse, celle qui permet la production d'hydrogène. Cette dernière enzyme est aussi sensible aux inhibiteurs (dioxygène, CO), qui peuvent interférer avec la capacité de l'enzyme à catalyser la réaction de production d'hydrogène. Pour déterminer laquelle des deux sous-unités est responsable de ces variations fonctionnelles, les scientifiques ont utilisé des méthodes d'ingénierie protéique pour produire une enzyme chimérique, résultant de l'assemblage non naturel des deux sous-unités des deux dimères.

Les résultats remettent en question les dogmes concernant les déterminants moléculaires des propriétés catalytiques dans cette famille d'enzymes, et ouvrent la voie à la construction de nouveaux systèmes catalytiques, qui combineront les propriétés les plus désirables d'enzymes homologues distinctes, produits en recombinant les sous-unités qui déterminent ces propriétés.

• Source : INC/CNRS, 10/10/2023.

Réf. : A. Fasano, C. Guendon, A. Jacq-Bailly, A. Kpebe, J. Wozniak, C. Baffert, M. del Barrio, V. Fourmond, M. Brugna, C. Léger, A chimeric NiFe hydrogenase heterodimer to assess the role of the electron transfer chain in tuning the enzyme's catalytic bias and oxygen tolerance, *J. Am. Chem. Soc.*, sept. 2023, doi: 10.1021/jacs.3c06895.

## Un peu de chimie pour moins de bruit dans les cantines



© Quiet.

Le monde de la restauration collective pourrait bien devenir plus calme avec l'avènement de la vaisselle silencieuse développée par la société Quiet. Cette start-up bordelaise a en effet mis au point une vaisselle bi-matériaux en verre trempé

et polymère qui ne fait plus de bruit en s'entrechoquant. Cerise sur le gâteau : cette vaisselle est aussi antidérapante et casse moins facilement. De quoi améliorer le confort auditif et les conditions de travail du personnel des cantines scolaires et autres agents de la restauration collective !

Pour développer cette vaisselle, la start-up a fait appel au savoir-faire des chimistes du Laboratoire d'Ingénierie des matériaux polymères (IMP, CNRS/INSA Lyon/Université Claude Bernard). « Les représentants de la start-up Quiet sont venus nous voir il y a quelques années. Ils savaient qu'une couche de polymère collée sur le revers de la vaisselle ferait sans doute l'affaire, mais n'avaient aucune connaissance de ces matériaux ni de leur adhésion au verre » explique François Ganachaud, directeur de recherche au CNRS et expert en chimie des polymères. Pour les scientifiques, la question se résume très vite en un problème d'adhésion : « Le revêtement devait non seulement coller au support de manière homogène, mais aussi tenir au lavage haute température en lave-vaisselle » reprend François Ganachaud. La formule magique retenue, dont la composition exacte reste secrète, se veut irréprochable sur le plan sanitaire.

La première série de vaisselle silencieuse devrait rejoindre les plateaux repas à partir de l'an prochain. Commercialisée sous forme d'un contrat d'expérimentation avec récupération et remplacement en cas de bris, le cycle de vie de la vaisselle Quiet ne sera, quant à lui, pas passé sous silence.

• Source : INC/CNRS, 03/10/2023.

## Industrie

### Global Bioenergies reçoit un soutien de l'État pour la première usine au monde d'isobutène biosourcé



L'État français, via l'appel à projet Première usine porté par Bpifrance dans le cadre du plan France 2030, va participer au financement du projet d'usine d'une capacité de 10 000 tonnes par an d'isobutène et dérivés par un soutien financier de 16,4 M€. Le démarrage de cette usine est prévu en 2027.

La technologie développée par Global Bioenergies, qui permet de produire de l'isobutène à partir de ressources naturelles, va permettre à l'industrie cosmétique d'augmenter la naturalité de ses formules (L'Oréal est son premier actionnaire avec 13,5% du capital), puis aux acteurs de l'aérien de se défaire progressivement de leur dépendance au pétrole, sans compromis sur les performances et sans nécessité de modifier les équipements et installations existantes. À horizon 2030, la société prévoit de devenir un des leaders de l'immense marché émergent des carburants d'aviation durables afin de lutter contre le réchauffement climatique.

« Cette usine, qui sera implantée en France, participera à la valorisation de ressources locales abondantes, à la réindustrialisation du territoire et à la création d'une filière totalement nouvelle » (Marc Delcourt, co-fondateur et directeur général).

• Source : Global Bioenergies, 04/10/2023.