

## Prix et distinctions

### Prix de l'inventeur européen 2023

Lancé par l'Office européen des brevets en 2006, ce prix annuel – l'une des plus prestigieuses distinctions européennes – récompense (individuellement ou en équipe) les inventeurs dont les innovations ont apporté des réponses aux grands défis de notre temps\*.

#### • Une équipe de chercheurs français lauréate du prix « Recherche »



© EPO.

Patricia de Rango, Daniel Fruchart, Albin Chaise, Michel Jehan et Nataliya Skryabina sont les lauréats de la catégorie « Recherche ». Sélectionnés parmi plus de 600 candidats, ces chercheurs ont mis au point une technologie permettant de comprimer, de stocker et de transporter facilement l'hydrogène sous la forme solide d'un disque. La solution développée par le groupe de recherche pluridisciplinaire nécessite moins d'énergie et stocke l'hydrogène de manière plus sûre, facteur déterminant dans la lutte contre le changement climatique.

L'hydrogène joue un rôle clé dans la transition vers une énergie propre, étant trois fois plus énergétique que les combustibles fossiles. Cependant, l'hydrogène occupe davantage de place que les combustibles fossiles et nécessite une énergie considérable pour être comprimé et stocké. Selon la Global Hydrogen Review 2022, publiée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la demande pour cet élément a atteint 94 millions de tonnes en 2021 et représentait environ 2,5 % de la consommation mondiale finale d'énergie dans le monde. L'un des principaux objectifs du secteur est de pouvoir le stocker de manière plus sûre et efficace.

Avec leur expertise combinée en physique et en ingénierie, l'équipe française a mis au point une structure et un procédé qui permettent de stocker l'hydrogène sous forme de disque. Un système plus sécurisé, plus stable et qui ne s'enflamme pas sous l'effet de la chaleur. Cette méthode nécessite également moins d'énergie que le stockage de l'hydrogène sous forme liquide ou sous forme de gaz à très haute pression, et est donc plus durable. Le disque peut être stocké pendant des années sans se dégrader. « *Le système est très sécurisé en raison de la faible pression utilisée. Je peux poser le disque directement sur la table et il n'y a pas de réaction avec l'air* » a déclaré Daniel Fruchart.

Pour stocker l'hydrogène, l'équipe française utilise de l'hydrure de magnésium ( $MgH_2$ ). Du graphite expansé est ajouté au mélange pour gérer la chaleur lorsque l'hydrogène est libéré. Il est ensuite comprimé mécaniquement en un disque, qui peut être facilement stocké et transporté. De plus, la chaleur de la réaction est stockée de manière réversible, ce qui signifie que la performance énergétique totale est améliorée de 80 %.

Leurs recherches ont abouti à une succession de brevets, fruit du travail d'une équipe pluridisciplinaire de chimistes, de physiciens, de mécaniciens, de thermiciens et d'ingénieurs, et leur invention a déjà été commercialisée en Europe, en Australie et au Japon.

• Source : OEB, 04/07/2023.

\*Les inventeurs doivent avoir obtenu un brevet européen.

#### • Avelino Corma, récompensé pour « l'œuvre de toute une vie »



© EPO.

Professeur de chimie espagnol, Avelino Corma Canós est célèbre pour ses travaux sur le développement des zéolithes et leurs applications industrielles telles que le raffinage du pétrole pour en améliorer l'efficacité et réduire les déchets de sous-produits.

Les zéolithes sont des catalyseurs utilisés dans les processus chimiques à plusieurs fins, notamment pour l'amélioration de l'efficacité et de la propreté environnementale des réactions chimiques, en plus de décomposer le pétrole brut en essence, diesel et autres sous-produits. Les zéolithes sont des matériaux cristallins composés de silicium, d'aluminium et d'oxygène, dont la structure poreuse permet d'agir comme des tamis qui piègent les petites molécules, où une réaction chimique peut alors avoir lieu.

Bien que des millions de structures de zéolithes synthétisées soient théoriquement possibles, seulement cent-cinquante environ ont été développées à ce jour. Environ un cinquième d'entre elles ont été développées par A. Corma et ses collègues. Sa première zéolite synthétique, un catalyseur qui améliore l'indice d'octane de l'essence produite à partir de pétrole brut, a été développée en 1989. Elle a produit du carburant avec un meilleur kilométrage, des émissions de carbone plus faibles par temps chaud et une meilleure capacité à résister à la compression dans un moteur sans exploser prématurément. Cette première zéolite a été commercialisée par la société pétrolière espagnole CEPESA (Compañía Española de Petróleos, SAU) et

la société chimique allemande Süd-Chemie AG (aujourd'hui Clariant), sous la marque HYSOPAR et a été adoptée dans plus de vingt raffineries dans le monde. Depuis, ses zéolithes ont eu de nombreuses applications pratiques dans des domaines tels que la transformation de la biomasse, l'élimination des NOx et le développement de catalyseurs dans les industries pharmaceutique et cosmétique.

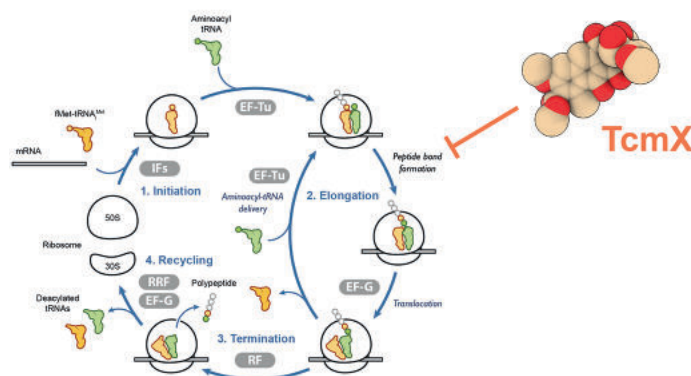
Les revenus générés par les redevances de brevets ont permis à A. Corma de co-fonder l'Institut de Tecnología Química de València en 1990. L'Institut poursuit des études dans la recherche chimique scientifique, concentrant son activité sur quatre domaines principaux : l'énergie, la durabilité, la santé et l'eau.

A. Corma est l'auteur de plusieurs livres, dont *Catalytic Cracking* et *Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, de plus de 1 200 publications et de près de 200 demandes de brevets européens.

• Source : OEB, 04/07/2023.

## Recherche et développement

### Un antibiotique pour lutter contre les bactéries pathogènes résistantes



© Axel Innis.

L'antibiorésistance est une menace pour la santé publique qui nécessite une action urgente et coordonnée. L'une des stratégies clés pour lutter contre les bactéries résistantes aux antibiotiques passe par le développement de nouvelles molécules ciblant spécifiquement ces pathogènes. Dans ce contexte, l'identification et la caractérisation de composés naturels présentant des propriétés antimicrobiennes sont une priorité.

Des scientifiques du laboratoire ARNA (CNRS/Inserm) et de l'Institut européen de chimie et de biologie (CNRS/Inserm/Université de Bordeaux) ont caractérisé le mode d'action de la tétracénomycine X, composé naturel doté d'une activité antimicrobienne liée à son action contre le ribosome bactérien. Le ribosome, véritable usine moléculaire produisant l'ensemble des protéines nécessaires à la survie des cellules, est en effet la cible majeure des antibiotiques.

Pour comprendre comment la tétracénomycine X inhibe le ribosome bactérien, les chercheurs ont développé une technique innovante appelée « toeprinting inversé » couplé au séquençage massif (ITP-seq). Associée à des mesures de cryomicroscopie électronique à haute résolution, elle leur a permis de montrer que la tétracénomycine X bloque la production

## Prix Marcel Loncin 2023

### Appel à candidatures

Ce prix, d'un montant de 2 500 €, récompense le travail innovant d'un ou d'une jeune scientifique (ingénieur, universitaire ou docteur) dans les domaines : industries alimentaires, biotransformations, chimie verte.

Trois candidats seront sélectionnés par le Comité scientifique de l'Association des chimistes, ingénieurs et cadres des industries agricoles et alimentaires (ACIA) pour présenter leurs travaux lors du Forum des 9<sup>e</sup> Agoriales, programmé en Province au premier trimestre 2024. La remise du prix aura lieu à l'issue de cette présentation.

**Date limite pour candidater : 15 décembre 2023.**

• [www.academie-agriculture.fr/actualites/agriculture-alimentation-environnement/appele-candidature-au-prix-marcel-loncin-2023](http://www.academie-agriculture.fr/actualites/agriculture-alimentation-environnement/appele-candidature-au-prix-marcel-loncin-2023)

de protéines contenant l'acide aminé glutamine suivi d'une lysine par le ribosome. Ce blocage s'effectue par le biais d'un mécanisme inhabituel impliquant un ARN de transfert chargé d'apporter l'acide aminé lysine dans les protéines naissantes. La découverte du mécanisme d'action de la tétracénomycine X est une étape importante pour transformer ce composé en un antibiotique capable de contrer efficacement les bactéries résistantes aux thérapies actuelles. Cependant, un verrou majeur reste encore à lever car la tétracénomycine X cible également les ribosomes des cellules humaines. Les recherches s'orientent donc vers de nouvelles molécules dérivées ciblant de manière spécifique les ribosomes bactériens.

• Source : INC/CNRS, 13/07/2023.

Réf. : E.C. Leroy, T.N. Perry, T.T. Renault, C.A. Innis, Tetracenomycin X sequesters peptidyl-tRNA during translation of QK motifs, *Nature Chemical Biology*, 2023, [www.nature.com/articles/s41589-023-01343-0](https://www.nature.com/articles/s41589-023-01343-0).

### Des bactéries mangeuses d'hydrocarbures

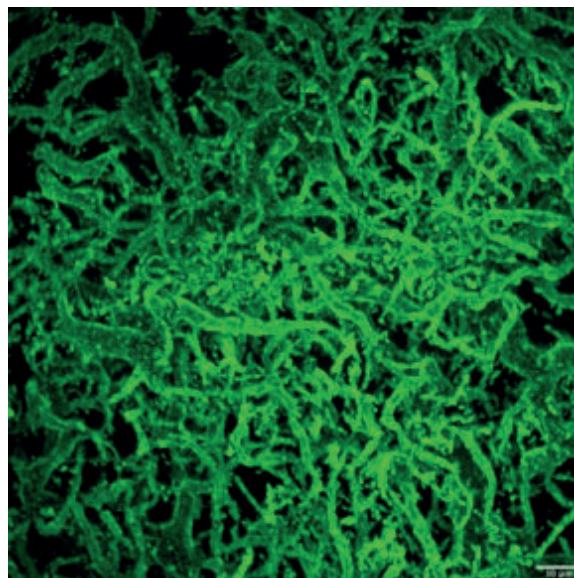


Image confocale de bactéries sur l'interface après tubulation. © Prasad et al.

Au cours des marées noires, désastreuses pour la vie aquatique, prospère la bactérie *Alcanivorax borkumensis* (le nom latin *Alcanivorax* signifiant « dévoreuse d'alcanes »). Ces bactéries dégradent les longues chaînes carbonées produites par la décomposition des organismes vivants et jouent à ce titre un rôle dans le cycle du carbone. Il a été montré que ces bactéries, retrouvées en masse dans les marées noires, peuvent dégrader les nappes de pétrole avant qu'elles n'atteignent les côtes. Dans le cadre d'une collaboration internationale entre l'Univer-

sité du Tsukuba (Japon), le Centre de physique théorique (CPT, CNRS/Aix-Marseille Université/Université de Toulon), le Laboratoire Processus d'activation sélectif par transfert d'énergie unielectronique ou radiatif (PASTEUR, CNRS/ENS-PSL/Sorbonne Université), l'Institut Pierre-Gilles de Gennes (PSL Université) et le Laboratoire Physico-chimie Curie (PCC, CNRS/ Curie/Sorbonne Université), les auteurs ont immobilisé dans une puce microfluidique des gouttelettes de pétrole progressivement dévorées par ces bactéries, et suivi au microscope confocal leur évolution au cours du temps. L'équipe a ainsi pu observer et quantifier l'ensemble du processus, de la colonisation initiale à la consommation complète des gouttelettes d'huile.

Alors que les bactéries qui ont été exposées pendant un temps court à une source de carbone insoluble forment des biofilms se développant en volume en maintenant la gouttelette sphérique, les bactéries qui ont été exposées plus longtemps à l'huile forment des biofilms minces où apparaissent de nombreuses dendrites. Dans cette étude, les auteurs montrent que la vitesse à laquelle les bactéries dégradent les gouttelettes dépend de la morphologie du biofilm : du fait de leur plus grande surface de contact entre le biofilm bactérien et l'interface eau/huile, les biofilms dendritiques sont beaucoup plus efficaces pour la dégradation rapide de l'huile. Toutefois, plutôt que d'être causée par une augmentation du débit métabolique individuel, cette accélération est la conséquence de l'organisation collective du biofilm à l'interface.

Sous le microscope, les bactéries apparaissent comme des bâtonnets allongés le long de la surface entre le pétrole et l'eau. Juste avant de former un tube, elles s'orientent progressivement vers un point central, qui deviendra le cœur du tube. Ce motif en étoile est connu dans le cadre de la théorie des cristaux liquides sous le nom de défaut topologique de charge +1. Une fois la surface eau/pétrole déformée, la formation de ces tubes d'un rayon bien contrôlé est rendue possible à la fois par une diminution de la tension interfaciale de l'huile au cours du temps d'exposition aux hydrocarbures, et à une augmentation de l'hydrophobie des bactéries, qui induit une apparition d'une courbure préférentielle de l'interface eau-pétrole. Les auteurs ont développé un modèle qui permet d'expliquer ce phénomène.

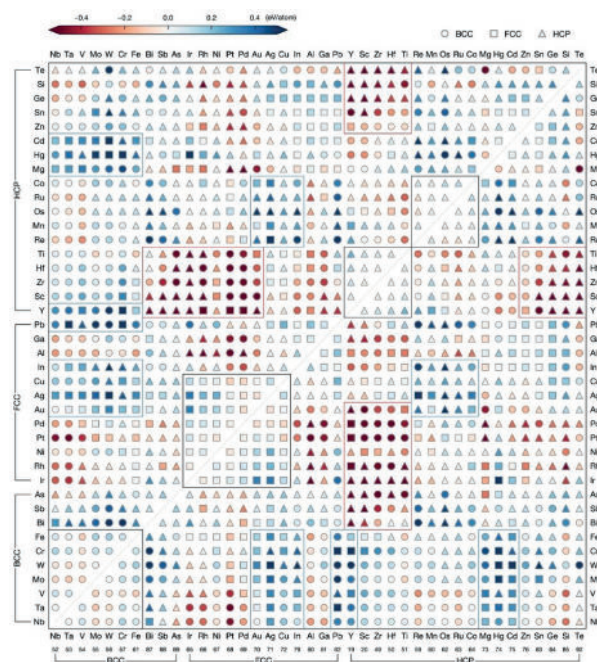
Les chercheurs se sont enfin intéressés à étudier la présence de surfactants dans le milieu de culture, de manière à simuler l'utilisation des dispersants massivement déversés dans la mer lors de l'accident Deep Water Horizon. Dans le contexte de leurs expériences, ils montrent que les surfactants diminuent l'adhésion des bactéries aux gouttes de pétrole, empêchant la formation des tubes et compromettant ainsi la dégradation du pétrole par ces bactéries. Cependant, des travaux supplémentaires sont encore nécessaires avant de pouvoir tirer des conclusions définitives sur l'effet des surfactants dans la gestion des marées noires, notamment en raison de la grande diversité de la composition des eaux océaniques.

Les auteurs de l'étude envisagent également des applications fondamentales dans la compréhension d'un processus clé du cycle du carbone qu'on appelle la « neige marine », où des bactéries – dont *Alcanivorax borkumensis* – dévorent la matière organique en suspension. Ce processus de dégradation contribue alors au piégeage du dioxyde de carbone dans les profondeurs océaniques.

• Source : INC/CNRS, 21/08/2023.

Réf. : M. Prasad, N. Obana, S.-Z. Lin, K. Sakai, C. Blanch-Mercader, J. Prost, N. Nomura, J.-F. Rupprecht, J. Fattaccoli, A.S. Utada, *Alcanivorax borkumensis* biofilms enhance oil degradation by interfacial tubulation, *Science*, août 2023, Doi: 10.1126/science.adf3345.

## Les supercalculateurs, creusets des alliages de demain



© Stéphane Gorsse.

Face à l'impératif des enjeux écologiques et sociétaux, il est devenu crucial d'accélérer la découverte de nouveaux matériaux plus performants. Dans le domaine du transport et de l'énergie, par exemple, les alliages métalliques innovants sont très étudiés. Mais la diversité chimique et le nombre de combinaisons possibles pour les matériaux qui allient plusieurs métaux sont tels que la modélisation apparaît comme un outil indispensable pour identifier en un temps très réduit les combinaisons les plus prometteuses.

Un exemple ? Le monde fascinant des alliages à haute entropie, ces matériaux qui allient au moins cinq éléments métalliques différents en proportions égales. Pour certaines combinaisons, on obtient des alliages à haute entropie, solutions solides aux propriétés singulières de résistance mécanique, de ténacité, de résistance à la chaleur... Mais face à l'immense ensemble des possibilités, comment trouver les combinaisons propices à la formation d'un alliage à haute entropie ?

Des scientifiques de l'Université catholique de Louvain en Belgique, du Dartmouth College aux États-Unis et de l'Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux (CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP) ont mené une vaste exploration virtuelle de ces alliages. Dans une étude publiée dans *Nature Communications*, cette équipe internationale a criblé plus de 658 000 combinaisons élémentaires pour esquisser une cartographie de ce territoire méconnu. En mettant en lumière les rôles clés des grandeurs thermodynamiques de ces alliages, à savoir l'enthalpie, l'entropie, la stabilité des intermétalliques et le point de fusion, ils ont pu identifier toutes les combinaisons menant à de nouveaux alliages à haute entropie. Ils en ont ensuite synthétisé quelques-unes pour tester leurs prévisions. Des données computationnelles à la paillasse, voilà la nouvelle ère de l'informatique des matériaux et de la science des matériaux assistée par l'IA qui font par ailleurs l'objet du Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) exploratoire DIADEM lancé en mai 2022.

• Source : INC/CNRS, 04/07/2023.

Réf. : W. Chen, A. Hilhorst, G. Bokas, S. Gorsse, P.J. Jacques, G. Hautier, A map of single-phase high-entropy alloys, *Nature Communications*, 2023, 14, art 2856, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38423-7>.



Portrait de Ramsès II dans la tombe de Nakhtamon (vers 1 200 avant notre ère). La coiffe, le collier ainsi que le sceptre royal ont été retouchés pendant sa création. © LAMS-MAFTO, CNRS.



© LAMS-MAFTO, CNRS.

## Des secrets des peintres égyptiens révélés par la chimie

Dans la langue égyptienne, aucun mot n'est connu pour désigner l'art. La civilisation d'Égypte antique est en revanche trop souvent perçue comme étant extrêmement formelle dans son expression et l'œuvre des peintres œuvrant dans les chapelles funéraires n'échappe pas à ces préjugés.

Une équipe internationale et interdisciplinaire travaillant en France au Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale (CNRS/Sorbonne Université) et à l'Institut Néel du CNRS, dans le cadre d'un vaste programme de recherche coordonné avec le ministère des Antiquités d'Égypte et l'Université de Liège, dirigée par Philippe Martinez et Philippe Walter, chercheurs du CNRS, a pourtant révélé des gestes et des pratiques picturales jusqu'ici inconnus car difficilement perceptibles. En étudiant la représentation de Ramsès II dans la tombe de Nakhtamon<sup>1</sup> et les peintures de la tombe de Menna<sup>2</sup> parmi les centaines de tombes de nobles de Louxor, ils ont découvert les traces de retouches effectuées au fil de leur conception.

Ainsi, la représentation de Ramsès II a été largement modifiée : la coiffe, le collier et son sceptre ont été retouchés de façon significative et pourtant invisible à l'œil nu. Dans une scène d'adoration de la tombe de Menna, la position et la couleur d'un bras ont été modifiées. Les pigments utilisés, notamment pour la couleur de la chair, sont différents de la première version, ce qui démontre la nécessité de changements subtils dont il est encore bien difficile d'affirmer l'utilité première. À la demande du commanditaire ou suite à une évolution de son propre projet, le peintre ou « scribe dessinateur », pouvait ainsi apporter sa touche personnelle à des motifs conventionnels.

Les scientifiques ont pu faire cette découverte grâce à de nouvelles technologies portables d'imagerie et d'analyse chimique permettant d'étudier les œuvres sur place, sans les détériorer. Les couleurs modifiées par le temps et leur évolution physico-chimique ont perdu de leur réalité originelle, mais l'analyse chimique et la représentation numérique en 3D effectuées par l'équipe à l'aide de la photogrammétrie et de la macrophotographie devraient permettre de leur redonner leur teinte et de changer notre propre perception de ces chefs-d'œuvre que l'on pense trop souvent éternels et inchangés.

Cette étude démontre que l'art pharaonique et ses conditions de réalisation étaient certainement plus complexes et mouvants qu'on ne le pensait jusqu'alors. La prochaine mission des scientifiques sera d'analyser d'autres peintures à la recherche de nouvelles traces du savoir-faire et de l'identité intellectuelle de scribes dessinateurs de l'ancienne Égypte.

• Source : CNRS, 12/07/2023.

Réf. : P. Martinez, M. Alfeld, C. Defeyt, H. Elleithy, H. Glanville, M. Hartwig, F.-P. Hocquet, M. Jaber, P. Martinetto, D. Strivay, P. Walter, Hidden mysteries in Ancient Egyptian paintings from the Theban Necropolis observed by in-situ XRF mapping, *PLOS One*, 12/07/2023, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0287647>

<sup>1</sup>Nakhtamon était un prêtre, responsable de l'alimentation quotidienne des autels du Ramsesum, le « Château de millions d'années » de Ramsès II.

<sup>2</sup>Menna était responsable des domaines du seigneur des Deux terres et de Haute et Basse-Égypte et de la bonne gestion de leurs productions agricoles.

## Diminuer l'empreinte carbone des nanotechnologies



© Matthieu Weber.

Bien qu'elles utilisent peu de matière, les nanotechnologies participent bien à l'épuisement des ressources. Elles peuvent aussi présenter un bilan énergétique peu favorable. Face à ce constat, des efforts de recherche sont menés pour quantifier et diminuer leur impact environnemental. Un exemple : le dépôt de couches atomiques (ou « atomic layer deposition », ALD). Cette technique permet de déposer des couches minces d'une large gamme de nanomatériaux, avec une excellente uniformité des couches et un contrôle de leur épaisseur à l'échelle nanométrique. L'ALD est utilisée dans diverses applications, notamment dans l'industrie des semi-conducteurs et de l'énergie photovoltaïque. Ces procédés sont cependant très énergivores et gaspillent une quantité significative de matériaux précurseurs et de gaz.

Pour quantifier leur impact environnemental et trouver des solutions pour le réduire, des chimistes du Laboratoire des matériaux et du génie physique (CNRS/Grenoble-INP/Université Grenoble Alpes), en collaboration avec l'Université de Bochum en Allemagne et la société Air Liquide, ont passé au crible les procédés ALD. Ils ont pour cela repris toutes les sources de pollution des procédés existants et les ont analysés selon les principes de la chimie verte. Cette étude leur a permis de suggérer plusieurs approches pour réduire l'empreinte écologique de cette technologie innovante.

En particulier, l'optimisation des procédés grâce aux outils de machine learning et d'IA, ainsi que l'utilisation de technologies à haut débit comme l'ALD spatiale, permettrait de limiter la consommation énergétique de cette nanotechnologie. Mais c'est la synthèse chimique de précurseurs plus « verts » pour la formation des couches nanométriques qui aurait le plus d'impact. Des précurseurs optimisés permettraient la réduction de l'empreinte globale, des matières premières extraites à la diminution du nombre d'étapes de synthèse. De plus, des températures de dépôt plus faibles et les émissions de sous-produits moins polluants sont les autres avantages qui motivent la recherche de précurseurs plus verts. Ces résultats permettent d'envisager un avenir plus durable pour une des techniques très utilisées des nanotechnologies.

• Source : INC/CNRS, 20/06/2023.

Réf. : M. Weber, N. Boysen, O. Graniel, A. Sekkat, C. Dussarrat, P. Wiff, A. Devi, D. Muñoz-Rojas, Assessing the environmental impact of atomic layer deposition (ALD) processes and pathways to lower it, *ACS Materials*, 2023, 3, p. 274-298, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsmaterialsau.3c00002>

## Rompre la liaison carbone-hydrogène devient un jeu d'enfant

La synthèse d'organosilanes par rupture de liaisons carbone-hydrogène permet d'introduire de manière économique du silicium au sein d'une molécule organique. Opération difficile revisitée par des scientifiques qui proposent une voie de synthèse radicalement nouvelle, à la fois rapide et vertueuse, pour ces composés dont les propriétés trouvent des applications en chimie médicinale ou en science des matériaux.

Situé dans la même période de la classification périodique que le carbone, le silicium partage un certain nombre de propriétés avec ce pilier de la chimie organique, tout en offrant la possibilité d'explorer de nouveaux espaces chimiques lorsqu'il est introduit dans la structure de molécules organiques. En effet, les organosilanes résultants trouvent de nombreuses applications en science des matériaux ou en chimie médicinale où ils sont par exemple utilisés pour moduler les propriétés pharmacocinétiques d'un principe actif.

Pour obtenir ces composés, une voie de synthèse envisageable consiste à rompre une liaison carbone-hydrogène pour insérer dans le squelette de la molécule organique l'atome de silicium qui va lui conférer ses nouvelles propriétés. Opération jusqu'à maintenant complexe étant donnée la force et l'ubiquité des liaisons C-H, qui, pour être brisées, nécessitent des procédés peu généraux utilisant des catalyseurs à base de métaux nobles. Des scientifiques de l'Institut de chimie moléculaire (CNRS/Sorbonne Université) proposent une méthode de synthèse radicalement nouvelle pour introduire du silicium sur une position benzylique, motif carboné que l'on retrouve dans un grand nombre de molécules organiques. L'utilisation d'un tert-butyl-silyldiazène (tBu-N=N-SiR<sub>3</sub>) combiné à un catalyseur à la fois abondant et bon marché, à base de potassium, permet ainsi la silylation de liaisons carbone-hydrogène dans des dérivés du toluène. Cette approche qui combine économie d'atomes et conditions douces (température ambiante, faible temps de réaction) permet également de s'affranchir des métaux nobles classiquement employés comme catalyseurs dans ce type de réaction, tout en limitant la production de déchets au diazote (N<sub>2</sub>) et à l'isobutane.

De plus, les études théoriques via des calculs de modélisation moléculaire suggèrent que des espèces hautement réactives du potassium sont impliquées dans le mécanisme réactionnel de silylation. En particulier, le tert-butylpotassium, analogue en termes de réactivité au tert-butyllithium bien connu des chimistes pour sa dangerosité, est proposé comme intermédiaire clé pour expliquer l'activité catalytique.

Cette nouvelle méthodologie de synthèse offre une voie d'accès plus rapide et plus vertueuse aux silanes benzyliques.

• Source : INC/CNRS, 26/07/2023.

Réf. : B. Neil, L. Saadi, L. Fensterbank, C. Chauvier, Organopotassium-catalyzed silylation of benzylic C(sp<sup>3</sup>)H bonds, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2023, <https://doi.org/10.1002/anie.202306115>.

## Valorisation du CO<sub>2</sub> en méthanol : quelles espèces réactives mènent la danse ?

Le développement de technologies qui permettent de convertir le CO<sub>2</sub> en produits chimiques à haute valeur ajoutée est un graal très recherché par les chimistes. Par exemple, son hydrogénation avec de l'hydrogène vert issu d'énergies renouvelables permet de convertir ce gaz à effet de serre en méthanol, combustible mais aussi brique élémentaire très utile à la chimie. Malgré le très grand nombre d'études sur les catalyseurs nécessaires à cette hydrogénation, les mécanismes réactionnels impliqués font débat depuis des décennies.

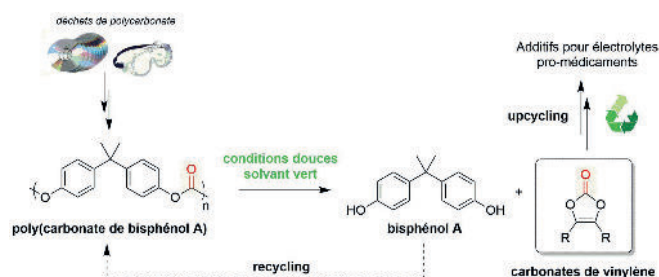
Le cuivre supporté sur zircone (Cu/ZrO<sub>2</sub>) est un catalyseur très prometteur avec une activité intrinsèque élevée. La zircone agit à la fois comme support pour disperser le cuivre et comme composant actif conduisant à une synergie catalytique avec le métal. Lors de la réduction du CO<sub>2</sub> en méthanol, des espèces formiates (ion HCOO<sup>-</sup>) se forment à la surface du catalyseur, facilement observables par spectroscopie infrarouge (IR). Leur rôle reste obscur et difficile à quantifier sans observation directe du mécanisme réactionnel *in situ*.

Des chimistes de l'Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon (CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1) apportent un nouveau regard sur le rôle des formiates dans la formation du méthanol. Ils ont pour cela utilisé une technique de spectroscopie IR particulière, la spectroscopie operando FT-IR en réflexion diffuse (DRIFTS). Cette technique permet (entre autres) de quantifier les espèces réactives à la surface du catalyseur en fonctionnement. Ils ont ainsi démontré qu'il existait trois espèces de formiates cinétiquement différentes à la surface du catalyseur sous conditions de réaction (3 bars, 220 °C). Seuls les formiates présents à la surface du cuivre semblent responsables de la formation de méthanol ; leur vitesse de décomposition correspondant en effet à celle de formation du méthanol. Les deux espèces de formiates présentes à la surface du  $ZrO_2$ , très majoritaires en concentration, sont beaucoup moins réactives. Cette étude démontre le rôle complexe que jouent les molécules adsorbées à la surface d'une formulation catalytique relativement simple comme  $Cu/ZrO_2$ . Quantifier leurs réactivités respectives est une nécessité pour mieux les comprendre et développer des catalyseurs plus performants et/ou moins coûteux. La spectroscopie DRIFTS quantitative s'avère un outil puissant pour mieux comprendre le schéma réactionnel de cette catalyse hétérogène de la réduction du  $CO_2$ . Ces résultats ouvrent des perspectives pour le développement de catalyseurs plus performants et moins coûteux pour valoriser ce gaz à effet de serre.

• Source : INC/CNRS, 20/06/2023.

Réf. : F. Christian Meunier, I. Dansette, A. Paredes-Nunez, Y. Schuurman, Cu-bound formates are main reaction intermediates during  $CO_2$  hydrogenation to methanol over  $Cu/ZrO_2$ , *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 2023, 62, <https://doi.org/10.1002/anie.202303939>.

## La dépolymérisation, une nouvelle stratégie de recyclage du polycarbonate



© Nicolas Duguet.

Les polycarbonates sont des polymères organiques qui présentent d'excellentes propriétés physico-chimiques, chimiques et mécaniques telles que la résistance aux chocs et à la chaleur, la transparence et la légèreté. Ils trouvent ainsi diverses applications qui vont de l'électronique à l'automobile, et de l'optique (CD et DVD) aux équipements de protection (lunettes de sécurité). Le poly(carbonate de bisphénol A) est, industriellement, le polycarbonate le plus produit, mais c'est aussi l'un des moins recyclés. La majeure partie est brûlée ou finit dans les décharges où il se dégrade progressivement en bisphénol A, perturbateur endocrinien avéré qui affecte à la fois la santé et l'environnement. Il devient donc urgent de mettre en place des stratégies de recyclage visant à reformer les monomères (« recycling ») et/ou à former d'autres produits à haute valeur ajoutée (« upcycling »).

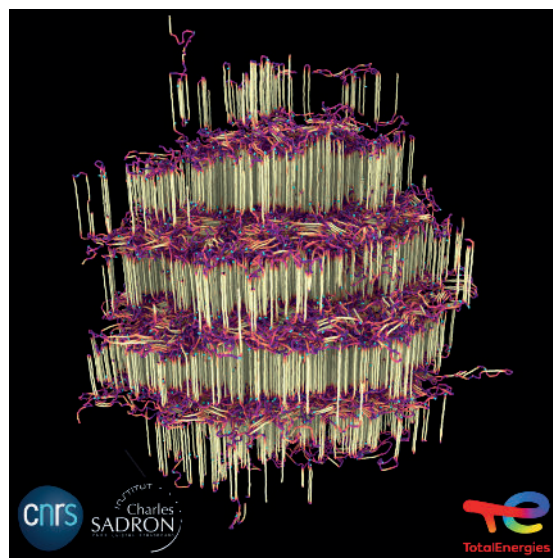
Dans ce contexte, des chimistes de l'Institut de chimie et biochimie moléculaires et supramoléculaires (CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1/Institut National des Sciences Appliquées/École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon) ont mis au point une nouvelle méthode de dépolymérisation

du poly(carbonate de bisphénol A) utilisant des agents de dépolymérisation spécifiques appelés alpha-hydroxycétones. Le procédé, catalysé par un organocatalyseur – un catalyseur sans métal – opère à température ambiante dans un solvant « vert » issu de matières premières renouvelables. Dans ces conditions, les scientifiques sont parvenus à régénérer le monomère original. Ils ont également obtenu des coproduits à plus haute valeur ajoutée comme les carbonates de vinyène utilisés comme additifs pour électrolytes dans les batteries lithium-ion et dans l'industrie pharmaceutique. Cette nouvelle stratégie de recyclage a d'ores et déjà montré son efficacité pour la dépolymérisation de polycarbonate contenu dans des matériaux usagés comme des CD-ROM, des lunettes de sécurité ou encore des plaques isolantes de polycarbonate.

• Source : INC/CNRS, 04/07/2023.

Réf. : K. Onida, M. Fayad, S. Norsic, O. Boyron, N. Duguet, Chemical upcycling of poly(bisphenol A carbonate) to vinyene carbonates through organocatalysis, *Green Chem.*, 2023, 25, p. 4282-91, DOI: 10.1039/D2GC04413G.

## Une nouvelle voie pour contrôler la cristallisation de polymères industriels



Le plus grand cristal de polymère multicouche jamais obtenu par des simulations de dynamique moléculaire. Les chaînes jaunes et violettes correspondent aux régions cristallines (ordonnées) et amorphes (désordonnées) avec une structure de type « fondu » ; les points bleus représentent des branches de chaînes courtes. © William S. Fall.

Avec plus de 100 millions de tonnes produites par an dans le monde, le polyéthylène (PE) est le polymère chimiquement le plus simple et le plus répandu. Et pourtant, comprendre comment l'architecture moléculaire – à savoir la distribution de longueur des chaînes de polymère et leur degré de ramification – contrôle les propriétés du matériau plastique final reste un réel défi. En particulier, la cristallisation, qui gouverne largement l'aspect et les propriétés du PE, dépend de l'architecture des chaînes. Observer directement ce phénomène est quasiment impossible, même avec des instruments à haute résolution à la pointe de la technologie.

Dès les années 1960, des expériences ont été menées sur des systèmes modèles constitués de chaînes plus courtes, des alcanes. Les résultats obtenus ont largement contribué à la compréhension de la cristallisation des polymères, avec notamment la découverte du repliement des chaînes sur elles-mêmes pour former un cristal, l'influence de l'architecture des chaînes sur l'épaisseur du cristal et la température de fusion. Ces avancées ont aidé à la conception des polymères industriels utilisés aujourd'hui. Mais ces derniers ont des structures

hiérarchiques complexes constituées de mélanges de polymères ramifiés de différentes longueurs. Leur cristallisation est un processus cinétique, hors équilibre, qui complique grandement la corrélation entre structure, propriétés et conditions de mise en œuvre.

Les simulations moléculaires apparaissent aujourd'hui comme une nouvelle voie pour comprendre ces corrélations. Des modèles de polymères de plus en plus réalistes, des codes de simulation moléculaire très efficaces, une forte augmentation de la puissance de calcul et la mise à disposition des grappes de calcul à haute performance, comme le Centre national de supercalcul GENCI/IDRIS pour le CNRS, permettent des simulations sur des chaînes de polymères de plus en plus longues et complexes.

Dans le cadre d'une récente collaboration entre TotalEnergies et le CNRS, des chercheurs de l'Institut Charles Sadron (CNRS/ Université de Strasbourg) ont simulé la croissance de monocristaux de PE d'une taille jamais atteinte. Leurs résultats révèlent la structure multicouche des cristaux avec des détails sans précédent. En outre, ils démontrent qu'il est possible de contrôler la structure et l'épaisseur des couches en introduisant simplement quelques branches supplémentaires le long des chaînes. Ceci est particulièrement important pour les applications industrielles puisque la structure moléculaire à petite échelle détermine les propriétés mécaniques à grande échelle, comme la ténacité à la rupture ou la résistance aux chocs. L'optimisation de ce processus pourrait conduire à la conception et à la fabrication de nouveaux polymères encore plus performants.

• Source : INC/CNRS, 04/07/2023.

Réf. : W.S. Fall, J. Baschnagel, O. Benzerara, O. Lhost, H. Meyer, Molecular simulations of controlled polymer crystallization in polyethylene fall, *ACS Macro Letters*, 2023, 12, p. 808–813, <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.3c00146>

## Un nouveau président pour le pôle Axelera



Axelera, le pôle de compétitivité Chimie-Environnement en Auvergne-Rhône-Alpes\*, a annoncé la nomination de Gaël Plassart, PDG d'ENVISOL, entreprise spécialisée dans le conseil et l'ingénierie dans le domaine des sites et sols pollués. Le pôle est ainsi présidé pour la première fois par un représentant

d'une PME et du secteur de l'environnement.

Fondateur et président d'ENVISOL, Gaël Plassart supervise le pôle innovation et R&D et le développement à l'international. Il est par ailleurs fortement impliqué sur le territoire pour faciliter le développement de l'économie.

À horizon 2026, le pôle met l'accent sur plusieurs priorités :

- Continuer son développement avec un objectif de 480 adhérents.
- Développer un partenariat stratégique à l'échelle nationale sur la chimie durable avec B4C (bioéconomie) et se positionner en pôle ressource de la performance environnementale des activités industrielles d'autres écosystèmes : industries de santé (Lyonbiopôle), du numérique (Minalogic), des équipements de production énergétique (Tenerdis)...
- Se déployer au niveau national sur deux nouvelles régions en partenariat avec des acteurs en place pour servir des écosystèmes.
- Conforter son ambition au niveau européen avec de nouveaux projets européens impliquant ses adhérents.
- Augmenter la part de financement privé à plus de 60 %.

« Impliqué au sein d'Axelera depuis plus de dix ans, je suis très

Info@em-technique.fr **emtechnik**





**Tuyaux Silicone – PTFE – FEP – PFA**  
FDA – CE 1935/2004 – USP Class VI – TSE/BSE





**Séparateurs – Filtres – Distributeurs – Clapets**  
**Raccords – Vannes – Débitmètres - Clamps**



**Joint-Clamp.fr & Tuyaux-plastique.fr**  
**EM-TECHNIQUE.FR**

heureux d'en assurer la présidence pour les deux années à venir afin de continuer à associer chimie et environnement dans la feuille de route de la phase V du pôle (2023-2026). Avec les enjeux actuels de réindustrialisation, la relation aux territoires est aujourd'hui essentielle » (Gaël Plassart).

• Source : Axelera, 22/06/2023.

\*Le pôle accompagne, en France et à l'international, le développement et l'innovation des acteurs impliqués dans la gestion maîtrisée de la matière et des ressources environnementales, pour un développement durable des territoires. Depuis sa création, le pôle a accompagné la labellisation de plus de 500 projets de R&D et comptait 417 adhérents en 2022.

## Inauguration du bâtiment Chimie Balard Recherche



Entrée Nord du bâtiment Chimie Balard Recherche. © CNRS/A. Lieuvain.

Considéré comme la plus grande opération immobilière dédiée à la recherche en chimie en France, le bâtiment Chimie Balard Recherche a été inauguré le 13 juin au CNRS à Montpellier, mettant en lumière à cette occasion le laboratoire commun CNRS/Michelin HydrogenLab, un partenariat d'envergure qui s'appuie sur une recherche fondamentale ambitieuse répondant à des défis industriels majeurs de la filière hydrogène.

Financé à hauteur de 62 M€ par la Région Occitanie/Pyrénées-Méditerranée et de 1 M€ par le CNRS, le bâtiment accueille sur 25 500 m<sup>2</sup> les équipes de recherche de l'Institut des biomolécules Max Mousseron (IBMM) et de l'Institut Charles Gerhardt Montpellier (ICGM), unités mixtes de recherche du CNRS, de l'Université de Montpellier et de l'ENSCM.

Avec la construction de ce bâtiment, Montpellier accueille ainsi le plus grand centre de recherche en chimie en France, tant par sa surface que par ses effectifs. Il a été conçu pour répondre aux fortes exigences techniques induites par les activités de recherche qui s'y déroulent, avec notamment 244 modules de recherche destinés à accueillir près de 800 personnes, une plateforme d'analyse et de caractérisation hébergeant des équipements lourds et mi-lourds, dédiée aux équipes de recherche et aux partenaires industriels, ainsi qu'un centre d'innovation et de transfert destiné à l'accueil de startups dans le domaine de la chimie verte.

• Source : INC/CNRS, 14/06/2023.

## 20<sup>e</sup> Forum de la météo et du climat

6-8 octobre 2023

Paris



Créé en 2004 pour répondre à un fort besoin de médiation scientifique, le Forum international de la météo et du climat (FIM) est devenu un rendez-vous incontournable d'éducation et de mobilisation sur les enjeux du climat. Labélisé Semaine européenne du développement durable (SEDD) et Fête de la science, l'édition 2023 se tiendra à la Cité des sciences et de l'industrie et proposera aux visiteurs une exposition grand public.

Au programme : un panorama riche et varié des savoirs scientifiques et des acteurs de la transition écologique (météo, climat, biodiversité, environnement, énergies...) qui mettra en lumière les nouveaux récits et les transformations nécessaires pour construire une transition écologique juste et préparer la jeune génération au monde de demain. L'occasion de sensibiliser le public à la science et à ses enjeux à travers animations interactives, expériences participatives, ateliers immersifs, de favoriser le partage des savoirs entre les chercheurs et les visiteurs, de valoriser le travail de la communauté scientifique, et de susciter des vocations chez les jeunes.

• <https://forumeteoclimat.com/programme/edition-2023>

## Industrie

### TotalEnergies a inauguré la plus grande centrale solaire d'Ile-de-France



© TotalEnergies.

D'une superficie de 12 hectares et d'une capacité de 25 mégawatts-crête (Mw<sub>c</sub>), la centrale solaire de Grandpuits génère annuellement 31 GWh d'électricité verte, soit l'équivalent de la consommation électrique de 19 000 personnes. Cette production est rendue possible grâce à l'installation de 46 000 panneaux solaires sur des structures orientables, appelées trackers, conçues pour maximiser la capture de l'énergie solaire tout au long de la journée.

En accompagnement de la centrale solaire, le groupe a mis en service un système de stockage d'énergie par batteries d'une capacité de 43 MWh. Il est composé de vingt-deux conteneurs de batteries lithium-ion conçus et installés par sa filiale Saft, spécialisée dans la conception de batteries de haute technologie pour l'industrie. Il complète le programme initié en 2020, dans le cadre d'un appel d'offres de RTE, totalisant une capacité de stockage de 129 MW sur trois sites opérés par TotalEnergies. En contribuant au réglage de la fréquence du réseau et à la gestion des pics de consommation, notamment en hiver, les batteries Saft jouent un rôle important dans la sécurité d'approvisionnement et l'équilibre production-consommation de l'électricité en France.

• Source : TotalEnergies, 07/07/2023.

## Enseignement-Formation

### Prix Jeunes pour l'innovation



Créé en 2021 par France Chimie et la Fédération Gay-Lussac (FGL), le prix Jeunes pour l'innovation récompense chaque année les meilleurs projets d'innovation au service d'une société durable, développés par les élèves ingénieurs des vingt écoles de chimie et génie des procédés de la Fédération.



Il est soutenu par dix industriels partenaires : Adisseo, Arkema, BASF, Elkem, ExxonMobil, KemOne, Minakem, Seqens, Solvay et Weylchem.

Pour cette troisième édition, le jury, composé de directeurs de la recherche et de DRH des partenaires industriels ainsi que de représentants de France Chimie, a attribué cinq prix, récompensant ainsi trente-trois étudiants.

Cinq équipes d'élèves, dans leur dernière année d'étude, vont se partager des prix d'un montant de 5 000 à 10 000 € :

- 1<sup>er</sup> prix : équipe de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier pour le projet « Patch d'autodiagnostic de la maladie de Lyme ».

- 2<sup>e</sup> prix : équipe de l'École Nationale Supérieure de Matériaux, d'Agroalimentaire et de Chimie (ENSMAC - Bordeaux) pour le projet « Impress'Algues, un polymère biosourcé ».

- 3<sup>e</sup> prix : équipe de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier pour le projet « Agrowgel, un projet de valorisation des mégots pour l'amendement des sols ».

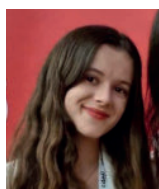
- 4<sup>e</sup> prix : équipe de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier pour le projet « XYLOS retardants, un projet de valorisation de la struvite ».

- 5<sup>e</sup> prix : équipe de Chimie ParisTech-PSL pour le projet « Des coquilles d'œuf à l'email, une aventure presque éco-responsable ». En complément de ces prix, les élèves finalistes ont tous bénéficié d'un entretien de mentorat avec un représentant de l'une des entreprises partenaires.

• Source : France Chimie, 15/06/2023.

Liste des projets finalistes à retrouver sur : <https://urlz.fr/meRy>

## Léa Gaonac'h, lauréate du prix de l'élève-ingénieur France 2023



Créée en 2011, l'opération « Ingénieuse » est une initiative de la Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs (CDEFI) visant à développer la mixité des métiers d'ingénieur(e)s avec pour ambition de lutter contre les stéréotypes de genre, de promouvoir l'égalité femmes-hommes à l'école et dans la sphère professionnelle, ainsi que de favoriser l'orientation des jeunes filles vers les formations scientifiques et technologiques et les carrières d'ingénieurs.

Originaire de Bretagne, Léa a fait une classe prépa physique-chimie, PCSI puis PC au Lycée Louis-le-Grand de Paris avant de tenter le concours Mines-Ponts et d'intégrer Chimie ParisTech-PSL pour devenir ingénieure. En parallèle de ses études, elle s'est engagée dans de nombreuses associations qui militent en faveur de la parité dans les sciences, s'impliquant notamment auprès de la Fondation La Main à la Pâte en tant que binôme-enseignante à l'École élémentaire d'Oran, au sein d'une classe REP+. Pour elle, « cette expérience a été une tribune parfaite pour sensibiliser les enfants à la mixité dans les sciences et à l'égalité des chances. »

Ce prix récompense son engagement en faveur de la parité et de l'égalité des chances dans les sciences.

• Source : FGL, 11/07/2023.

## Ouverture d'un master Économie circulaire à l'ITECH Lyon

Les modèles de production et de consommation sont en pleine mutation et l'économie circulaire est au cœur des stratégies de développement des industries ; c'est la raison pour laquelle l'ITECH Lyon, école spécialisée dans la science des

polymères, propose à la rentrée de septembre un master spécialisé « Manager de projet innovant en économie circulaire ». Cette formation a pour finalité de former en un an des professionnels aptes à identifier un processus d'économie circulaire pertinent, profitable et adapté aux réalités de l'entreprise, capables de concevoir et assurer l'ingénierie complète de ce projet et de piloter le processus d'économie circulaire industriel et de le faire évoluer vers sa plus grande efficacité.

Ce diplôme de niveau bac + 6 (accrédité par la Conférence des grandes écoles), qui s'effectue après un bac + 5, est très sollicité par les entreprises.

• Source : FGL, 11/07/2023.

[www.itech.fr/formations/mastere-specialise/manager-de-projet-innovation-en-economie-circulaire](http://www.itech.fr/formations/mastere-specialise/manager-de-projet-innovation-en-economie-circulaire)

## Deux prix remportés par l'École de Chimie de Rennes au concours Tous HanScène



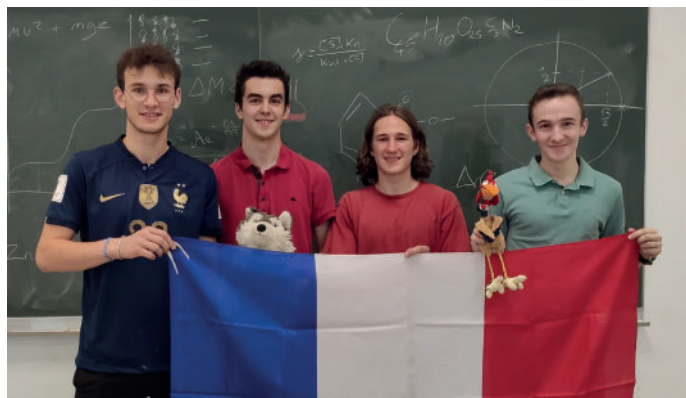
Les élèves de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes ont remporté le 2<sup>e</sup> prix dans la catégorie Innovation technologique et le 2<sup>e</sup> prix dans la catégorie Mobilisation pour l'établissement qui a su mobiliser le plus ses communautés durant la phase de vote.

Organisé chaque année, le concours national « Tous HanScène » est destiné à sensibiliser sur les situations de handicap. Aujourd'hui en France, seuls 8 % des jeunes scolarisés en situation de handicap sont en études supérieures (contre 17 % pour l'ensemble des jeunes) et parmi eux, seul 1 % sont en bac + 5. Partant de ce constat, les objectifs de Tous HanScène rejoignent trois grands enjeux nationaux : inciter les collégiens et lycéens en situation de handicap à prolonger leurs études dans l'enseignement supérieur ; amplifier l'ouverture des campus et des cursus des établissements de l'enseignement

supérieur aux jeunes en situation de handicap ; permettre aux entreprises de recruter des personnes handicapées avec des niveaux d'études supérieurs au bac. Sept élèves de 2<sup>e</sup> année de cycle ingénieur ont donc décidé de se saisir de cette opportunité de concours en lien avec leur projet HSE (hygiène, sécurité, environnement), pour réaliser une vidéo sur le thème du handicap.

• Source : ENSCR, 30/06/2023.

## Palmarès des 55<sup>e</sup> Olympiades internationales de chimie



L'équipe avant son départ : Gaëtan, Antoine, Matthieu et Philippe. © Aurélien Moncomble.

Pour la première fois depuis 2019, les Olympiades internationales ont pu se tenir en présentiel du 16 au 25 juillet à Zurich (Suisse), avec pour l'équipe française des résultats tout à fait satisfaisants :

- Matthieu Hazebrouck (Versailles) : médaille d'argent.
- Antoine Mignon (Paris) : médaille de bronze.
- Philippe Dupont de Dinechin (Paris) : médaille de bronze.
- Gaëtan Launay (Nancy) : mention honorable.

• <https://www.icho2023.ch>

## Fête de la science 2023



© MESR.

Organisée chaque année par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, la Fête de la science est devenue un rendez-vous incontournable. Pendant une dizaine de jours, familles, scolaires, étudiants, amateurs ou passionnés de sciences échangeront lors de milliers d'événements gratuits proposés partout en France.

Cette année, c'est le sport et la pratique sportive qui sont mis à l'honneur dans le cadre des Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024. Chercheurs et citoyens sont invités à se retrouver autour du plaisir du sport. Un moment de partage qui permettra de mettre en lumière la contribution des chercheurs dans l'amélioration des performances des sportifs et le développement des connaissances avec des applications dans de nombreux secteurs tels que la pharmacologie, les matériaux, les neurosciences, la psychologie ou encore la médecine.

• [www.fetedelascience.fr](http://www.fetedelascience.fr)

20-24 Novembre 2023 - Bordeaux



# 51<sup>e</sup> colloque national du



## CONFÉRENCES INVITÉES

### Amélie Banc

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

### Amparo Ruiz Carretero

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

### Christophe Detrembleur

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

### David Mecerreyes

UNIVERSITÉ DU PAYS BASQUE

### Elie Raphaël

ESPCI PARISTECH

### Jérémy Luterbacher

EPFL LAUSANE

### Kawthar Bouchemal

CHIMIE PARISTECH

### Mathias Destarac

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

### Rachel Auzély

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

### Sophie Guillaume

UNIVERSITÉ DE RENNES

Théranostique  
Biosourcé  
Rhéologie  
Recyclage  
Structure  
Transition  
Environnement  
Énergie  
Dynamique

Catalyse Adhésion Émulsion

2 Tables Rondes, 23 Nov.

Intelligence Artificielle

Bioraffinerie

6 intervenants industriels



## Informations

[gfp2023.sciencesconf.org](http://gfp2023.sciencesconf.org)



Programme

Thématiques

Inscription

✉ [gfp2023@u-bordeaux.fr](mailto:gfp2023@u-bordeaux.fr)

📍 Université de Bordeaux  
Talence/Pessac