

Prix et distinctions

Médailles d'argent du CNRS 2023

La Médaille d'argent distingue un chercheur pour l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux, reconnus sur le plan national et international.



© Jean-Claude Moschetti/CNRS photothèque.

• Jeanne Crassous

Directrice de recherche à l'Institut des sciences chimiques de Rennes (CNRS/Université de Rennes/ENSCR), Jeanne Crassous explore différents aspects de la chiralité. Ses recherches s'articulent autour des énantiomères, des paires de molécules constituées des mêmes atomes, mais dont la structure 3D est l'image miroir l'une de l'autre – phénomène appelé chiralité. Depuis l'obtention, en 1996, d'un doctorat en chimie organique, Jeanne Crassous suit cette voie et s'est progressivement focalisée sur les hélicènes. Ces molécules hélicoïdales interagissent avec la lumière et modifient sa polarisation, c'est-à-dire l'orientation de l'onde électromagnétique portée par le faisceau, et ce différemment selon que leur hélice tourne à droite ou à gauche. Cette propriété « chiroptique » en fait d'intéressants candidats pour des diodes électroluminescentes organiques, ou des systèmes codés comme des filigranes. Plus en amont, elle synthétise des molécules qui facilitent l'étude des énantiomères, et notamment de la non-conservation de la parité (NCP), un principe physique fondamental qui n'a encore jamais été observé en chimie moléculaire.



© Délégation régionale Aquitaine.

• Alexander Kuhn

Professeur des universités à l'École nationale supérieure de matériaux, d'agroalimentaire et de chimie et membre de l'Institut des sciences moléculaires (CNRS/Bordeaux INP/Université de Bordeaux), Alexander Kuhn conçoit notamment des systèmes (bio)électrochimiques aux propriétés nouvelles. En jouant avec la synergie entre chimie, physique et un peu de biologie, il

façonne depuis l'obtention de son doctorat, en 1994 au Centre de recherche Paul Pascal (CNRS/Université de Bordeaux), des systèmes électrochimiques aux propriétés surprenantes, voire inédites. Il a par exemple amélioré et étendu la synthèse d'objets Janus, dont la surface comporte au moins deux propriétés physico-chimiques différentes, qui ont ensuite servi à des applications allant de la chimie analytique à la catalyse, en passant par le déplacement contrôlé d'objets. Il a ainsi permis à des feuilles de polymères de se mouvoir, constituant des flotteurs capables de détecter la chiralité de molécules en solution. Alexander Kuhn a aussi développé la première surface métallique nanostructurée favorisant, jusqu'à 98 %, la production d'un énantiomère lors d'une synthèse organique. Ces résultats sont d'un grand intérêt par exemple pour l'industrie pharmaceutique, toujours en quête de nouvelles solutions pour discriminer des molécules chirales.



© Linda Jeuffrault/DR8/CNRS.

• Maria Concepcion Ovin Ania

Directrice de recherche au laboratoire Conditions extrêmes et matériaux : haute température et irradiation (CEMHTI, CNRS, Orléans), Maria Concepcion Ovin Ania est spécialisée dans les carbones nanoporeux pour l'énergie et l'environnement. Recrutée au CNRS en 2017 après une riche carrière en Espagne, ses travaux sont centrés sur les matériaux nanoporeux, dont les pores de dimensions nanométriques offrent des propriétés exceptionnelles d'adsorption et de catalyse. Elle maîtrise la taille de ces nanopores et fonctionnalise leur surface afin d'adsorber sélectivement et efficacement des molécules cibles : gaz polluants, à effet de serre ou encore micropolluants de l'eau. Ces matériaux carbonés à réseaux nanoporeux 3D trouvent également des applications en photocatalyse et en électrochimie. Dépollution de l'eau et de l'air, détection de molécules, conversion de l'énergie solaire et production de vecteurs énergétiques verts, notamment via l'hydrogène et l'ammoniac, comptent parmi ces applications. Ces travaux s'inscrivent dans les stratégies de développement durable fixées par des organisations internationales telles que l'ONU.

La preuve par l'image

Concours photo

Inspiré du concours créé en 2010 au Québec par l'Acfas pour engager un dialogue scientifique avec le grand public, le CNRS a lancé ce concours, ouvert à toute personne travaillant dans un de ses laboratoires.

Le concours est exclusivement consacré aux images issues de recherches scientifiques, produites entre 2019 et 2023, prises sur le terrain ou issues d'imageurs (téléscope, microscope, calculateur, IRM, scanner...).

Le jury, composé de représentants de la Direction de la communication du CNRS, de l'Acfas, d'institutions dédiées à la culture scientifique et de photographes et journalistes scientifiques, aura en charge de sélectionner les vingt photographies qui composeront l'exposition finale. Le concours permettra en outre d'identifier et collecter de nouvelles photographies afin d'enrichir la médiathèque de CNRS Images.

Vous êtes chercheur, ingénieur, technicien, doctorant ou postdoctorant ?

Déposez votre plus belle image de recherche jusqu'au 5 mai midi !

• www.concours-preuve-image.fr/fr

Pour (re)découvrir les lauréats 2022 :

www.concours-preuve-image.fr/laureats-2022

Arjan W. Kleij, European Sustainable Chemistry Award 2023

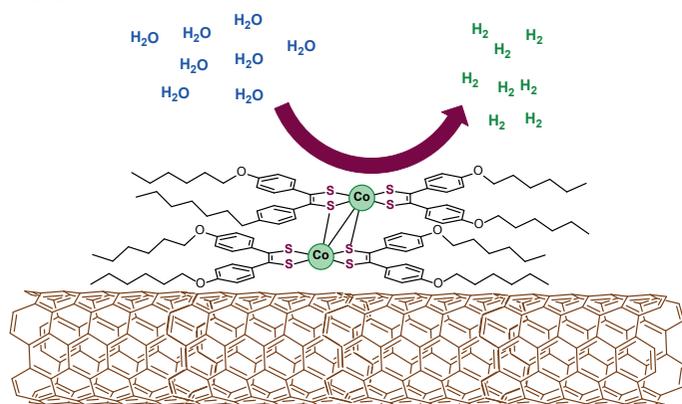
Ce prix de l'EuChemS (ESCA) récompense les travaux de scientifiques qui apportent une contribution exceptionnelle au développement durable et à la chimie verte.

Les travaux d'Arjan Kleij, « group leader » à l'ICIQ (Espagne), se situent dans le domaine de l'utilisation du CO₂, en particulier de la synthèse et des applications des carbonates cycliques. Étudiés déjà depuis une quinzaine d'années, leur préparation a été améliorée en évitant l'utilisation de réactifs nocifs tels que le (tri)phosgène. De nos jours, les époxydes et le CO₂ sont généralement utilisés pour préparer ces carbonates, la catalyse étant primordiale pour les progrès observés. Ses intérêts ont évolué au fil du temps, passant du développement de catalyseurs efficaces et durables à de nouvelles applications dans le domaine des polymères, de la chimie fine et de la science pharmaceutique. De nouveaux concepts ont été développés pour amplifier l'utilisation des carbonates cycliques en tant qu'intermédiaires chimiques, et il continuera à travailler sur ce sujet au sein de son groupe pendant au moins les cinq prochaines années.

• Interview du lauréat à retrouver sur : www.magazine.euchems.eu/interview-with-arjan-kleij

Recherche et développement

Vers une production électrolytique d'hydrogène « vert »



© Rafael Gramage-Doria.

La production efficace d'hydrogène dans des conditions douces est un enjeu énergétique majeur pour diminuer notre dépendance en matières premières dérivées du pétrole. L'électrolyse de l'eau pour la production d'hydrogène intéresse tout particulièrement les scientifiques car ce procédé donne accès à une source d'énergie renouvelable à partir d'une ressource facilement accessible et inépuisable. Déjà mise en place à l'échelle industrielle, elle utilise des électrodes coûteuses, à base de métaux nobles comme le platine, fonctionnant uniquement en milieu fortement acide ; d'où l'intérêt d'imaginer de nouvelles électrodes permettant une production d'hydrogène dans des conditions plus douces (moins acides), constituées de métaux abondants et donc peu coûteux.

Dans le milieu naturel, les enzymes appelées hydrogénases sont connues pour produire de l'hydrogène de manière très performante dans des conditions douces (pression atmosphérique et température ambiante, pH neutre). Les sites actifs de ces enzymes contenant des métaux abondants dans la croûte terrestre comme le fer, le nickel ou encore le cobalt, il devrait donc être possible de les utiliser pour reproduire artificiellement cette production d'hydrogène.

En s'inspirant de ces enzymes, des scientifiques de l'Institut des sciences chimiques de Rennes (CNRS/Université Rennes/ENSCR/INSA Rennes) et de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (CNRS/Université Paris-Saclay) ont préparé un complexe à base de cobalt au sein duquel les atomes métalliques sont pontés par des atomes de soufre, comme c'est le cas dans les hydrogénases. Entouré de longues chaînes carbonées spécialement conçues pour se fixer à la surface de nanotubes de carbone qui jouent le rôle d'électrodes, ce système a permis pour la première fois de produire de l'hydrogène dans des conditions neutres (pH = 7), à pression et température ambiantes, sur plus de 50 000 cycles catalytiques. Particulièrement stable, ce système permet de produire de l'hydrogène en continu pendant plus de 16 heures et peut être recyclé et réutilisé plusieurs fois.

Ces résultats pourraient conduire au développement de nouvelles électrodes et de systèmes d'électrolyse plus performants et plus respectueux de l'environnement.

• Source : CNRS, 07/03/2023.

Réf. : C. Zhang, E. Prignot, O. Jeannin, A. Vacher, D. Dragoe, F. Camerel, Z. Halime, R. Gramage-Doria, Efficient hydrogen production at pH 7 in water with a heterogeneous electrocatalyst based on a neutral dimeric cobalt-dithiolene complex, *ACS Catalysis*, 2023, 13, p. 2367-73, <https://doi.org/10.1021/acscatal.2c04939>.

Vers la synthèse sélective de molécules chirales



Première réaction énantiosélective d'expansion de cycles carbonés à six atomes vers des cycles à neuf atomes guidée par la quinine. © Michaël De Paolis et David Reyes Loya.

La synthèse sélective d'un énantiomère d'une molécule chirale est un éternel défi que tentent de relever de nombreux chimistes. Deux énantiomères peuvent en effet présenter des propriétés drastiquement différentes : l'un peut être un médicament et l'autre un poison, ou encore l'un odorant et l'autre non, etc. Mais contrôler celui qui se forme au cours d'une synthèse n'est pas aisé. Sans rien faire de particulier, on obtient généralement un mélange en proportions équivalentes des deux énantiomères. Si des techniques de séparation peuvent être mises en place, il serait bien plus aisé de ne former directement que l'énantiomère désiré. Cela nécessite de guider la chiralité à l'aide d'une source qui peut être soit un réactif, soit un catalyseur, l'avantage du catalyseur étant bien sûr qu'il est régénéré durant la réaction et récupérable en fin de synthèse.

Dans ce contexte, des chimistes du Laboratoire Chimie organique, bioorganique, réactivité et analyse (COBRA, CNRS/

Notre-Dame : première cathédrale gothique à avoir utilisé massivement le fer



Agrafe provenant du chantier de restauration de Notre-Dame de Paris, après découpage pour préparer une analyse métallographique. © Cyril FRESILLON/IRAMAT/NIMBE/ArScAn/CEA/Chantier Scientifique Notre-Dame de Paris/Ministère de la culture/CNRS.

Notre-Dame de Paris, première « Dame de fer » ? Le plus ancien emploi du métal pour la construction d'une cathédrale gothique vient d'être mis en évidence par les chercheurs du chantier scientifique Notre-Dame de Paris (CNRS/Ministère de la Culture)*.

Parmi les tonnes de métal mises au jour par l'incendie, l'équipe de recherche s'est intéressée en particulier aux milliers d'agrafes employées pour sceller ensemble les blocs de pierres à tous les niveaux de l'édifice. Beaucoup étaient inconnues jusqu'alors, dont une série d'agrafes découvertes au sommet des murs, sous la charpente incendiée. Le chantier de restauration en cours de la cathédrale, conduit sous la maîtrise d'ouvrage de l'établissement public Rebâtir Notre-Dame de Paris, maître d'ouvrage, avec les architectes en chef des monuments historiques, maîtres d'œuvre, a permis d'étudier douze agrafes. Prélevées, elles ont fait l'objet d'une analyse métallographique complète et d'une datation radiocarbone, rendue possible grâce à de nouvelles méthodologies développées par les scientifiques. Les résultats publiés dans *PLOS One* le 15 mars dernier indiquent que les plus anciennes agrafes de fer de Notre-Dame datent des années 1160, c'est-à-dire au début du chantier de la cathédrale. Celles du sommet des murs remontent au début du XIII^e siècle, juste avant la pose de la seconde charpente médiévale. Toutes sont bien contemporaines de la construction de l'édifice.

Grâce à ces découvertes, Notre-Dame est désormais incontestablement la première cathédrale gothique où le fer a été pensé comme un véritable matériau de construction pour créer une architecture inédite. Massivement utilisé pour lier les pierres, il accompagne l'édifice tout au long de son élévation. Cette innovation a eu lieu sur le chantier de Notre-Dame de Paris et s'est ensuite répandue sur d'autres édifices, comme à Chartres, Bourges et Beauvais.

*Source : CNRS, 15/03/2023.

Réf. : M. L'Héritier, A. Azéma, D. Syvilay, E. Delqué-Kolic, L. Beck, I. Guillot, M. Bernard, P. Dillmann, Notre-Dame de Paris: the first iron lady? Archaeometallurgical study and dating of the Parisian cathedral iron reinforcements, *PLOS One*, 15 mars 2023.

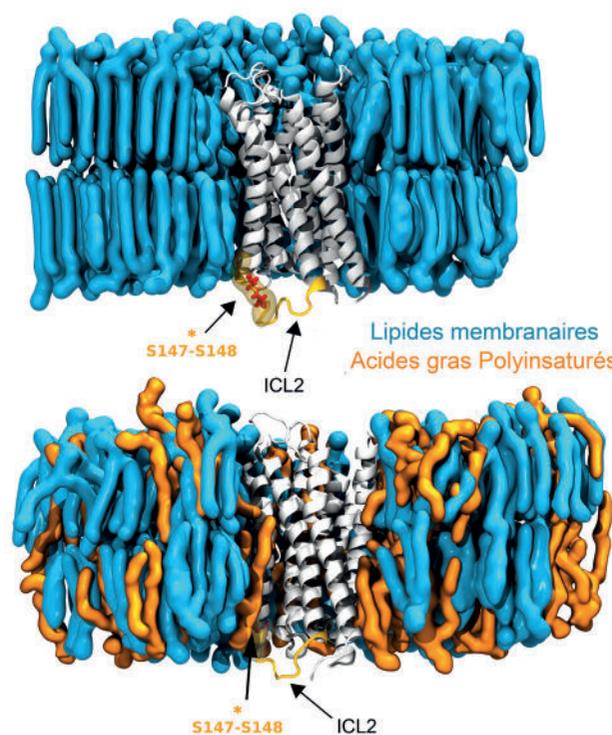
*Les scientifiques travaillent au Laboratoire Archéologie et sciences de l'Antiquité (CNRS/MC/Université Panthéon-Sorbonne/Université Paris Nanterre), au Centre de recherche sur la conservation (CNRS/MC/MNHN), au Laboratoire de mesure du carbone 14, un instrument national dépendant du CNRS, du CEA, de l'IRD, de l'IRSN et du MC, qui est géré par le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS/CEA/UVSQ), à l'Institut de chimie et des matériaux Paris-Est (CNRS/Université Paris-Est Créteil), à l'Institut de recherche sur les archéomatériaux (CNRS/Université d'Orléans) et au Laboratoire Nanosciences et innovation pour les matériaux, la biomédecine et l'énergie (CNRS/CEA).

INSA de Rouen/Université de Rouen Normandie) ont développé une stratégie qui part d'un alcool porteur d'un cycle à six atomes non chiral qui, lorsqu'il est exposé à la quinine, se réarrange en un cycle à neuf atomes chiral et obtenu sous la forme d'un énantiomère majoritaire. Au cours de ce processus inédit, la quinine, qui est une molécule chirale, guide la rupture et la formation des liaisons oxygène-carbone et carbone-carbone au sein même de la molécule de départ dans une séquence qui aboutit à un composé cyclique agrandi. La simplicité et disponibilité de la quinine est un atout majeur de cette stratégie. Les composés cycliques à neuf atomes obtenus sont par ailleurs des molécules très contraintes et difficiles à synthétiser. Les composés synthétisés ici de façon sélective sont stables. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour étudier le potentiel en chimie médicinale de ces composés inexplorés jusqu'ici.

•Source : 07/03/2023.

Réf. : A. d'Aleman, O. Gayraud, C. Fressigné, E. Petit, L. Bailly, J. Maddaluno, M. De Paolis, Organocatalyzed enantio- and diastereoselective isomerization of prochiral 1,3-cyclohexanediones into nonalactones bearing distant stereocenters, *Chem. Sci.*, 2023, <https://doi.org/10.1039/D2SC06842G>.

Pourquoi certains lipides sont bons pour le cerveau ?



Impact de la présence des lipides insaturés membranaires sur la conformation du récepteur de la dopamine D2R observé par modélisation moléculaire, notamment au niveau de la deuxième boucle intracellulaire (ICL2). Le D2R est représenté dans une membrane dépourvue (en haut) ou enrichie (en bas) en AGPI de type oméga 3 (DHA, en orange). © R. Guixà-González.

Les membranes cellulaires ne sont pas des bicouches homogènes de lipides, mais sont plutôt composées de différentes espèces lipidiques qui modulent notamment la localisation et l'interaction des protéines au sein de la cellule et donc leurs fonctions. Les études sur le rôle de cette complexité membranaire, et en particulier l'hétérogénéité de lipides entre différents tissus, cellules et compartiments sous-cellulaires, sur la signalisation cellulaire et la physiologie, commencent seulement à émerger. En particulier, l'impact de la composition lipidique membranaire a longtemps été négligé dans l'étude des fonctions neuronales, alors que le cerveau est le deuxième organe contenant le plus de lipides après le tissu adipeux. Des découvertes récentes mettent en évidence une association

directe entre les niveaux d'AGPI (acides gras polyinsaturés) dans le cerveau et la transmission du signal lié à la dopamine, un neurotransmetteur majeur impliqué dans de nombreux symptômes psychiatriques. Cependant, les mécanismes intimes de cette relation sont inconnus.

Dans une étude allant d'expérimentations *in vivo* à des analyses à l'échelle moléculaire et atomique, des chercheurs français du CNRS (Institut de chimie et biologie des membranes et des nano-objets (CBMN, CNRS/Université de Bordeaux)) et de l'INRAE (INRAE/Université de Bordeaux/Bordeaux INP) et NutriNeuro, en collaboration avec des équipes suisse, américaine et espagnole, ont étudié l'impact de la composition membranaire en AGPI sur l'activité du récepteur de la dopamine de type D2 (D2R). Ils démontrent que l'enrichissement membranaire en acide docosahexaénoïque (DHA) – l'oméga 3 le plus abondant dans le cerveau – favorise la liaison de la dopamine au D2R, mais également de ligands exogènes dont certains antipsychotiques. Le DHA agit donc comme un modulateur de l'activité du D2R. Les simulations en dynamique moléculaire confirment que le DHA membranaire a une forte préférence pour le D2R et que sa présence impacte sélectivement la dynamique conformationnelle du récepteur autour de sa deuxième boucle intracellulaire, élément clé dans l'activation des voies de signalisation qui utilisent la β -arrestine.

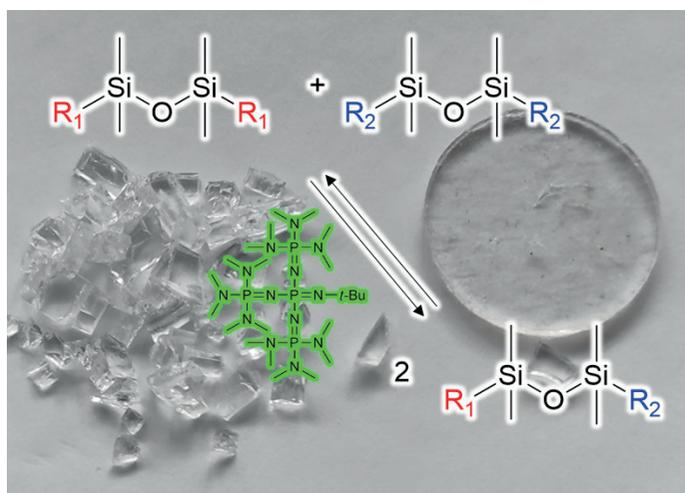
Par ailleurs, les résultats de cette étude montrent que l'enrichissement de la membrane en AGPI ne favorise pas la voie de signalisation classique qui implique la protéine G, mais spécifiquement celle qui utilise la β -arrestine. Cette voie de signalisation est suspectée d'être particulièrement importante pour les effets bénéfiques des molécules antipsychotiques de nouvelle génération. En effet, le déficit en DHA *in vivo* chez la souris atténue les effets comportementaux d'une de ces molécules, l'aripiprazole.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'insaturation des lipides membranaires pour l'activité du D2R et proposent un mécanisme par lequel les AGPI pourraient améliorer l'efficacité de certains antipsychotiques.

• Source : CNRS, 07/02/2023.

Réf. : M.-L. Jobin, V. De Smedt-Peyrusse, F. Ducrocq, R. Baccouch, A. Oumjadi, M. Hauge Pedersen, B. Medel-Lacruz, M.-F. Angelo, S. Villette, P. Van Delft, L. Fouillen, S. Mongrand, J. Selent, T. Tolentino-Cortez, G. Barreda-Gómez, S. Grégoire, E. Masson, T. Durroux, J.A. Javitch, R. Guixà-González, I.D. Alves & P. Trifilieff, Impact of membrane lipid polyunsaturation on dopamine D2 receptor ligand binding and signalling, *Mol. Psychiatry*, 2023, <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01928-6>.

Vers des silicones cicatrissables et réparables



L'introduction de petites quantités de catalyseur permet de rendre dynamiques les liaisons Si-O-Si pour réparer ou recycler les élastomères silicones. © Damien Montarnal.

Les silicones, formés de longues chaînes silicium-oxygène ($\text{---Si-O-Si-O-Si-O---}$) flexibles, sont des polymères inorganiques, le polydiméthylsiloxane (PDMS) étant l'exemple le plus courant. On les retrouve dans de nombreuses applications : mastics, colles, joints, additifs antimoussants, cosmétiques, matériel médical, moules, gaines isolantes de câbles électriques, graisses haute performance, etc. La forte liaison Si-O leur confère une grande résistance thermique et une excellente tenue aux UV, tandis que la flexibilité de la chaîne en fait une classe de matériaux très utiles dont la consistance varie du liquide (huiles et lubrifiants) aux caoutchoucs, en passant par le gel. Dans de nombreuses applications où une résistance thermique et mécanique est attendue, ces matériaux sont vulcanisés, c'est-à-dire que les chaînes sont reliées entre elles de façon permanente pour former un réseau. Si le recyclage chimique de ces silicones vulcanisés devient maintenant possible par dépolymérisation complète afin de ré-initier un nouveau cycle de polymérisation puis de mise en forme des matériaux, une cicatrissation ou réparation *in situ* serait parfois suffisante.

Une manière particulièrement efficace et universelle de conférer des propriétés d'auto-réparation aux matériaux silicones est de catalyser les échanges de liaisons Si-O constitutives des chaînes polymères. Cependant, lorsque cette capacité d'auto-réparation est introduite de façon permanente dans le matériau dès sa conception, elle a tendance à en affaiblir les propriétés thermiques sur le long terme, notamment en favorisant la formation de composés cycliques volatils.

Pour pallier ce problème, des chimistes du Laboratoire Catalyse, polymérisation, procédés et matériaux (CNRS/École supérieure de chimie physique électronique de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1) ont étudié la possibilité de conférer cette capacité d'auto-réparation *in situ* et de manière temporaire à des élastomères silicones modèles de PDMS. Ils ont pour cela étudié l'effet d'une superbase phosphazène, le $\text{P}_4\text{-}^t\text{Bu}$. Sa présence permanente dans le réseau silicone engendre sa dépolymérisation progressive, voire une dévulcanisation totale si une quantité trop importante est ajoutée. Par contre, l'apporter en petites quantités bien contrôlées, par exemple en gonflant le matériau avec une solution, permet de rendre les liaisons Si-O-Si dynamiques ; ce dynamisme se traduit par une malléabilité du matériau qui peut dès lors recoller ou se réparer. Les chimistes ont ensuite montré qu'un simple chauffage au-dessus de 130 °C permet de dégrader la superbase et de retrouver les propriétés intrinsèques non dynamiques du matériau initial.

Ces résultats permettent d'entrevoir de nouvelles opportunités pour contrôler la cicatrissation ou le recyclage mécanique de ces matériaux élastomères.

• Source : CNRS, 21/02/2023.

Réf. : D.Z. Khedaioui, C. Tribout, J. Bratanu, F. D'Agosto, C. Boisson, D. Montarnal, Deciphering siloxane bond exchanges: from a molecular study to vitrimerization and recycling of silicone elastomers, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 2023, <https://doi.org/10.1002/anie.202300225>.

Des colles hybrides plus performantes pour l'optique

Les technologies de pointe faisant appel à l'optique non linéaire et à l'électro-optique, comme la chirurgie laser ou les systèmes de télécommunication, nécessitent l'assemblage de plusieurs cristaux (tels que le triborate de lithium (LBO), le titanyl phosphate de potassium (KTP) ou le titanyl phosphate de rubidium (RTP), pour n'en citer que quelques-uns).

Les techniques actuelles d'assemblages par simple contact, par collage ou par brasure ont des limitations, principalement

dues aux différences parfois importantes de coefficient d'expansion thermique (CTE) entre des cristaux, des optiques et des supports métalliques. Face à la demande de composants toujours plus performants, dont l'amélioration des propriétés passe le plus souvent par l'assemblage de ces différents cristaux entre eux, la société Cristal Laser a sollicité le Laboratoire de chimie de l'ENS de Lyon (CNRS/Université de Lyon/ENS de Lyon) pour son expertise dans le domaine sol-gel*.



Assemblage réalisé par Cristal Laser à partir des colles sol-gel développées par le Laboratoire de chimie de l'ENS de Lyon. © Frédéric Chapat.

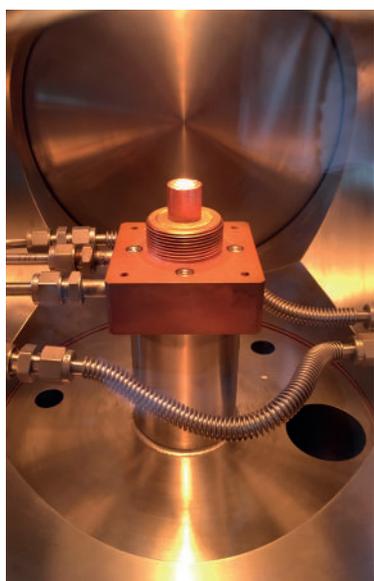
Quatre années de travaux financés par la Direction générale de l'armement permettent à Cristal Laser de proposer désormais des solutions d'assemblages par voie sol-gel de leurs cristaux. Grâce à ce procédé, les scientifiques ont en effet mis au point des colles (sol-gel) hybrides organo-minérales à base de silice qui permettent de s'affranchir des contraintes liées à la tenue au flux laser et aux expansions thermiques hétérogènes. Les premiers essais ont abouti à des preuves de concept particulièrement encourageantes.

Des assemblages industriels de structures monolithiques ou mosaïques ont été développés et testés, ciblant pour l'instant les micro-lasers, l'électro-optique compacte et les faisceaux de grandes dimensions des lasers de puissances. Une technologie qui pourrait bientôt s'étendre à d'autres domaines.

*Source : CNRS, 21/02/2023.

*Le procédé sol-gel, dit de « chimie douce » permet de fabriquer, à température modérée, des matériaux vitreux, des céramiques et des matériaux hybrides organo-minéraux par polymérisation inorganique de manière analogue aux polymérisations organiques.

Plus de défauts pour plus de luminescences



© Mathieu Allix.

Le YAG, oxyde très connu d'aluminium et d'yttrium, de formule $Y_3Al_5O_{12}$, est un solide cristallin luminescent qui présente un rendement quantique très élevé, c'est-à-dire une forte intensité lumineuse émise par nombre de photons (UV) reçus lors de l'excitation. Couramment exploitée dans les lasers et de nombreuses LED, cette luminescence dépend très fortement de la structure cristalline du YAG et surtout du nombre de défauts qu'elle présente. Composé très stable, il est

hélas très difficile d'en modifier sa composition chimique et donc de moduler ses défauts.

La structure de ce matériau est simple : les atomes d'yttrium occupent des sites de coordinance 8 (ils s'entourent de huit atomes d'oxygène) et les atomes d'aluminium occupent des sites tétraédriques (60 % d'atomes d'aluminium entourés par quatre oxygènes) et octaédriques (40 % entourés par six oxygènes). Pour modifier cette structure et moduler ainsi les propriétés de luminescence, on a longtemps envisagé d'induire des défauts en permutant les atomes d'aluminium et d'yttrium sur les différents sites cristallographiques. Mais vu la stabilité du composé, seules de petites modifications ont pu être apportées, comme l'occupation d'une infime partie des sites cristallographiques de l'aluminium par de l'yttrium.

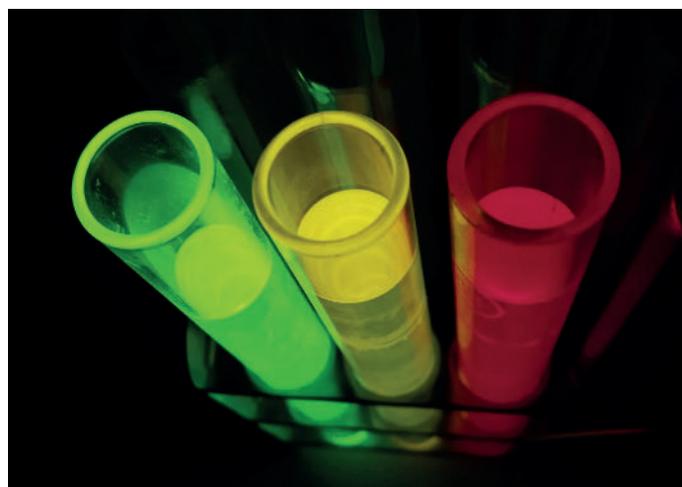
Les scientifiques du Laboratoire « Conditions extrêmes et matériaux : haute température et irradiation » (CEMHTI, CNRS, Orléans), spécialisés dans la synthèse de nouveaux matériaux hors équilibre thermodynamique, sont parvenus à stabiliser de nouvelles phases cristallines du YAG. Par cristallisation du liquide fondu à haute température, ils ont obtenu des composés avec une substitution au moins dix fois plus importante d'atomes d'aluminium par l'yttrium. En utilisant la diffraction des rayons X, la microscopie électronique à transmission, la RMN du solide et l'EXAFS, ils ont montré que les atomes d'yttrium en excès se localisaient sur les sites octaédriques précédemment occupés par l'aluminium, et que les modifications structurales induites par cette substitution permettaient alors de moduler les propriétés optiques du YAG.

Ces résultats permettent d'envisager de nouvelles gammes de longueur d'onde d'émission qui restaient jusqu'à maintenant inaccessibles.

• Source : CNRS, 21/02/2023.

Réf. : W. Cao, A.I. Becerro, V. Castaing, X. Fang, P. Florian, F. Fayon, D. Zanghi, E. Veron, A. Zandonà, C. Genevois, M.J. Pitcher, M. Allix, Highly nonstoichiometric YAG ceramics with modified luminescence properties, *Advanced Functional Materials*, 2023, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.202213418>.

BrightSwitch® : un nouveau mécanisme de photoconversion



© Lazare Saladin.

Les sondes fluorescentes photoconvertibles sont capables de changer de couleur d'émission suite à une irradiation lumineuse. Ce phénomène est avantageusement utilisé en microscopie pour suivre sans ambiguïté des cellules, organelles ou biomolécules sur de larges échelles spatio-temporelles. Dans ce domaine, les protéines fluorescentes dominent, au détriment des petites sondes moléculaires,

pourtant plus faciles à utiliser, plus brillantes et moins toxiques. Les scientifiques du Laboratoire de Bioimagerie et pathologies (LBP, UMR CNRS 7021, Strasbourg) ont établi un nouveau mécanisme permettant de concevoir des sondes fluorescentes photoconvertibles. Le principe est basé sur la conjugaison d'un fluorophore avec un aromatique sensible à l'oxygène singulet (1O_2). Sous irradiation, le fluorophore, comme tous les autres fluorophores, génère par désexcitation de son état triplet de l'oxygène singulet qui va préférentiellement oxyder l'entité sensible qui agit comme un « paratonnerre », provoquant ainsi une rupture de la conjugaison et menant à un changement de couleur du fluorophore. La sonde SC-P subit ainsi un changement de couleur de 68 nm et a permis de photoconvertir et de suivre les gouttelettes lipidiques de cellules vivantes par microscopie confocale.

Ce mécanisme nommé DPIC (« directed photooxidation induced conversion ») est également applicable à différents fluorophores plus brillants, étendant ainsi la gamme de couleurs et d'efficacité de ces sondes photoconvertibles appelées BrightSwitch[®]. Les travaux en cours au laboratoire LBP montrent que ces sondes fluorescentes peuvent être ciblées à différents sites cellulaires (membrane, mitochondrie, noyau, etc.) et peuvent également être appliquées en microscopie de super résolution. BrightSwich[®] offre ainsi une palette de sondes polyvalentes ainsi qu'une alternative efficace aux protéines fluorescentes photoconvertibles.

• Source : CNRS, 17/02/2023.

Réf. : L. Saladin, V. Breton, O. Dal Pra, A.S. Klymchenko, L. Danglot, P. Didier, M. Collot, Dual-color photoconvertible fluorescent probes based on directed photooxidation induced conversion for bioimaging, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2023, 62(4), e202215085, <https://doi.org/10.1002/anie.202215085>.

Synthétiser des médicaments par extrusion pour une chimie durable

La synthèse des amides, présentes dans un grand nombre de composés pharmaceutiques, peut impliquer de grandes quantités de solvants pour solubiliser le milieu réactionnel et purifier par la suite le produit obtenu. Pour limiter l'impact environnemental de cette synthèse, les industries ont développé des méthodes de mécanochimie, c'est-à-dire par broyage à billes, sans solvant, pour la préparation de ces amides. Mais ce broyage implique un processus discontinu en réacteur fermé, qui nécessite l'arrêt et l'ouverture du réacteur pour récupérer le produit final. Le passage à l'échelle industrielle nécessite des broyeurs plus grands, comme ceux employés dans l'industrie des minerais, et pose alors des problèmes de sécurité vu les volumes importants à manipuler.

D'où l'idée de se tourner vers la chimie « en flux continu » pour s'affranchir de ces gros volumes dangereux à manipuler dans des réacteurs classiques. Hélas, cette approche nécessite

là encore une grande quantité de solvants. L'originalité de la solution proposée par une équipe de l'Institut des Biomolécules Max Mousseron (IBMM, CNRS/Université de Montpellier/ENSCM) est d'utiliser une extrudeuse, appareil de production classique en continu utilisé comme réacteur chimique pour la fabrication de polymères ou dans l'industrie alimentaire. Les réactifs sont introduits avec une très faible quantité de solvant dans un système de double vis qui va malaxer, éventuellement chauffer, et convoyer le mélange réactionnel en continu pour une récupération du produit de réaction en fin de parcours. Ainsi, cette extrusion réactive réduit considérablement l'impact environnemental de la préparation de ces amides mais aussi leur temps de production.

Deux substances actives de médicaments ont pu être préparées par cette méthode : le teriflunomide qui agit sur la sclérose en plaques, et le moclobémide, utilisé pour traiter la dépression ; 11 g de moclobémide ont pu être préparés en 2 minutes, en continu. Pour augmenter encore la production, il suffit de continuer à alimenter l'extrudeuse en réactifs pour arriver à la quantité de moclobémide désirée.

Ces résultats montrent que l'extrusion réactive, reconnue par l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) comme « *une des technologies d'avenir qui vont changer le monde* », pourrait rapidement devenir un nouvel outil de synthèse pour une chimie durable car cette approche combine l'efficacité en termes de rendement à une réduction de l'impact environnemental.

• Source : CNRS, 07/03/2023.

Réf. : M. Lavyssiere, F. Lamaty, Amidation by reactive extrusion for the synthesis of active pharmaceutical ingredients teriflunomide and moclobemide, *Chemical Communication*, 2023, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/cc/d2cc06934b>.

Scrap CO2MET : production de métaux critiques et recyclage de batteries

Porté par la startup Mecaware (Metal & Carbon Waste Recycling), en partenariat avec deux entreprises, Verkor et MTB Manufacturing, et deux laboratoires de recherche – l'Institut de chimie et biochimie moléculaires (ICBMS - Université Claude Bernard Lyon 1/CNRS/CPE Lyon/INSA Lyon) et le Laboratoire Électrochimie et physicochimie des matériaux et des interfaces (LEPMI - CNRS, Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont-Blanc) –, le projet Scrap CO2MET va permettre de produire des métaux critiques avec un haut rendement et niveau de pureté, indispensables à la fabrication de batteries, par le recyclage des rebuts de production (scraps) des gigafactories. Il cible spécifiquement les rebuts de production de la gigafactory Verkor, avec une implantation *in situ* de la ligne de recyclage, alors que les projets classiques portent sur un mix de rebuts de production et de batteries lithium-ion en fin de vie en traitement exclusivement hors site.

CHIMIE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
MERCREDI 8 FÉVRIER 2023

Retrouvez l'intégralité du colloque en rediffusion : <https://actions.maisondelachimie.com/colloque/chimie-et-intelligence-artificielle>

Fondation de la Maison de la Chimie
Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris

Scrap CO2MET bénéficiera d'un financement de l'ADEME à hauteur de 22 M€ accordant un soutien majeur aux laboratoires scientifiques (ou de recherche) impliqués au cœur de ce projet, avec 1,6 M€ pour l'ICBMS et 1,1 M€ pour le LEPMI.

Ce financement soutiendra le passage à l'échelle et en flux continu de cette solution de rupture avec le déploiement d'une première ligne pilote d'une capacité de 50 à 100 tonnes/an installée sur le site R&D de Verkor à Grenoble. En cas de validation du procédé, une première usine industrielle sera déployée sur la gigafactory de Verkor à Dunkerque avec une capacité de traitement de 6 000 à 8 000 tonnes de rebuts par an en 2026.

Ce projet pourra être duplicable dans d'autres gigafactories : Mecaware est déjà en contact avec des industriels, dans l'objectif de déployer sa solution industrielle pour le plus grand nombre de gigafactories en Europe dans un premier temps.

Soutenue par PULSALYS, l'incubateur et accélérateur deep-tech de Lyon Saint-Etienne, Mecaware recycle des produits technologiques, notamment les batteries, pour récupérer de manière éco-efficace des métaux critiques et des terres rares (lithium, cobalt, nickel, manganèse, lanthane...) en s'appuyant sur les travaux de recherche menés par Julien Leclair au sein de l'ICBMS conjointement avec le Laboratoire Catalyse, polymères, procédés, matériaux (CP2M) et l'Institut des sciences moléculaires de Marseille (ISM2), avec le soutien de la SATT Sud-Est durant cette première période.

Basé sur une chimie innovante, le procédé de Mecaware permet de récupérer les métaux stratégiques avec un haut niveau de rendement et un très haut niveau de pureté (de 98 à 99,9 %) tout en utilisant des émissions industrielles de CO₂ au cœur du procédé et sans générer d'effluents liquides. Opérant à pression atmosphérique et à température ambiante, le procédé est peu énergivore : cette performance économique majeure devrait permettre de diviser les coûts de fonctionnement par deux et de positionner cette innovation majeure dans les filières industrielles afin de répondre aux enjeux énergétiques et écologiques.

Pour conforter son déploiement, notamment sur des pilotes industriels en France, Mecaware est actuellement en phase de levée de fonds avec l'objectif d'obtenir 15 M€ d'ici la fin du premier semestre 2023, puis 45 M€ en 2025 pour le financement de la première usine.

Ce projet, lauréat de l'appel à projets France 2030 « Recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux », contribuera à l'effort de sécurisation des approvisionnements stratégiques de la filière batteries française et européenne, tout en proposant une solution compatible avec la préservation des ressources et la transition écologique.

• Source : CNRS, 07/03/2023.

Industrie

Une usine de recyclage chimique de plastiques prévue à Saint-Avold

Suez, Loop Industries et SK Geo Centric (filiale du groupe sud-coréen SK) prévoient d'implanter une usine de production de PET recyclé de qualité vierge sur la plateforme industrielle Chemesis de Saint-Avold (Grand Est).

Ce projet international, soutenu par le ministère de l'Industrie et de l'Écologie, la région Grand Est et la communauté d'agglomération Saint-Avold Synergie, s'appuie sur l'expérience de SKGC dans l'industrie pétrochimique, sur l'expertise de Suez

Prix Pierre Potier 2024



Appel à candidatures

Sous le patronage du ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, la Fondation internationale de la Maison de la Chimie et France Chimie organisent la 17^e édition du prix « pour l'innovation en chimie en faveur du développement durable ».

Grandes entreprises, ETI, PME, PMI, startups, en participant au prix Pierre Potier, vous bénéficierez d'un label reconnu, gagnerez notoriété et visibilité !

Vous avez déjà participé ? Envoyez un nouveau dossier !

Vous souhaitez faire découvrir votre innovation à des lycéens ? Le dossier vous permet également de vous inscrire à la 6^e édition du prix Pierre Potier des lycéens.

Les entreprises sont invitées à remplir le dossier de candidature accompagné de tous les documents susceptibles de permettre au jury d'apprécier les aspects scientifiques et techniques de la candidature et à l'adresser **avant le 28 avril 2023** à la Fondation internationale de la Maison de la Chimie*.

• www.francechimie.fr/les-prix-pierre-potier

www.lesmetiersdelachimie.com/le-prix-pierre-potier-des-lyceens

*p.bridou-buffet@maisondelachimie.com

dans le domaine de la gestion des ressources et sur la technologie de dépolymérisation innovante de Loop afin de fournir au marché européen de la résine de PET de qualité vierge 100 % recyclée et recyclable à l'infini. Avec une capacité prévue de 70 000 tonnes par an, l'usine permettra de répondre à la demande croissante en PET recyclé, encouragée par la réglementation européenne. Elle fournira une solution aux marques mondiales basées en Europe qui se sont engagées à atteindre leurs objectifs de développement durable et à augmenter l'utilisation de matériaux recyclés dans leurs emballages et produits.

Stratégiquement située au cœur de l'Europe, la plateforme industrielle Chemesis de Saint-Avold propose un réseau industriel et d'infrastructures performant (accès à l'énergie notamment via les réseaux de chaleur existants, logistique routière et ferroviaire, fournisseurs, etc.), qui en fait un environnement optimal pour l'implantation de l'usine. Ce projet, qui représente un investissement prévisionnel total de 450 millions d'euros, va participer à la revitalisation durable du tissu industriel local et permettre la création de 200 emplois directs.

L'installation industrielle mettra en œuvre la technologie développée par Loop, un processus de dépolymérisation à basse température et sans ajout de pression, permettant de transformer des matières plastiques de faible valeur, jusqu'alors incinérées ou enfouies, en plastique PET de qualité vierge d'une pureté optimale. À pleine capacité, l'usine permettra d'économiser plus de 255 000 tonnes de CO₂ par an par rapport à la résine PET vierge fabriquée à partir d'un procédé pétrochimique traditionnel.

Les flux entrants de matières premières seront collectés, triés et préparés par Suez, qui s'appuiera sur sa connaissance du marché européen du plastique, ses partenariats avec des acteurs industriels et son maillage dense d'infrastructures de traitement. En recyclant ce type de déchets, qui sont

actuellement enfouis ou incinérés, l'usine proposera une véritable solution pour répondre à la problématique mondiale liée au traitement des déchets plastiques.

Les trois partenaires visent un démarrage des travaux de construction début 2025 et une mise en service de l'usine en 2027.

• Source : Loop Industries, 16/02/2023.

Solvay : décarbonation de l'usine de Saint-Fons

Solvay a dévoilé les plans de décarbonation de son usine Aroma Performance située à Saint-Fons, avec une nouvelle chaudière biomasse qui sera mise en service d'ici fin 2025. Combiné à d'autres initiatives, telles que l'approvisionnement en électricité verte à partir d'une importante installation solaire, cet investissement est une étape majeure dans la transition de l'usine du gaz naturel vers des sources d'énergie plus durables et compétitives.

Le site de Saint-Fons deviendra le premier site d'Aroma Performance au monde à être alimenté majoritairement par des énergies renouvelables et atteindra la neutralité carbone de sa production dès 2026. L'ensemble de ces mesures réduira les émissions de gaz à effet de serre du site de 75 kilotonnes par an par rapport aux niveaux de 2018, soit l'équivalent du retrait de 45 000 voitures thermiques de la circulation.

Solvay a conclu un partenariat long terme avec Dalkia, filiale du groupe EDF et l'un des leaders dans les services énergétiques, qui assurera la conception, réalisation et exploitation de la chaudière. La chaudière biomasse utilisera des déchets de bois – un mélange de bois de récupération provenant de résidus de démolition et d'ameublement – issus principalement de la Région Rhône-Alpes comme combustible pour produire de la vapeur.

Le projet a bénéficié d'un soutien de l'ADEME dans le cadre du plan France Relance et a été promu lauréat dans la catégorie « Chaleur Biomasse ». Il vient s'ajouter aux 59 projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre confirmés depuis 2019 à travers le groupe.

• Source : Solvay, 01/03/2023.

TotalEnergies et Paprec : une première filière française de recyclage chimique des films plastiques

TotalEnergies et Paprec, leader du recyclage plastique en France, ont conclu un accord commercial à long terme pour développer la première filière française de recyclage chimique des déchets de films plastiques. Cet accord permet à TotalEnergies de sécuriser l'approvisionnement de la future usine de recyclage chimique de déchets plastiques de Grandpuits. Dans le cadre de cet accord, Citeo, principal éco-organisme en charge de la fin de vie des emballages ménagers français, fournira des déchets plastiques flexibles issus du tri des emballages post-consommation. Ces derniers seront acheminés sur l'usine Paprec Plastiques 80 à Amiens où une chaîne de tri et de préparation dédiée, la première du genre, va être construite. TotalEnergies utilisera ces déchets d'origine française sur l'usine de recyclage chimique, située sur la plateforme zéro pétrole de Grandpuits, et produira des plastiques recyclés aux caractéristiques identiques à celles des plastiques vierges, aptes au retour au contact alimentaire. D'une capacité de traitement de 15 000 tonnes de déchets par an, cette usine de recyclage chimique, construite par TotalEnergies (60 %) et Plastic Energy (40 %), sera mise en service en 2024.

• Source : TotalEnergies/Paprec, 15/03/2023.

11^e Concours de cuisine note à note

Thème : Gaspillage et pertes alimentaires



(Wikimedia Commons)

Selon la FAO, plus d'un tiers des aliments produits dans le monde, soit environ 1,3 milliard de tonnes, sont perdus ou gaspillés, alors qu'ils peuvent encore être consommés. Ce gaspillage représente un prélèvement inutile de ressources naturelles en termes de terres arables et d'eau, puisque l'agriculture utilise 70 % des ressources mondiales en eau et en énergie. Il représente des émissions de CO₂ évitables et des déchets à traiter, et a un impact négatif sur le budget des ménages. La Commission européenne, qui a mené une étude à l'échelle de l'Europe, estime le gaspillage alimentaire tout au long de la chaîne à environ 190 kg par an et par Européen.

La cuisine note à note est la technique culinaire qui consiste à utiliser des composés purs pour produire des aliments (des « mets »). La cuisinière ou le cuisinier doivent décider la forme, l'odeur, la saveur, la consistance, etc. de chacune des parties du plat. Bien sûr, il doit gérer des questions de nutrition, de toxicologie, et la cuisine note à note est une partie du large Projet note à note, qui vise notamment à contribuer à l'alimentation en 2050, alors que la population mondiale aura sans doute dépassé les 9 milliards d'humains. Ce projet veut notamment combattre le gaspillage (d'ingrédients, d'eau ou d'énergie), tout en prenant soin de l'environnement.

En cuisine, la question de la lutte contre le gaspillage ou les pertes n'est pas simple, car les raisons de ces pertes et gaspillage sont nombreuses et variées. Par exemple, éplucher des pommes de terre crée certes des déchets, mais les parties jetées contiennent des glycoalcaloïdes tels que la solanine, la solanidine, la chaconine, qui sont toxiques au-delà d'une limite assez basse. Et la plupart des tissus végétaux contiennent également des « pesticides naturels » dans leurs parties extérieures.

Pour ce nouveau **concours, gratuit et ouvert à tous**, les concurrents (dans trois catégories : chefs, étudiants, amateurs) sont invités à créer des plats qui considèrent la grave question du gaspillage et des pertes. Plus on se rapproche du pur, note par note, mieux c'est, mais le goût du plat proposé est évidemment le plus important !

Date limite pour candidater : 20 août 2023.

• Informations et inscriptions : icmg@agroparistech.fr