



SCIENCE

infuzz

Extraits de recherches du CNRS en Alsace



cnrs

SCIENCE *infuzz* présente quelques-unes des
recherches menées dans les laboratoires de la
délégation du CNRS en Alsace.

Édition 2023

De la caste aux molécules	4
À l'écoute des Anciens	8
Histoires de spectres	11
La chaleur comme moteur !	16
Les effets moléculaires de la caféine sur le cerveau	20
Cuivre dans les sols viticoles : saturation en vue !	24
Coup de pouce de l'IA pour réduire le CO ₂ industriel	27
Scruter l'infiniment petit	30
Quand les plantes sortent de l'eau	33
Agents dormants pour la photopolymérisation	36
Capteur bioinspiré	39
Le CNRS en Alsace	40

De la caste aux molécules

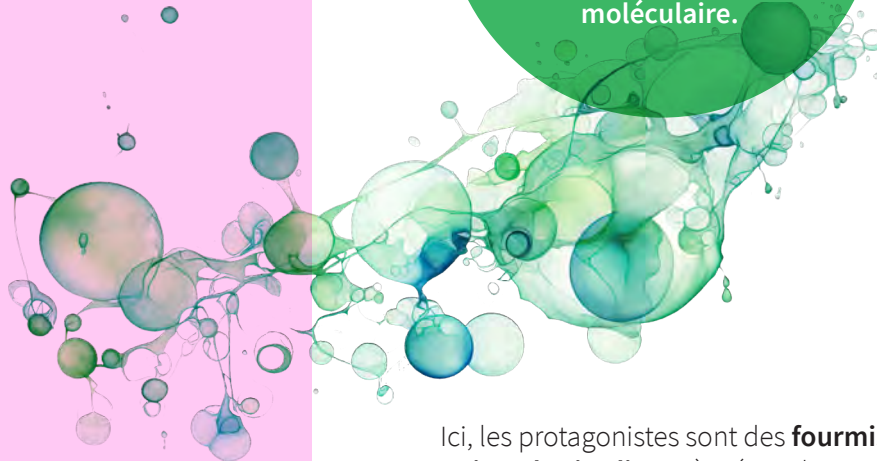
Certains d'entre nous mourront centenaires, d'autres ne franchiront pas le cap de la retraite. La dimension sociale est un facteur avéré du vieillissement. On meurt plus tôt quand le contexte social est défavorable (forte compétition, perte de la mère), on vit plus longtemps quand on a des interactions positives.



Fourmi noire des jardins

© Illustration Denise Bazin/medillus.com

Les chercheurs ont voulu savoir si les différences de longévité observées pour des espèces aussi éloignées que l'abeille, l'écureuil, ou le singe, se traduisent à l'échelle moléculaire.



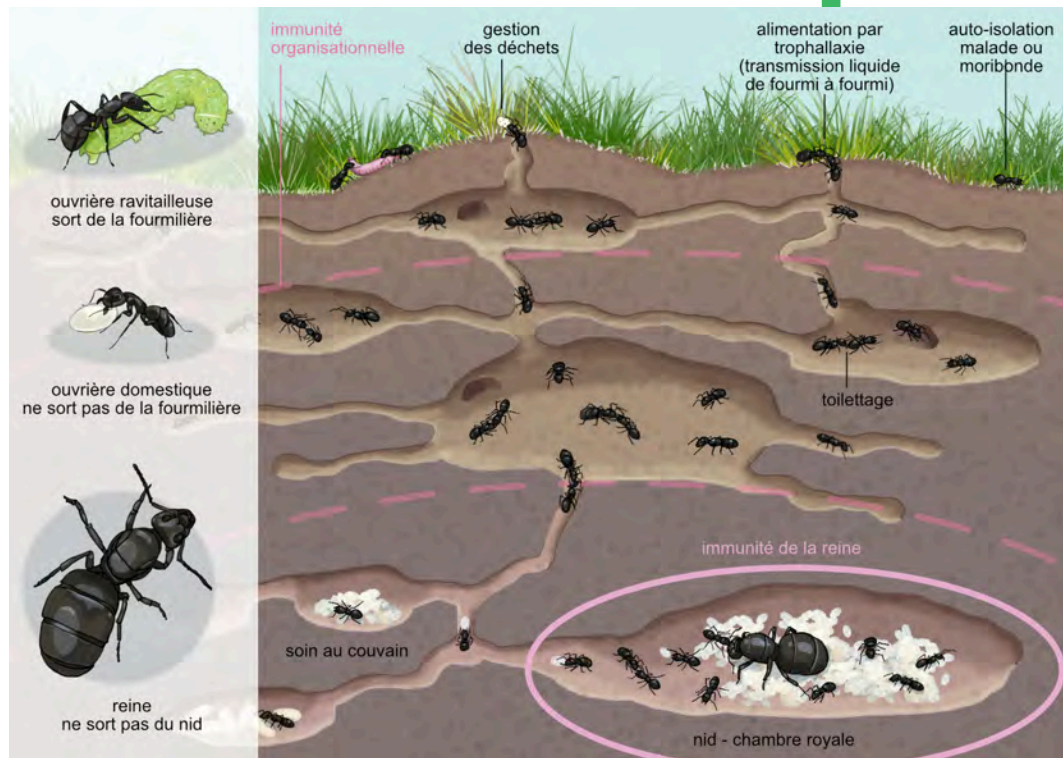
Ici, les protagonistes sont des **fourmis noires des jardins**, très répandues et surtout parfaitement adaptées à ce type d'étude. L'insecte est en effet dit « eusocial », ou divisé en castes d'individus fertiles et non fertiles. Les individus fertiles sont chargés de la reproduction, tandis que les non-fertiles s'occupent de nourrir les premiers. Chez les fourmis, les **reines** vivent jusqu'à dix fois plus longtemps que les

ouvrières. De plus, les **castes sociales** des fourmis *Lasius niger* — la reine, les ouvrières domestiques bâtisseuses du nid et les ouvrières ravitailleuses — sont facilement identifiables d'après leur anatomie ou leur comportement.

Pour chaque caste, les scientifiques ont analysé au spectromètre de masse les **métabolites** : toutes les petites molécules présentes dans l'organisme à un temps T qui résultent des activités immunitaires, de détoxification, de digestion ou encore de l'activité énergétique de la cellule.

Aux trois castes sociales correspondent trois profils métaboliques différents. Les reines, comparées aux ouvrières, ont moins de molécules liées à l'immunité et à la détoxification. Les métabolites des ouvrières ravitailleuses reflètent l'environnement le plus stressant et un système immunitaire très stimulé. Enfin, les ouvrières domestiques ont davantage de métabolites liés à la digestion.

La reine, isolée de tout contact extérieur — immunité sociale —, y compris des pathogènes, peut alors se permettre de



© Illustration Denise Bazin/medillus.com

ne pas disperser son énergie dans des fonctions normalement nécessaires comme l'immunité. Cette énergie économisée est alors plutôt investie dans des mécanismes favorisant

la longévité. Les scientifiques ont par ailleurs identifié la présence de molécules de nicotinamide et de glutamate, illustrant le lien entre énergie disponible de la cellule et longévité. Un

« Notre étude a révélé que les comportements des fourmis avaient des conséquences moléculaires. »

Martin Quque, chercheur en physiologie et comportement animal.

résultat similaire à une étude précédente... sur les humains, espèce bien plus récente dans la chronologie évolutive. Ce constat suggère que certains mécanismes de vieillissement pourraient être universels.

Institut pluridisciplinaire Hubert Curien (CNRS, Université de Strasbourg, Université de Haute-Alsace)

Institut de biologie moléculaire des plantes (CNRS)

Le SAVIEZ-VOUS ?

Le record absolu de durée de vie d'une fourmi est détenu par une reine fourmi noire des jardins élevée dans un laboratoire : 28 ans et 8 mois !!!

20 ans

l'âge que peut atteindre une fourmi reine

2 ans

l'âge moyen d'une fourmi ouvrière

1991

métabolites identifiés révélant 3 profils moléculaires propres aux 3 rôles sociaux des fourmis

À l'écoute des Anciens



Les Jeux Olympiques sont un héritage de la Grèce antique mais on a oublié qu'il y avait aussi des compétitions musicales, tout aussi fameuses.

En un mot, c'était une société où la musique avait une place prépondérante.

Joueur de cithare, représenté sur une amphore.

New York, Metropolitan Museum of Art 20.245, Public Domain.

Entretien avec Sylvain Perrot, helléniste du CNRS, spécialiste de la musique antique au laboratoire Archimède*.

Le monde antique ne connaissait ni les micros ni les enceintes, et pourtant, l'espace sonore était riche, voire saturé de nuisances sonores, autant que notre monde actuel...

S.P. Un auteur grec du 2^e siècle après notre ère, Aristide Quintilien, a écrit qu'il n'y a pas d'activité humaine sans musique. Il faut donc imaginer que la musique était omniprésente. Elle accompagnait non seulement les pratiques politiques et diplomatiques, les rites religieux (pratiques funéraires, mariages, processions) mais aussi chaque moment de la vie des citoyens qu'il soit festif (quand ils participent à un banquet ou vont au théâtre) ou laborieux (comme les chants

entonnés dans les vignes ou au puits). D'ailleurs, tous les citoyens apprennent à chanter et à jouer d'un instrument, en même temps qu'à lire et à écrire. La musique était aussi pratiquée par les esclaves. Les concours de musique étaient aussi répandus que les joutes sportives.



Quels enseignements tirez-vous de l'analyse des partitions musicales ?

S.P. Les spécialistes préfèrent le terme de « document à notation musicale », parce que l'on n'utilise tout simplement pas de partition à cette époque ! La transmission des airs et des techniques de jeu se fait par la tradition orale ; les Grecs n'avaient certainement pas sous les yeux une partition comme un musicien peut en avoir aujourd'hui, leur musique était improvisée. Les documents à notation musicale jouent le rôle d'archives, soit pour conserver un répertoire (par exemple des extraits de tragédie),

soit pour faire une offrande à la divinité, comme l'attestent les hymnes à Apollon gravés sur un édifice de Delphes. À ce jour, on a retrouvé seulement soixante sources musicales grecques, pour la plupart fragmentaires.

Sur quelles informations vous appuyez-vous alors ?

S.P. Je croise un nombre important de sources disponibles (textes, images, vestiges) pour retracer l'histoire culturelle et sociale des musiciens. La musique avait aussi un poids économique : depuis les importations de matière première, comme le bois pour la fabrication des instruments, en passant par leur prix de vente sur le marché, jusqu'aux contrats et quittances liés à l'embauche d'artistes. Mon approche est aussi celle de l'histoire des mentalités, pour saisir la signification de la musique et sa perception par les Grecs.

*Archéologie et Histoire ancienne : Méditerranée - Europe (CNRS, Université de Strasbourg, Université de Haute-Alsace, Ministère de la Culture, Institut National de Recherches Archéologiques Préventives)



Histoires de spectres



Entretien avec Nalini Anantharaman



© Patrick Imbert/Collège de France

Prix Henri-Poincaré en 2012, médaille d'argent du CNRS en 2013, Nalini Anantharaman poursuit ses recherches entre l'Institut de recherche mathématique avancée à Strasbourg et le Collège de France à Paris, où elle est nommée professeure*

en 2022. Au sein de la prestigieuse institution, qui a pour vocation d'enseigner la recherche en train de se faire, elle enseigne la géométrie spectrale, branche mathématique née il y a un siècle, pour faire le lien entre la géométrie d'un objet et son spectre de vibration.

SPECTRE

Du verbe latin *specio, specere* qui signifie «regarder».



Un spectre est une apparition, une manifestation visible, parfois illusoire, d'un phénomène enfoui.

Extrait de la leçon inaugurale, Collège de France

Quand avez-vous pris conscience que vous souhaitiez dédier votre vie aux mathématiques ?

N.A. Comme j'ai grandi dans une famille de mathématiciens, j'ai baigné très tôt dans un milieu chargé d'une culture mathématique. J'avais des ouvrages à portée de main, et conscience que la recherche était active dans ce domaine, alors que l'opinion publique a tendance à penser que cette discipline s'est figée quelque part entre le 18^e et le 19^e siècle.

Au cours de mon cursus universitaire, je me suis rendu compte que le raisonnement abstrait, par son activité intellectuelle intense et soutenue, m'intéressait davantage que la recherche expérimentale, qui souvent, demande de passer du temps à résoudre des problèmes plus pratiques que conceptuels.

Que signifie le mot « spectre » en mathématiques, et comment s'est établi le lien entre la géométrie d'un objet et les ondes qu'il émet ?

N.A. En physique, depuis les travaux de Newton, on sait que la lumière blanche est en fait composée d'une superposition de couleurs. Le spectre visible de couleurs s'étend du violet au rouge, en passant par le bleu, le vert, le jaune... Petit à petit, au 19^e siècle, les physiciens ont remarqué des discontinuités dans la lumière émise par le soleil : son spectre contient des raies sombres, dites de Fraunhofer. En chauffant des éléments chimiques, les scientifiques ont aussi vu apparaître des spectres discontinus dans lesquels seules certaines couleurs étaient présentes.

Ces constats étaient étonnants, car on se représentait le monde comme continu. Il s'agissait alors de comprendre pourquoi ces discontinuités se manifestaient. Dans les années 1920, les fondateurs de la mécanique quantique, Heisenberg et Schrödinger, ont compris quelque chose de très important : pour calculer les fréquences manquantes qui apparaissent dans les spectres observés, il faut calculer des nombres qui correspondent à une notion déjà connue depuis soixante-dix ans dans le milieu des mathématiques : les valeurs propres de matrices.

C'était un moment miraculeux, et à partir de là, on s'est mis à désigner sous le nom de théorie spectrale la notion de calcul des valeurs propres. Cette époque est cruciale, car, d'une part, les mathématiques se sont enrichies des questions apportées par la physique et, d'autre part, la mécanique quantique est devenue extrêmement mathématique. Cela l'a aussi rendue plus difficile à comprendre pour les non-initiés, la théorie spectrale faisant appel à des notions assez abstraites, comme les espaces de dimensions infinies. En étudiant la géométrie d'un objet, on

peut essayer de déterminer si l'on va obtenir un spectre continu ou discontinu (dit « discret » en mathématiques).

Quels sont les obstacles qu'un aspirant mathématicien peut rencontrer sur son chemin ?

N.A. La plupart des obstacles que j'ai rencontrés trouvaient leur origine en moi-même. Il peut s'agir de difficultés personnelles à surmonter et de défis intellectuels particulièrement complexes à relever. Je suis, par exemple, passée par les classes préparatoires, où le choc est assez rude au départ, puisque la quantité de travail à fournir est très importante par rapport au lycée, ce qui, pour moi comme pour beaucoup, a été la source de difficultés dans les premiers mois. Mais je n'ai jamais senti que les obstacles venaient de l'extérieur. Plus tard, même si le milieu des mathématiques est très masculin, mais assez peu hiérarchisé, j'ai toujours trouvé l'atmosphère de travail très bienveillante. Du reste, l'environnement universitaire nous permet d'être assez libres dans nos choix de sujets de recherche, on doit savoir se juger

soi-même, se critiquer autant que se féliciter, avoir confiance en soi.

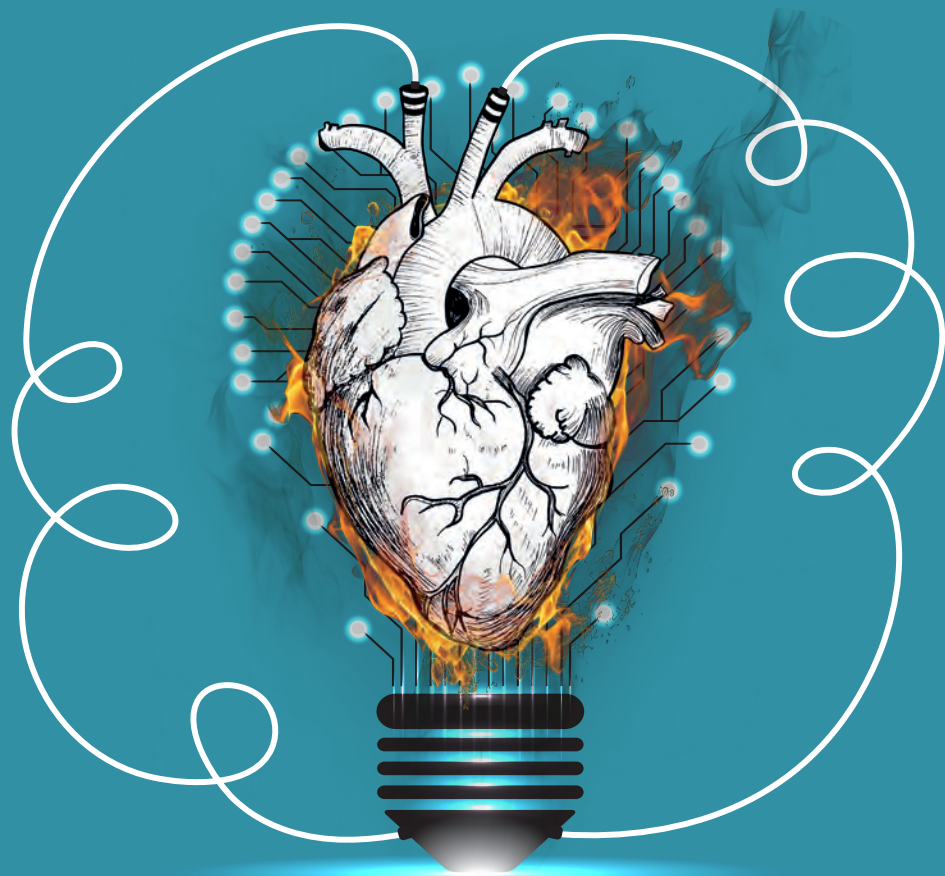
Extrait de « La recherche de connaissances est une fin en soi », propos recueillis par William Rowe-Pirra, journaliste scientifique. Tous droits réservés, Collège de France, 2022.

*IRMA (CNRS, Université de Strasbourg, INRIA)

Agir pour l'éducation

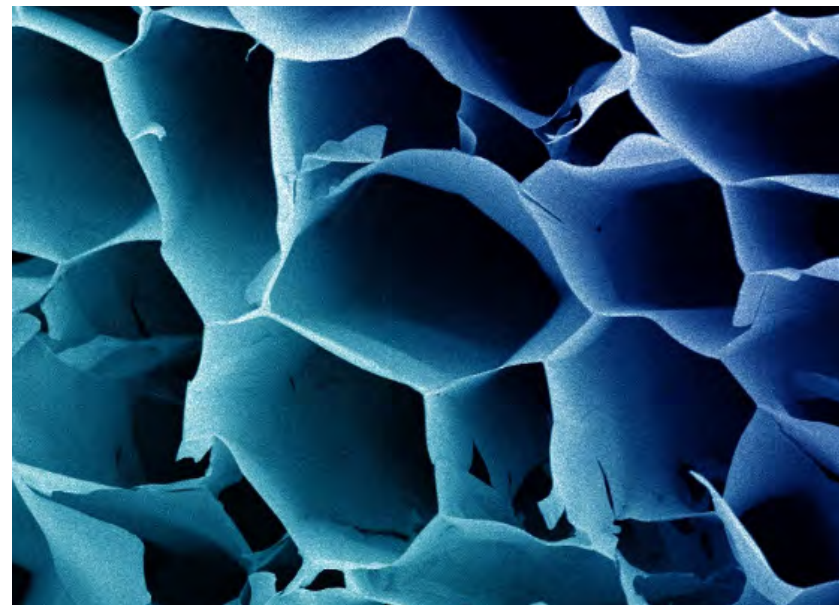


La chaleur comme moteur !



© Illustration Catherine Berger/CNRS

Face aux besoins énergétiques croissants, une équipe de l'Institut Charles Sadron implantée sur le campus CNRS de Cronenbourg, à Strasbourg, relève le défi de développer des matériaux conducteurs permettant d'utiliser notre propre chaleur corporelle pour générer de l'électricité.*



Structure poreuse en nid d'abeille observée au microscope électronique à balayage (image colorisée)

© Laure Biniek et Alain Carvalho/PLAMICS/Institut Charles Sadron, CNRS

Le projet de recherche BODYTEG conduit par la chimiste Laure Biniék s'appuie sur le principe de la thermoélectricité : lorsqu'un matériau conducteur est placé entre un milieu chaud et un milieu froid, leur différence thermique génère une tension et donc un courant électrique.

L'un des enjeux de la thermoélectricité réside dans l'optimisation du transfert de chaleur, qui doit demeurer le plus faible possible afin de maintenir élevé ce différentiel de température. Or un bon conducteur électrique est généralement aussi un bon conducteur thermique.

Par ailleurs, le corps humain ne produit qu'un flux de chaleur relativement faible et la plupart des générateurs thermoélectriques actuellement conçus utilisent des matériaux rares, coûteux et bien souvent toxiques.

Le défi est donc de taille pour Laure Biniék et son équipe, qui ont sélectionné des **polymères**¹ conducteurs présentant l'avantage d'être abondants et peu toxiques. Ils cherchent à en optimiser les

propriétés en réduisant leur conductivité thermique, tout en maintenant leur conductivité électrique. Ils s'inspirent pour cela de la structure poreuse des **aérogels de silice**², connus pour être des isolants thermiques très puissants.

La morphologie de ces polymères est également travaillée dans le but d'en améliorer la souplesse et la flexibilité. En résultent des matériaux poreux structurés en réseaux de fibres ou en nid d'abeilles aux propriétés prometteuses.

Au-delà de l'idée d'alimenter des dispositifs du quotidien tels que des bracelets ou montres connectés, ces matériaux polymères multifonctionnels — flexibles, légers, poreux, bons isolants thermiques et bons conducteurs électriques — peuvent présenter un intérêt dans d'autres applications de conversion d'énergie.

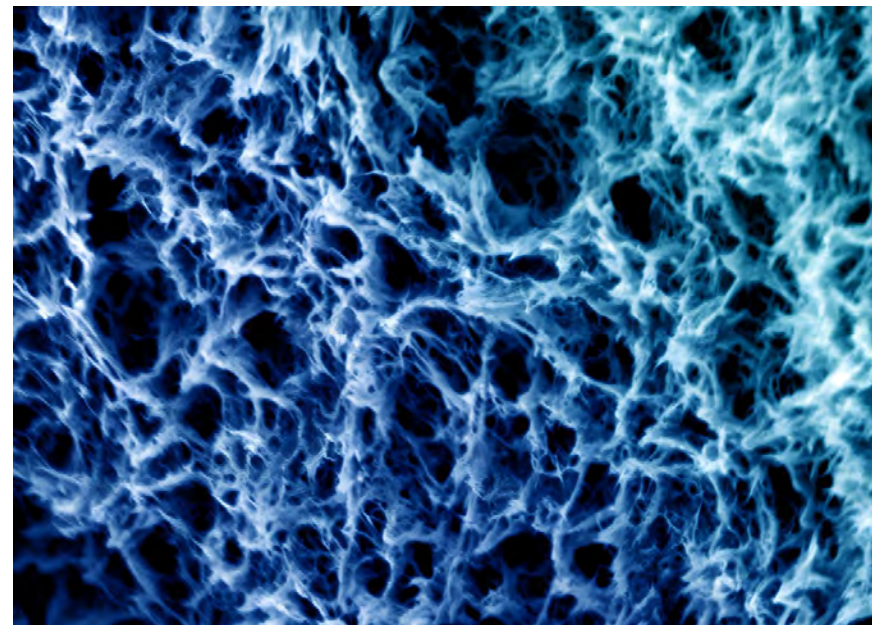
Affaire à suivre ● ● ●

*Institut Charles Sadron (CNRS)

¹Un polymère est une molécule de grande taille, résultant de la combinaison répétée de plusieurs molécules.

Structure poreuse fibrillaire observée au microscope électronique à balayage (image colorisée)

© Laure Biniék et Alain Carvalho/PLAMICS/ICS, CNRS



Les effets moléculaires de la caféine sur le cerveau



© Illustration Denise Bazin/medillus.com

Café, thé ou chocolat ? Les trois contiennent de la caféine, substance psychoactive la plus consommée au monde : elle modifie notre système cérébral avec des effets positifs sur la vigilance et l'attention. Mais on en sait peu sur les effets moléculaires d'une consommation régulière. À tel point que des scientifiques, à Strasbourg et Lille, ont mené un protocole expérimental, sans hypothèse a priori, pour comprendre l'action de la caféine sur les cellules cérébrales de l'hippocampe, zone clé de la mémoire.*

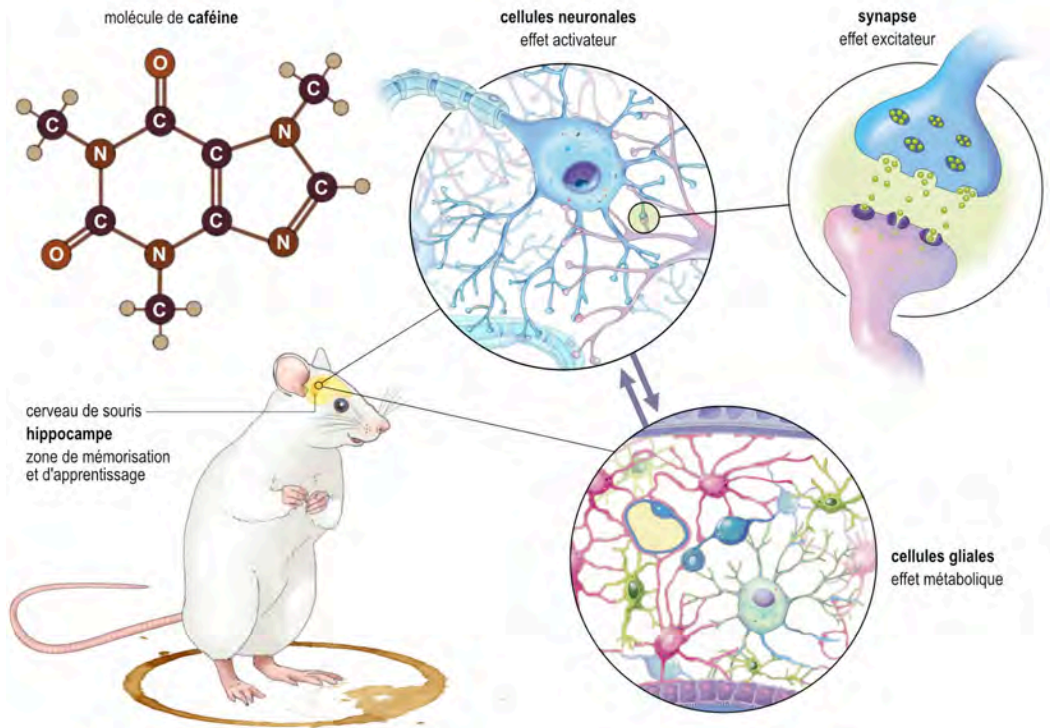
Les structures cérébrales contiennent des cellules neuronales et des cellules non neuronales, principalement des cellules gliales, qui remplissent diverses fonctions de soutien aux cellules neuronales.

Les chercheurs se sont intéressés aux effets de la caféine dans l'hippocampe, globalement, puis plus spécifiquement dans les neurones, qu'ils ont isolés de l'hippocampe et pour lesquels ils ont dressé les profils épigénétiques (changements opérés sur les gènes, induits par l'environnement au sens large) pour les comparer aux résultats obtenus sur les tissus hippocampiques entiers.

Pendant deux semaines, des souris ont reçu une dose de caféine, équivalente à la consommation humaine de 3 tasses de café par jour et différents protocoles ont été testés.

Les résultats** d'**analyses «omiques»** montrent que la caféine laisse des «traces» moléculaires persistantes, jusqu'à deux semaines après l'arrêt d'apport de caféine. Plus surprenant, sous le «régime caféine», 179 protéines sont produites en plus ou moins grande quantité qu'à la normale.

Chez les animaux au repos, la caféine diminue globalement les métabolismes énergétique et lipidique des tissus entiers. Mais à l'inverse, pour les



cellules neuronales, la caféine devient activatrice; les scientifiques observent une augmentation des gènes et protéines impliqués dans la signalisation, l'excitabilité et la plasticité neuronales.

Ces régulations ont des répercussions lorsque les souris sont mises en

situation d'apprentissage (activité de mémorisation spatiale) : la caféine suractive l'expression de gènes, effet attendu puisque l'hippocampe est mobilisé pour mémoriser une tâche, mais l'augmentation est bien plus forte chez les animaux sous caféine. De plus, on observe une augmentation des voies

métaboliques probablement dans les cellules gliales, alors qu'elles étaient diminuées en situation de repos.

La caféine préparant et facilitant ainsi la fonction de mémoire, les chercheurs poursuivent leurs investigations par une nouvelle étude impliquant des souris modèles de la maladie d'Alzheimer. Un essai clinique est également en cours avec des patients atteints de la maladie d'Alzheimer à Lille.

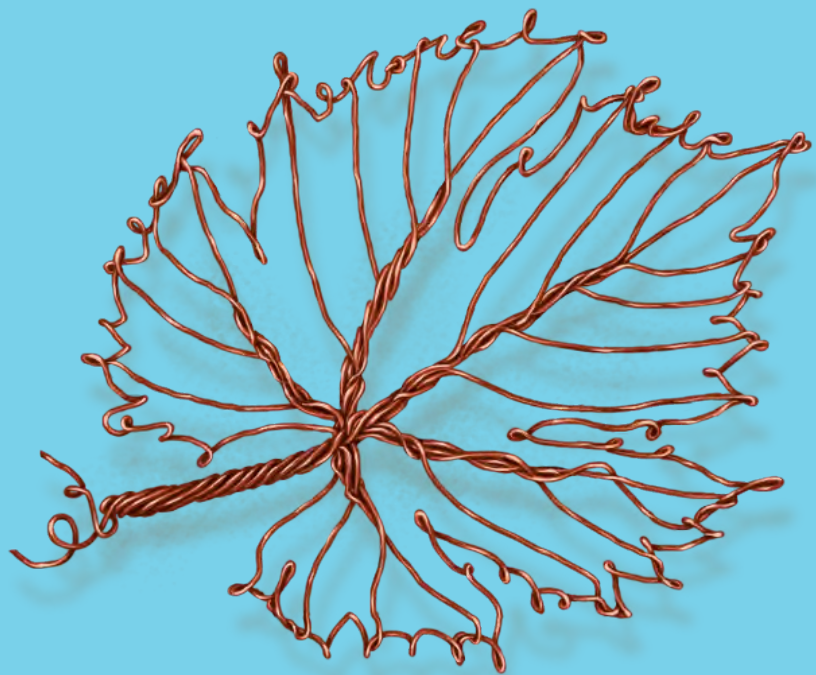
*Laboratoire de neurosciences cognitives et adaptatives (CNRS, Université de Strasbourg) en collaboration avec le laboratoire Inserm Lille Neurosciences & cognition

**The Journal of Clinical Investigation, mai 2022

Les analyses « omiques », quèsaco ?

Les biologistes analysent le niveau d'expression des gènes (analyses transcriptomiques), les variations épigénétiques modifiant cette expression (analyses épigénomiques), la nature des protéines (protéomique) et/ou l'identification d'autres molécules (métabolomique) présentes dans un tissu.

Cuivre dans les sols viticoles : saturation en vue !



© Illustration Denise Bazin/medillus.com

4 kg/ha/an de cuivre, c'est la quantité que les viticulteurs sont autorisés à répandre sur leurs parcelles, traitement principal contre des maladies liées aux champignons de la vigne¹. Cette limite, revue à la baisse en 2019 par la réglementation européenne, s'explique par la toxicité potentielle du cuivre pour les organismes du sol. Cependant, pour Gwenaël Imfeld, biogéochimiste du CNRS à l'Institut Terre et environnement de Strasbourg, « le danger n'est pas écarté, seulement repoussé ». Car le cuivre ne se dégrade pas, il s'accumule.*

Faut-il opposer le stock historique du cuivre inerte et non réactif, utilisé depuis la fin du 19^e siècle, à un stock récemment formé dans le sol, peu stable, réactif et potentiellement dangereux ?

G.I. La dynamique à prendre en compte est plus complexe, car le cuivre évolue différemment selon les couches du sol et le temps. Avec plusieurs scientifiques², nous avons utilisé une forme d'intelligence artificielle pour identifier les caractéristiques physico-chimiques du sol qui favorisent

l'accumulation et la toxicité du cuivre : les précipitations, l'acidité (pH<5,5) due à la nature des roches, et la teneur en carbone organique du sol, sont les facteurs clés. Dans le couvert végétalisé, un sous-bois par exemple, la matière organique du sol immobilise rapidement le cuivre. Le système sol-plante change l'acidité du sol (pH), et les composés organiques des racines contribuent à former des complexes qui diminuent le degré de toxicité du cuivre.

Dans les couches caillouteuses, les

résidus de cuivre sont eux aussi peu toxiques, ils peuvent cependant être remis en circulation selon les conditions hydro-climatiques, phénomène que le changement climatique ou l'érosion des sols accentue.

Est-ce que le cuivre peut être exporté avec les eaux de pluie ?

G.I. Oui, mais l'export du cuivre est inférieure de deux ordres de grandeur par rapport à l'accumulation mesurée dans les sols. Ce transfert affecte, d'une part les rivières et les nappes phréatiques par le ruissellement des eaux, et d'autre part, des parcelles jusque-là sans cuivre. On peut alors redouter un risque toxicologique supplémentaire, par la combinaison du cuivre et des fongicides de synthèse déjà présents ou « effet cocktail ».

Est-ce qu'il existe d'autres risques, qui ne font pas partie de l'étude que vous avez menée ?**

G.I. D'après la bibliographie (résultats scientifiques d'autres chercheurs), l'apport continu de cuivre réduit la biodiversité du sol, celle des macro-organismes (vers de terre, oiseaux, etc.), et celle des microorganismes (dont

les innombrables et indispensables bactéries, champignons et algues du sol). Cette réduction est aussi un détonateur pour créer des résistances aux traitements actuels. Pour conclure, il n'y a pas d'utilisation inoffensive du cuivre, et une quantité-limite ne veut pas dire que la qualité des sols est assurée ou peut être restaurée.

¹ Le mildiou est le nom générique d'une série de maladies affectant de nombreuses espèces de plantes provoquées par des « pseudo champignons », des microorganismes appelés oomycètes.

² PACOV, Plateforme Alsacienne du Cuivre d'Origine Viticole.

*Institut Terre et environnement de Strasbourg (CNRS, Université de Strasbourg, ENGEEES)

***Environmental Science & Technology*, mai 2021

Coup de pouce de l'IA pour réduire le CO₂ industriel



La transition énergétique nécessite une réduction drastique des émissions de CO₂ provenant des installations industrielles alimentées par des combustibles fossiles. Cette ambition exige des technologies performantes de capture et stockage du carbone auxquelles s'est intéressée l'équipe d'Alexandre Varnek du laboratoire Chimie de la matière complexe*.

Le dispositif le plus utilisé actuellement par l'industrie repose sur l'absorption : le CO₂ émis par un procédé industriel est absorbé par un solvant, généralement un mélange d'amines (composés contenant un azote) en solution aqueuse avec un activateur. Le solvant est ensuite régénéré et le CO₂ en est séparé, mais au prix d'une grande quantité d'énergie. Modifier le solvant pour rendre les conditions de sa régénération plus favorables permet de bénéficier des infrastructures actuelles tout en diminuant sensiblement les besoins énergétiques du procédé. Il est donc indispensable de trouver de nouveaux composés : des amines tertiaires capables de capturer efficacement le CO₂ et nécessitant moins d'énergie pour être régénérés.

Une démarche directe consiste à tester un grand nombre de produits susceptibles de répondre au cahier des charges imposé par la problématique, méthode particulièrement longue et coûteuse.

Quèsaco 'In silico'

En référence aux puces des ordinateurs composées de silicium, l'expression a été inventée pour désigner une modélisation informatique. L'approche *in silico* complète ou remplace des expériences *in vitro* (à l'échelle de la cellule) et *in vivo* (à l'échelle de l'organisme vivant entier, sur un modèle animal ou sur les humains lors d'essais cliniques).

Une nouvelle approche de criblage *in silico* a été mise en place par les chercheurs de Strasbourg, alliant la

simulation numérique à l'apprentissage automatique via l'intelligence artificielle (IA). Les données (extraites de la littérature scientifique expertisée par les chercheurs) liées aux taux d'absorption de CO₂ de 24 amines ont servi de base à la construction d'un modèle, bâti par simulation moléculaire, destiné à prédire le taux d'absorption de CO₂ d'une amine quelconque. Les structures d'une centaine d'autres amines ont ensuite été évaluées par ce modèle, qui, grâce à l'intelligence artificielle, a sélectionné certaines d'entre elles comme étant les plus aptes à répondre aux exigences du cahier des charges.

Ces composés optimaux ont ensuite été soumis à des tests expérimentaux dans une installation industrielle pilote au sein de la société TotalEnergies. Les résultats expérimentaux améliorent d'environ 30% les performances en comparaison du solvant de référence, standard industriel actuel.

Communications Chemistry, mars 2022

*Laboratoire Chimie de la matière complexe (CNRS, Université de Strasbourg)



Scruter l'infiniment petit

© Patrick Dumas/CNRS/CEA

Les technologies déployées pour scruter l'infiniment petit de la matière n'en finissent pas d'émerveiller Caroline Collard, physicienne au CNRS. Ce n'est pas par hasard qu'elle pose sous la fresque Collision de particules à l'institut pluridisciplinaire Hubert Curien. C'est en effet depuis Strasbourg qu'elle épluche les données issues du détecteur CMS¹ installé sur l'anneau du Grand Collisionneur de Hadrons (LHC), l'accélérateur de particules le plus puissant au monde, au CERN² à Genève. De sa traque aux particules exotiques, elle espère trouver une preuve expérimentale d'une nouvelle (théorie) physique, au-delà du modèle standard actuel de la physique des particules développé dans les années 60.*

*Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (CNRS, Université de Strasbourg, Université de Haute-Alsace)

¹CMS : Solénoïde compact pour muons.

²Le CERN, créé en 1952 sous le nom de Conseil européen pour la recherche nucléaire, est le laboratoire européen pour la physique des particules.



© Nicolas Busser/CNRS

Fresque « Trajectoire dans une chambre à bulles »,
campus CNRS de Cronenbourg, Strasbourg.

**Le
SAVIEZ-
VOUS ?**

Cette fresque a été réalisée en 1989 sur le bâtiment de physique corpusculaire à partir d'une photo de collision de particules dans une chambre à bulles, un dispositif supplanté par les détecteurs électroniques mais qui a pourtant permis à Carlo Rubbia d'obtenir le prix Nobel en 1984.



Quand les plantes
sortirent
de l'eau

© Illustration Catherine Berger/CNRS



Mousse *Physcomitrium patens* qui sert de modèle d'étude aux scientifiques.

© Hugues Renault/IBMP, CNRS

Les premiers végétaux à avoir colonisé les terres émergées il y environ 500 millions d'années ont été des plantes sans fleurs ni graines, semblables à nos mousses et hépatiques actuelles.

Lors de leur sortie des eaux, ces plantes ont été soumises à un bouleversement majeur de leur environnement qui s'est accompagné de l'apparition de nouvelles contraintes telles que le déficit hydrique, des variations importantes de température, des rayonnements solaires intenses, ou encore l'exposition à de nouveaux organismes, parfois pathogènes.

Les modalités de cette évolution demeurent très difficiles à étudier ; ces anciennes plantes, dépourvues de structures rigides, n'ont en effet laissé que très peu de traces derrière elles (par exemple, des fossiles).

seul et même ancêtre commun. A terme, les connaissances sur les barrières protectrices des plantes permettraient de favoriser leur résistance au manque d'eau et à l'élévation des températures dans un contexte de crise climatique.

*Institut de biologie moléculaire des plantes (CNRS).

Un élément majeur de l'adaptation des plantes à la vie hors de l'eau a été la formation de « barrières extracellulaires ». Ces couches protectrices permettent aux cellules végétales de se protéger des UV, de se rigidifier ou encore de préserver leurs flux d'eau.



Quatre macromolécules en assurent les principales fonctions : la cutine, la subérine, la sporopollénine et la lignine. C'est l'évolution de ces macromolécules qui intéresse plus particulièrement une équipe de chercheurs de l'Institut de biologie moléculaire des plantes* à Strasbourg. En étudiant la composition chimique de ces structures, et en la comparant à différentes espèces de plantes et d'algues, ils ont émis l'hypothèse qu'elles dériveraient d'un

*Les premiers végétaux à avoir colonisé nos sols ont été des plantes sans fleurs ni graines, probablement semblables à nos hépatiques actuelles. Plante hépatique *Marchantia polymorpha* qui sert de modèle d'étude aux scientifiques.*

© Hugues Renault/IBMP, CNRS

Agents dormants pour la photopolymérisation

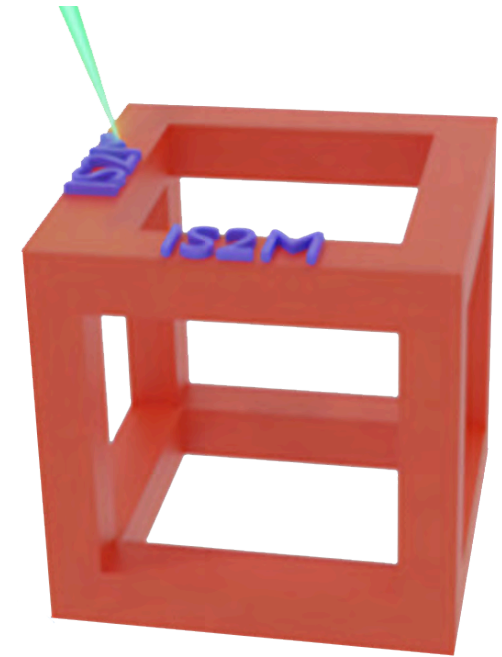
La micro-impression 3D par photopolymérisation, à présent largement répandue, est utilisée pour des applications en ingénierie tissulaire, microrobotique, photonique. Elle sert par exemple au marquage anti-contrefaçon, à faire des capteurs ou même des outils chirurgicaux miniaturisés. Cependant, les objets réalisés ne sont plus modifiables par la suite. Or, leurs propriétés de surface — mécaniques, chimiques, de texture — doivent être modulables pour y associer une action. Comment leur donner des propriétés évolutives ?

Et d'abord, qu'est-ce que la photopolymérisation ?

On expose une résine liquide composée d'un monomère (la brique élémentaire) et d'un photoamorceur (une molécule particulière captant la lumière) à une source de lumière. Les zones exposées à la lumière vont polymériser grâce à l'énergie lumineuse, captée puis transformée en énergie chimique par le photoamorceur. Les monomères vont alors se lier les uns aux autres pour former de longues chaînes grâce à l'énergie reçue, puis former un polymère solide.

La micro-impression 3D, quant à elle consiste à utiliser une source de lumière très focalisée pour créer un micro-objet selon un schéma préétabli.

Mais, une fois l'objet réalisé, il ne peut plus être modifié. Les chercheurs de l'Institut de science des matériaux de Mulhouse* ont alors remplacé la première étape de photopolymérisation où les chaînes polymères formées sont dites « mortes », par une technique particulière, la



© Q. Bauertlin & A. Spangenberg/IS2M

polymérisation radicalaire contrôlée, reposant sur des chaînes polymères dites « vivantes ». Elles comportent un « agent dormant » qui permet de réactiver la photopolymérisation à la surface de l'objet. On peut ensuite additionner sur l'objet des couches successives de monomères aux propriétés distinctes, telles que la rigidité ou au contraire la flexibilité, la conductivité ou l'isolation électrique, thermique, etc. L'utilisation d'une source de lumière focalisée permet de localiser précisément ces

modifications sur la surface de l'objet.

Dans ce travail, les chercheurs ont utilisé un polymère qui réagit à la température, le PNIPAM, utilisé comme biocapteur ou pour le largage de médicaments. Ils ont commencé par fabriquer une plaque carrée de 10 micromètres de côté comportant l'agent dormant. Ils ont ajouté une goutte de résine et ont réamorcé la polymérisation par la lumière, grâce à l'agent dormant, pour former une structure en nid d'abeille. Ils ont réussi à faire varier la hauteur de la structure avec la température, donnant ainsi un caractère évolutif au micro-objet imprimé.

Advanced Functional Materials, avril 2022.

* Institut de science des matériaux de Mulhouse (CNRS, Université de Haute Alsace)

**Le
SAVIEZ-
VOUS ?**

La micro-impression 3D permet de réaliser des objets avec une finesse de détail inférieure à 0,5 micromètres ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$), sachant que le diamètre d'un cheveu est compris entre 50 et 100 micromètres.

Capteur bioinspiré

Les antennes en forme de peigne du Bombyx du mûrier se caractérisent par une forte capacité à détecter de très faibles concentrations de phéromone. Les chercheurs s'en sont inspirés pour élaborer, à l'échelle du micromètre, des superstructures en 3 dimensions hiérarchisées, organisées et hautement verticales, pour détecter des gaz mortels comme le sarin. Un défi de conception et de synthèse !

Applied Materials Today, janvier 2022

Nanomatériaux pour les systèmes sous sollicitations extrêmes, NS3E (Institut Saint-Louis, Université de Strasbourg, CNRS)

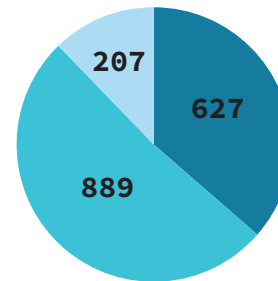
Institut de chimie et procédés pour l'énergie, l'environnement et la santé (CNRS, Université de Stasbourg)

Le CNRS en Alsace

Le Centre national de la recherche scientifique est un organisme public dont la mission est de mener des recherches fondamentales, pour faire avancer les connaissances dans toutes les disciplines. L'approche est multidisciplinaire, tournée vers le long terme, ouverte sur l'inconnu et pour le bien commun. Le CNRS soutient plus de 1 100 laboratoires de recherche répartis à l'étranger et dans 17 délégations régionales, dont la délégation du CNRS en Alsace.

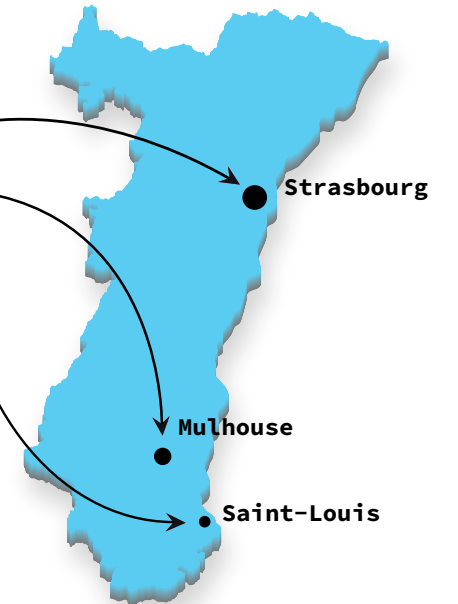


1 723
personnels
dont



- Etudiants en Doctorat
- Ingénieurs et techniciens
- Chercheurs

42
Laboratoires



Les recherches présentées ont bénéficié d'équipements ou de financements attribués, pour tout ou partie par l'Union européenne, la Région Grand Est, la Communauté européenne d'Alsace, l'Eurométropole de Strasbourg, Mulhouse Alsace Agglomération, l'Agence nationale de la recherche, ainsi que du soutien de nombreux partenaires académiques, industriels et associatifs.

Ce livret a été réalisé sans intelligence artificielle mais avec l'intelligence collective des membres du comité scientifique du rapport d'activité « Une année avec le CNRS en Alsace » et du réseau communication des laboratoires de recherche de la délégation du CNRS en Alsace.

Ont participé :

Lauren Bakir, DRES ; Ambre Bender, BSC ; Cathy Blanc-Reibel, LinCS ; Anne-Christine Bronner, SAGE ; Sébastien Derrière, Observatoire astronomique de Strasbourg; Agnès Gaudry, ARN ; Brigitte Guarnieri, délégation CNRS Alsace ; Marie-Christine Hanf, IS2M ; Sophie Le Ray, délégation CNRS Alsace ; Fanny Monneaux-Gadroy, I2CT ; Jean-Serge Remy, CAMB ; Marjorie Schmitt, LIMA.

Donnez votre avis sur SCIENCE infuzz !



CNRS délégation Alsace
23 rue du Loess
67037 Strasbourg cedex 2
communication@alsace.cnrs.fr

SCIENCE infuzz

Directeur de la publication : Géraud Delorme
Responsable de la rédaction : Céline Delalex-Bindner
Rédactrice en chef : Magali Sarazin
Conception graphique : Olivier Fély, Catherine Berger - IPHC

Imprimé par Ott Imprimeurs, Wasselonne 67
Dépôt légal : octobre 2023

