

LE PETIT
ILLUSTRÉ
EUROPE

EUROPE

Regards croisés de chercheur·es

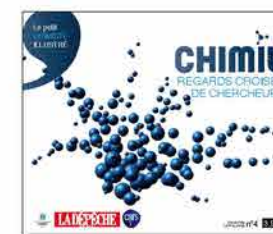
LA DÉPÊCHE
DU MIDI

4,90 €

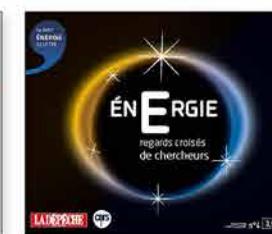
n°50
COLLECTION
PETIT ILLUSTRÉ

cnrs

2011



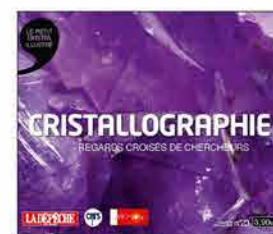
2012



2013



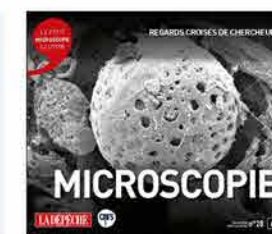
2014



2015



2016



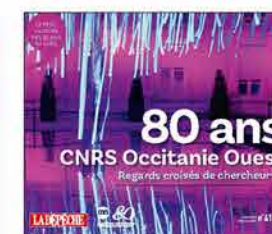
2017



2018



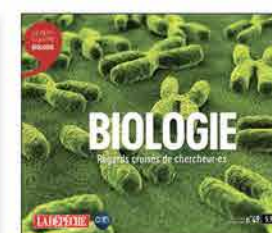
2019



2020

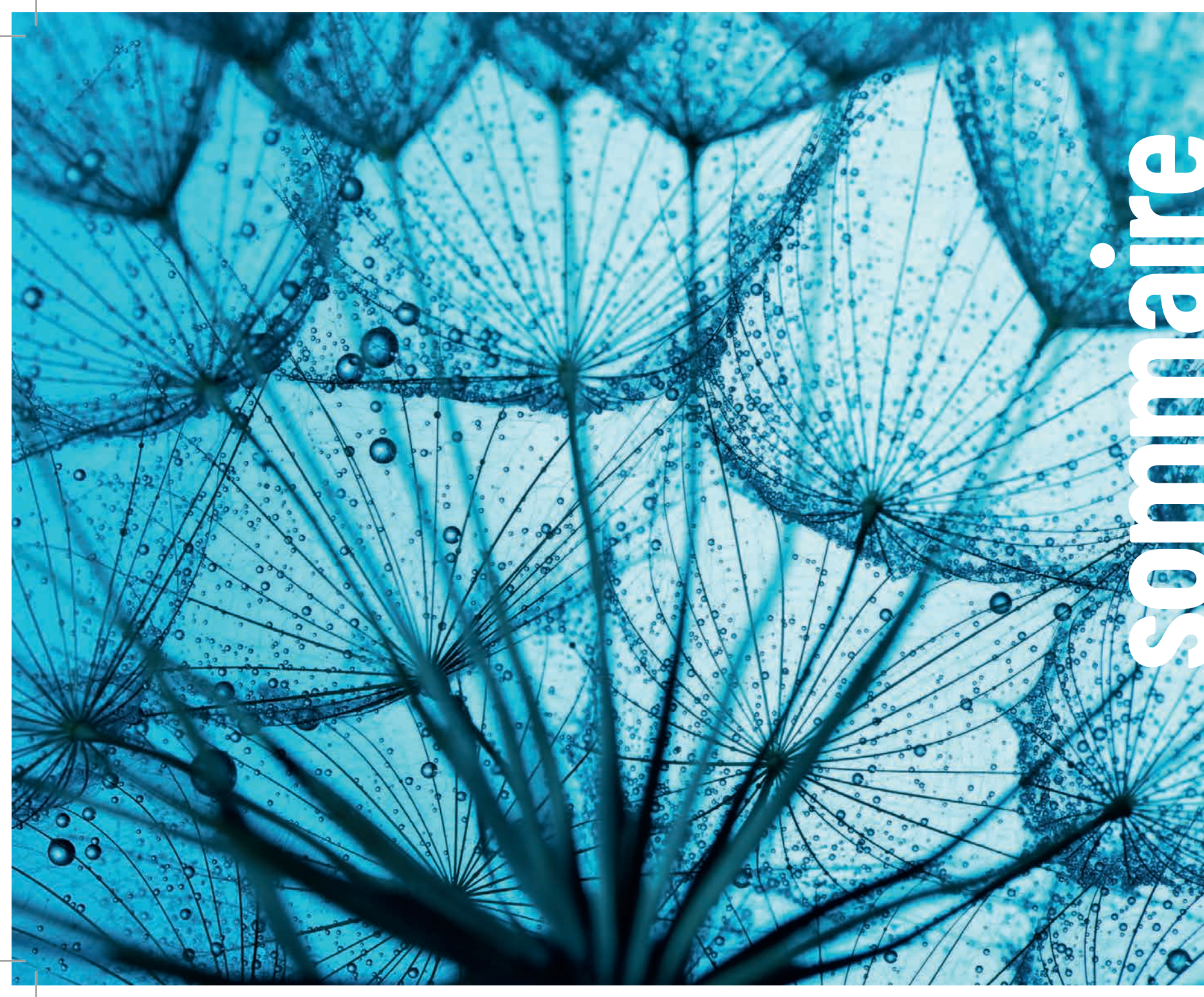


2021



2022





sommaire

Page 1	L'Europe de la recherche : éditorial
Pages 2-3	Horizon Europe
Pages 4-5	Infrastructures de recherche en Occitanie-Ouest

Pages 6-11 BIOLOGIE-SANTÉ

Page 7	Organisation des chromosomes et longévité
Page 8	La face cachée de la mort de nos cellules
Page 9	Réparer les gènes endommagés
Page 10	Des colis empoisonnés pour tuer les cellules tumorales
Page 11	Une arène virtuelle pour comprendre l'intelligence des insectes

Pages 12-15 ÉCOLOGIE-ENVIRONNEMENT

Page 13	Du prédateur au microbiote et vice-versa
Page 14	Évolution de symbioses chez les plantes
Page 15	Les [nano] fertilisants foliaires, quel potentiel pour mieux enrichir les cultures ?

Pages 16-19 HUMAIN-SOCIÉTÉ

Page 17	Au nom du père
Pages 18-19	Retracer l'épopée historique du cheval domestique

Pages 20-23 UNIVERS

Page 21	La chimie riche des régions de formation d'étoiles
Pages 22-23	Mieux comprendre la formation des vents solaires

Pages 24-29 TRANSITION CLIMATIQUE

Page 25	La neige et ses multiples facettes
Pages 26-27	Manger du poisson rend-il plus adaptable ?
Pages 28-29	Capture et stockage du CO2 dans un contexte de changement climatique

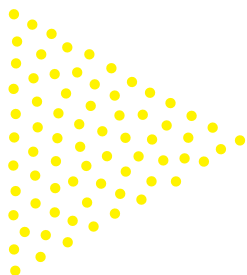
Pages 30-35 TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Page 31	Voler dans des avions à hydrogène
Page 32	Stocker plus d'énergie dans les matériaux : effet bénéfique du confinement
Page 33	La micromécanique au service du couplage oxydation-mécanique
Pages 34-35	Les nanothermites, un concentré d'énergie

Pages 36-39 RECHERCHE : L'OREILLE ATTENTIVE DE L'EUROPE

Ce Petit Illustré contient un encart de six pages, entre les pages 20-21, consacré aux lauréats et lauréates des Actions Marie Skłodowska-Curie

L'EUROPE DE LA RECHERCHE



Depuis le 1^{er} janvier 2022, la France a pris, pour six mois, la présidence du Conseil de l'Union européenne (PFUE), avec l'objectif de développer « une Europe plus solidaire et plus souveraine. » Cette présidence est l'occasion de porter à l'échelle européenne les grandes orientations françaises en matière de recherche scientifique et d'innovation (R&I).

En tant que premier bénéficiaire européen des différents programmes-cadres de la recherche et de l'innovation, le CNRS s'est mobilisé en organisant et en participant à de multiples événements qui donnent à voir et à penser cette Europe de la recherche scientifique et de l'innovation.

À Toulouse, nous avons fait le choix de consacrer ce Petit Illustré, 12^e numéro de la collection proposée par le CNRS et La Dépêche du Midi, à ce sujet.

En effet, le précédent programme cadre européen « H2020 » (2014-2020) était doté d'une enveloppe de 64,6 milliards d'euros et il a financé 721 projets de recherche fondamentale et d'innovation pour des laboratoires académiques et

industriels de la région Occitanie-Ouest à hauteur de 392 M€.

Du côté des bourses attribuées par l'*European Research Council* (ERC), ce sont 57 projets de très haut niveau – pour un budget total de 101,3 M€ – qui sont actuellement hébergés au sein des laboratoires sous tutelle CNRS. Plus de la moitié d'entre eux relèvent des domaines de la biologie, des sciences de la terre et de l'univers, ou encore des sciences humaines et sociales. Ce sont 25 de ces projets que nous vous proposons de découvrir dans ce numéro spécial Europe ; ils sont à l'image des forces du site et de l'excellence des travaux scientifiques en cours.

Viennent les compléter, en encart, quelques portraits de jeunes scientifiques bénéficiant des bourses Marie Skłodowska-Curie Actions, programme consacré aux ressources humaines et à la mise en valeur des carrières des chercheurs. Comme vous le lirez, les clefs de sa réussite se résument en trois caractéristiques : programme blanc, formation, mobilité.

Enfin, grâce à quelques exemples qui ne manqueront pas de vous surprendre, nous vous invitons à découvrir des sujets qui utilisent des financements européens au plus près des citoyens et des citoyennes.

Je vous souhaite une bonne lecture.

**Christophe Giraud,
Délégué Régional
du CNRS Occitanie Ouest**

HORIZON EUROPE :

un programme européen tourné vers les questions sociétales



CONTRIBUTION

Etienne Snoeck, responsable du pôle Europe à la DERC-CNRS, directeur de recherche au CNRS

Au début de l'année 2021, l'Union européenne a lancé son 9^e Programme cadre en recherche et innovation « Horizon Europe » (HE). Ce programme, doté d'un budget jamais égalé de 95,5 milliards d'euros pour la période 2021-2027, est radicalement tourné vers l'avenir comme le souligne Carlos Moedas, commissaire européen à la recherche, à l'innovation et à la science de 2014 à 2019 : « Investir dans la recherche et l'innovation, c'est investir dans l'avenir de l'Europe, dans la connaissance et dans de nouvelles solutions [...]. À ce titre, Horizon Europe est le programme de recherche et d'innovation le plus ambitieux jamais entrepris. »

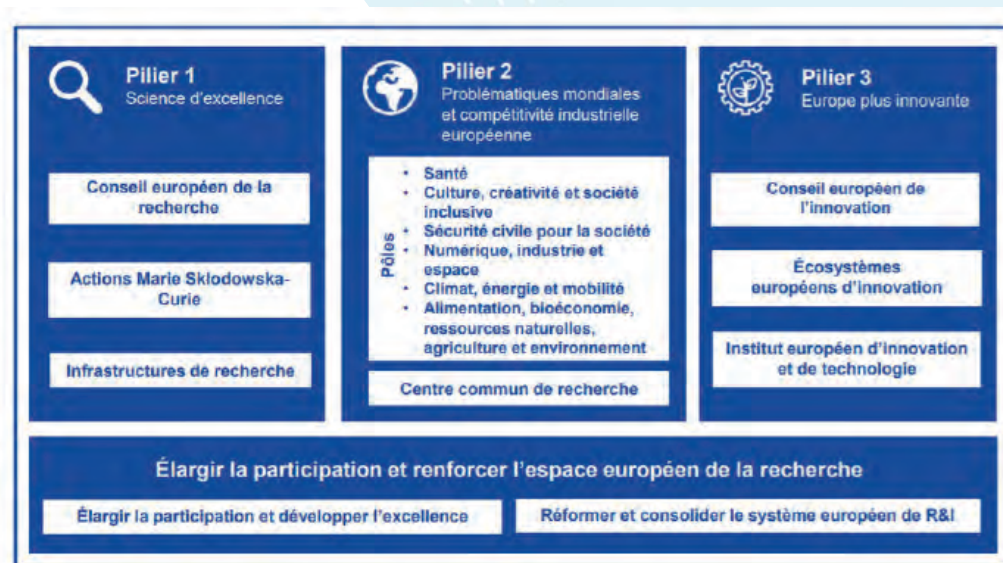
Outre la volonté d'offrir une plus grande visibilité à la recherche et à l'innovation, Horizon Europe vise à attirer et financer les meilleurs talents et soutenir des travaux scientifiques et des initiatives focalisés sur les grands enjeux mondiaux actuels et à venir qu'affrontent nos sociétés. Il a ainsi pour ambition de contribuer à apporter des réponses aux problématiques concernant la transition climatique, l'épuisement des ressources énergétiques et des matières premières, les

questions de santé, de sécurité, du numérique, celles de l'égalité entre les femmes et les hommes et entre les diverses populations du monde, les questions d'alimentation, d'agriculture et d'environnement.

Pour faire face à ces enjeux, le programme Horizon Europe vise à renforcer les bases scientifiques et technologiques de l'Union européenne ; stimuler sa compétitivité (y

compris celle de son industrie) et concrétiser les priorités politiques stratégiques de l'Union en matière de recherche et d'innovation. À cet effet, le programme HE est structuré autour de quatre piliers (cf. figure) :

1. L'excellence scientifique, pilier que nous allons détailler ici, soutient des projets de recherche fondamentale au travers les bourses du Conseil Européen de la Recherche (voir



pages suivantes) qui financent également des échanges et des bourses pour les doctorants et doctorantes dans le cadre des actions Marie Skłodowska-Curie Actions (voir encart). C'est également dans ce pilier de l'excellence scientifique que sont financés la mise en réseau, l'accès et le développement des grandes infrastructures de recherche.

2. Les problématiques mondiales et la compétitivité industrielle européenne avec pour objectif de soutenir les travaux et les recherches entre équipes européennes concernant les problématiques sociétales telles que la santé ; une société plus inclusive, créative et sûre ; les questions du numérique ; des énergies ; de l'environnement ; du climat ; de l'industrie,

de l'alimentation ; de la bioéconomie et des ressources naturelles. Ce pilier est celui qui recueille la majeure partie (57%) des budgets de HE.

3. L'Europe innovante vise à soutenir l'innovation au travers notamment d'un Conseil européen de l'innovation qui coordonne les actions européennes et les initiatives nationales et locales entre partenaires industriels et académiques

4. Un quatrième pilier transversal vise à élargir la participation des états de l'Union et renforcer l'espace européen de la recherche en attirant des talents et favorisant leur circulation.



Doté de 95,5 milliards d'euros, Horizon Europe est le programme de recherche et d'innovation le plus ambitieux jamais entrepris

L'Europe en soutien aux projets de recherche et d'innovation des laboratoires et des scientifiques du site toulousain

Les enjeux sociétaux au cœur des préoccupations du programme « Horizon Europe » constituent les grandes questions qui mobilisent les laboratoires du site toulousain, les collectivités territoriales et leurs partenaires industriels. Depuis plusieurs années, les laboratoires, les organismes de recherche et les établissements universitaires toulousains se sont investis dans le montage et la coordination de projets financés par l'Union Européenne. Lors du précédent programme cadre « H2020 » (2014-2020), l'UE a ainsi soutenu 721 projets impliquant

des laboratoires académiques et industriels de la région Occitanie Ouest avec une contribution de 392 M€, principalement dans les domaines des sciences de la matière, de la terre et de l'Univers ; de l'ingénierie et des technologies ; des sciences de la vie et de l'environnement ; des sciences humaines et sociales ; de la santé et de l'agronomie. Une des actions emblématiques des Programmes Cadre en Recherche et Innovation (PCRI) est le financement de projets de recherche individuels ERC « European Research Council ». Ils permettent de mener à bien des recherches très focalisées dans tous les domaines des

sciences grâce à des financements importants pouvant atteindre 2.5 M€ sur 5 ans. D'autres actions des PCRI de l'UE visent à soutenir des projets collaboratifs dans lesquels des laboratoires s'associent à d'autres équipes de recherches et éventuellement des partenaires industriels européens. Ces PCRI permettent, au travers de bourses Marie Skłodowska-Curie Actions, l'accueil et la formation d'étudiant-es étranger-es venant effectuer des thèses dans nos laboratoires ; ils permettent également de soutenir des Infrastructures de recherche locales en finançant leur développement et leur accès à la communauté internationale.

INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Les Infrastructures de recherche (IR) ont une place particulière parmi les outils de la recherche scientifique européenne. Elles fournissent des ressources et des services exceptionnels dans de multiples domaines scientifiques soit sur un site unique, ou distribués sur plusieurs endroits ou bien virtuelles.

L'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP)

Leader européen sur les Infrastructures de recherche du domaine environnement, il fédère les laboratoires des sciences de l'Univers, de la planète et de l'environnement en Occitanie Ouest autour des missions de recherche, d'observation, d'enseignement, de diffusion de la culture scientifique et de coopération internationale sous l'égide de l'Université Paul Sabatier, du CNRS, de l'IRD, du CNES et de Météo France.

Parmi ces IR, **IAGOS** (In-service Aircraft for a Global Observing System) est une IR internationale qui utilise les avions commerciaux pour la mesure automatique de la composition chimique de l'atmosphère. La base de données IAGOS gérée par Data Terra (AERIS) constitue la plus importante base de données *in situ* caractérisant la troposphère du sol à 12 km d'altitude. Dans

le domaine Environnement, l'OMP est aussi un acteur incontournable qui coordonne les IR : **ICOS** (Étude du cycle du carbone), **ACTRIS** (Mesures des aérosols, nuages et gaz traces), **ANAE** (Étude des écosystèmes terrestres et aquatiques), **eLTER/OZCAR** (Étude de la zone critique, pellicule la plus externe de la Terre, siège d'interactions chimiques entre l'air, l'eau et les roches, siège de la vie

sur Terre), **RESIF/EPOS** (mesures sismologiques, géodésiques et gravimétriques continues, pour comprendre le système dynamique et complexe de la Terre solide). Au niveau européen, ces infrastructures participent toutes au **cluster ENVRI** (Environmental Research Infrastructures) ensemble d'infrastructures qui joue un rôle majeur dans la construction de l'Espace européen de la recherche.

La mission des Infrastructures de Recherche (IR) est de fournir des données et des services uniques pour répondre aux questions que se posent les communautés scientifiques internationales et favoriser l'innovation. Leur taille et leur niveau de technologie, la nécessité de maintenir leurs performances au meilleur niveau, la gestion de leur accès aux utilisateurs et utilisatrices venu-es du monde entier... en font des instruments par essence internationaux que l'Union Européenne soutient financièrement. Parmi ces IR on trouve les grands équipements scientifiques remarquables (télescopes, accélérateurs de particules...) ; des ressources cognitives (collections, archives et bibliothèques scientifiques) ; des infrastructures virtuelles (bases de données, systèmes informatiques et réseaux de communication).

À l'échelle locale, la structuration en IR est une opportunité pour les communautés scientifiques impliquées. Le label IR permet de projeter les recherches sur un

temps long et de maintenir les équipements au meilleur niveau international. L'appartenance à une IR européenne ouvre en outre la porte à des collaborations fécondes avec les nombreux utilisateur·rices étranger·es permettant d'atteindre une masse critique d'excellence en termes de personnels, de ressources, et d'utilisateur·rices. Ces IR s'inscrivent ainsi dans l'objectif européen de fournir des outils et des bases de données indispensables à la communauté scientifique lui permettant de mener les nécessaires études interdisciplinaires en se projetant dans l'avenir. Les chercheurs et chercheuses de la région toulousaine ont, de tout temps, développé des équipements expérimentaux uniques et des services exceptionnels. La région accueille ainsi plusieurs Infrastructures de Recherche uniques au monde attirant les chercheur·es du monde entier. Découvrons-les ensemble.

IBISBA

« Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Acceleration »

IBISBA est une IR translationnelle ayant pour stratégie d'assimiler les résultats de la recherche fondamentale pour accompagner des projets de recherche et d'innovation visant la mise au point de preuves de concepts et la réalisation d'essais à l'échelle pilote.

Créée à Toulouse Biotechnology Institute et à Toulouse White Biotechnology, IBISBA est une IR distribuée dont les plateformes se trouvent dans 8 pays de l'Union européenne et au Royaume-Uni.

L'IR **PROGEDO** a pour but de développer la culture des données quantitatives, d'impulser et structurer une politique des données d'enquêtes pour la recherche en SHS. La Plateforme Universitaire de données de Toulouse, PUD-T, de la Maison des sciences de l'Homme et de la société est une émanation locale de PROGEDO qui participe elle-même à trois consortiums européens permettant des analyses longitudinales de tous les pays membres.

Le Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI)

Une IR pour les études de physique des champs magnétiques pulsés très intenses.

Depuis les années 70, ce laboratoire développe une expertise unique dans la production de champs magnétiques intenses par des techniques de décharge simultanée de plusieurs batteries de condensateurs dans des bobines en alliages de cuivre. Le **LNCMI** est devenu le membre fondateur et un des quatre piliers de l'infrastructure européenne European Magnetic Field Laboratory (**EMFL**) qui offre l'accès à des mesures en champs magnétiques très intenses à tous les chercheur·es universitaires ou industriels demandeurs. Cette IR mutualisée, unique en Europe, permet, par son modèle économique original, d'investir dans de nouvelles technologies et rester au meilleur niveau mondial, en compétition directe avec les centres équivalents aux États-Unis, en Chine ou au Japon.

B I O L O G I E

S A N T É

Depuis 2014, dans les domaines biologie/santé, onze projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur-es CNRS pour un montant de 21,1 millions d'euros.



**11
PROJETS
×**

**21,1
MILLIONS
D'EUROS**



ORGANISATION DES CHROMOSOMES ET LONGÉVITÉ



Laure Crabbé, Unité de biologie
Moléculaire, cellulaire et du
développement / MCD/CBI
(CNRS, UT3)

Tout organisme vivant est constitué de cellules, chacune renfermant une copie du matériel génétique stockant les informations essentielles pour son bon fonctionnement. Ces informations sont contenues dans les molécules d'ADN qui constituent les chromosomes, spatialement distribués dans un compartiment cellulaire nommé le noyau.

teloHOOK

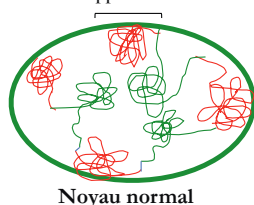
Nuclear envelope attachment
and dynamics of Human
Telomeres – unravelling
nuclear organization

Comparable à une bibliothèque contenant de très nombreux livres dans un espace restreint, les chromosomes doivent être particulièrement bien organisés pour que l'information qu'ils contiennent puisse être utilisée/lue de façon optimale. L'enveloppe nucléaire qui entoure le noyau et le sépare du reste de la cellule constitue un élément essentiel dans cette organisation. En effet,

les parties de chromosomes positionnées à proximité de cette enveloppe sont volontairement réprimées, ce qui signifie que les gènes de ces régions sont peu ou pas exprimés. Au contraire, les portions des chromosomes localisées à l'intérieur du noyau sont plus actives.

Une pathologie humaine rare nommée HGPS (*Hutchinson-Gilford progeria syndrome*) est due à une altération de la structure de la membrane nucléaire affectant ses propriétés. Grâce à teloHOOK, notre projet européen, nous avons pu montrer que l'organisation du génome est altérée dans les cellules en présence de ce syndrome. L'information n'est plus stockée de façon optimale, ce qui perturbe grandement les fonctions du génome et sa stabilité. Ce sont en particulier les télomères, extrémités naturelles des chromosomes essentiels à la longévité, qui sont désorganisés. Cela conduit à une accélération du vieillissement cellulaire qui provoque une accélération du vieillissement de l'organisme observé lors de ce syndrome.

Portion de chromosomes proches
de l'enveloppe nucléaire



Noyau normal



Information organisée



Noyau HGPS



Information désorganisée,
perte d'identité cellulaire
et vieillissement prématuré

★ Dans le noyau d'une cellule normale, les chromosomes sont bien organisés avec des régions proches de l'enveloppe nucléaire, et des régions plutôt localisées au centre. Cette organisation permet une lecture optimale de l'information génétique. Dans le noyau d'une cellule HGPS (*Hutchinson-Gilford progeria syndrome*), l'intégrité de l'enveloppe nucléaire est altérée, conduisant à une désorganisation du matériel génétique et une mauvaise lecture de son information qui conduit à un vieillissement prématuré.

©Anna Kychygina & Laure Crabbé, MCD/CBI

LA FACE CACHÉE DE LA MORT DE NOS CELLULES

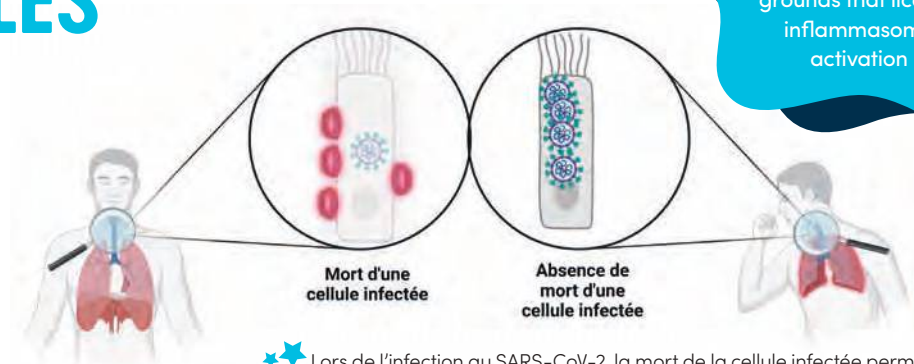


CONTRIBUTION

Etienne Meunier,
Institut de pharmacologie et de
biologie structurale / IPBS (CNRS, UT3)

Étudier la mort des cellules c'est chercher à comprendre le rôle de la mort cellulaire dans la lutte contre les infections.

Le corps fonctionne sur le même modèle que les plantes. À l'automne, les feuilles des arbres meurent et tombent. En faisant cela, elles nourrissent la terre pour que les arbres puissent, au printemps, à nouveau former de nouvelles feuilles. Notre corps suit le même fonctionnement mais en accéléré. Ainsi, nos cellules, éléments essentiels à son bon fonctionnement, doivent également mourir pour permettre à de nouvelles cellules, plus en forme, de se développer. Plus d'un million de cellules meurent chaque seconde



★ Lors de l'infection au SARS-CoV-2, la mort de la cellule infectée permet d'empêcher le virus de se répliquer et donc contribue à son élimination de notre organisme. © Image créée avec l'aide de Biorender.com par Etienne Meunier et Rémi Planès.

INFLAME

Deciphering the cellular and microbial grounds that licence inflammasome activation

dans notre organisme lorsque tout va bien. Lors d'une infection par un virus, une bactérie, un champignon ou un parasite, le nombre de cellules qui meurent augmente fortement ! Le travail mené dans le cadre du projet européen INFLAME nous permet justement d'étudier pourquoi et comment nos cellules meurent au cours d'une infection et de comprendre le rôle de la mort cellulaire dans la lutte contre les infections. Une partie de nos recherches se concentre sur l'infection par le virus SARS-CoV-2, le Coronavirus, responsable de la maladie COVID-19. Le SARS-CoV-2 passe d'abord par les cellules du nez, de la gorge et du poumon pour se reproduire. Cependant, la majorité de la population humaine ne meurt pas de cette infection. Dans ce contexte, si nous voulons

comprendre pourquoi certaines personnes meurent d'une infection au SARS-CoV-2 et d'autres pas, nous devons d'abord savoir comment se passe la résistance au SARS-CoV-2. Ainsi, notre recherche principale était axée sur la mort de nos cellules : est-elle bonne ou pas contre le SARS-CoV-2 ?

En prenant des cellules au niveau du nez de volontaires, nous avons observé que ces cellules meurent fortement au cours de cette infection et que ce processus est essentiel car il empêche le coronavirus de se multiplier dans les cellules. La suite consiste dès lors à déterminer si ce processus de mort existe chez les patients et les patientes qui ne résistent pas au coronavirus et si nous pourrions, soit induire ce processus de mort, soit l'empêcher chez ces patient-es. 🔍

RÉPARER LES GÈNES ENDOMMAGÉS



CONTRIBUTION

Gaëlle Legube,
Unité de biologie Moléculaire,
cellulaire et du développement /
MCD/CBI (CNRS, UT3)

Gaëlle Legube et son équipe ont récemment obtenu une ERC Advanced Grant pour le projet GENECARE, visant à réaliser des travaux exploratoires pour comprendre comment nos cellules réparent les gènes lorsqu'ils sont endommagés.

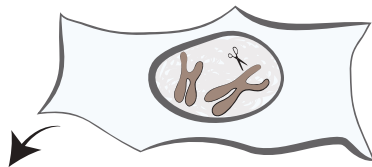
Nos chromosomes portent notre patrimoine génétique et sont chacun constitués d'une molécule extraordinairement longue, l'ADN, qui peut occasionnellement être endommagée. Les cassures dites « double brins » de l'ADN sont les plus dangereuses car elles brisent littéralement en deux un chromosome.

Heureusement, il existe dans nos cellules des « machines » moléculaires qui sont capables de réparer ces lésions, ainsi qu'une machinerie de « contrôle » qui détruit les cellules quand l'ADN est trop endommagé ou, tout du moins, les empêche de proliférer. Le cancer survient quand ces mécanismes de réparation ou de contrôle ne sont pas suffisamment efficaces, conduisant une cellule aberrante à se multiplier.

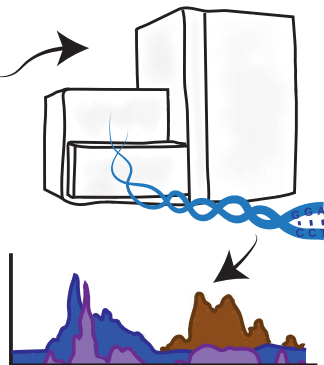
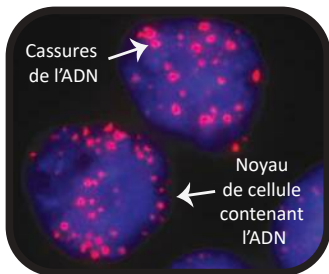
Grâce à des technologies avancées de séquençage à haut débit, nous avons découvert que ces machineries de réparation sont très sophistiquées et capables de faire la différence entre une cassure qui se produit sur un gène, c'est-à-dire les portions de nos chromosomes qui conduisent à la production des protéines, véritables constituants de nos cellules, et le reste de l'ADN silencieux (c'est-à-dire qui ne code pas pour les protéines). Avec le projet GENECARE, l'objectif est, à présent, de bien caractériser ce mécanisme de réparation qui restaure les gènes.

Comprendre comment les gènes sont réparés pourrait permettre non seulement de mieux comprendre comment les défauts de réparation de l'ADN conduisent à l'apparition des tumeurs, mais aussi de proposer de nouvelles pistes thérapeutiques pour le traitement des cancers. 🧬

Cellule avec chromosomes endommagés



Séquençage nouvelle génération
à « haut débit »



★ Cette équipe analyse, par séquençage à haut débit, la réparation des cassures double brins de l'ADN qui se produisent dans les cellules humaines.

© Gaëlle Legube / MCD/CBI

GENECARE

GENome and Epigenome
integrity Consecutive
to DSBs
in Active Regions.

DES COLIS EMPOISONNÉS POUR TUER LES CELLULES TUMORALES

Notre équipe de recherche basée à Toulouse a récemment obtenu, en collaboration avec trois autres équipes européennes, un financement européen pour le projet ATTACK. Cette recherche est prévue pour six ans et a débuté en mai 2021.



Salvatore Valitutti, Centre de recherche en cancérologie de Toulouse / CRCT (CNRS, Inserm, UT3), Service de pathologie, Institut universitaire du cancer-oncopole de Toulouse

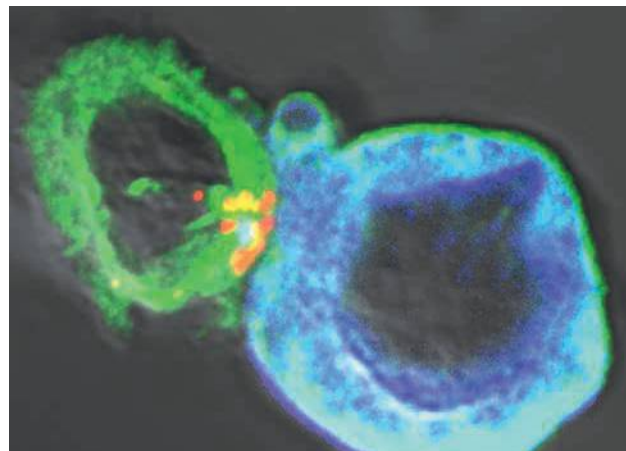
ATTACK

Analysis of the T cell's
Tactical Arsenal for
Cancer Killing

Les lymphocytes T cytotoxiques (CTL) sont les cellules du système immunitaire capables de reconnaître et d'attaquer les cellules cancéreuses. Malheureusement, les cancers possèdent plusieurs mécanismes pour inactiver les attaques des CTL. Nos études ont montré que lorsqu'un CTL entre en contact avec une cellule cancéreuse pour libérer des molécules toxiques qui induisent la mort cellulaire, la cellule tumorale détecte l'attaque et déploie des mécanismes de défense. Ces résultats soulignent le besoin de thérapeutiques non cellulaires pour contourner ces mécanismes de résistance.

Dans une étude coordonnée par des collègues de l'Université d'Oxford au Royaume-Uni, nous avons décrit, à Toulouse, un mécanisme complémentaire par lequel les CTL peuvent tuer leur cible, en montrant qu'elles peuvent fabriquer et libérer des particules contenant des paquets de molécules perforantes et toxiques.

Ces particules, nommées *Supra Molecular Attack Particles* (SMAPs), une fois libérées, se comportent comme de petites bombes lar-



Interaction entre un CTL (cellule verte, à gauche) et une cellule cancéreuse (bleue, à droite).
© S. Müller.

guées par les CTL pour tuer les cellules tumorales à distance.

Les SMAPs peuvent être optimisées et ciblées pour mieux tuer les cellules tumorales et donc ouvrir la voie à de nouvelles stratégies d'immunothérapie des cancers.

Afin de mieux comprendre la biologie des SMAPs et d'accroître leur efficacité, nous avons constitué un consortium européen avec les universitaires d'Oxford, de la Sarre en Allemagne et de Sienne en Italie. ①

UNE ARÈNE VIRTUELLE POUR COMPRENDRE L'INTELLIGENCE DES INSECTES

Ces travaux cherchent à comprendre les stratégies d'orientation des fourmis et comment celles-ci se sont implémentées dans leurs neurones. Un processus de réalité virtuelle pour fourmi permet de contrôler ce qu'elles perçoivent et ainsi de mieux comprendre le cerveau des fourmis.



CONTRIBUTION

Antoine Wystrach,
Centre de recherche sur la
cognition animale / CRCA / CBI
(CNRS, UT3)

Darwin disait que « *le cerveau des fourmis est peut-être l'un des objets le plus merveilleux de l'univers* ». En effet, comment tant d'intelligence peut-elle être compactée dans un volume pas plus grand qu'un grain de cous-cous séché ? L'intelligence des fourmis, comme celle des abeilles et des guêpes d'ailleurs, s'exprime pleinement lorsqu'elles s'aventurent à l'extérieur du nid pour chercher de la nourriture. Chaque individu est alors capable d'explorer, d'apprendre et de mémoriser de longues routes parmi les arbres d'une forêt, les dunes du désert, ou les brins d'herbe de votre jardin, sans jamais se perdre ! Dans notre laboratoire,

dans le cadre du projet européen EMERG-ANT, nous essayons de comprendre leurs stratégies d'orientation et comment celles-ci sont implémentées dans leurs neurones ! Pour cela, nous avons mis au point un dispositif de réalité virtuelle pour insecte (voir l'image). L'avantage d'un tel équipement est que non seulement nous connaissons tous les déplacements effectués par la fourmi dans les moindres détails, mais que nous pouvons également contrôler ce qu'elle perçoit. Nous créons ainsi des situations alambiquées pour les fourmis et leurs réactions nous permettent de déduire les stratégies qu'elles utilisent. En parallèle, nous construisons des modèles de réseaux de neurones qui sont directement inspirés de la vérifiable connectivité du cerveau des insectes. Nous implémentons ces cerveaux-artificiels dans des petits agents simulés que nous plongeons à leur tour dans les environnements virtuels. En comparant ce que fait l'agent aux vraies fourmis, nous pouvons améliorer nos modèles de manière à ce qu'ils imitent davantage leur comportement. Et ainsi, on comprend de mieux en mieux comment fonctionne le cerveau des fourmis ! 🐜

★☆☆ La fourmi est plongée dans une grande arène circulaire qui diffuse l'image d'un environnement naturel tout autour d'elle. Nous plaçons la fourmi sur une petite boule qui flotte dans l'air ce qui fait que quand elle cherche à avancer, c'est la boule qui tourne sous ses pattes, et la fourmi reste donc toujours au centre de l'arène. En enregistrant les déplacements de la boule, nous pouvons déduire les mouvements effectués par la fourmi et ainsi modifier l'image de l'arène pour donner l'impression à la fourmi qu'elle se déplace dans ce monde virtuel. Sensation d'immersion garantie !

© Antoine Wystrach / CRCA / CBI

EMERG-ANT

Ant Navigation
in Natural Habitats



É C O L O G I E

ENVIRONNEMENT

Depuis 2014, dans les domaines écologie/ environnement, sept projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur·es CNRS pour un montant de 15,1 millions d'euros.



7
PROJETS
×

15,1
MILLIONS
D'EUROS



DU PRÉDATEUR AU MICROBIOTE ET VICE-VERSA



Julien Cote,
Laboratoire Évolution et diversité
biologique / EDB (CNRS, IRD, UT3)



★ ★ Métatron de la station d'écologie de Moulis
© Q. Bernard / CNRS

Étude de l'interdépendance des effets du climat sur l'évolution des espèces prédatrices et sur le fonctionnement des communautés et inversement.

Le changement climatique menace le fonctionnement des écosystèmes en modifiant l'abondance et les caractéristiques biologiques de différentes espèces et par conséquent les interactions entre celles-ci. En effet, les impacts du climat sur une espèce focale peuvent avoir des effets en cascade sur les espèces avec lesquelles elle interagit et, en retour, ces effets peuvent influencer la biologie de l'espèce focale. Cette interdépendance d'effets crée des boucles de rétroaction qui peuvent, soit amplifier, soit atténuer les conséquences du changement climatique.

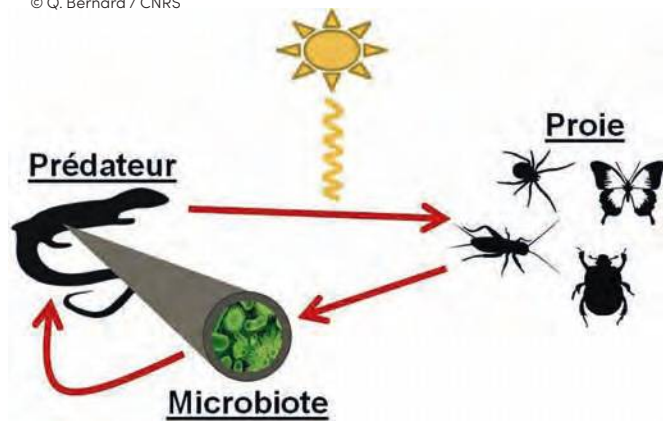
Grâce au Métatron de la Station d'écologie théorique et expérimentale du CNRS à Moulis qui est composé de dispositifs recréant un habitat naturel et simulant des conditions cli-



ECOFEE
Modification des
interactions
éco-évolutives dans
un climat plus chaud

★ ★ Lézard vivipare (*Zootoca vivipara*)
© E. Bestion / SETE et Julien Cote / EDB

matiques futures, nous nous intéressons aux boucles de rétroactions sur le trinôme lézard vivipare (*Zootoca vivipara*), une espèce prédatrice, sa communauté de proies invertébrées et sa communauté microbienne intestinale. Dans le cadre du projet européen ECOFEED, nous avons démontré que 2°C de plus mènent à un régime alimentaire des lézards moins varié, allant de pair avec un microbiote intestinal moins diversifié et une réduction de la survie des lézards. L'explication envisagée est une boucle de rétroaction des effets d'un climat plus chaud avec une modification du régime alimentaire d'une espèce prédatrice qui influence sa communauté microbienne intestinale et conduirait en retour à des conséquences négatives sur cette espèce prédatrice et le devenir de ces populations. 🦎



★ ★ Boucle de rétroaction expliquant les effets d'un réchauffement climatique. En climat plus chaud, le régime alimentaire du prédateur est moins diversifié et donc réduirait la diversité microbienne intestinale et en retour la viabilité du prédateur.
© Elvire Bestion / SETE et Julien Cote / EDB

ÉVOLUTION DES SYMBIOSES CHEZ LES PLANTES



CONTRIBUTION

Pierre-Marc Delaux,
Laboratoire de recherche en
sciences végétales / LRSV
(CNRS, UT3)

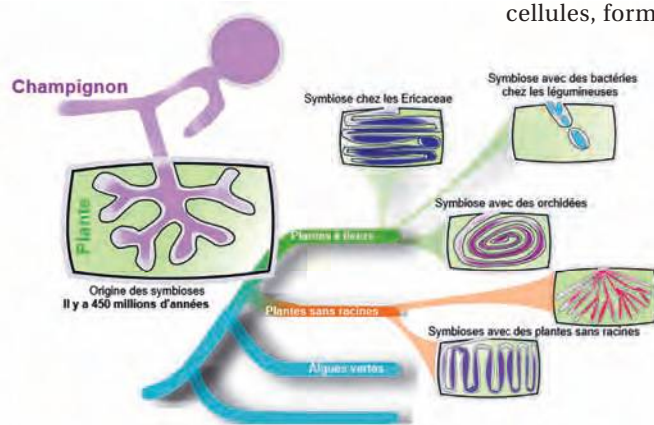
ORIGINS

Origin and Evolution
of intracellular
symbioses in plants

Les travaux menés par cette équipe intègrent les deux dimensions, écologie et mécanique, pour comprendre comment les interactions que l'on peut observer et décrire aujourd'hui ont évolué via des innovations moléculaires.

Depuis leur origine, il y a 3,5 milliards d'années, les êtres vivants interagissent. Ces interactions varient de relations entre proies et prédateurs, au développement d'une moisissure sur une pomme ou à la symbiose entre les animaux et leur microbiote intestinal, procurant de multiples bénéfices. Certaines symbioses voient un hôte héberger son symbiote au sein même de ses propres cellules, formant le niveau d'interaction le plus étroit imaginable. Les plantes, avec ou sans racines, fleurs ou écorce, établissent un nombre remarquable de ces symbioses, facilitant leur nutrition et leur adaptation aux aléas environnementaux. Comprendre

comment cette diversité de symbiose a pu se mettre en place au cours des 450 millions d'années d'évolution des plantes sur les terres émergées est une mission de recherche fondamentale fascinante. Dans le cadre du projet européen ORIGINS, nous cherchons à identifier les mécanismes à l'échelle de l'ADN permettant à la plante de laisser pénétrer dans ses cellules certains – mais pas tous ! – microbes du sol. Ce travail implique de séquencer et de comparer les génomes d'une grande diversité d'espèces, et de créer des plantes mutantes pour ces mécanismes en enlevant ou ajoutant des gènes. Au-delà de ces perspectives fondamentales, comprendre les détails de ces symbioses pourrait nous permettre de mieux les exploiter et d'en créer de nouvelles via des manipulations génétiques pour atteindre une agriculture durable tout en facilitant l'accès à l'alimentation pour toutes et tous. 🍄



★ ★ Représentation de la diversité des interactions symbiotiques retrouvées chez les plantes. Les microorganismes symbiotiques colonisent les cellules de plantes (en vert) et y forment des structures spécifiques où les échanges de ressources ont lieu. Cette capacité était présente chez les premières plantes terrestres, il y a 450 millions d'années. © Pierre-Marc Delaux / LRSV

LES (NANO)FERTILISANTS FOLIAIRES,

QUELS POTENTIELS POUR MIEUX ENRICHIR ET PROTÉGER LES CULTURES ?



Astrid Avellan, Géosciences
environnement Toulouse /
GET / OMP
(CNRS, UT3, CNES, IRD)

Comprendre comment les plantes modifient le cycle des métaux et comment les métaux interagissent avec les plantes et quels sont les impacts qui en résultent. Ces connaissances permettent de proposer des pratiques plus respectueuses des écosystèmes.

En agriculture, la plupart des fertilisants appliqués via le sol n'atteignent pas leur cible. Cette part des intrants non utilisée par les plantes contamine les sols, les cours d'eau, et dégrade les écosystèmes. Une fertilisation plus efficace serait d'appliquer ces produits directement sur les feuilles. Cependant, elles sont recouvertes d'une couche de cire réputée impénétrable (la cuticule) qui fait que les fertilisants conventionnels déposés sur les feuilles y restent bloqués et sont inutilisables par la plante pour sa croissance.

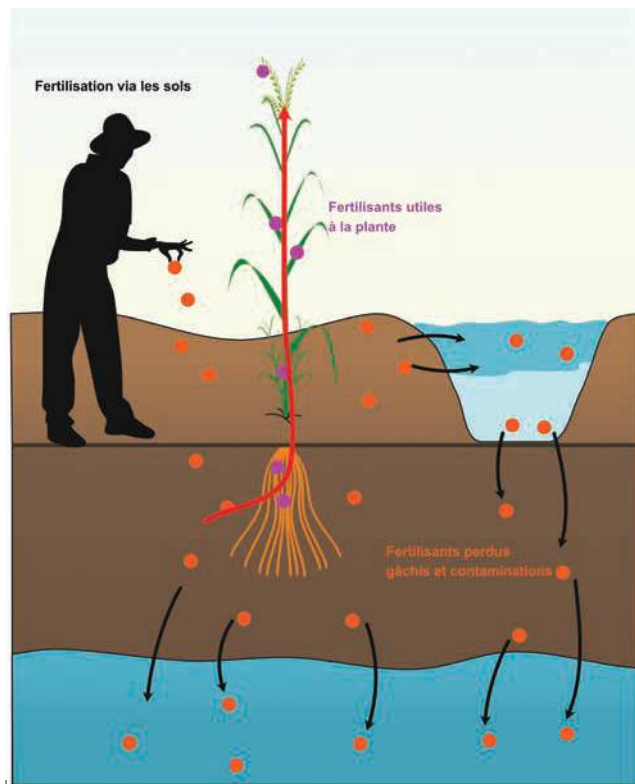
Or, les travaux menés par notre équipe ont démontré que les particules de la taille du nanomètre (plus petites qu'une bactérie) peuvent entrer dans les feuilles bien mieux que ce que nous le pensions. Dans le cadre du projet européen Leaphy, nous étudions dans quelles conditions ces nanoparticules peuvent entrer dans les plantes via

leurs feuilles. Peuvent-elles franchir la cuticule ? Se déplacent-elles dans d'autres parties de la plante ? Y restent-elles intactes, ou sont-elles dégradées et vouées à disparaître ? Quels sont les risques et les bénéfices à utiliser des formes nanoparticulaires de fertilisants à la place des produits conventionnels ? Ces nouvelles connaissances permettront d'identifier des stratégies pour fertiliser et protéger les plantes plus efficacement, tout en réduisant l'utilisation de produits phytosanitaires et leurs impacts environnementaux. 

Leaphy

Unravelling The Behaviour
Of Inorganic (Nano)Phases
In Leaves To Optimize The
Foliar Delivery Of Sustainable
Agrochemicals

★ ★ Les fertilisants dans le sol induisent des pollutions.
© Antoine Curinier / agriculteur freepik et plante pixabay.



H U M A I N

ET S O C I É T É

Depuis 2014, dans le domaine des sciences humaines et sociales, dix projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur-es CNRS pour un montant de 15,8 millions d'euros.



**10
PROJETS
×**

**15,8
MILLIONS
D'EUROS**



AU NOM DU PÈRE

L'économiste s'intéresse à tous les aspects des sociétés humaines, des structures familiales, aux attitudes envers l'environnement, en passant par les biais cognitifs et les règles régissant les échanges marchands. Les travaux menés par cette équipe de Toulouse School of Economics visent à comprendre pourquoi des comportements moraux ont émergé au cours de l'évolution.



CONTRIBUTION

Ingela Alger, Toulouse School of Economics - Recherche / TSE-R (CNRS, INRAE, UT1), Institute for Advanced Study in Toulouse / IAST



★ ★ Le partage au sein des familles est-il favorisé par la sélection naturelle ? © Ingela Alger / TSE-R

Nous, les *Homo sapiens*, sommes des primates. Or, nos sociétés diffèrent sur plusieurs points fondamentaux de celles d'autres primates, comme les chimpanzés, les gorilles, ou les orangs-outans. Ce sont sur ces différences, les spécificités du comportement ou des motivations humaines, leurs fondements évolutions et leurs implications économiques que nous menons nos recherches grâce au projet européen *Evolving economics* ; nous nous intéressons en particulier aux différences suivantes :

1. nous partageons allègrement la nourriture entre nous ;
2. le père humain accorde beaucoup d'attention aux enfants, comparé aux pères d'autres primates ;
3. les valeurs morales tiennent une place centrale dans les fondements de nos sociétés.

Nos travaux visent à expliquer pourquoi ces comportements ont émergé au cours de notre évolution. Pour atteindre cet objectif, nous formulons des théories exprimées à l'aide d'outils mathématiques. De plus, nous collaborons avec des chercheurs et des chercheuses en anthropologie, en biologie et en primatologie. Ensemble, nous nous assurons que les théories sont plausibles étant

donné l'état des connaissances sur les comportements des humains et d'autres primates. Les outils mathématiques sont puissants : ils nous permettent de décrire les comportements de manière très précise et ainsi d'analyser pourquoi l'évolution favorise un comportement plus qu'un autre. Notre découverte la plus surprenante est celle de *Homo moralis* : nous avons en effet montré que l'évolution favorise le raisonnement moral qui consiste à se demander « comment serait le monde si d'autres personnes agissaient comme moi ? » Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la sélection naturelle ne mène pas forcément à l'égoïsme. Nous avons mené des études expérimentales pour tester des hypothèses émanant des travaux théoriques. Ces études confirment notamment la présence d'un raisonnement à la *Homo moralis*. 📌

$$u(x, y) = (1 - \kappa) \cdot \pi(x, y) + \kappa \cdot \pi(x, x)$$

Homo moralis

★ ★ L'expression mathématique des valeurs morales *Homo moralis*
© Ingela Alger et Jörgen Weibull
DOI :10.3982/ECTA10637

Evolving Economics

Human motivation: evolutionary foundations and their implications for economics

RETRACER L'ÉPOPÉE HISTORIQUE DU CHEVAL DOMESTIQUE

Le cheval est l'animal qui a, sans doute, le plus transformé les trajectoires des sociétés humaines. Pourtant, que connaissons-nous de ses origines ? Les molécules ADN les plus anciennes commencent à révéler leurs secrets...



Ludovic Orlando,
Centre d'anthropobiologie et de
génomique de Toulouse / CAGT
(CNRS, UT3)

Le cheval n'est guère plus en Occident qu'un instrument de loisirs et de sports. Pourtant, hier à peine, cet animal occupait encore une place centrale dans nos vies. À dos de cheval, ou sur des chars, nous pouvions nous déplacer bien plus vite qu'à pied ; le monde nous semblait donc plus petit. Le cheval nous a aussi donné une nouvelle manière de faire la guerre, jusqu'à la première guerre

mondiale au cours de laquelle l'animal périt par millions. La domestication du cheval représente ainsi un véritable point de bascule dans l'histoire des civilisations, après lequel toute la dynamique des échanges entre les peuples, leurs biens, et leurs cultures changea profondément. Aussi surprenant puisse-t-il paraître, l'histoire du cheval demeure assez mal connue. Ainsi, des questions telles que : « *quelles sont celles et ceux qui ont domestiqué le cheval ? Où et quand vivaient-ils-elles ? Et comment ont-ils-elles modifié la biologie d'un animal alors sauvage pour réussir à le domestiquer ?* » sont longtemps restées sans réponses, faute d'indices archéologiques clairs. L'archéologie nous dévoile, certes, des vestiges de nombreux chevaux qui vécurent en des temps très reculés mais leur squelette osseux reste inchangé jusqu'il y a 3000 ans environ, soit bien des siècles après leur domestication initiale et leur utilisation pour la monte ou le trait. D'autres analyses, s'intéressant cette fois à la structure en classes d'âge et la distribution des éléments osseux et dentaires retrouvés au sein même des sites archéologiques ne par-

★★ Fouille au Kazakhstan sur le site archéologique de Botai vieux de 5500 ans. © Ludovic Orlando / CAGT.





★ ★ Éleveurs de chevaux dans les steppes chinoises de Mongolie Intérieure.
© Ludovic Orlando / CAGT.



Tout au long de sa domestication par l'humain le cheval a été sélectionné en fonction des besoins et des tâches à accomplir

viennent, elles non plus, pas toujours à indiquer si les animaux étaient chassés, ou au contraire élevés. C'est en partant à la quête d'indices archéologiques d'un nouveau type, invisibles à l'œil nu, que notre groupe de recherches a enfin réussi à percer le mystère des origines du cheval.

Des génomes de chevaux

Au sein de salles ultra-blanches permettant la manipulation des molécules d'ADN les plus anciennes et les plus abimées sans risquer de contamination par l'ADN d'aujourd'hui, et munis de séquenceurs très puissants ainsi que du soutien financier de l'Europe pour le projet PEGASUS, nous avons pu décrypter les molécules d'ADN préservées dans les squelettes anciens, jusqu'à en caractériser le génome des chevaux dans leur intégralité.

Appliquées à l'échelle de l'Eurasie toute entière, ces technologies de pointe nous

ont permis de cartographier le berceau des chevaux domestiques modernes sur les rives du Don et de la Volga, il y a 4000 ans environ. À en croire l'ADN, celles et ceux qui élevaient alors le cheval avaient su sélectionner un animal au dos robuste et au comportement docile, taillé sur mesure pour l'élevage et le voyage.

L'expansion de ce cheval d'un nouveau type a été quasi-contemporaine de la culture dite de Sintashta, qui est associée à l'invention de la roue à rayons et du char de guerre. Attelés aux chars, ces chevaux ont permis la grande migration humaine à l'origine de l'expansion des langues indo-iraniennes en Asie.

Transposée sur les 4000 ans qui ont suivi, notre approche nous permettra de déterminer comment d'autres peuples ont continué de modifier l'animal jusqu'à façonner les centaines de variétés que l'on connaît aujourd'hui. 

U N I V E R S

Depuis 2014, dans le domaine des sciences de l'Univers, quatre projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur-es CNRS pour un montant de 7,6 millions d'euros.



4
PROJETS
×

7,6
MILLIONS
D'EUROS



LA CHIMIE RICHE DES RÉGIONS DE FORMATION D'ÉTOILES

Reconstruire l'évolution physico-chimique pendant le processus de formation stellaire, depuis l'étape protostellaire jusqu'au stade de formation planétaire, à travers l'analyse d'informations interférométriques radio.



CONTRIBUTION

Audrey Coutens, Institut de recherche en astrophysique et planétologie / IRAP / OMP (CNRS, UT3, CNES)



★ ★ Interféromètre ALMA dans le désert d'Atacama (Chili). © ESO / C. Malin (christophmalin.com)

La question de l'origine de la vie sur Terre captive les chercheurs et les chercheuses depuis longtemps. De plus en plus d'exoplanètes sont par ailleurs détectées autour d'autres étoiles que notre Soleil, soulevant la question de possibles vies extraterrestres. Certaines molécules sont considérées comme des ingrédients essentiels à l'apparition de la vie : l'eau qui, sous forme liquide, permet de rendre une planète habitable et certaines molécules organiques complexes qui forment la base des molécules du vivant. Des astrophysicien·nes cherchent à comprendre si ces molécules sont disponibles dans tous les systèmes extrasolaires au moment de leur formation et comment elles ont pu se former. Pour répondre à cette question, les scientifiques impliqué·es dans le projet européen Chemtrip utilisent des données venant de grands instruments, les interféromètres radio, comme l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) au Chili et le NOthern Extended Millimeter Array (NOEMA) dans les Alpes françaises. Ces interféromètres sont de grands réseaux d'antennes qui permettent de bénéficier

d'une très bonne résolution spatiale en plus de fournir les informations spectrales nécessaires à la détection des molécules présentes dans les régions de formation des étoiles. La quantité de données disponibles fournies par ces télescopes étant de plus en plus importante, il est maintenant possible d'étudier la chimie de diverses régions de formation stellaire et ainsi comprendre l'influence de différents facteurs environnementaux sur la composition chimique et reconstruire son évolution pendant le long processus de formation stellaire et planétaire. 📡

Chemtrip

The chemical trail in protostars: From the deeply embedded phase to the planet forming disk

★ ★ De nombreuses molécules organiques complexes ont été détectées dans une jeune étoile en formation située dans le nuage de Rho Ophiuchi à la suite d'observations ALMA.

© ESO / Digitized Sky Survey 2/L. Calçada

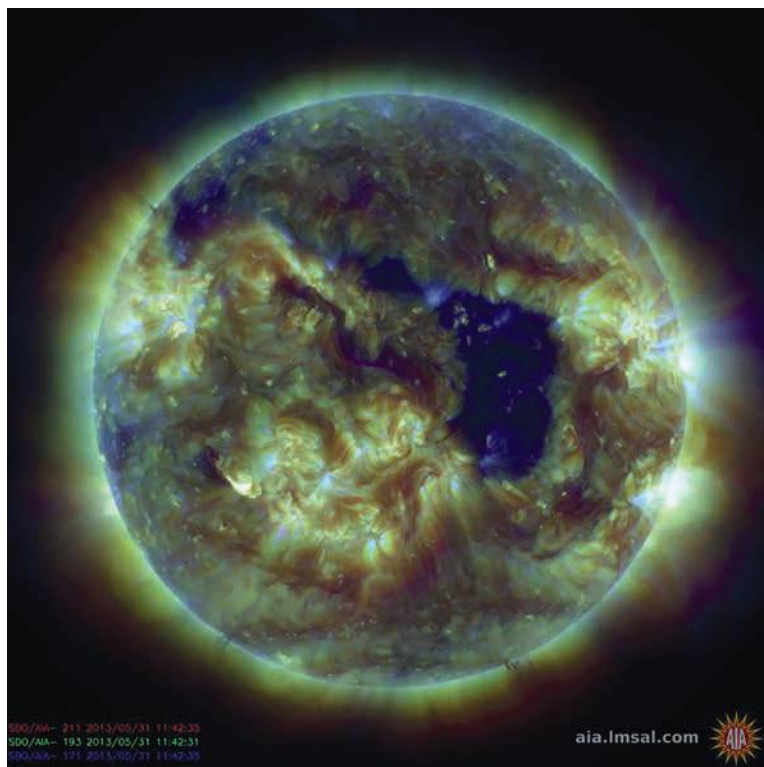




Alexis Rouillard, Institut de recherche
en astrophysique et planétologie /
IRAP/OMP (CNRS, UT3, CNES)

MIEUX COMPRENDRE LA FORMATION DES VENTS SOLAIRES

Comment les vents solaires se forment-ils ? Pour la météorologie de l'espace - discipline en plein essor qui vise à prévoir les effets de l'activité solaire sur notre environnement - la réponse est essentielle.



L'atmosphère du Soleil observée dans l'ultraviolet par la sonde de dynamique solaire de la NASA. Les zones sombres sont des trous coronaux, des régions propices à la formation des vents solaires les plus rapides.

© NASA-AIA-LMSAL

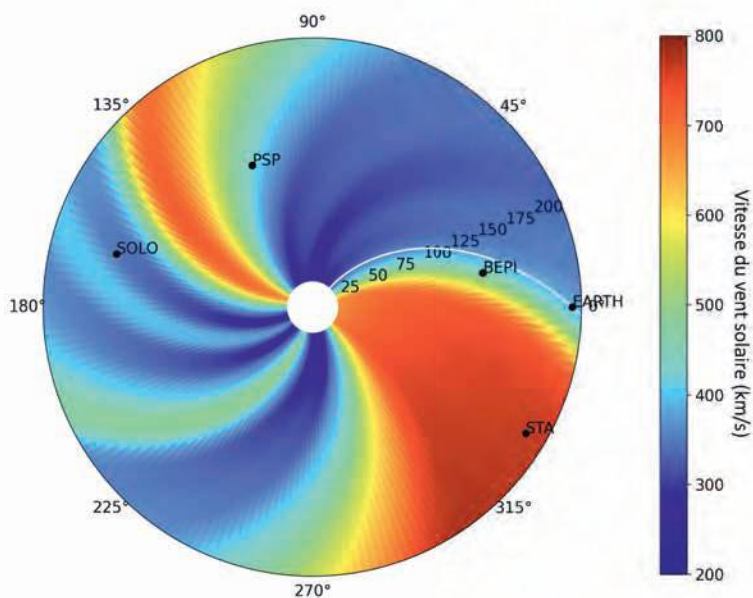
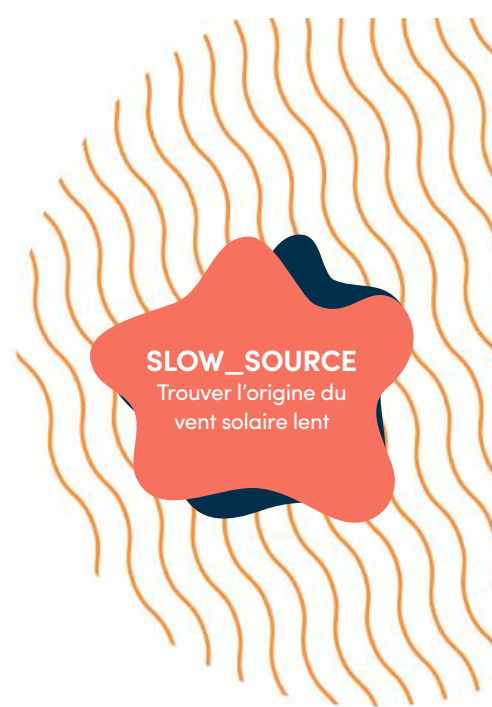
L'atmosphère du Soleil, appelée « couronne solaire », est deux cent fois plus chaude que la surface du Soleil, appelée « photosphère ». Comme la physique nous dit que l'énergie va des régions chaudes vers les régions froides, ce n'est pas la photosphère qui chauffe la couronne et donc un mécanisme (encore inconnu) doit chauffer l'atmosphère du Soleil *in situ*. Il s'avère que la couronne solaire est tellement chaude que la gravité du Soleil n'arrive pas à retenir sa matière environnante, ce gaz très chaud appelé « plasma ». Au contraire, la couronne chaude pousse son plasma vers le milieu interplanétaire sous la forme d'écoulements supersoniques que l'on appelle les vents solaires. Les vents les plus rapides (>700 km/s), qui se propagent du Soleil à la Terre en deux jours environ, sont formés dans des régions bien définies et connues de la couronne solaire. En revanche, l'origine des vents lents (<400 km/s) reste très énigmatique. Au travers de mesures directes des vents solaires, les missions spatiales ont révélé que les vents rapides et lents ont des compositions très différentes. Il faut savoir que le gaz du vent solaire est constitué

principalement d'hydrogène et d'hélium ionisés mais qu'il transporte également des éléments lourds comme le fer, le magnésium ou l'oxygène dont l'abondance est fixée à la naissance du vent solaire dans la couronne par des processus encore mal compris. Mieux comprendre comment cette composition en ions lourds est régulée c'est donc mieux comprendre comment les vents solaires se forment.

Collaboration avec la NASA

Le projet SLOW_SOURCE vise à déterminer l'origine du vent solaire lent au travers d'études poussées des processus physiques ayant lieu aux interfaces des différentes couches de l'atmosphère depuis la photosphère jusqu'à la couronne solaire. Un nouveau modèle de l'atmosphère solaire est en cours de développement qui permettra de simuler l'abondance des ions lourds de la couronne ainsi que les mécanismes d'expulsion de ces ions dans le vent lent. Les premiers résultats de ces modèles sont comparés aux données de la mission NASA Parker Solar Probe lancée en 2018 : première mission à entrer dans la couronne solaire pour y mesurer ses propriétés *in situ*. Notre projet exploite également les données de la mission européenne Solar Orbiter, lancée en 2020, et dans laquelle de nombreux laboratoires français sont impliqués parmi lesquels notre laboratoire qui a fourni un instrument mesurant la composition du vent solaire.

Ces travaux ont un impact sociétal important car ils fournissent de meilleurs modèles pour la météorologie de l'espace – discipline en plein essor qui vise à prévoir les effets de l'activité solaire sur notre environnement. En effet les vents et orages solaires ne font pas que produire de belles aurores boréales, ils peuvent perturber le lancement des satellites (la société Space-X a, par exemple, perdu 40 satellites durant son lancement du 3 février 2022), les communications radio, le positionnement par satellite ou encore les réseaux électriques. 📡



★ ★ Le résultat d'une simulation numérique du milieu interplanétaire produite dans le cadre du projet ERC SLOW_SOURCE montrant les spirales de vent solaire qui se propagent du Soleil (situé au centre) vers la Terre (située à droite). Des vents lents (bleus) et rapides (rouges) structurent le milieu interplanétaire, l'arrivée d'une spirale de vent rapide à la Terre peut mener à des aurores boréales. © Alexis Rouillard / IRAP/OMP

T R A N S I T I O N

CLIMATIQUE

Depuis 2014, dans le domaine de la transition climatique, six projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur·es CNRS pour un montant de 8,6 millions d'euros.

8,6
MILLIONS
D'EUROS



6
PROJETS
×

LA NEIGE ET SES MULTIPLES FACETTES



CONTRIBUTION

Marie Dumont, Centre national
de recherches météorologiques /
CNRM (CNRS, Météo France)

★ Observations de la microstructure de la
neige à moyenne et haute résolution. Ici le type de
neige observée est du givre de surface au Col de
Porte, Alpes françaises, hiver 2021-2022.

© Pascal Hagenmüller

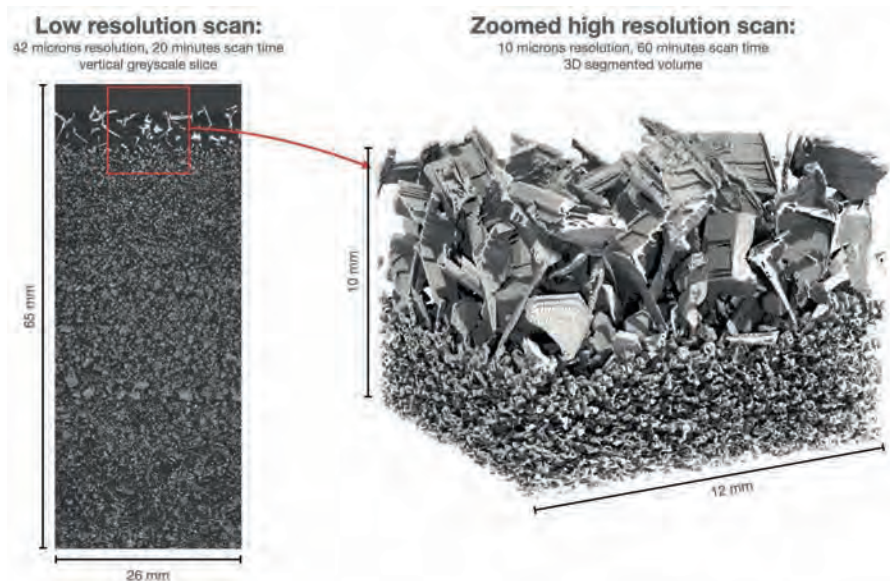
*La neige, par ses propriétés uniques, joue un tout
premier rôle dans le système climatique et prédire son
avenir est donc essentiel.*

La neige est un pilier du système cli-
matique terrestre. Ses propriétés
uniques, en particulier sa couleur
blanche, qui induit un fort pou-
voir réfléchissant et ses capaci-
tés d'isolation sont à l'origine de
puissantes rétroactions, encore nommées
boucles d'emballlement climatiques. Pré-
cieuse ressource en eau, la neige est égale-
ment à l'origine de risques naturels comme
les avalanches et elle est un élément crucial
pour nos sociétés humaines ainsi que pour

la faune et la flore. Comprendre l'évolution
de la neige et savoir prédire cette évolution
dans le futur est donc essentiel.
Le projet européen IVORI vise à rénover les
modèles numériques qui permettent de pré-
dire l'évolution du manteau neigeux, avec
des questions détaillées sur l'évolution de la
neige en arctique et l'impact des poussières
de sable sur la neige dans les Alpes. En Arc-
tique, la neige recouvre et isole le sol gelé ou
pergélisol : bien modéliser ces types de neige
permettra de mieux prévoir l'évolution du
pergélisol et des potentiels stocks de gaz à
effet de serre qu'il contient. Dans les mon-
tagnes françaises, la neige est fréquemment
recouverte de poussières de sable du Sahara,
donnant lieu à une spectaculaire couleur
orange et accélérant drastiquement la fonte
du manteau neigeux. La couleur de la neige
et ses capacités isolantes varient fortement
en fonction de la microstructure de la neige,
c'est-à-dire l'arrangement tridimensionnel
de la glace et de l'air à l'échelle du micron
(image de gauche). Nos recherches se basent
donc sur différents types d'observations,
dont des observations de la microstructure
de la neige à l'échelle du micron obtenus
grâce un tomographe à rayon X (image de
droite).

IVORI

Vers une nouvelle
vision de la neige



MANGER DU POISSON REND-IL PLUS ADAPTABLE ?

D'autres espèces humaines ont arpenté la terre avant la nôtre. Pourquoi ont-elles disparu ? Est-ce le hasard ou sommes-nous plus adaptables ? Parmi les hypothèses d'explication les chercheur-es s'intéressent à notre capacité à exploiter les ressources venant de la mer.



CONTRIBUTION

Klervia Jaouen, Géosciences
environnement Toulouse / GET/OMP
(CNRS, UT3, CNES, IRD)

Il y a 50 000 ans, nous étions loin d'être la seule espèce d'humain à arpenter la Terre : Néandertalien·nes en Europe, Denisovien·nes en Asie continentale, Humains de Florès, de Callao... Tous les 5 ans, il semble que nous découvriions un nouveau représentant du genre Homo que nos ancêtres auraient pu côtoyer. Pourtant, il ne reste plus que nous. Les anthropologues cherchent à comprendre la raison de notre succès ou de la disparition de nos cousin·es.

Est-ce le hasard ? Ou bien sommes-nous plus adaptables ? Nombre de pistes ont été explorées : notre empathie, le langage, notre esprit colonisateur ou encore notre alimentation seraient peut-être à l'origine de notre adaptabilité.

L'une des hypothèses proposées par certain·es chercheur·es est notre capacité à exploiter les ressources venant de la mer et des rivières. Ces chercheur·es ont en effet observé que l'on retrouve des accumulations, voire des montagnes de coquillages – appelés amas coquilliers – dès que l'on détecte la présence d'humains modernes près des côtes.

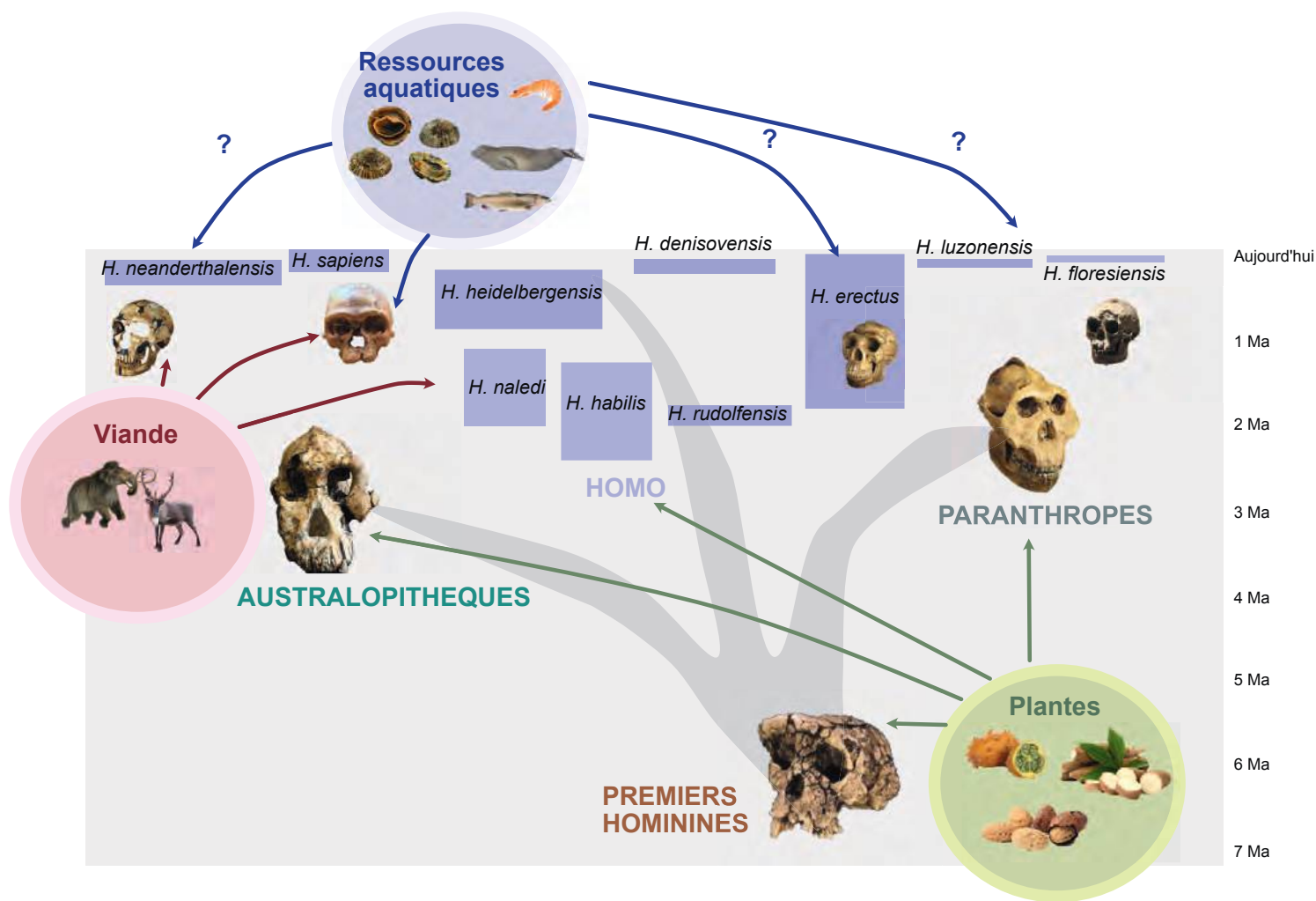
Les secrets des atomes de zinc

Cela semble vrai partout dans le monde et laisse supposer une forte consommation de fruits de mer. Cependant, d'autres représentants du genre Homo (Homo erectus et Homo neanderthalensis par exemple) sont parfois retrouvés en présence de restes de poissons ou autres ressources aquatiques. La consom-

mation régulière de ces ressources ne serait-elle alors pas le propre de l'humain moderne ? Ou s'agit-il de consommation anecdotique ? Aujourd'hui, il n'est pas possible de répondre à cette question. Cependant, grâce aux évolutions technologiques de ces vingt dernières années en physique, en chimie et en géologie, un outil devrait nous permettre de résoudre enfin cette grande question. L'idée est d'analyser la composition chimique d'une dent et de s'intéresser en particulier aux atomes du zinc – et pour être tout à fait précis, aux rapports isotopiques du zinc. Ces rapports permettent de caractériser l'alimentation d'un individu. Notre projet européen, nommé ARCHEIS, vise à calibrer cette méthode, afin de pouvoir ensuite déterminer avec précision quelles espèces humaines ont consommé du poisson ou d'autres ressources de la mer. Pour cela, nous analysons aussi bien des aliments, des cheveux d'individus dont on connaît le régime alimentaire, que des dents de squelettes enterrés dans des amas coquil-

ARCHEIS

Understanding the
onset and impact of
Aquatic Resource
Consumption in Human
Evolution using novel
Isotopic tracers.



lers... et nous comparons les valeurs obtenues à celles de dents d'espèces fossiles. Nous travaillons aussi sur une nouvelle méthode d'analyse : en effet, afin de pouvoir avoir accès à des échantillons précieux de plusieurs milliers à millions d'années, nous devons prendre soin de ne pas abî-

mer l'échantillon lorsqu'on réalise les mesures. Et de ce fait, nous essayons de réaliser l'analyse en utilisant un faisceau laser au lieu d'échantillonner la dent avec une micro scie qui crée des dommages très visibles. Voilà un défi technique que nous sommes en train de relever ! 🧐

★ Le but du projet ARCHEIS est d'identifier si les isotopes du zinc peuvent détecter quand, dans l'évolution humaine, la consommation des ressources aquatiques est devenue fréquente.
© Klervia Jaouen / logiciel Affinity.

CAPTURE ET STOCKAGE DU CO₂ DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quel est l'impact du changement climatique sur les réactions naturelles entre fluides et roches et qu'en résulte-t-il en terme d'élimination du CO₂ de l'atmosphère ? Cette équipe travaille à identifier les opportunités d'exploiter ces réactions pour compenser des émissions de CO₂ liées à des activités humaines.



CONTRIBUTION

Anna Harrison
Géosciences environnement
Toulouse / GET/OMP
(CNRS, UT3, CNRS, IRD)

Silicate rock



+

CO₂



=

Carbonate rock



★ Réaction entre CO₂ et une roche de silicaté pour stocker le CO₂ dans une solide : roche carbonatée.

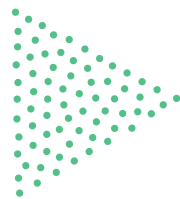
© Anna Harrison et Ian Power

DryCO2

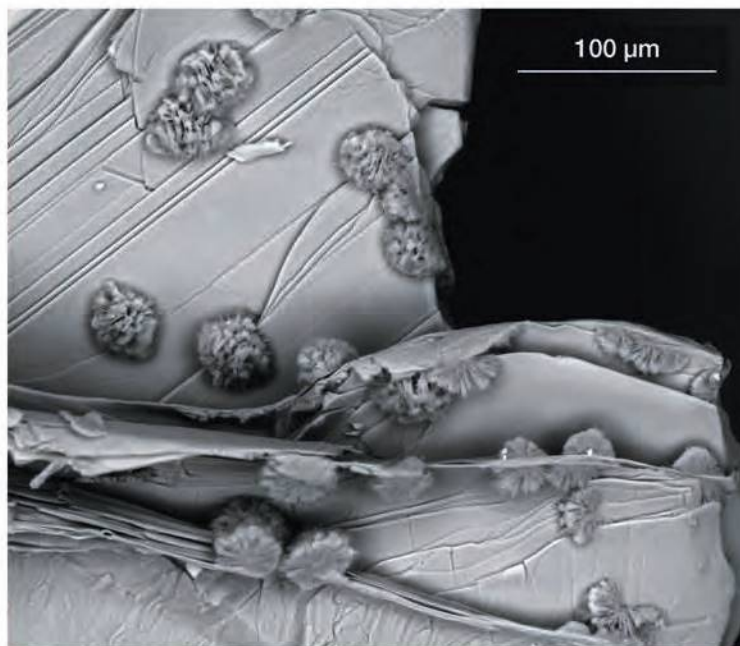
Mechanisms of
gas-driven mineral
weathering in a
changing climate

l'atmosphère et de libérer des éléments qui peuvent se combiner avec le CO₂ dissous pour former des minéraux carbonatés qui stockent le CO₂ pendant des milliers ou des millions d'années. Ces processus naturels aident à réguler les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sur des échelles de temps géologiques. Cependant, les activités humaines ont entraîné une augmentation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère au cours des dernières décennies provoquant des dérèglements climatiques. Si nous voulons éviter les effets les plus néfastes du changement climatique et réussir à limiter l'augmentation de la température mondiale à moins de 2°C, comme convenu dans l'Accord de Paris sur le climat, nous devons non seulement réduire la quantité de CO₂ que nous rejetons, mais aussi commencer à éliminer le CO₂ de l'atmosphère.

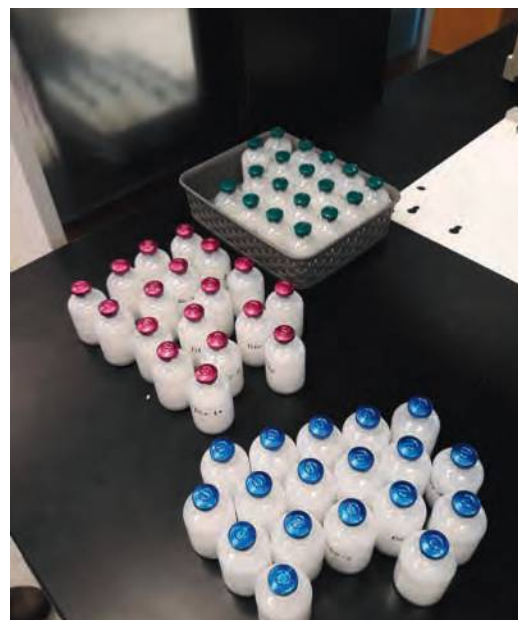
Les scientifiques et les ingénieur-es peuvent s'inspirer des processus naturels qui ont contribué à réguler le climat de la Terre bien avant que les activités humaines ne commencent à influencer le cycle du carbone. Le processus d'altération des minéraux pourrait être une pièce maîtresse dans la réduction des émissions de CO₂. Bien que l'élimination du CO₂ par l'altération des minéraux soit lente par nature, il existe des moyens de l'accélérer. Par exemple, certains déchets géné-



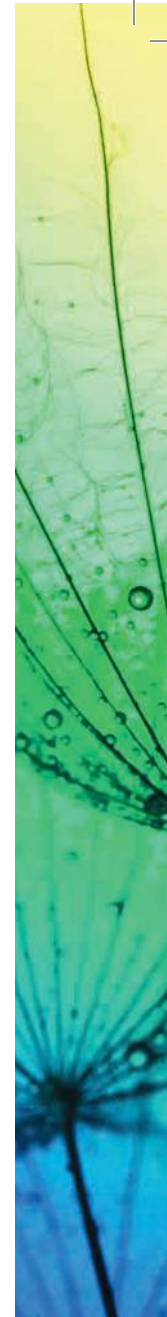
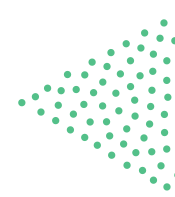
rés lors des activités minières (résidus), subissent les mêmes réactions d'altération et de stockage de CO_2 qui se produisent naturellement mais beaucoup plus rapidement. De même, de nombreux scientifiques étudient comment l'ajout de roche pulvérisée aux sols agricoles peut accélérer l'élimination du CO_2 , et si le CO_2 retiré de l'air peut être stocké en toute sécurité sous forme de minéraux carbonatés dans les roches. Avec mon équipe, nous cherchons à savoir dans quelle mesure ces stratégies seront efficaces à l'avenir, à mesure que la température de la Terre et les régimes de précipitations changeront. L'efficacité de l'élimination du CO_2 changera-t-elle avec le temps ? Pourrions-nous stimuler des processus naturels suffisamment rapides pour éliminer le CO_2 sans causer d'autres effets préjudiciables à l'environnement ? Ce sont des questions auxquelles nous essaierons de répondre dans le cadre du projet européen DryCO2. Nous les aborderons en utilisant des expériences soigneusement contrôlées en laboratoire pour déterminer les facteurs qui contrôlent les taux de réaction dans des conditions environnementales changeantes. Nos recherches aideront à concevoir des plans d'atténuation du changement climatique plus efficaces, sûrs et durables. 



★ ★ Image au microscope électronique de minéraux carbonatés formés à la surface de l'hydroxyde de magnésium qui a réagi avec le dioxyde de carbone dans l'air. Ces minéraux agissent comme un piège stable et à long terme pour le CO_2 . Vue à l'échelle du micron.
© Anna Harrison / GET/OMP



★ ★ Réacteurs avec des minéraux carbonatés fraîchement formés en laboratoire. Ces réacteurs ont été utilisés pour suivre comment les minéraux stockant le CO_2 se forment à partir d'un fluide et comment les métaux se répartissent dans les minéraux lorsqu'ils se forment.
© Anna Harrison / GET/OMP



T R A N S I T I O N

ÉNERGÉTIQUE

Depuis 2014, dans le domaine de la transition énergétique, neuf projets soutenus par l'European Research Council sont hébergés dans des laboratoires sous tutelle CNRS et/ou portés par des chercheur-es CNRS pour un montant de 18,4 millions d'euros.



9
PROJETS
×

18,4 M€
OBTENUS



VOLER DANS DES AVIONS À HYDROGÈNE ?



CONTRIBUTION

Thierry Poinso,
 Institut de mécanique des
 fluides de Toulouse / IMFT
 (CNRS, INP Toulouse, UT3)

SCIROCCO

Simulation
 and Control of
 Renewable
 COMbustion



★ ★ Une
 flamme
 d'hydrogène
 au laboratoire
 (attention, les
 zones bleues
 sont à 2000
 degrés). © S.
 Marragou, H.
 Magnes / Institut
 de mécanique des
 fluides de Toulouse
 (CNRS, INPT, UPS)

Nous avons tous et toutes envie de voyager et, pour aller loin, l'avion reste le premier choix. Mais les avions actuels contribuent au réchauffement climatique et le rêve est de pouvoir voler un jour dans un avion qui n'émettrait que de l'eau, c'est-à-dire dans un avion volant grâce à l'hydrogène. C'est notre sujet d'étude.

Voler dans des avions « écologiques » est important pour les générations futures. Avec le soutien de l'Europe, dans le cadre du projet SCIROCCO, l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse et le CERFACS collaborent avec Airbus et Safran pour imaginer des moteurs d'avion « à hydrogène ». Quand il brûle dans l'air, l'hydrogène ne produit que de l'eau : c'est donc le carburant idéal du futur. Mais concevoir ces moteurs est un défi, peut-être plus compliqué que pour le Concorde ou

l'A380. La question est de domestiquer l'hydrogène qui est un carburant puissant mais dangereux. Mettre un tigre dans son moteur prend ici tout son sens. Il faut d'abord l'amener à bord : pour monter dans un avion, l'hydrogène devra être refroidi à -253 degrés ! Les réservoirs seront donc des bouteilles thermos géantes. Ensuite, l'hydrogène est la molécule la plus petite de l'Univers : elle traverse tout ou presque.

L'enjeu : dompter l'hydrogène

Empêcher toute fuite sera une priorité. Les moteurs eux-mêmes devront être repensés : l'hydrogène brûle très bien, probablement trop. Il faudra protéger les parois du moteur des flammes d'hydrogène (à plus de 2000 degrés), réussir à allumer les moteurs, à limiter leur bruit. Les scientifiques élaborent ces moteurs et testent des prototypes dans leurs laboratoires pour guider les industriels dans leurs choix. Des modèles réduits de moteurs sont utilisés pour comprendre comment l'hydrogène y brûle. Ils simulent aussi ces moteurs sur des ordinateurs géants qui ont des centaines de milliers de processeurs et comparent ces calculs avec les expérimentations. 🔍

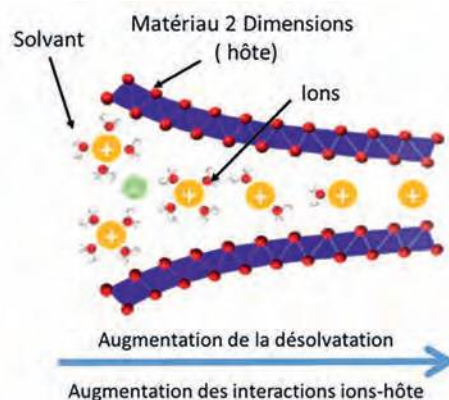
STOCKER PLUS D'ÉNERGIE DANS LES MATÉRIAUX : EFFET BÉNÉFIQUE DU CONFINEMENT

Lutter contre le réchauffement climatique passe par la réduction des émissions de gaz à effet de serre et par une accélération du développement de la production d'énergies renouvelables. Ce qui nécessite de mettre au point des systèmes performants de stockage électrochimique de l'énergie.



CONTRIBUTION

Patrice Simon,
Centre interuniversitaire de
recherche et d'ingénierie des
matériaux / CIRIMAT (CNRS, UT3,
Toulouse INP)



Les électrodes des systèmes de stockage électrochimique de l'énergie (SEE) sont constituées de matériaux sélectionnés entre autres sur leur capacité à échanger le plus grand nombre d'électrons possible par unité de masse ou de volume, au cours de transformations chimiques. Schématiquement, les matériaux sont formés d'atomes qui sont liés entre eux par des liaisons chimiques, le tout formant des structures qui se répètent dans les trois dimensions. Ils baignent dans un liquide -l'électrolyte- contenant un solvant (l'eau par exemple) et des ions qui sont entourés de molécules de solvant. Durant la charge, des électrons sont stockés dans l'électrode négative, et des ions positifs (cations) vont rentrer dans le matériau pour maintenir la neutralité électrique. Et c'est là que

nous avons découvert un phénomène remarquable : lorsque l'espace dans lequel rentrent les ions est très petit — juste un petit peu plus grand que la taille des ions solvatés (inférieur au nanomètre) — les ions sont tellement confinés qu'ils vont pouvoir perdre une partie des molécules de solvant qui les entourent et s'approcher au plus près de la surface du matériau. Ils vont ainsi interagir plus fortement avec celui-ci et stocker plus de charge qu'en l'absence de confinement. Les travaux que nous développons, dans le cadre du projet européen MoMa-STOR, visent à tirer profit de ce phénomène de confinement pour mettre au point des matériaux supercondensateurs et des batteries plus performants, avec en particulier des vitesses de recharge élevées. 📢

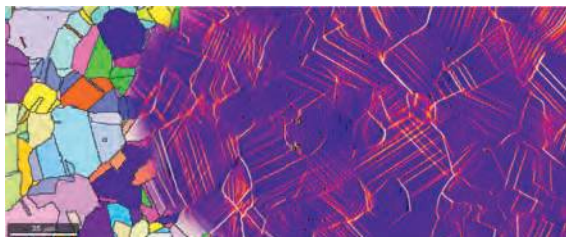
★ Effet du confinement dans un matériau à deux dimensions (exemple de deux feuillets d'un millefeuille) durant la charge. Plus la distance entre les feuillets est faible (vers la droite), plus les ions de l'électrolyte perdent des molécules de solvant pour entrer. La capacité de stockage des charges augmente du fait de l'augmentation des interactions entre les ions et le matériau hôte d'électrode. © Simon Fleischmann / CIRIMAT

MoMa-STOR
Disruptive Modes and
Materials of Energy
Storage

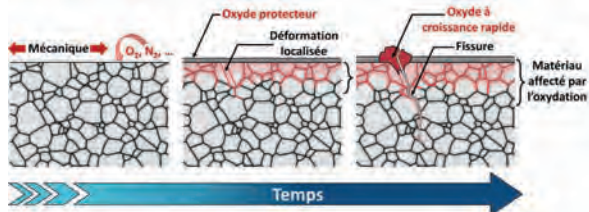
MICROMÉCANIQUE AU SERVICE DU COUPLAGE OXYDATION-MÉCANIQUE



Damien Texier,
Institut Clément Ader / ICA (CNRS,
IMT Mines Albi, Insa Toulouse, Isae-
Supaéro, UT3)



★ ★ **Figure 2 :** Cartographie EBSD et champ de déformation d'un superalliage à base de nickel déformé en traction à haute température montrant la localisation de la déformation à l'échelle de la microstructure © Damien Texier / ICA



Les conditions d'utilisation des matériaux hautes performances favorisent une dégradation accentuée par la synergie oxydation localisation de la déformation à l'échelle de la microstructure.

Les matériaux hautes performances employés dans la conception des turbines aéronautiques et terrestres, tels que les superalliages à base de nickel et les alliages de titane, sont soumis à des températures et des charges mécaniques toujours plus élevées pour améliorer leur rendement énergétique. Ces conditions de service, de plus en plus exigeantes, favorisent un endommagement précoce du matériau en surface du fait de l'action concomitante de la déformation et de l'oxydation (Figure 1). Malgré des épaisseurs affectées très faibles (0,1 à 100 micromètres), le comportement mécanique du matériau impacté par l'oxydation est critique vis-à-vis de l'intégrité des pièces en service. Par conséquent, comprendre et modéliser la manière dont le matériau se déforme à l'échelle de la microstructure à haute température dans ces environnements sévères est un objectif de taille permettant de clarifier

ces interactions thermo-mécano-chimiques. Le projet européen HT-S4DefOx vise à développer de nouvelles techniques de caractérisations micromécaniques avancées à haute température, telles que la corrélation d'images numériques à haute résolution (Figure 2), l'indentation instrumentée, la topo-tomographie synchrotron — technique de caractérisation tridimensionnelle des cristaux, basée sur la combinaison de la topographie par diffraction des rayons X et de la microtomographie par ordinateur — pour accéder aux propriétés mécaniques locales. Ces données, en lien avec diverses analyses physico-chimiques, permettront de nourrir des modèles de comportement mécanique et des simulations numériques nécessaires à la prédiction de la durabilité de ces matériaux en service. ■

★ ★ **Figure 1 :** Illustration schématique de l'impact du couplage thermo-mécano-chimique sur l'évolution du matériau affecté par l'oxydation en « sous-surface » amenant un endommagement précoce © Damien Texier / ICA

HT-S4DefOx

Déformation sub-surfacique à petite échelle assistée par l'oxydation à haute température

LES NANO-THERMITES, UN CONCENTRÉ D'ÉNERGIE

Nous explorons de nouvelles formes de matériaux à base d'oxydes métalliques pour introduire des sources d'énergie thermiques ou mécaniques pour réaliser des actionnements embarqués puissants dans des systèmes miniaturisés. Nous travaillons à la recherche de solutions peu impactantes sur l'environnement et peu couteuses énergétiquement pour leur fonctionnement.



CONTRIBUTION

Carole Rossi,
Laboratoire d'analyse
et d'architecture
des systèmes /
LAAS-CNRS (CNRS)

Chaque année, environ 50 000 tonnes d'explosifs sont produites pour extraire des minerais, démolir, gonfler un airbag, propulser un missile, éjecter un pilote ou mettre des satellites en orbite. Or ces substances sont extrêmement dangereuses car leur réaction chimique dégage des gaz à haute température et à une vitesse pouvant atteindre 1500 km/h, occasionnant des dommages aux alentours.

Des explosifs non-dangereux

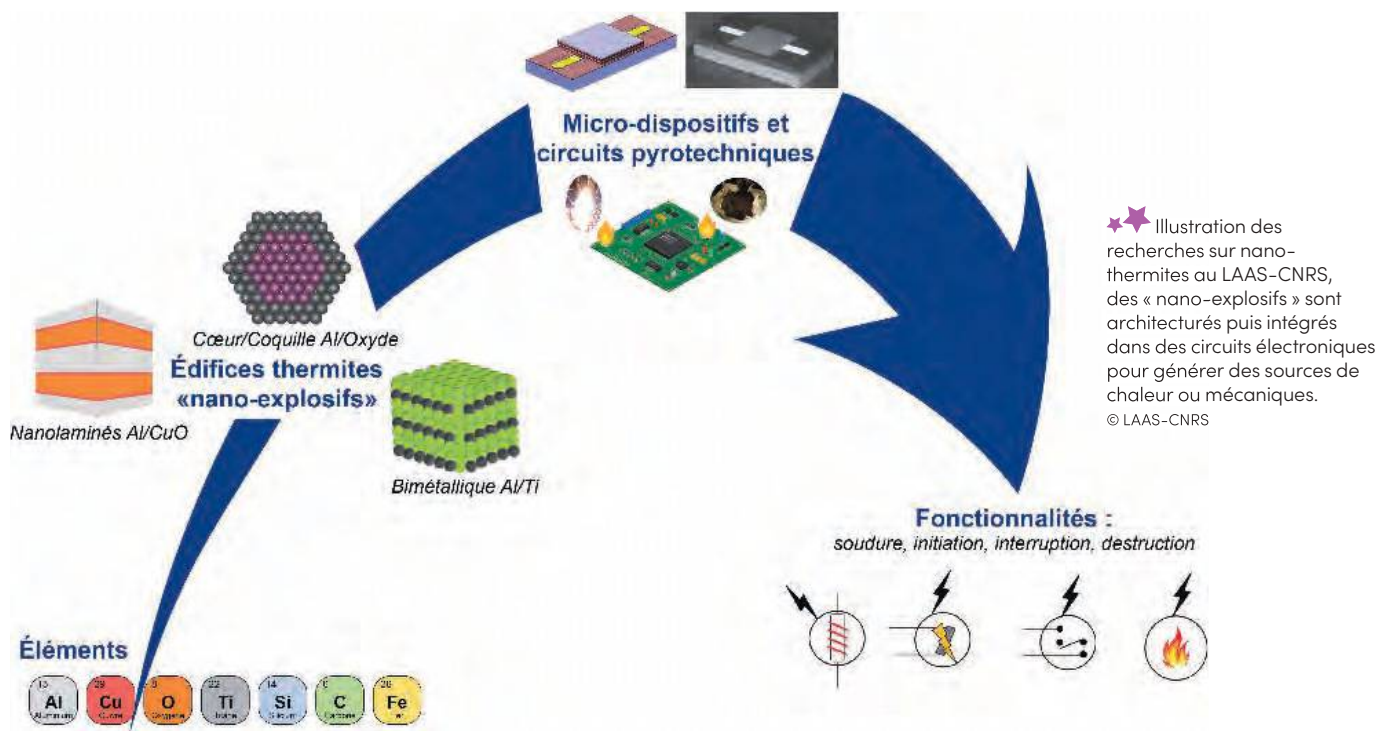
Le graal des chercheur·es et ingénieur·es pyrotechnicien·es est de concevoir des explosifs « non dangereux » tout en étant aussi énergétiques que ceux traditionnellement utilisés. C'est bien sûr une question difficile qui n'a pu être résolue par les sciences chimiques, prin-

cipales sources de progrès dans le domaine des explosifs au XX^e siècle, et c'est aujourd'hui notre objectif de recherche.

Au XXI^e siècle, les perspectives d'innovation dans le domaine des explosifs se sont ouvertes à des champs nouveaux grâce aux micro-nanotechnologies. À la différence du génie chimique qui manipule des atomes au sein de molécules, celles-ci assemblent des petits agrégats de matière, des briques de tailles et formes différentes. Tel un·e architecte, le·la chercheur·e sélectionne ses briques initiales à partir d'éléments inoffensifs, les façonne en nano-bâtonnet, couche ou bille, puis les assemble de façon contrôlée pour définir un édifice qui constitue le nano-explosif. Le nano-explosif ainsi obtenu est généralement constitué de briques de taille ~100 nm, c'est-à-dire 100 fois plus

PyroSafe

Integration of new
nano-engineered safe
energetic layers with
Sensors and Electronics
to manufacture Safety-
Critical Microsystems



petites qu'un cheveu et ses propriétés énergétiques sont fonction de la façon dont les briques sont assemblées.

De riches perspectives sociétales

Aujourd'hui, dans le cadre du projet européen Pyrosafe, notre équipe travaille sur une classe de nano-explosif appelé nano-thermite à base d'aluminium, de titane et d'oxyde de cuivre. Les verrous et les questions que nous adressons sont multiples : comment bien choisir les briques élémentaires pour que, une fois assemblées, elles demeurent stables pendant des dizaines d'années, puis que, sous stimulation, elles

libèrent une grande quantité d'énergie. Comment sculpter ces édifices pour leur donner une forme et une taille qui conditionnera la façon dont sera libérée l'énergie tout en assurant une neutralité environnementale et une sécurité totale dans les phases de fabrication et d'utilisation. Suivront le développement des modèles physiques, aujourd'hui inexistantes, pour prédire le fonctionnement de ces nano-explosifs et l'optimisation des prochains édifices. Enfin, il s'agira de démontrer que ces matériaux sont plus performants que les explosifs traditionnels, en les caractérisant... ce qui n'est pas sans poser des problèmes de

sécurité, puisque caractériser implique de les manipuler.

Les perspectives sociétales de ces recherches sont riches. Non seulement nos nano-thermites peuvent remplacer avantageusement (prix, sécurité, toxicité) les explosifs traditionnels, mais leur miniaturisation extrême permet de les déposer sur des puces électroniques pour les sécuriser. Il suffit d'une couche très mince de nano-thermite déposée sur une puce électrique de quelques mm² pour, en cas de détection d'intrusion ou de piratage, détruire toutes les informations contenues dans la mémoire de la puce. 🔥

RECHERCHE :

L'OREILLE ATTENTIVE DE L'EUROPE

Alors que l'on pense l'Europe éloignée de notre quotidien, il existe plusieurs dispositifs qui permettent des avancées notables en matière de santé, de culture ou encore d'environnement et qui donnent tout leur sens à des financements souvent conséquents...



CONTRIBUTION

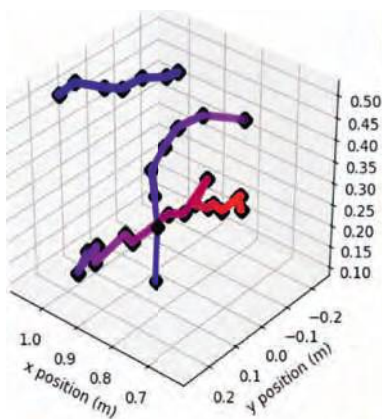
Jean-Paul Bobin,
journaliste

Si, il y a près de 150 ans, Jules Verne conviait ses lecteur-rices à un voyage extraordinaire 20 000 lieux sous les mers, aujourd'hui c'est davantage l'espace qui fait rêver. Et Toulouse possède, avec La Cité de l'Espace, un centre de culture scientifique exceptionnel qui permet à tous et toutes d'accéder au rêve spatial, encore plus proche à travers LuneXplorer, le nouvel équipement, unique en Europe,

qui permettra aux visiteur-euses de la Cité, dès l'été 2023, de vivre l'expérience sensorielle d'un décollage et d'un voyage vers la lune ! Un investissement de l'ordre de 11 millions d'euros, co-financé, aux côtés de Toulouse Métropole et de la Région Occitanie, par des fonds FEDER React EU, à hauteur de 5 millions d'euros.

Étudier les abeilles sauvages

Plus près de nous, Mathieu Lihoreau et ses collaborateur-trices du Centre de biologie intégrative ont, eux, les pieds bien sur terre et... les yeux en l'air pour observer le déplacement des abeilles. « Notre objectif est d'étudier le comportement des abeilles sauvages et notre ambition est de travailler sur la pollinisation. Les abeilles font des choix en fonction de leurs besoins et chaque individu en fait un différent de celui des autres. » Les travaux menés par cette équipe consistent à comprendre comment les abeilles s'orientent, comment elles choisissent les plantes qu'elles vont butiner et comment elles interagissent entre elles. « Nous proposons d'étudier cela en milieu naturel » précise Mathieu Lihoreau, chercheur CNRS au Centre de recherches sur la cognition animale.



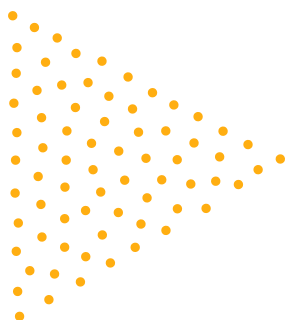
★ ★ Trajectoire des bourdons enregistrée par radar. À droite, bourdon butinant sur une fleur artificielle.

© T. Gomez-Moracho



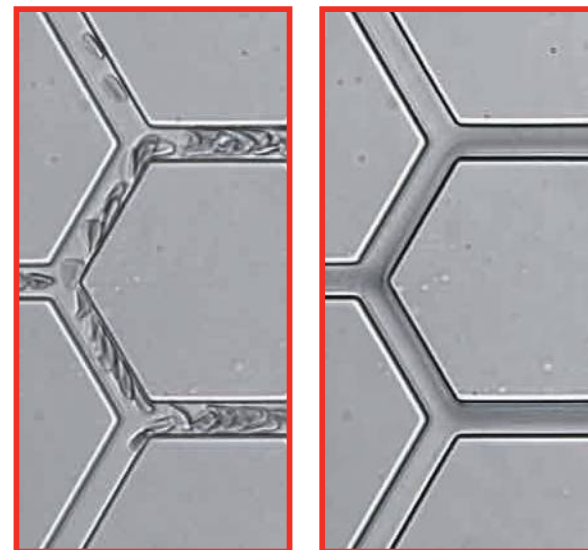
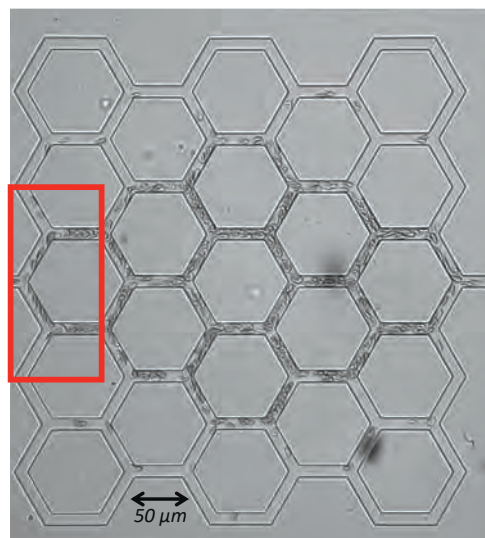
✨ À l'été 2023, La Cité de l'Espace (*ci-dessous*) proposera à ses visiteurs et visiteuses un voyage virtuel vers la lune à travers LuneXplorer, un équipement unique financé par la Région Occitanie, Toulouse Métropole et les fonds FEDER, à hauteur de 5 millions d'euros. © La Dépêche du Midi
Ci-contre, la Nuit européenne des chercheuses au Quai des Savoirs. © Quai des Savoirs





★ ★ Distribution inhomogène des globules rouges dans un réseau microfluidique. L'écoulement s'effectue de gauche à droite. Gauche : observation au microscope optique. Centre : zoom sur la région d'entrée. Droite : image moyenne mettant en évidence les trajectoires des globules
© Alan Merlo / IMFT

Un rucher existe déjà sur le campus de l'Université Paul Sabatier et bientôt une station de recherche sera installée à Pompertuzat. « *Nous développons des systèmes radar qui vont suivre nos abeilles. Chacune sera individualisée.* » Couplé à des « *plantes robotiques* », ce système permettra d'étudier comment la structure des paysages et les ressources disponibles influencent le choix des insectes. Des travaux essentiels lorsqu'on sait que 75 % de la production mondiale de nourriture dépend des insectes pollinisateurs, comme le précise un récent rapport de l'ONG Greenpeace. « *Il y a de moins en moins d'insectes pollinisateurs* », explique le chercheur ; la faute à la monoculture, aux insecticides, aux polluants... « *Nous aimerions aboutir à l'élaboration de propositions, voire de solutions pour améliorer la pollinisation des cultures ou la conservation des abeilles, dans les quinze ans à venir* », espère le chercheur toulousain qui précise : « *Notre approche est originale, basée sur le comportement de chaque abeille et potentiellement applicable ou simplement... illusoire. L'Europe aime les projets innovants, même s'ils sont risqués. L'European Research Council nous demande de communiquer sur nos travaux le*



plus largement possible, c'est normal car c'est de l'argent public. »

L'Union Européenne ne finance pas que des bourses de recherche, elle intervient également, via les Régions, autorités de gestion des fonds européens, dans le financement de nombreux projets de recherche aux bénéfices concrets pour les citoyens.

Pluridisciplinarité

Nadia Pellefigue, Vice-Présidente de la Région Occitanie en charge de l'Enseignement supérieur, de la Recherche, de l'Europe et des Relations Internationales, en liste quelques exemples. Ainsi, les chercheur-es du Centre de recherche en cancérologie de Toulouse sont-ils-elles pleinement engagés dans les différents programmes européens de recherche biomédicale. Par exemple, BIOLICAN projet

conduit avec le LAAS-CNRS, l'IUCT et l'Institut de recherche Pierre Fabre, est financé à 80 % par des fonds FEDER avec pour objectif la détection précoce du cancer et notamment des formes bronchiques à travers la conception d'un objet de biopsie liquide, à savoir une prise de sang. Entre 2014 et 2020, 187 entreprises de ex-Midi-Pyrénées ont ainsi participé à 380 projets de recherche essentiellement dans les domaines de la santé et de l'aéronautique. Citons PYCO-FIRE, un programme de recherche sur une meilleure tenue au feu des matériaux composites ou encore le projet INSPIRE, financé à hauteur de 6 millions d'euros par des fonds FEDER, et qui vise à identifier des bio marqueurs du vieillissement biologique « *ou comment vivre vieux et en bonne santé !* », précise Nadia Pellefigue. La santé, est également un enjeu des travaux de Sylvie Lorthois, chercheuse au CNRS. Avec

“ L'Union européenne intervient dans le financement de nombreux projets de recherche aux bénéfices concrets pour les citoyen-es



son équipe au sein de l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse elle mène, depuis plusieurs années, des recherches sur l'étude de l'organisation logistique du cerveau. Elle étudie comment les réseaux vasculaires déterminent la circulation sanguine dans le cerveau et l'alimentation des neurones en oxygène, ainsi que leur participation dans diverses pathologies.

Depuis une dizaine d'années, en effet, les chercheurs et chercheuses ont remarqué que la circulation sanguine du cerveau est impliquée dans des maladies telle la maladie d'Alzheimer. À terme, les recherches menées par l'équipe de Sylvie Lorthois pourraient fournir de nouveaux systèmes d'exploration du cerveau dans un but de diagnostic. Bien qu'assez théoriques, ces travaux du laboratoire de mécanique des fluides permettent « d'ouvrir le cadre ; c'est-à-dire qu'aujourd'hui les chercheur-es en biologie ou pharmacologie raisonnent dans un cadre conceptuel relativement étroit, hérité des années 1900, pour Alzheimer, qui n'a pas permis à l'heure actuelle de comprendre les mécanismes de la maladie. Il est donc important de se demander comment élargir le cadre pour trouver des pistes alternatives qui permettront de donner des leviers d'action. L'idée, c'est d'élargir le champs des hypothèses qui expliquent comment fonctionne et dysfonctionne un système très compliqué, qui est le cerveau. »

La chercheuse explique que, sans les financements européens, ses recherches n'auraient pas pu exister. « Il y a un sous-financement de la recherche fondamentale et interdisciplinaire à l'échelle française. Pour mes travaux, c'était très difficile d'avoir du soutien à l'échelle nationale et, ce qui est important dans le contexte du financement européen c'est que, si la mission de l'Europe est le financement de l'excellence scientifique, cela se traduit surtout par le soutien à des recherches très novatrices, indépendamment du potentiel d'application. Pour ce type de recherche, il y a une oreille plus attentive au niveau de l'Europe. En France, s'il n'y a pas une application directe, à court terme, c'est plus difficile de faire financer ses travaux. Le niveau européen permet de favoriser une recherche aboutissant à des changements de paradigme, des nouvelles compréhensions... » conclut Sylvie Lorthois.

Un constat partagé par Jean-Claude Dardelet, vice-président de Toulouse Métropole, adjoint au maire de Toulouse chargé de l'attractivité du tourisme de l'Europe et de l'international : « Aujourd'hui, face aux grands enjeux, nous ne pouvons plus rien faire seuls. Nos industriels, nos universités, nos centres de recherche bénéficient à plein des fonds européens, tout comme pour le programme, MERCATOR Océans, développé à Toulouse. » On retrouve Jules Verne... 🌀

★ ★ En 2019, Toulouse Métropole a été sélectionnée, dans le cadre du programme LIFE pour l'environnement et le climat, pour le projet basé sur l'expérimentation et les partenariats scientifiques concernant la végétalisation de la partie nord de l'île du Ramier. © Toulouse Métropole

Ophélie Lebrasseur,

Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse / CAGT (CNRS, UT3)

La poule, une longue histoire de domestication

Le saviez-vous ? Selon la FAO (Organisation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture), il y aurait sur Terre près de 25 milliards de poules, soit trois par personne sur la planète... « *En Occident, la plupart des poules sont élevées industriellement et les lignées ont très peu de diversité génétique. En Afrique et en Amérique du sud, en revanche, il y a beaucoup plus de poules de races indigènes. Il faut les étudier avant qu'elles ne disparaissent. C'est une course contre la montre* » explique Ophélie Lebrasseur, boursière MSCA au Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse et à l'Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano / INAPL à Buenos-Aires (Argentine), où elle effectue ses deux premières années de recherche. Formée à l'archéologie, à la biologie moléculaire et à la génétique, la scientifique souhaite, dans le cadre de son projet ARAUCANA, éclaircir les circonstances de l'arrivée de la poule en Amérique centrale, du Sud et aux Caraïbes, au XV^e siècle en provenance d'Europe et peut-être avant de Polynésie. « *Comment s'est-elle répandue chez les populations locales ? A-t-elle remplacé un autre oiseau qui occupait auparavant la même fonction – fournir des œufs, de la viande... ou pour l'ornement ?* » Ophélie Lebrasseur explorera les collections et les registres historiques, en coopération avec les archéologues argentin-es, à la recherche de restes anciens de ces volatiles. Les échantillons seront ensuite envoyés au CAGT à Toulouse pour faire parler leur ADN. « *Nous pourrions ainsi retracer l'histoire de la poule en Amérique, la sélection des races, les épidémies du passé* » souligne Ophélie Lebrasseur. « *Ces connaissances sont utiles car nous pouvons en tirer des leçons sur les défis mondiaux contemporains : la santé et la sécurité alimentaire.* »

1. ARAUCANA : Archaeological and anthropological unravelling of Chickens using ancient dna in Neotropical America

Yvette Running Horse Collin,

Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse / CAGT (CNRS, UT3)

Le cheval, témoin climatique et culturel

La période du dernier âge glaciaire, entre 110 000 et 11 000 ans avant notre ère, se caractérise par d'importantes fluctuations climatiques. Comment les populations animales s'y sont-elles adaptées, en particulier les chevaux d'Amérique du Nord ? C'est le sujet de recherche d'Yvette Running Horse Collin, boursière MSCA au Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse, dans le cadre du projet MethyLRIDE. Son parcours est pour le moins singulier. Membre de la tribu des Oglala Lakota, dans le Dakota du sud aux États-Unis, ayant élevé plus d'une centaine de chevaux dans l'état d'Alabama, la scientifique, a obtenu un doctorat en études indigènes de l'Université d'Alaska tout en apprenant les savoirs traditionnels de son peuple. « *Ce projet a une dimension interculturelle, qui vise à rapprocher la science occidentale de notre système de pensée indigène* », explique-t-elle. À Toulouse, les techniques de pointe du CAGT lui permettront d'analyser l'épigénome des chevaux : un ensemble de modifications chimiques de l'ADN, conséquence possible des changements environnementaux ou de l'action humaine, comme la domestication par exemple. « *N'étant pas biologiste à l'origine, je me suis formée aux protocoles d'extraction d'ADN* », précise la jeune femme. Les échantillons analysés proviennent d'ossement de chevaux découverts lors de fouilles de sites archéologiques. Une analyse comparative sera effectuée avec les épigénomes des chevaux actuels, incluant ceux des peuples indigènes d'Amérique du Nord. Dans le contexte du changement climatique, la connaissance des modifications épigénétiques au cours du temps des chevaux sera déterminante pour la gestion d'animaux d'élevage et la lutte contre l'extinction des espèces.

1. MethyLRIDE : Charting DNA methylation reprogramming of Ice Age horses in the face of global climate change and extinction

LES BOURSES MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTION (MSCA) :

UN TREMPLIN POUR LES JEUNES SCIENTIFIQUES

L'action Marie Skłodowska-Curie (MSCA) vise à encourager la mobilité des chercheur-es entre pays, secteurs et disciplines sur des projets de recherche et des programmes de formation. Financées par l'Union européenne, ces bourses permettent également à de jeunes scientifiques de mener leur propre projet de recherche sur une durée pouvant atteindre trois ans. Leur attribution est très compétitive, c'est pourquoi la qualité scientifique du projet et la rédaction de son argumentaire sont déterminantes. Les jeunes scientifiques vont acquérir de nouvelles compétences au sein de leurs laboratoires d'accueil, mais aussi en apportant, dans une logique gagnant-gagnant. Les bourses MSCA peuvent être obtenues à tout âge, elles constituent un important atout dans le CV, qui facilite l'obtention d'un poste fixe dans la recherche scientifique.

Nous vous proposons de découvrir les travaux de cinq chercheur-es actuellement dans les laboratoires du CNRS en Occitanie Ouest.

Rédaction, Jean-François Haït, journaliste scientifique.



MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTIONS
Research Fellowship Programme

Supplément gratuit du Petit illustré Europe co-édité par le CNRS Occitanie Ouest et La Dépêche du Midi. Juin 2022

Aziliz Lecomte,

Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes / LAAS-CNRS (CNRS)

Connecter le vivant

Comment mieux comprendre les pathologies du cerveau telles que l'épilepsie ou la maladie d'Alzheimer, tout en réduisant l'expérimentation sur les animaux ? « *La solution que j'étudie consiste à fabriquer des cerveaux miniatures que l'on peut connecter aux appareils de mesure pour enregistrer les signaux des neurones.* » explique Aziliz Lecomte, boursière MSCA au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS à Toulouse. L'interface cerveau-électronique était déjà le sujet de ses travaux de doctorat, pour lesquels elle avait reçu en 2016 la bourse L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science, dans la catégorie « Médecine du futur ». Dans le cadre de son nouveau projet SPHELECTRO¹, elle utilise des « cellules souches pluripotentes induites ». Autrement dit des cellules prélevées chez les patient-es qui, grâce à un traitement, sont rendues capables de se multiplier pour former des « organoïdes » de quelques millimètres au maximum, possédant certaines caractéristiques du cerveau humain. Mais il est difficile d'insérer un capteur dans ces structures vivantes réalistes sans perturber le développement et l'activité des neurones. C'est pourquoi, dans le projet d'Aziliz Lecomte, l'interface de connexion est flexible et directement intégrée à l'organoïde dès le début de sa formation. Il est ainsi possible de mesurer l'activité électrique à plusieurs endroits de celui-ci, de manière prolongée et avec une finesse à l'échelle de la cellule. « *Les mini-cerveaux pourront être produits à un grand nombre d'exemplaires et standardisés, à destination de l'industrie pharmaceutique* » imagine Aziliz Leconte qui envisage un premier prototype courant 2023.

1. SPHELECTRO : Flexible electronics integrating 3D nanostructured electrodes for cellular-resolution in-depth electrophysiology recordings from developing spheroids and organoids

Bastien Venzac,

Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes / LAAS-CNRS (CNRS)

Les microplastiques, des intrus dans notre intestin

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie quotidienne et constituent une véritable préoccupation environnementale. Ils peuvent en effet se dégrader au cours du temps pour former des fragments de quelques millimètres. Ces « microplastiques » sont détectés partout ou presque. On soupçonne également l'existence de « nanoplastiques », des milliers de fois plus petits. Ces débris sont-ils dangereux pour notre santé ? « *Pour le savoir, il faut les caractériser, et vérifier s'ils passent notre barrière intestinale* », explique Bastien Venzac, boursier MSCA au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS. Pour son projet MIGMIPS¹, le jeune chercheur met au point un modèle d'intestin *in vitro*. En se basant sur une propriété étonnante : l'épithélium, c'est-à-dire la couche interne de notre propre intestin, se renouvelle intégralement en à peine quatre jours. Grâce à l'impression 3D, Bastien Venzac crée une matrice munie de nombreux puits, qui vont recevoir des cellules souches d'épithélium. Elles se multiplient et forment un analogue de la paroi intestinale, sur lequel des échantillons de micro et nanoplastiques modèles sont déposés. Ceux-ci sont fournis par Alexandra Ter Halle et Clément Roux, chercheurs du laboratoire des Interactions moléculaires et réactivité chimique et photochimique / IMRCP (CNRS, UT3) à Toulouse. Si ces plastiques parviennent à passer la paroi intestinale, ils seront recueillis dans une minuscule quantité de liquide, préalablement concentrée selon une technique mise au point au LAAS-CNRS par Victor Fabre, doctorant à l'origine de ce micro-concentrateur et analysés. « *Les microplastiques sont-ils liés à des problèmes de santé publique émergents, comme la baisse de la fertilité ou les maladies neurologiques ?* » s'interroge Bastien Venzac. « *On l'ignore encore mais notre méthode réaliste peut faire progresser l'étude de leur toxicité.* »

1. MIGMIPS : Micro-guts for the study of translocation of microplastic

Margot Bador,

Climat, environnement, couplages et incertitudes / CECI (CNRS, CERFACS)

Comprendre les phénomènes climatiques extrêmes

Octobre 2020 : la tempête Alex balaye la France. En se déplaçant vers l'Est, elle provoque un « épisode méditerranéen », caractérisé par de très fortes pluies. Plusieurs vallées des Alpes-Maritimes sont dévastées par les rivières en crue et onze personnes périssent. « *Si la tempête Alex se reproduisait dans 30, 50 ou 80 ans, serait-elle plus intense encore par le fait du changement climatique ? C'est la question qui guide mes recherches* », explique Margot Bador, boursière MSCA au sein du laboratoire Climat, environnement, couplages et incertitudes à Toulouse. Dès ses études d'ingénierie, la jeune femme s'imaginait faire une thèse au-delà des échelles comme l'hydraulique et l'hydrologie : « *J'ai besoin de me placer à l'échelle du système Terre.* » Passionnée par les sciences du climat, elle se consacre d'abord à l'océanographie, puis se spécialise dans les « phénomènes extrêmes » : cyclones tropicaux, canicules et aujourd'hui les précipitations intenses, dans le cadre de son projet UMBRELLE . « *Globalement, il est probable que le réchauffement climatique aggrave ces précipitations extrêmes, car l'humidité de l'atmosphère augmente avec la hausse de la température. Mais à une échelle régionale, sur l'Europe en particulier, c'est beaucoup plus difficile à dire car les mécanismes en jeu sont nombreux et complexes.* » Pour le savoir, Margot Bador utilise plusieurs modèles climatiques – des jeux d'équations mathématiques – qui « tournent » sur les puissants ordinateurs de Météo France. Originalité de son approche : « *plutôt que de dégager une tendance moyenne, je proposerai plusieurs scénarios de futurs possibles, afin de mieux anticiper ces changements qui vont tous et toutes nous impacter.* »

1. UMBRELLE : Understanding mechanisms behind reliable future extreme precipitation estimation over Europe

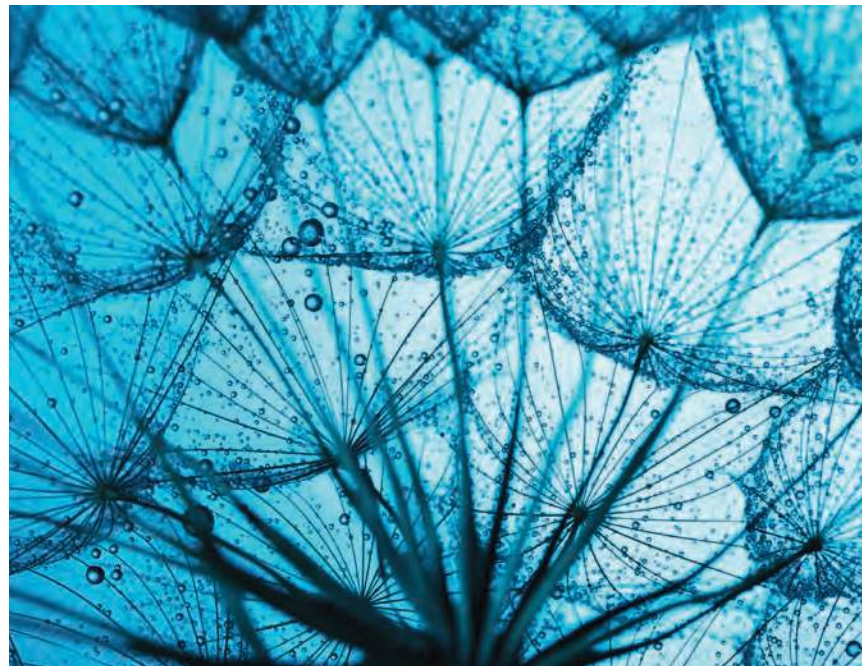
Coordination générale : Pascal Lemoine
Secrétariat d'édition : Jean-Paul Bobin
Coordination de l'édition : Valeria Medina
Comité de rédaction : Catherine Dematteis, Valeria Medina,
Jean-Paul Bobin, Éric Laffont-Baylet
Rédaction de l'encart : Jean-François Haït
Création graphique : Sandrine Lucas
Conseil scientifique : Etienne Snoeck, responsable du pôle Europe à la DERCI-CNRS,
directeur de recherche au CNRS
Couverture : Adobe Stock / Hurij Kacchkovskij

Bien que la société Le Cèdre ait fait tout son possible pour citer correctement et contacter la source et/ou le(s) détenteur(s) du copyright de chaque photo, nous nous excusons par avance de toute erreur ou omission involontaire qui serait immédiatement corrigée dans une prochaine édition.



Journal de la Démocratie
Groupe La Dépêche du Midi
Société Anonyme au capital de 3 577 010 euros
Siège : Avenue Jean Baylet, 31095 Toulouse CEDEX
Tél : 05 62 11 33 00 - Fax 05 61 44 74 74
e-mail : contact@ladepeche.com

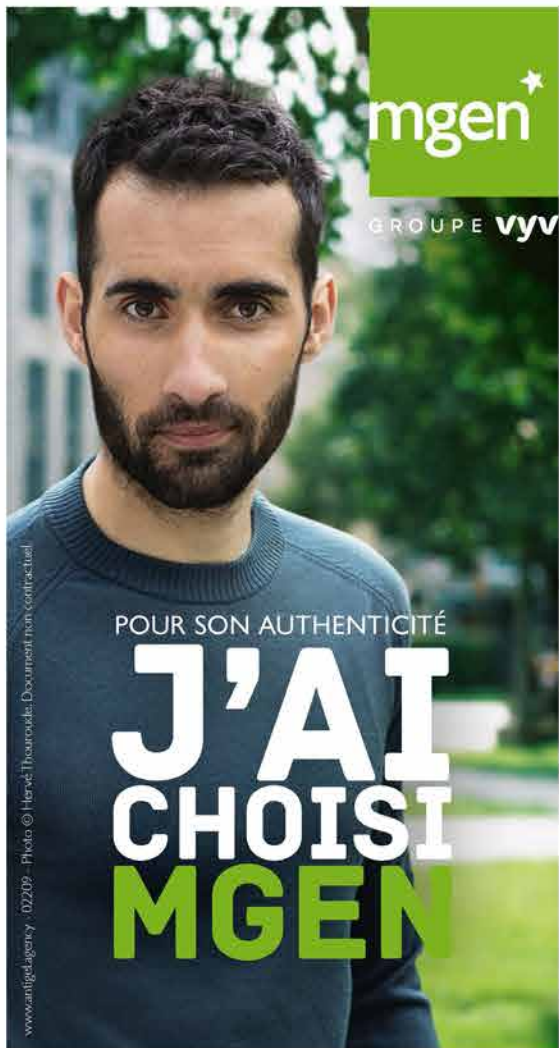
Président Directeur Général, responsable de la Rédaction :
Jean-Michel Baylet
Directeur de la publication
Jean-Nicolas Baylet
Commission paritaire n : 0320 C 87785 – ISSN 0181- 7981
Impression : Techni Print, avenue de Suède, 82 000 Montauban



© Adobe Stock / Hurij Kacchkovskij

« Il faut aussi écouter les citoyennes, citoyens et les acteurs socio-économiques car les solutions que peuvent proposer les travaux scientifiques nécessitent leur adhésion, notamment lorsque des changements de paradigme sont proposés », Antoine Petit, Président Directeur Général du CNRS.

CNRS Info, décembre 2021, « La recherche, l'avenir de l'Europe ».



www.advertisingagency - 02209 - Photo © Hervé Théron/Le Monde. Document non contractuel

mgen
GROUPE **vyv**

POUR SON AUTHENTICITÉ

J'AI CHOISI MGEN

MARTIN FOURCADE
CHAMPION DU MONDE &
CHAMPION OLYMPIQUE DE BIATHLON

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max Hymans - 75748 PARIS CEDEX 15.



casden
BANQUE POPULAIRE

La banque coopérative
de la Fonction publique

« **COMME MOI,
REJOIGNEZ LA CASDEN,
LA BANQUE DE LA FONCTION
PUBLIQUE !** »

Jenny, Enseignante chercheuse

La CASDEN est partenaire du CNRS Occitanie Ouest.

Pour plus d'informations, contactez :
Valérie Maria, animatrice régionale CASDEN
06 77 31 56 81 (appel non surtaxé, coût selon votre opérateur)
valerie.maria@casden.banquepopulaire.fr

PARIS 2024
PARIS 2024

casden.fr

Retrouvez-nous
chez

BANQUE POPULAIRE **+X**

CASDEN Banque Populaire - Société Anonyme Coopérative de Banque Populaire à capital variable - Siège social : 1 bis rue Jean Wiener 77420 Champs-sur-Marne - Siren n° 784 275 778 - RCS Seine-et-Marne - Immatriculation ORIAS n° 07 027 138 - BIC : CASDEN - Société anonyme à directeur et conseil de surveillance au capital de 170 384 630 euros - Siège social : 30, avenue Pierre Mendès France - 75201 Paris Cedex 13 - Siren n° 493 455 042 - RCS Paris - Immatriculation ORIAS n° 08 045 100 - Crédit photo : © Roman Jellamo - Conception : Insigni 2021 - Merci à Jenny, enseignante chercheuse d'avoir prêté son visage à notre campagne de communication.



Depuis le 1^{er} janvier la France assure la Présidence du Conseil de l'Union européenne, une occasion pour ce douzième numéro de la collection *Petit Illustré*, co-éditée par le CNRS Occitanie Ouest et La Dépêche du Midi, de présenter quelques-unes des recherches en cours et réalisées grâce au soutien financier de l'Union européenne et sélectionnées sur la base de leur excellence. Vous découvrirez la variété des domaines d'intérêt de l'Europe, de la santé à l'environnement en passant par le climat, l'espace, les technologies numériques, la biodiversité, la sécurité, l'alimentation... Et nous vous invitons à découvrir les effets concrets, pour les citoyens et citoyennes d'Occitanie des financements européens de la recherche.

LA DÉPÊCHE
DU MIDI

cnrs