

Trimestriel n° 309
SEPTEMBRE 2022

CNRS

LE JOURNAL



DOSSIER
Les maths formulent
leur futur

James Webb, LHC,
Gaia... Nouveaux regards
sur **L'UNIVERS**

Jean-Marie Tarascon,
médaille d'or
2022 du CNRS

Les grands
travaux de
la mécanique



DU 7 AU 17
OCTOBRE 2022



Visites Insolites

Vivez une expérience surprenante et inoubliable avec les sciences !

#CNRsinsolite

Plus d'informations sur : visitesinsolites.cnrs.fr



fête de la
Science



Océans

QUE RESTE-T-IL À DÉCOUVRIR ?

Une infographie
à retrouver sur
cnrslejournal.fr et

<https://sagascience.com/oceans/>



saga**science**

CNRS

LE JOURNAL

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 40 00

E-mail : lejournaldcnrs.fr

Le site Internet : https://lejournaldcnrs.fr

Anciens numéros :

https://lejournaldcnrs.fr/numeros-papiers

Directeur de la publication :

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Marie Mora

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Chefs de rubrique :

Laure Cailloce, Saman Musacchio, Yaroslav Pigenet

Rédactrices :

Sophie Félix, Laurence Stenvot

Ont participé à ce numéro :

Kheira Bettayeb, Anne-Sophie Boutaud, Grégory Fléchet, Mathieu Grousseau, Denis Guthleben, Gaël Hautemulle, Martin Koppe, Louise Mussat, Brigitte Perucca, Matthieu Stricot

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Sophie Léonard, Valérie Delchambre

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Illustrations :

Clémence Monnet / Agent 002

Fred Benaglia / Illustrissimo

Impression :

Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne

2, avenue Berthelot – Zac de Mercières

BP 60524 – 60205 Compiègne Cedex

ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution



Photos CNRS disponibles à : phototheque@cnrs.fr ;

http://phototheque.cnrs.fr

La reproduction intégrale ou partielle des textes et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet d'une demande auprès de la rédaction.

En couverture :

Le cœur de la nébuleuse d'Orion vu par

l'instrument NIRC2 du télescope spatial James Webb.

© NASA, ESA, CSA, DATA REDUCTION AND ANALYSIS : PDR54ALL ERS TEAM; GRAPHICAL PROCESSING S. FUENMAYOR

**Vous travaillez au CNRS
et souhaitez recevoir
CNRS LE JOURNAL
dans votre boîte aux lettres ?**

Abonnez-vous gratuitement sur :
» lejournaldcnrs.fr/abojournal

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS



Collecter et cartographier des données sur la pauvreté ; concevoir des stratégies optimales pour renforcer la résilience des systèmes alimentaires ; améliorer les prévisions de propagation d'épidémies ; accélérer la conception, les essais et le suivi des nouveaux vaccins ; assurer une gestion durable de l'eau et son assainissement pour tous ; construire des infrastructures résilientes ; promouvoir une industrialisation durable...

Quel est le lien entre ces objectifs tirés d'une étude de l'UNESCO parue en mars 2022¹ ? Tous peuvent être abordés avec les mathématiques dont l'abstraction, loin d'être un frein à l'application, est en réalité garante d'universalité. Fermat s'intéressait aux nombres premiers sans s'intéresser aux applications, ses travaux sont cependant à l'origine des protocoles de cryptographie au XX^e siècle. Perron et Frobenius se sont intéressés au début du XX^e siècle à des problèmes d'algèbre linéaire qui ont permis le développement des moteurs de recherche.

Ces exemples du passé ne doivent pas faire oublier que les mathématiques sont une science vivante ! La recherche mathématique en France vient de nouveau d'être distinguée par une médaille Fields attribuée à Hugo Duminil-Copin. Il rejoint la longue liste des mathématiciens reconnus par ce prix international prestigieux. Faut-il cependant se reposer sur les lauriers de ces réussites répétées ? Comment faire de la qualité de la recherche mathématique française un atout pour tout le pays ? C'est à ces questions que répondront les Assises des mathématiques² organisées en 2022 par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi) du CNRS. Il revenait en effet à l'Insmi, dont la mission est de coordonner et animer la communauté mathématique française, d'organiser une grande réflexion collective sur l'avenir de notre discipline. Les enjeux sont de taille : les mathématiques, dont

“Les mathématiques, dont l'impact est toujours plus fort sur l'économie de notre pays, ont un rôle central à jouer dans notre société.”

l'impact est toujours plus fort sur l'économie de notre pays, ont un rôle central à jouer dans notre société. Il faut cependant être vigilant à maintenir une culture et une recherche mathématiques au plus haut niveau pour être en mesure de répondre aux défis de demain.

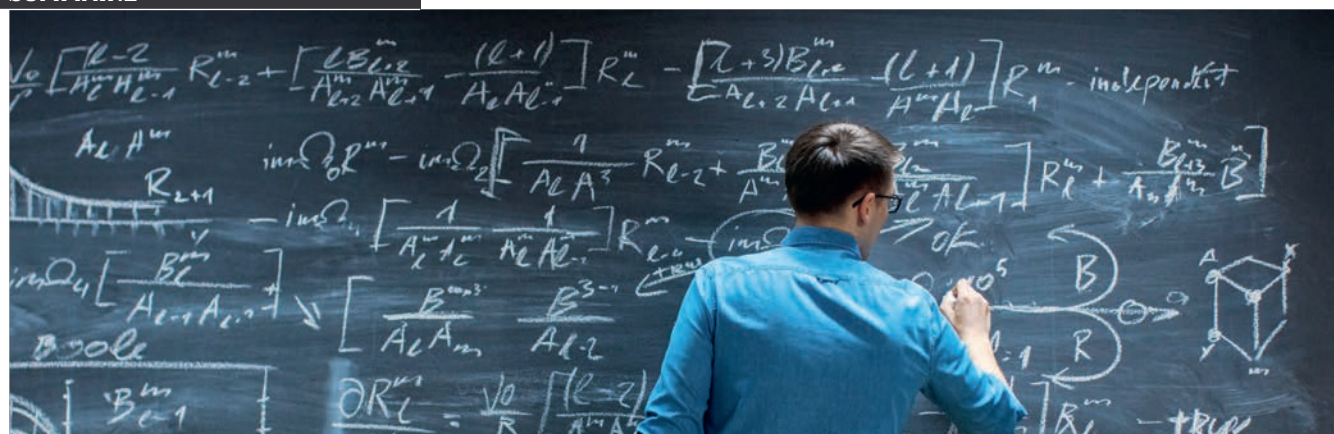
Le point d'orgue des Assises est une grande conférence qui se déroulera du 14 au 16 novembre à Paris en présence de grands industriels et de scientifiques de tous horizons. Je vous invite dès maintenant à nous rejoindre pour cet événement majeur !

Christophe Besse,
directeur de l'Institut national des sciences mathématiques
et de leurs interactions (Insmi) du CNRS



© CYRIL FRÉLON / CNRS PHOTOTHÈQUE

1. <https://www.unesco.org/fr/articles/etude-les-mathematiciens-ont-un-role-vital-pour-relever-les-defis-contemporains> 2. <https://www.assises-des-mathematiques.fr>



GRAND FORMAT

13

Les maths forment leur futur	14
La recherche se dévoile en images	24
Les grands travaux de la mécanique	30



9

Claude Grison,
bon génie de
la chimie verte

EN PERSONNE

5

Jean-Marie Tarascon, virtuose de l'énergie	6
Claude Grison, bon génie de la chimie verte	9
Au sommet de l'innovation	10
Brèves	12



38

Les mystères de
la grotte Cosquer

EN ACTION

37

Les mystères de la grotte Cosquer	38
La Fondation CNRS, une dynamique bien engagée	42
Gaia : le catalogue galactique nouveau est arrivé	44
Quand le verre et la lumière font des étincelles	46
L'IA s'attaque à la sclérose en plaques	50
Avec le projet Across : Make our air great again	52
Au Cern, l'exploration des origines de l'Univers repart de plus belle	54
Le big data au service de la transition écologique	56



58

Du privilège
masculin dans
les médias

LES IDÉES

57

Du privilège masculin dans les médias	58
Inégalités de patrimoine : les femmes toujours à la peine	60

PLUS BELLE LA SCIENCE

Visions spatiales	64
-------------------------	----

LA CHRONIQUE

Roscoff, un phare pour la science	66
---	----

EN PERSONNE



*Rendez-vous avec un virtuose
de l'énergie, une experte ès dépollution
et des scientifiques très inventifs.*

ILLUSTRATION : CLÉMENCE MONNET/AGENT002 POUR CNRS LE JOURNAL

Jean-Marie Tarascon, virtuose de l'énergie

MATIÈRE

PORTRAIT C'est le lauréat de la médaille d'or du CNRS 2022 : le chimiste Jean-Marie Tarascon, mondialement reconnu pour ses travaux pionniers et ses innovations sur les batteries, recevra sa récompense, l'une des plus prestigieuses de la recherche française, le 14 décembre prochain à Paris.

PAR LOUISE MUSSAT

“ Je voulais être agriculteur, et j'étais passionné par le rugby ». Jean-Marie Tarascon¹, 69 ans, sera finalement chimiste de haut vol (et grand amateur de foot). C'est en partie à lui et à ses équipes que l'on doit les remarquables performances des batteries de nos ordinateurs, de nos téléphones portables et de nos véhicules électriques. Cosignataire d'une centaine de brevets, auteur de plus de sept cents papiers scientifiques, il est aussi lauréat d'une vingtaine de prix prestigieux auxquels s'ajoute désormais la médaille d'or du CNRS 2022. Cette récompense ainsi qu'une dotation de 50 000 euros de la part de la Fondation CNRS lui seront remises le 14 décembre lors d'une cérémonie à Paris.

De la campagne française au rêve américain

Adolescent à Marmande (Lot-et-Garonne), Jean-Marie Tarascon envisage pourtant son avenir dans les champs, comme son père. Mais il a cinq frères et tous ne peuvent pas succéder au père à la tête de l'exploitation familiale. « Il fallait bien que je trouve quelque chose à faire... relate-t-il avec un vif accent du sud-ouest dont il ne s'est jamais départi. Au lycée, j'étais plutôt bon en physique chimie, sans être encore captivé par la discipline. Alors post-bac, j'ai intégré l'école de chimie de Bordeaux. Là, je suis tombé sur un prof passionnant qui nous expliquait comment fonctionnent les machines qui nous entourent. J'ai tout de suite trouvé ça fascinant et pour la première fois, je suis allé à la bibliothèque me documenter par moi-même pendant des heures. »

À l'école de chimie, Jean-Marie rencontre Régine, celle qui deviendra son épouse, et se pique de chimie des solides. Il en fera son sujet de thèse à l'université de

Bordeaux, avant d'exporter son talent et la passion qui l'anime de l'autre côté de l'Atlantique : pour son postdoc, il est accueilli par la prestigieuse université de Cornell. « Je n'étais quasiment jamais sorti de ma région, je n'avais jamais encore mis les pieds à Paris, alors quand je débarque, c'est un peu un choc : je me sens perdu, il fait un temps misérable... »

Mais Jean-Marie Tarascon découvre vite le bon côté de l'exil : « Faire de la recherche aux États-Unis à l'époque, c'était extraordinaire. [...] Là-bas, je me sentais totalement libre de faire mes expériences à ma façon et quand bon me semblait... » À l'issue du postdoc, il est immédiatement recruté par Bell Labs². Nous sommes en 1981. Les téléphones portables ne sont encore qu'à l'état de prototype, mais déjà les objets portatifs se développent à une vitesse fulgurante. Ainsi que leur indispensable auxiliaire : les batteries. Et dans le domaine, une révolution vient d'avoir lieu : celle des accumulateurs ion-lithium, à l'efficacité redoutable.

“ Un chercheur ne doit pas se résumer à une bible de connaissances, mais plutôt remettre en cause les dogmes, s'évertuer à penser un peu différemment de ce qui se fait. ”

« Bell Lab, c'était l'endroit au monde où l'on pouvait croiser le plus de Prix Nobel au mètre carré, et ils étaient tous très accessibles... toutes les conditions étaient réunies pour devenir un bon chercheur », se souvient-il. Alors qu'il travaille à améliorer – encore – l'efficacité des batteries ion-lithium, il fait une véritable percée en parvenant à remplacer la cathode à base de cobalt par une autre à base de manganèse, un matériau plus vertueux et plus performant. C'est

1. Laboratoire Chimie du solide et de l'énergie (CNRS/Collège de France/Sorbonne Université). 2. AT&T Bell Laboratories, plus connu sous le nom de Bell Labs.



► Le chimiste Jean-Marie Tarascon, nouveau lauréat de la médaille d'or du CNRS, en juillet 2022.

en selle sur les batteries, avec à la clé, si possible, une avancée majeure dans le domaine. »

Il suffisait de demander ! Dans la recherche et l'industrie des batteries ion-lithium, Jean-Marie Tarascon, désormais père d'un petit garçon, va provoquer une nouvelle percée, fort d'une « vision ». *« Je me lance toujours dans l'expérimentation avant de savoir comment ça va marcher, à l'intuition [...], raconte-t-il avec un sourire espiègle. J'estime qu'un chercheur ne doit pas se résumer à une bible de connaissances, mais qu'il doit plutôt remettre en cause les dogmes, s'évertuer à penser un peu différemment de ce qui se fait. »* Et ce qui se fait à l'époque, ce sont des batteries cylindriques, difficiles à miniaturiser et à loger dans n'importe quel appareil. Pour y remédier, notre chimiste a l'idée de concevoir des accumulateurs plats et flexibles, et pour ce faire, d'utiliser une matrice plastique pour accueillir tous les éléments actifs de la batterie et y piéger l'électrolyte liquide.

« Pour que ce genre d'idées de rupture fonctionne, il faut la partager avec le plus grand nombre afin de susciter l'enthousiasme et de réunir autour de soi des talents [...] En entendant mon idée, Paul Warren, l'inventeur des fils souples des téléphones fixes, alors chef d'un département chez Bellcore, a carrément quitté sa position pour rejoindre mon équipe. » Sage décision. Après quatre années de tests, les premières batteries flexibles plates sont présentées au public lors d'une conférence de presse, en 1994. C'est grâce à cette technologie, protégée par 25 brevets, que des batteries ion-lithium peuvent aujourd'hui équiper certains véhicules électriques et smartphones.

Retour gagnant dans l'Hexagone

« Après ce succès, Bellcore m'a bien sûr demandé de rester [...], mais avec l'engagement de faire une nouvelle découverte marquante dans les quatre ans. Pareille pression est certes un puissant moteur d'innovation, mais à la longue, c'est un peu fatigant », raconte le chercheur. En 1995, le laboratoire des matériaux d'Amiens cherche son nouveau directeur et pour séduire Jean-Marie Tarascon, lui propose d'emblée

d'ailleurs de cette technologie que le constructeur Renault a doté ses premières voitures ZOE. La carrière du jeune chercheur débute à peine et pourtant, il cosigne déjà une demi-douzaine de brevets en même temps qu'il se fait un nom dans la communauté.

Un esprit fédérateur pour des avancées majeures

Du fait de la loi antitrust sur le point d'être votée aux États-Unis, le système Bell doit être scindé en plusieurs sociétés distinctes et, après quelques tractations, la pépite française intègre l'une de ces nouvelles entités, Bellcore, dont le credo est *“Do what you want, but be number one”*. Le chercheur y délaisse un temps les batteries pour le sujet alors en vogue et qu'il connaît bien pour l'avoir traité lors de son postdoctorat : la supra-conductivité. Mais en 1989, un séisme de magnitude 6,9 secoue la Californie. *« Or, la série de batteries – alors au plomb – mise en place pour fournir de l'électricité pendant huit heures en cas de black out [...] s'essouffle au bout d'une heure seulement, se souvient-il. Pointé du doigt pour ce couac, Bellcore nous a laissé le choix : partir ou se remettre*



© FRÉDÉRIQUE PLUS / CSE / CNRS PHOTOTHÈQUE

► Avec son équipe, Jean-Marie Tarascon implante une fibre optique munie d'un capteur de Bragg dans une cellule de batterie. Ces capteurs optiques permettent de suivre, en temps réel, l'évolution de l'état de santé de la batterie.

de passer professeur de classe exceptionnelle – alors qu'il n'a encore jamais enseigné. Il décide donc de traverser l'Atlantique dans l'autre sens. En Picardie, il recrute sa nouvelle équipe, à qui il révèle son tempérament, forgé au fil de ses quinze années américaines. « *C'est un expérimentateur, quelqu'un qui entend mettre lui-même les mains dans le cambouis, quitte à dormir au laboratoire pour surveiller une manip* », décrit Mathieu Morcrette, aujourd'hui directeur du laboratoire picard ³ avec qui il a longtemps travaillé. Le groupe mènera d'ailleurs des travaux pionniers, notamment sur des composés de batteries fabriqués à partir de la biomasse, par exemple l'acide phytique, issu du maïs.

Dès son arrivée, Jean-Marie Tarascon met en place une unité de prototypage, où les chercheurs de tous laboratoires peuvent venir tester le potentiel de leur produit, sans être tributaires des entreprises. S'il se heurte à la lourdeur du système administratif, essuie une salve de critiques, il parvient malgré tout à imposer son idée et crée aussi dans la foulée Alistore, le réseau de recherche européen sur les batteries, encore en activité aujourd'hui.

Un engagement pour des batteries plus vertueuses

Il tente ensuite de créer un réseau français de stockage de l'énergie. Mais la pesanteur administrative à laquelle il fait face est encore plus décourageante, de sorte qu'il envisage sérieusement un retour aux États-Unis. « *En 2010, l'université de Santa Barbara m'avait fait une belle offre que j'avais acceptée, et je devais commencer le 1^{er} avril, se souvient-il. Mais le 29 mars, l'un de mes collègues au ministère apprend que je pars et en alerte immédiatement Valérie Pécresse, alors ministre de la Recherche. Le lendemain, je recevais une lettre d'engagement de sa part, me promettant de financer 40 post-docs pour créer le fameux réseau français dont je rêvais. Le jour suivant, le président du CNRS Alain Fuchs m'a reçu dans son bureau pour m'assurer qu'il soutenait à 100 % mon projet* ». Le réseau RS2E a donc vu le jour, qui rassemble aujourd'hui dix-sept laboratoires universitaires et autant d'industriels.

Peu après son arrivée au Collège de France en 2014, Jean-Marie Tarascon a mis en lumière un tout nouveau mécanisme : l'anionique redox. « *Il s'agit d'exploiter l'activité électrochimique de l'oxygène et non plus seulement du cobalt (ou du manganèse) afin de dégager plus d'électrons et donc de produire plus d'énergie, ce qui peut permettre en théorie de doubler les performances des batteries !* explique-t-il. *Je crois que c'est la découverte dont je suis le plus fier.* » Avec ses collègues, il signe aussi la conception de batteries ion-sodium, un élément des milliers de fois plus abondant sur Terre que ne l'est le lithium : « *On ne peut plus continuer l'extraction massive du lithium et du cobalt qui pose des problèmes éthiques et environnementaux. Il faut absolument se tourner vers des matériaux plus vertueux, dont le manganèse et le sodium* », insiste-t-il. Dans ce but, en 2018, il crée la société Tiamat avec ses partenaires du RS2E.

Autre enjeu important, prolonger la durée de vie des batteries : « *C'est mon dada !* commente-t-il avec un immense sourire. [...] *les batteries vont devenir de plus en plus indispensables à notre quotidien. Or, à mesure qu'elles se chargent et se déchargent, elles s'usent. Malheureusement, il est impossible de poser un diagnostic sur leurs défaillances : ce sont des boîtes noires inaccessibles.* »

Fortement inspiré par la médecine, notre lauréat s'évertue donc à concevoir des batteries intelligentes dotées de capteurs en fibres optiques permettant de mesurer en direct leurs propriétés. Et de conclure : « *Avec cette technologie qui doit encore mûrir, on espère dans un premier temps optimiser la durée de vie des batteries, puis la doubler. À terme, nous souhaitons être capables de réparer in situ leurs moindres bobos dans l'objectif de les faire tenir très longtemps et ainsi de préserver les ressources de la planète...* » Pour quelqu'un qui vient de la terre, voilà qui est cohérent. II



Lire l'intégralité du portrait sur lejournal.cnrs.fr

Directrice du laboratoire ChimEco ¹, Claude Grison a remporté le Prix de l'Inventeur européen de l'année 2022 dans la catégorie « Recherche ». Il récompense les méthodes de chimie verte qu'elle a développées avec son équipe pour décontaminer les sols et l'eau grâce à des filtres végétaux totalement biosourcés. Ceux-ci sont fabriqués à partir de plantes envahissantes comme la Jussie d'eau dont elle débarrasse les zones humides, favorisant par là même la biodiversité des lieux. Mieux encore : les métaux ainsi filtrés, souvent stratégiques, sont réutilisés comme écocatalyseurs dans la synthèse de médicaments ou de produits cosmétiques. Un triple carton écologique !

¹. Chimie bio-inspirée et innovations écologiques (unité CNRS/Université de Montpellier).

Claude Grison, bon génie de la chimie verte

PAR LA RÉDACTION

Zinc

...palladium, cuivre, etc.,
sont les métaux chers ou
stratégiques dont elle
dépollue les sols
et l'eau.

0,7mm

le diamètre des
particules du filtre
végétal fabriqué à
base de Jussie
d'eau broyée.

10

le nombre de tonnes de
Jussie d'eau dont son
équipe débarrasse les
zones humides.

23

le nombre de
polluants retenus
par ses filtres
végétaux.

4

start-up créées dont
BioInspir qui produit les
premiers solvants 100%
biosourcés et
biodégradables.

172

publications scientifiques
dans des revues à comité
de lecture.

45

brevets déposés
en lien avec
ses travaux.



Lire le diaporama « Elle dépollue
le sol et l'eau grâce à... des
plantes ! » sur lejournel.cnrs.fr

6000

le nombre de molécules
différentes synthétisées
grâce aux filtres recyclés
en écocatalyseurs.

DISTINCTION

Jacques Marteau, Céline Vallot, Pierre Nassoy et Denis Spitzer sont les quatre lauréats de la médaille de l'innovation du CNRS 2022. Cette récompense leur a été remise pour la première fois au salon VivaTech, qui s'est tenu à Paris du 15 au 18 juin.

PAR SOPHIE FÉLIX

Au sommet

Jacques Marteau

PIONNIER DE L'IMAGERIE
PAR MUONS

« En tant que physicien des particules, être reconnu pour une application industrielle de mes recherches est inattendu ! »,

reconnait Jacques Marteau, maître de conférences à l'Institut de physique des deux infinis de Lyon*. Pourtant, « grâce à une succession de belles rencontres et de hasards », le chercheur a rapidement identifié le potentiel d'une technologie initialement développée pour la recherche fondamentale : le détecteur de muons. Particule élémentaire produite naturellement dans l'atmosphère, le muon traverse la matière sur de longues distances sans être absorbé. De quoi explorer en

trois dimensions de grandes structures et répondre à des questions de volcanologie, géologie, voire climatologie. Après plusieurs brevets et contrats industriels, Jacques Marteau et son équipe créent en 2021 la start-up Muodim, qui vise un marché très large autour du contrôle non destructif appliqué par exemple à la sidérurgie, la prospection géophysique ou le génie civil.

* Unité CNRS/Université Claude Bernard.

Pierre Nassoy

PRODUCTEUR
DE CELLULES SOUCHES

Pour Pierre Nassoy, l'intéressant naît des rencontres. De disciplines d'abord : le directeur de recherche CNRS applique des approches de physico-chimie au vivant. De compétences ensuite : « Pour réussir un projet de valorisation, il faut une recherche porteuse mais aussi des volontés pour la développer. On ne fait rien seul », assure-t-il. Au Laboratoire photonique, numérique et nanosciences* (LP2N) à Talence, il s'intéresse aux thérapies de demain à base de cellules souches, notamment contre les tumeurs et la maladie de Parkinson, multipliant les brevets. Grâce à une prématuration au CNRS dont

« l'accompagnement a été crucial », sa société TreeFrog Therapeutics est une des start-up françaises les plus remarquées et primées de ces derniers temps, au niveau national comme international. Avec sa technologie de rupture, elle produit ces cellules souches de façon fiable, avec un très haut niveau de qualité et en grande quantité, et vient d'ouvrir une première filiale aux États-Unis.

* Unité CNRS/Institut d'optique Graduate School/Université de Bordeaux.



de l'innovation



Céline Vallot

EXPERTE CONTRE LE CANCER

Dans de nombreux cas de cancer, la progression tumorale et les processus de résistance ne peuvent être expliqués par des mutations de l'ADN.

C'est pourquoi Céline Vallot se concentre avec son équipe sur les mécanismes non génétiques, en particulier épigénétiques, qui peuvent expliquer l'adaptabilité des cellules cancéreuses. Elle est co-inventrice de deux familles de brevets et de deux logiciels, permettant une analyse interactive et rapide de données cellulaires par des personnes sans com-

pétence computationnelle particulière, comme des biologistes et médecins à la recherche de nouvelles cibles thérapeutiques. La directrice de recherche CNRS au laboratoire Dynamique de l'information génétique : bases fondamentales et cancer* (DIG-Cancer), a fondé la start-up One Biosciences qui a pour ambition de devenir un leader mondial dans la médecine de précision pour maladies complexes. « *L'innovation va de pair avec la recherche : pluridisciplinaire par nature, elle permet de se poser de nouvelles questions, de casser les silos et de rester compétitif* », témoigne Céline Vallot.

* Unité CNRS/Institut Curie/Sorbonne Université.



Denis Spitzer

INVENTEUR DE PROCÉDÉS POUR DES POUDRES ULTRAFINES

Aujourd'hui, 90 % des médicaments, dont près de 40 % des médicaments anticancéreux, se dissolvent de manière non satisfaisante, ce qui gêne leur absorption et impose des doses élevées. Face à ce défi, Denis Spitzer, directeur du laboratoire Nanomatériaux pour les systèmes sous sollicitations extrêmes* (NS3E), a inventé deux procédés qui facilitent l'étude, la formulation et la production de particules d'une taille en dessous du micron qu'aucun autre procédé n'atteint. Pour la première fois, ils permettent d'élaborer en continu et en

quantités industrielles des composés pharmaceutiques, cosmétiques, agro-alimentaires ou pour la transition énergétique (batteries, cellules solaires, etc.). Très polyvalents, ces procédés économiques, sûrs et à impact environnemental restreint font l'objet de dix-huit brevets, dont six internationaux, et de nombreux partenariats. « *En maîtrisant la réaction à l'échelle locale, on crée des produits inédits dont les industriels sont très demandeurs* », atteste le directeur de recherche à l'Institut franco-allemand de recherches Saint Louis. Suite à une prématuration au CNRS, Denis Spitzer valorise ses découvertes avec la société Spinofrin.

* Unité CNRS/Institut franco-allemand de recherches Saint Louis/Université de Strasbourg.



Recherche de fossiles menée en Afrique du Sud dans le cadre des travaux de l'IRL Homen.

© IRL HOMEN & MIPSA

Des conseillers pour l'Afrique

Dans le cadre de son plan pluriannuel de coopérations avec l'Afrique, le CNRS a voulu s'entourer d'un conseil consultatif dont les membres se sont réunis pour la première fois le 27 juin. Ceux-ci sont des personnalités scientifiques africaines qui ont aussi des fonctions de définition de politiques scientifiques et promotion de la science au niveau panafricain, des scientifiques du CNRS avec une longue expérience de la coopération en Afrique dont Laurent Bruxelles, ainsi qu'Elisa Simonpietri, directrice internationale des programmes Sciences à la Fondation L'Oréal. Le Conseil se réunira tous les six mois pour conseiller la direction du CNRS.

<https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-cnrs-sentoure-dun-conseil-consultatif-sur-lafrique>

© CYRIL FRÉLILLON / CNRS PHOTOTHÈQUE



Ghislaine Bala, nouvelle directrice de la DCIF

Depuis le 1^{er} juillet, Ghislaine Bala a rejoint le CNRS en tant qu'agent comptable principal et directrice des comptes et de l'information financière. Administratrice des finances publiques, Ghislaine Bala débute sa carrière au sein du Trésor public où elle exerce divers métiers de la gestion publique et l'audit avant d'être promue cheffe des services en 2002. Après des postes de responsable de centres informatiques à enjeux de la DGFIP, en 2012, elle rejoint la Mission de coopération internationale à Bercy comme cheffe du pôle Gestion publique, puis à partir de 2017, les fonctions d'agent comptable du Budget annexe de la Direction de l'information légale et administrative (Dila).

© STUDIO PHOTO PLASSANCE

Mehdi Gmar à la tête de CNRS Innovation

Le 1^{er} juin, Mehdi Gmar, précédemment conseiller recherche et industrie au cabinet de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, a été nommé directeur de CNRS Innovation. Diplômé d'un titre d'ingénieur en physique et d'un doctorat en instrumentation nucléaire, il a occupé pendant vingt ans au CEA des fonctions d'encadrement de travaux de recherche en instrumentation, puis de management de la recherche technologique pour l'innovation des entreprises, avant de rejoindre le Secrétariat général pour l'investissement en 2016, puis de nouveau le CEA en 2019 et le ministère en 2021.



Les huit trophés



© D.R.

Ambassadeurs de la science ouverte

Le 8 juillet, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a dévoilé les lauréats de la 1^{re} édition des prix « Science ouverte des données de la recherche ». Ceux-ci ont été créés pour « mettre en lumière des projets, des équipes et des jeunes chercheurs engagés dans des pratiques exemplaires de gestion, de diffusion et de réutilisation des données de recherche. » Les laboratoires liés au CNRS sont bien présents au palmarès, avec les projets EMM, Norine et Mobiliscope récompensés dans la catégorie « créer les conditions de la réutilisation » ; les projets Prospection d'Amathonte et MouseTube qui reçoivent la mention spéciale du jury ; ou encore Victor Gay, un des deux lauréats de la catégorie « réutilisation de données - prix jeunes chercheurs ».

Alphanie Midelet remporte MT180

Le 31 mai, Alphanie Midelet, doctorante de l'université Grenoble Alpes, a remporté la finale nationale du concours Ma thèse en 180 secondes, organisée par le CNRS et France Universités avec l'université de Lyon. La présentation de sa thèse – intitulée

« Traitement du syndrome d'apnée obstructive du sommeil par pression positive continue : étude des données de télésurveillance pour comprendre l'impact des modifications du traitement et prédire les événements aigus » – lui ouvre ainsi les portes de la finale internationale lors de laquelle elle représentera la France le 6 octobre prochain à Montréal.

<https://mt180.fr/>



© MT180 / FRANCE UNIVERSITÉS CNRS / DAVID PELL

GRAND FORMAT

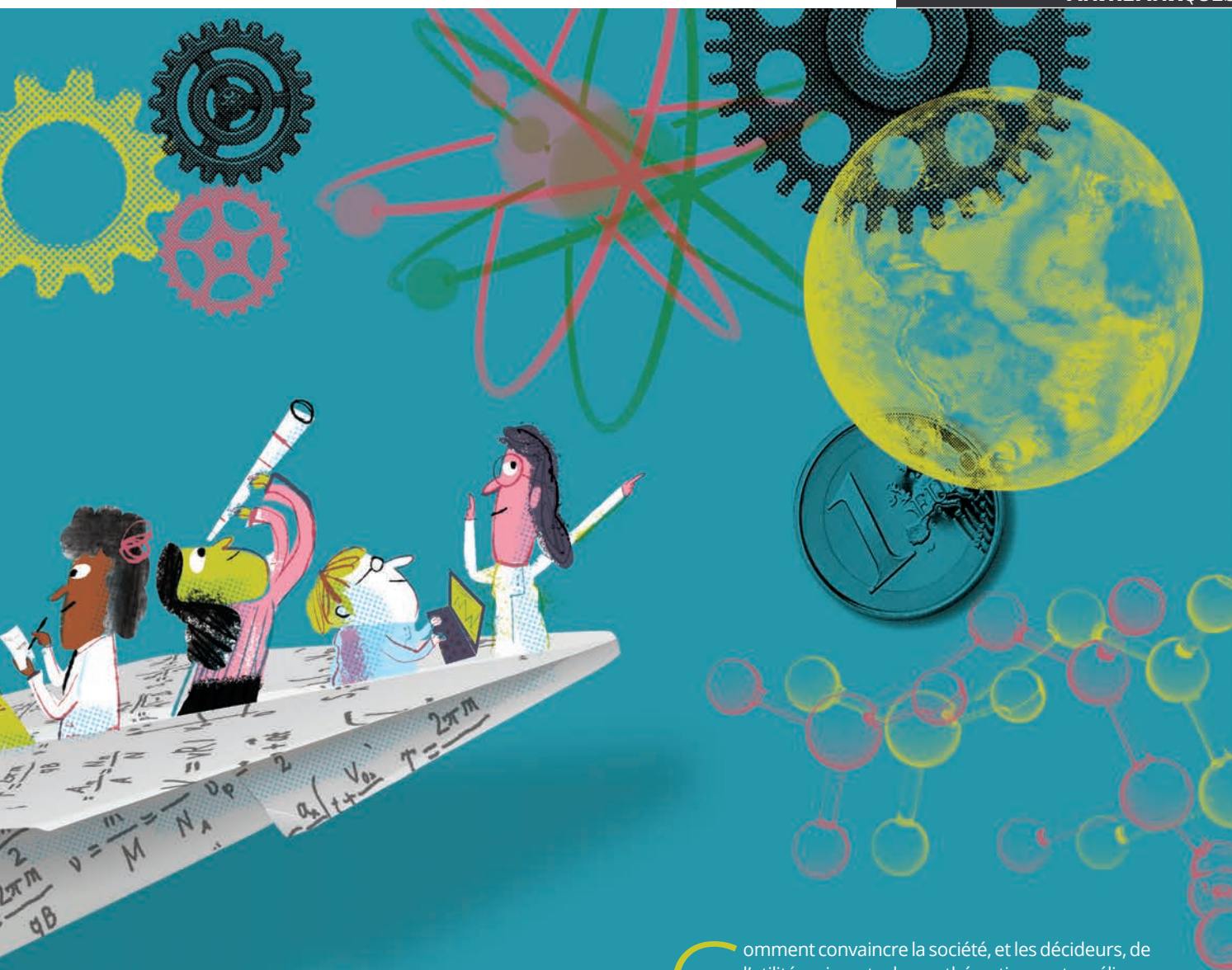


*Les mathématiques se mobilisent
pour leur avenir, la recherche
livre ses plus belles images
et la mécanique sort de l'ombre.*

ILLUSTRATION : CLÉMENCE MONNET/AGENT002 POUR CNRS LE JOURNAL

Les maths formulent leur futur





Du 14 au 16 novembre, l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi) du CNRS organise les Assises des mathématiques à la Maison de l'UNESCO de Paris. Point d'orgue d'une année de travail et de réflexion, cet événement s'annonce crucial pour l'avenir de cette discipline en France. Car si la recherche française excelle toujours – comme l'atteste la médaille Fields d'Hugo Duminil-Copin – et joue un rôle majeur dans l'économie du pays, d'immenses défis sont à relever très vite.

DOSSIER RÉALISÉ PAR SOPHIE FÉLIX ET MARTIN KOPPE
ILLUSTRATIONS FRED BENAGLIA / ILLUSTRISSIMO

Comment convaincre la société, et les décideurs, de l'utilité croissante des mathématiques et améliorer leur impact en France ? C'est à cette question complexe que tentent de répondre les Assises des mathématiques, organisées cette année par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi) du CNRS. « *Il y a une forte attente de la communauté, dont le travail de réflexion doit être suivi d'effets concrets* », soutient Stéphane Jaffard, professeur au Laboratoire d'analyse et de mathématiques appliquées¹ et coordinateur des Assises.

Celles-ci sont construites en trois temps, avec un grand colloque pour point culminant. Pour commencer, une évaluation de l'impact socio-économique des mathématiques en France vient actualiser un rapport de 2015. Sur cette base, dans un second temps, des groupes de travail ont abordé différents aspects de l'évolution de la discipline, comme les interactions avec les autres sciences, le rôle sociétal des mathématiques ou encore les débouchés professionnels. « *80 % des personnes interrogées sont extérieures aux mathématiques, pour établir un diagnostic objectif qui exprime les besoins de la société* », détaille Stéphane Jaffard. Chaque groupe propose aussi des pistes de réflexion à destination des décideurs.

1. Unité CNRS/Université Gustave Eiffel/Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne.



L'enseignement des mathématiques dans le supérieur et l'attractivité des carrières font partie des grands sujets abordés durant les Assises.

En particulier, un groupe a analysé la place des mathématiques dans l'économie française. En effet, l'évaluation a montré son influence croissante : en 2019, en France, les mathématiques ont un impact direct sur 13 % des emplois salariés et près de 18 % du Produit intérieur brut (PIB), contre 15 % en 2015. Soit de l'ordre de 3,3 millions d'emplois et 381 milliards d'euros de valeur ajoutée, avec une inégale répartition selon les régions.

Un fort impact économique

« Aujourd'hui, 15 % des académiques de la discipline sont engagés dans des relations avec les entreprises, chiffre encore la copilote du groupe de travail, Véronique Maume-Deschamps, directrice de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies)². C'est significatif mais insuffisant pour répondre à toutes les sollicitations intéressantes. »

Le groupe s'est entretenu avec des entreprises, des pôles de compétitivité et des organisations patronales, et s'est appuyé sur les données d'Amies ainsi que sur une enquête

préexistante sur les scientifiques en entreprise. Il ressort que les entreprises souhaitent s'attacher des mathématiciens et mathématiciennes afin d'évaluer leurs systèmes de production actuels et d'innover pour rester compétitives, en particulier dans les domaines de haute technologie. Pour ce faire, ces entreprises, surtout les grands groupes, ont une bonne connaissance des dispositifs et leviers existants – crédit impôt recherche, projets collaboratifs, chaires industrielles, laboratoires communs, bourses Cifre³, etc. Potentiellement, toutes les disciplines mathématiques sont concernées pour les recrutements, des compétences en analyse de données et/ou programmation informatique étant toutefois déterminantes. Plus globalement, une certaine culture scientifique est jugée indispensable pour les salariés des milieux techniques comme non techniques : « être capable de mettre des chiffres derrière des faits, de détecter une anomalie et d'anticiper les problèmes sont des compétences valorisées », témoigne Véronique Maume-Deschamps.

Renforcer les dialogues

Du côté des académiques, les principales motivations pour s'engager dans une collaboration avec l'industrie sont la curiosité, l'intérêt scientifique des problématiques et l'accès aux données et méthodologies, mais aussi la confrontation avec d'autres impératifs et méthodes de travail. Ces collaborations s'inscrivent souvent dans une dynamique à long terme. Mais aligner les attentes des deux côtés demande des efforts : formuler les problèmes de manière mathématique, construire un vocabulaire partagé, prendre en compte les délais et critères de validation différents et la prise de

“En 2019, en France, les maths ont un impact direct sur 13 % des emplois salariés et près de 18 % du Produit intérieur brut (PIB).”

risque, inhérente à la recherche mais à laquelle les entreprises sont parfois réticentes... « *Mettre en place et promouvoir des lieux d'échanges formels et informels fait partie de nos préconisations* », souligne la directrice d'Amies.

Ces interactions avec les industriels ouvrent aussi la voie à une diversification des carrières des mathématiciens et mathématiciennes, en valorisant le doctorat et les compétences pertinentes pour les entreprises qu'il permet de développer, comme la résolution de problèmes complexes. Mais « *il faut aussi valoriser les débouchés dans la recherche publique, afin que la France préserve la qualité de sa production de connaissances mathématiques* », plaide Stéphane Jaffard, face à la « *fuite des cerveaux* », à la fois vers l'étranger et le privé.

Pour cela, de nombreuses questions se posent sur l'organisation et le financement de la recherche en mathématiques. Outre le manque de postes et la difficulté, parfois, à identifier les mathématiciens et mathématiciennes qui exercent au sein d'autres domaines, le système même de financement, à l'échelle nationale ou européenne, interroge. Si la France occupe la tête des pays qui ont reçu le plus de bourses européennes (ERC) pour des projets mathématiques, avec un taux de succès élevé de 18 %, la part de la discipline ne représente que 2 % des projets financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) en 2019, un nombre en baisse constante. « *L'adéquation entre la discipline et le système de financement sur projets mérite débat* », juge le coordinateur des Assises.



Pour en savoir plus

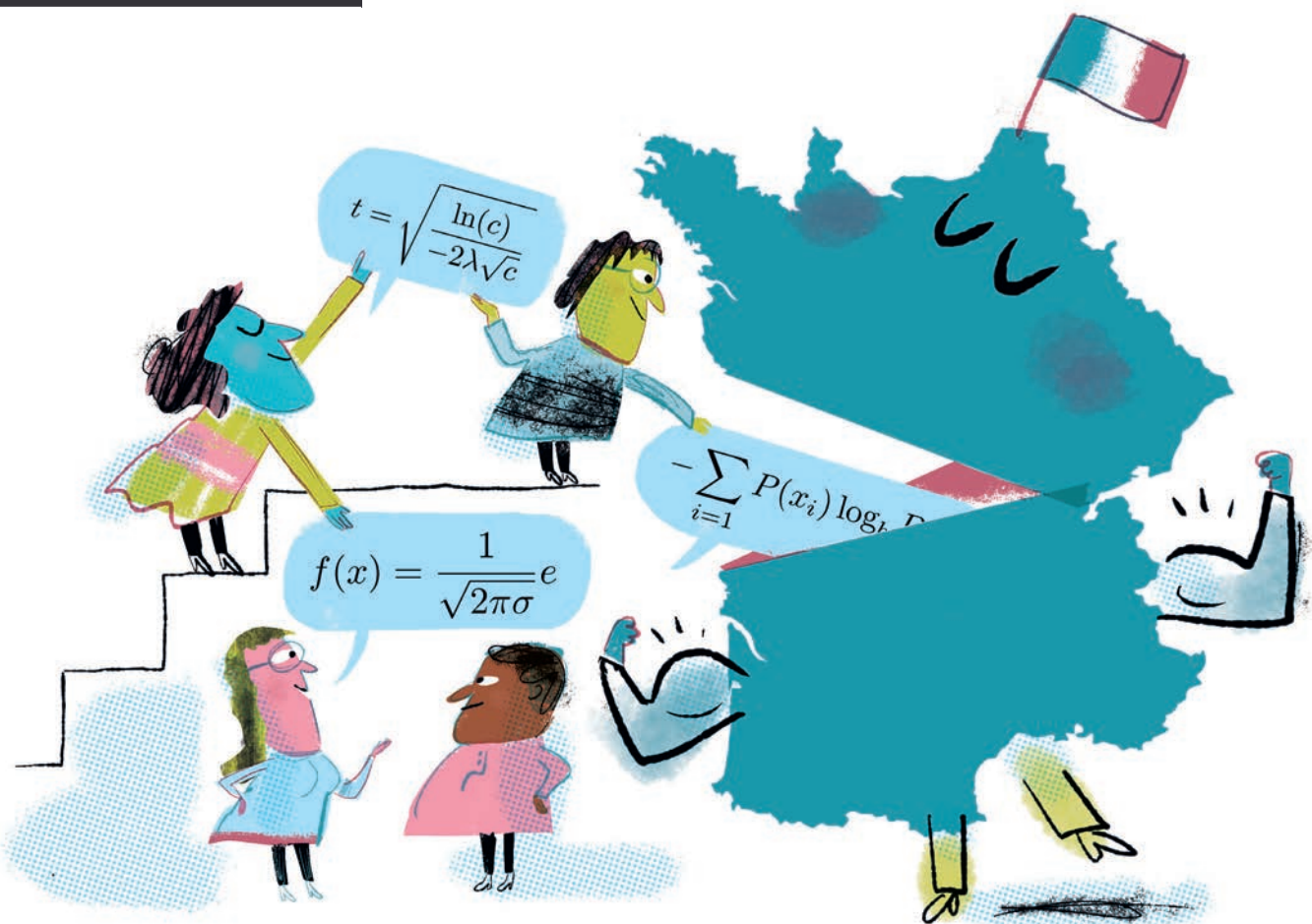
Le site des Assises des mathématiques

>> <https://www.assises-des-mathematiques.fr>

Les mathématiques au service de la planète

« *Les questions environnementales sont complexes. Il faut les aborder avec la palette la plus large possible d'approches scientifiques pour obtenir des modèles pertinents* », affirment Laure Saint-Raymond et Arnaud Guillin, directeurs de l'Institut des mathématiques pour la planète Terre. Les interactions entre mathématiciens et géophysiciens ont par exemple une longue tradition, avec de nouveaux défis : fonte des glaciers, érosion côtière, crues, etc. La notion de modèle mathématique entre aussi de plus en plus dans les mœurs des biologistes (étude des populations, etc.). Mais les interfaces avec les sciences humaines et sociales restent encore « *à construire* ». Le réseau, qui a vocation à s'agrandir, s'y efforce. Avec une règle : « *La collaboration doit stimuler la recherche dans les différentes disciplines. Chacun doit faire un pas vers l'autre.* »





Ceci est particulièrement vrai pour les projets interdisciplinaires, difficiles à évaluer par les jurys d'appel à projets, de concours ou pour jauger les carrières, ou par les revues de haut niveau qui sont souvent disciplinaires. Or, face aux défis du XXI^e siècle, des domaines comme l'environnement, la santé (voir encadrés), l'intelligence artificielle (IA), la cryptographie post-quantique ou la cybersécurité – qui posent des questions de souveraineté nationale –, font de plus en plus appel aux mathématiques avancées : simulation numérique, traitement d'image, statistiques, modélisation, optimisation, etc. Ils posent aussi de nouvelles questions aux mathématiques, en particulier sur la fiabilité de modèles qui peinent à prendre en compte l'ensemble de la complexité du réel, préparant le futur de la discipline.

Une interdisciplinarité déséquilibrée

Un autre groupe de travail s'est penché sur ces collaborations entre domaines. Il a interrogé 23 scientifiques français ou étrangers – en physique, informatique, biologie, sociologie, psychologie et sciences de l'environnement – soit « *un petit échantillon de la diversité des sciences et de leur relation aux mathématiques* », confesse le copilote du groupe Pierre Pansu, enseignant-chercheur au Laboratoire de mathématiques d'Orsay⁴. Deux constats ressortent. D'abord, la recherche interdisciplinaire, pourtant indispensable pour résoudre les enjeux modernes, peut encore être aujourd'hui un

Une aide incontournable pour la santé

« Il y a autant de différences entre domaines mathématiques qu'entre spécialités médicales, et les points de rencontre peuvent être multiples », décrit Jean-Christophe Thalabard, médecin et chercheur au laboratoire Mathématiques appliquées à Paris 5*, qui milite pour des programmes ou structures permettant des cultures communes médecine-science. Les domaines de la santé sont nombreux à bénéficier des outils et applications issus des mathématiques : imagerie s'appuyant sur la reconstruction d'images 3D, robotique, analyse de données, IA, etc. La pandémie de Covid-19 a bien montré ces interactions, de la modélisation de sa propagation au suivi de l'évolution génétique du virus et à l'optimisation des stratégies de dépistage et vaccination. « Les mathématiques tirent le maximum de données de santé difficiles à obtenir, pour mieux comprendre un phénomène et rendre la médecine plus efficace », assure Jean-Stéphane Dhersin, directeur-adjoint scientifique de l'Insmi, saluant les « nombreux mathématiciens et mathématiciennes ayant répondu à la demande en un temps très court ».

*. Unité CNRS/Université Paris Cité.

4. Unité CNRS/Université Paris-Saclay. 5. Dont le CNRS est fondateur et partenaire scientifique parmi huit institutions.

désavantage pour les carrières : elle est une prise de risque et nécessite un temps long d'acculturation non productif en termes de publication, en plus des soucis d'évaluation et de reconnaissance institutionnelle. Ensuite, « *la personne qui se met en position d'étudiant pour apprendre les concepts et le jargon de l'autre discipline est presque toujours le mathématicien ou la mathématicienne*, note Pierre Pansu. *Et ce d'autant plus que la discipline est éloignée du mode de pensée quantitatif.* » Un déséquilibre qui justifie, selon le chercheur, que les pouvoirs publics portent une « *attention particulière* » à ces collaborations impliquant des mathématiques. Font partie des idées à débattre : des années supplémentaires pour les thèses multidisciplinaires, des centres de rencontre et laboratoires interdisciplinaires où se bâtit une culture commune, ou des postes consacrés aux mathématiciens par d'autres disciplines.

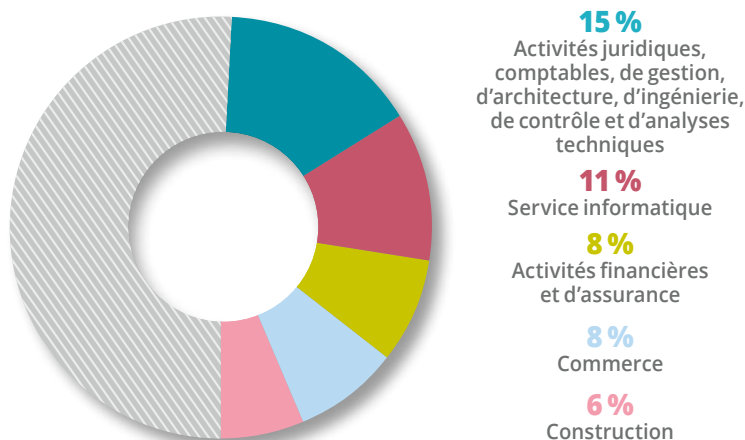
Pour réduire le déséquilibre, donner les connaissances scientifiques utiles à des collaborations interdisciplinaires dès les études serait aussi une solution, avec des enseignements « *construits pour voir fonctionner deux disciplines main dans la main* » : les étudiantes et étudiants en mathématiques pourraient ainsi être sensibilisés, avec l'aide d'un enseignant en biologie par exemple, à l'exploitation de données réelles (non idéales en qualité et quantité) et parfaire une culture scientifique plus large. « *Certains de ces futurs scientifiques pourraient jouer le rôle de passeur, faire le pont entre les disciplines pour faciliter les collaborations* », souhaite Pierre Pansu.

Préparer le futur

Au cœur d'un autre groupe de travail, la formation de la future génération de salariés et de scientifiques mérite ainsi réflexion. Depuis les années 2010, le niveau moyen des élèves du primaire et du secondaire diminue, comme le nombre d'élèves suivant des cours de mathématiques au collège et lycée. Certaines entreprises organisent déjà des formations continues... Côté recherche, son niveau est reconnu à l'international et le vivier d'étudiants se maintient dans le supérieur. Mais les places de chercheurs et d'enseignants-chercheurs restent insuffisantes pour créer de bonnes conditions de recherche et d'apprentissage, et la discipline est peu féminisée. « *Pour préparer le futur, il faut prévoir des actions coordonnées et efficaces envers les jeunes, et les jeunes filles en particulier* », reconnaît Stéphane Jaffard.

« *Le système souffre aujourd'hui de biais qui éloignent les filles et les classes populaires des carrières liées aux mathématiques* », confirme Gaël Octavia, responsable de la communication à la Fondation Sciences mathématiques de Paris⁵ et membre du groupe de travail sur le rôle sociétal des mathématiques qui a interrogé des mathématiciens, ingénieurs,

En France, 5 secteurs représentent à eux seuls ~50 % des emplois impactés par les mathématiques (Étude de l'impact économique des Mathématiques en France, 2022) :



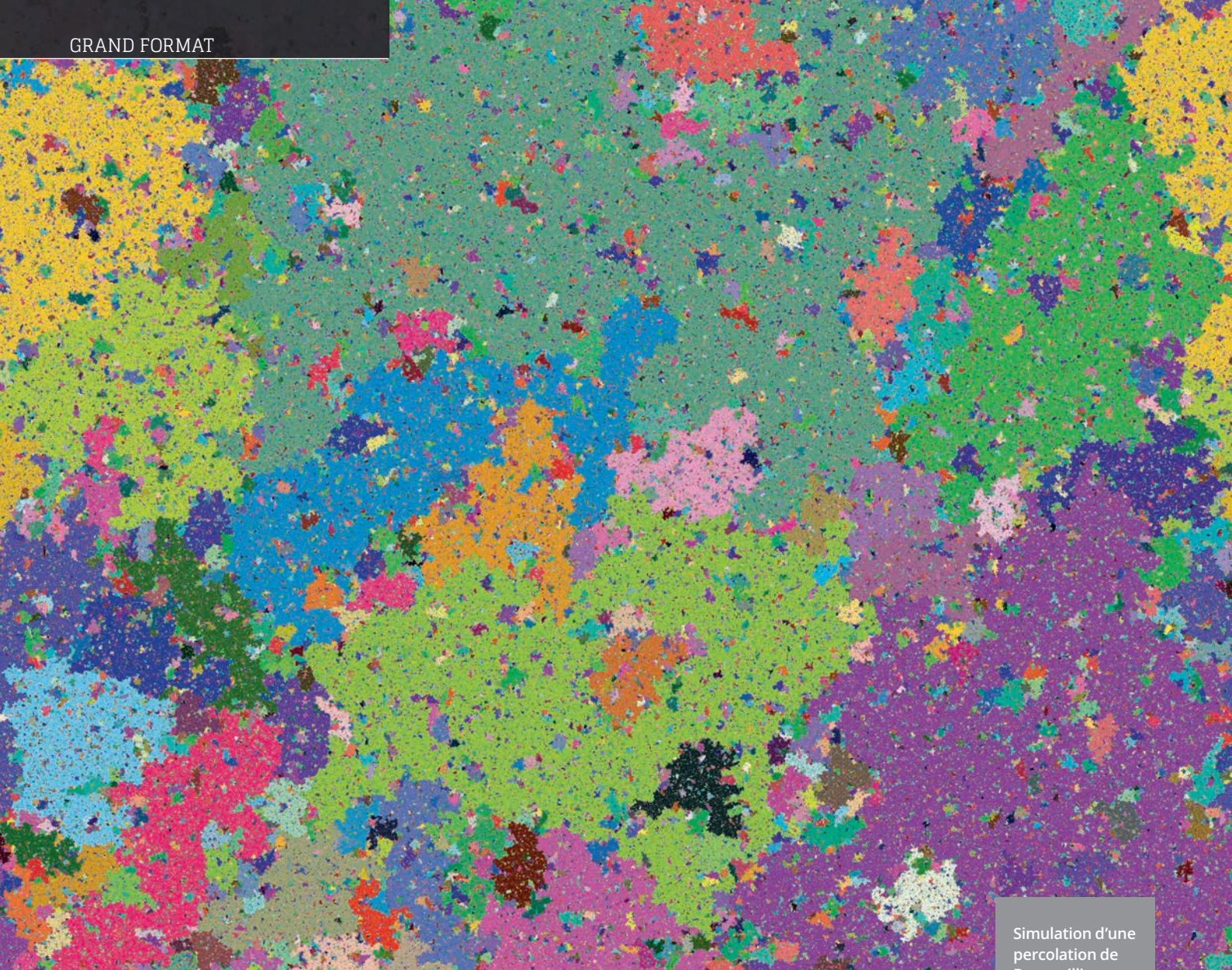
magistrats, linguistes, professeurs des écoles, journalistes scientifiques, artistes, etc. Il y aurait aussi un « *paradoxe* » dans la société. D'une part, l'omniprésence des mathématiques dans la science et la technologie, et donc dans la vie quotidienne, de la sécurité des transactions sur Internet au classement des résultats dans un moteur de recherche, en passant par la géolocalisation ou la compréhension du climat. D'autre part, la méconnaissance voire le rejet que le domaine provoque chez le grand public. « *Nous sommes tous usagers des mathématiques mais souvent de manière passive* », s'attriste Gaël Octavia.

Obtenir du concret

Un paradoxe, mais aussi un « *danger* ». Les mathématiques et les sciences seraient en effet un « *outil de liberté* », face aux *fake news* et aux manipulations, notamment politiques. « *Pour un débat démocratique sain, il faut des journalistes aptes à vérifier des informations chiffrées, à critiquer la logique d'un raisonnement, et des citoyens maîtrisant les ordres de grandeur, les bases des statistiques, capables de comprendre ce qu'on peut faire dire ou non à un sondage.* » La communauté s'est bien sûr déjà penchée sur ces questions et les initiatives se multiplient. « *Pour vraiment changer les choses, il faut une réelle volonté politique qui réaffirme la place des mathématiques* », assure Gaël Octavia, demandant, comme ses collègues, des « *mesures concrètes et cohérentes* ».

C'est l'objectif final des Assises, via un colloque organisé à la Maison de l'UNESCO de Paris du 14 au 16 novembre, auquel sont invités des sommités de la discipline – comme le nouveau médaillé Fields français Hugo Duminil-Copin (*lire p. 20*) – et plusieurs ministres. Quatre tables rondes permettront de débattre des préconisations des groupes de travail avec différents publics. Une synthèse rassemblera ces discussions. Pour Stéphane Jaffard, « *notre souhait est que l'État réponde présent et que des annonces fortes soient faites* », comme un plan qui prendrait en compte l'ensemble des besoins en France. « *Nous veillerons à ce que les promesses soient tenues* », garantit-il. ▮

“Le système souffre aujourd'hui de biais qui éloignent les filles et les classes populaires des carrières liées aux mathématiques.”



© MENDES OULAMARA

Simulation d'une percolation de Bernoulli au point critique, pour étudier les phénomènes de transition de phase.

L'envol des probabilités

Le 5 juillet, Hugo Duminil-Copin devenait le 16^e médaillé Fields issu d'un laboratoire dont le CNRS est tutelle, pour ses travaux de pointe dans le domaine des probabilités. Une spécialité de plus en plus importante pour la société et emblématique des questions abordées lors des Assises des mathématiques.

Hugo Duminil-Copin a reçu la prestigieuse médaille Fields, avec l'Ukrainienne Maryna Viazovska (deuxième femme lauréate de l'Histoire), le Britannique James Maynard et l'Américano-sud-coréen June Huh, le 5 juillet 2022 lors du Congrès international des mathématiciens.

Fortement associées dans l'imaginaire collectif aux jeux de hasard, les probabilités se sont progressivement affirmées comme un champ de recherche à part entière et irriguent à présent la plupart des sciences. Cette discipline, qui offre des outils aussi nécessaires à la Bourse qu'à la physique quantique, fait véritablement l'objet d'une recherche académique riche et variée, dont les travaux d'Hugo Duminil-Copin, récent lauréat de la prestigieuse médaille Fields, sont la parfaite illustration.

La spécialité du nouveau médaillé : les probabilités liées à la physique. Il s'intéresse tout particulièrement au modèle d'Ising, nommé d'après le physicien allemand Ernst Ising (1900-1998). « *Ce modèle sert à comprendre le ferromagnétisme* », explique le professeur à l'université de Genève et à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES), membre du Laboratoire Alexander Grothendieck¹. C'est-à-dire un mécanisme selon lequel un matériau peut être attiré par des aimants ou en devenir un. « *Dans ce modèle, les aimants y sont considérés comme constitués de dipôles, des sortes d'aimants minuscules pointant vers le Nord ou le Sud*, poursuit le médaillé. *Les dipôles sont disposés dans une configuration aléatoire dont nous étudions les propriétés probabilistes. La question la plus naturelle consiste à vouloir savoir si un système ou un matériau se comportent ou non comme un aimant. Or, et c'est très intéressant, la réponse dépend de la température.* »

Ferromagnétisme, marches aléatoires et percolation

Les variations de température produisent en effet des transitions de phase, c'est-à-dire des changements d'état, qui ont un impact direct sur les propriétés physiques des matériaux. Le système peut ainsi passer d'un état ferromagnétique, à la magnétisation spontanée, à un état paramagnétique, où l'aimantation ne va avoir lieu qu'en présence d'un champ magnétique extérieur. Ce phénomène, découvert par Pierre Curie, est très bien décrit par le modèle d'Ising qui fournit de nombreux résultats depuis près de cent ans. Mais ceux-ci étaient loin de décrire toutes les situations.

« *Ces résultats sont surtout obtenus sur le modèle planaire*, confirme Hugo Duminil-Copin. *J'ai donc préféré étudier le modèle d'Ising en trois dimensions – ce qui correspond aux conditions réelles des aimants – mais aussi en quatre dimensions, la quatrième correspondant au temps. Cela permet de relier le modèle d'Ising à la théorie des champs quantiques.* » Avec Michael Aizenman et Vidas Sidoravicius, Hugo Duminil-Copin a montré qu'en dimension trois, le modèle d'Ising présentait une transition de phase continue. Une avancée qui confirme de façon théorique et donc robuste des observations expérimentales !



Avant les questions de transition de phase, Hugo Duminil-Copin a commencé par travailler avec son directeur de recherche Stanislav Smirnov, professeur à l'université de Genève et Médaille Fields 2010, sur les marches auto-évitantes. Il s'agit de marches aléatoires, où chaque nouveau pas se fait dans une direction aléatoire (on les appelle aussi « marches de l'ivrogne »), mais avec la particularité qu'il n'est pas possible de repasser par un endroit où l'on est déjà allé. Les deux mathématiciens ont en particulier étudié ces marches bien spéciales sur des réseaux hexagonaux.

Le mathématicien travaille également sur la théorie de la percolation. Là, il s'agit de modéliser la porosité des matériaux pour comprendre si un gaz ou un fluide peut les traverser. Comme par exemple dans un masque à gaz... Le matériau est représenté comme un labyrinthe aléatoire, lui-même modélisé sous la forme d'un graphe aléatoire dont chaque arête correspond à un tunnel où un fluide peut s'engager. Plus les graphes aléatoires sont connectés et plus il y a de tunnels permettant au liquide ou au gaz de passer. On retrouve ici des questions de transition de phase, entre des états où les arêtes sont plus ou moins ouvertes. « *Les modèles de percolation sont essentiellement basés sur des arêtes indépendantes, alors je travaille à élaborer une théorie avec des arêtes qui ne le sont pas* », ajoute Hugo Duminil-Copin.

1. Unité CNRS/IHES.



Une chose est sûre : les différents travaux du tout récent lauréat de la médaille Fields révèlent son goût pour la physique. « J'ai toujours aimé la physique et j'ai longtemps hésité entre les deux, précise-t-il. Puis j'ai trouvé, presque par hasard et grâce aux probabilités, un domaine à l'interface de l'intuition physique et de la rigueur mathématique. C'est une belle synergie entre mes deux façons de composer. » L'approche partagée par d'autres chercheurs révèle à quel point les probabilités et la physique sont aujourd'hui intimement liées.

Une discipline très proche de la physique

Spécialiste de l'histoire des probabilités, Laurent Mazliak, maître de conférences à Sorbonne Université et membre du Laboratoire de probabilités, statistique et modélisation² (LPSM), ne dit pas autre chose. S'il faut remonter au début du XIX^e siècle et la publication en 1812 de la *Théorie analytique des probabilités* par Pierre-Simon de Laplace, « posant ainsi les fondements d'une théorie probabiliste qui était encore très fragmentée », Laurent Mazliak date le rapprochement avec la physique au début du XX^e siècle, et spécialement dans l'entre-deux-guerres. À ce moment-là, l'essor et les évolutions de la physique la rendent avide en probabilités et en

statistiques. Et les liens ne sont jamais distendus, comme l'attestent donc les travaux d'Hugo Duminil-Copin, mais aussi par exemple ceux de Nicolas Curien. Pour ce dernier, professeur à l'université Paris-Saclay et membre du Laboratoire de mathématiques d'Orsay³ (LMO), « la mécanique quantique est intrinsèquement aléatoire. Einstein disait que Dieu ne jouait pas aux dés, mais il semble que le hasard a bien un rôle important. Les probabilités actuelles nous ont d'ailleurs permis d'améliorer les démonstrations de beaucoup de travaux plus anciens en physique théorique. »

Nicolas Curien est spécialisé dans la géométrie des grands graphes aléatoires. Cette discipline a connu un puissant essor car elle a permis la modélisation et l'étude de grands réseaux, comme Internet et les réseaux sociaux. Les applications courantes consistent à tirer des informations des réseaux, comme inférer à partir de ses connexions les goûts ou les idées d'un utilisateur pour des annonces publicitaires. « Je m'intéresse plutôt aux graphes venant de la physique théorique, où ces graphes servent par exemple à représenter la gravité quantique en deux dimensions, souligne le mathématicien. Ils sont moins denses que ceux des réseaux sociaux, je pourrais même les dessiner sur une feuille sans que leurs arêtes se croisent ! »

« J'essaie surtout de comprendre l'universalité, poursuit Nicolas Curien. De nombreux modèles perdent en effet leurs propriétés lorsqu'ils deviennent très grands et changent d'échelle. Énormément de modèles discrets convergent alors vers un seul modèle continu, et j'essaie d'établir comment cette universalité se met en place. L'archétype de ce phénomène est la loi gaussienne, ou loi normale. » C'est cette loi, centrale dans les statistiques et les probabilités, qui régit la manière dont les valeurs se distribuent autour de la moyenne. Plus l'échantillon est grand, et plus les valeurs extrêmes sont contrebalancées par des résultats proches de la moyenne.

« Les statistiques sont des probabilités à l'envers, s'amuse le chercheur. En probabilités, on connaît la distribution et on regarde ses propriétés. En statistiques, on a les données et on tente de remonter à la distribution qui les a faites naître. Les

2. Unité CNRS/Sorbonne Université/Université Paris Cité. 3. Unité CNRS/Université Paris Saclay.

probabilités sont cependant devenues une discipline mature, qui se nourrit elle-même. Ses problématiques internes ont largement diffusé avec l'explosion du machine learning (apprentissage automatique) et des statistiques basées sur les probabilités.»

De l'espace à la Bourse

L'essor, ces dernières décennies, de concepts puissants et des outils de calcul ont en effet permis aux probabilités de déborder sur tout le champ scientifique, au point de faire naître des disciplines entières, comme avec l'apparition des mathématiques financières. C'est cette mutation même qui a poussé Laurent Mazliak à mettre de côté les équations pour étudier de plus près l'histoire des mathématiques et des probabilités. Il travaillait précédemment sur l'optimisation et le contrôle stochastique. Cela consiste à utiliser des équations différentielles, qui décrivent la dynamique d'un paramètre, dans lesquelles une part d'aléatoire est prise en compte.

« Si je souhaite envoyer une fusée sur la Lune, je veux qu'elle arrive, mais aussi qu'elle le fasse avec un coût minimal en carburant, illustre-t-il. [...] Il y a derrière toute une théorie mathématique pour trouver les méthodes de contrôle et les conditions optimales, née autour de la Seconde Guerre mondiale pour aider les débuts du téléguidage et de la programmation. »

« Le contrôle stochastique a été appliqué pour gérer des portefeuilles tout en tenant compte des évolutions aléatoires de la Bourse, poursuit Laurent Mazliak. La discipline a bénéficié en parallèle de toute la financiarisation de l'économie et de sa dérégulation, notamment aux États-Unis, au début des années 1980. Ça a été un véritable tsunami dans les années 1990 et c'est d'ailleurs à ce moment-là que j'ai dévié de ma trajectoire

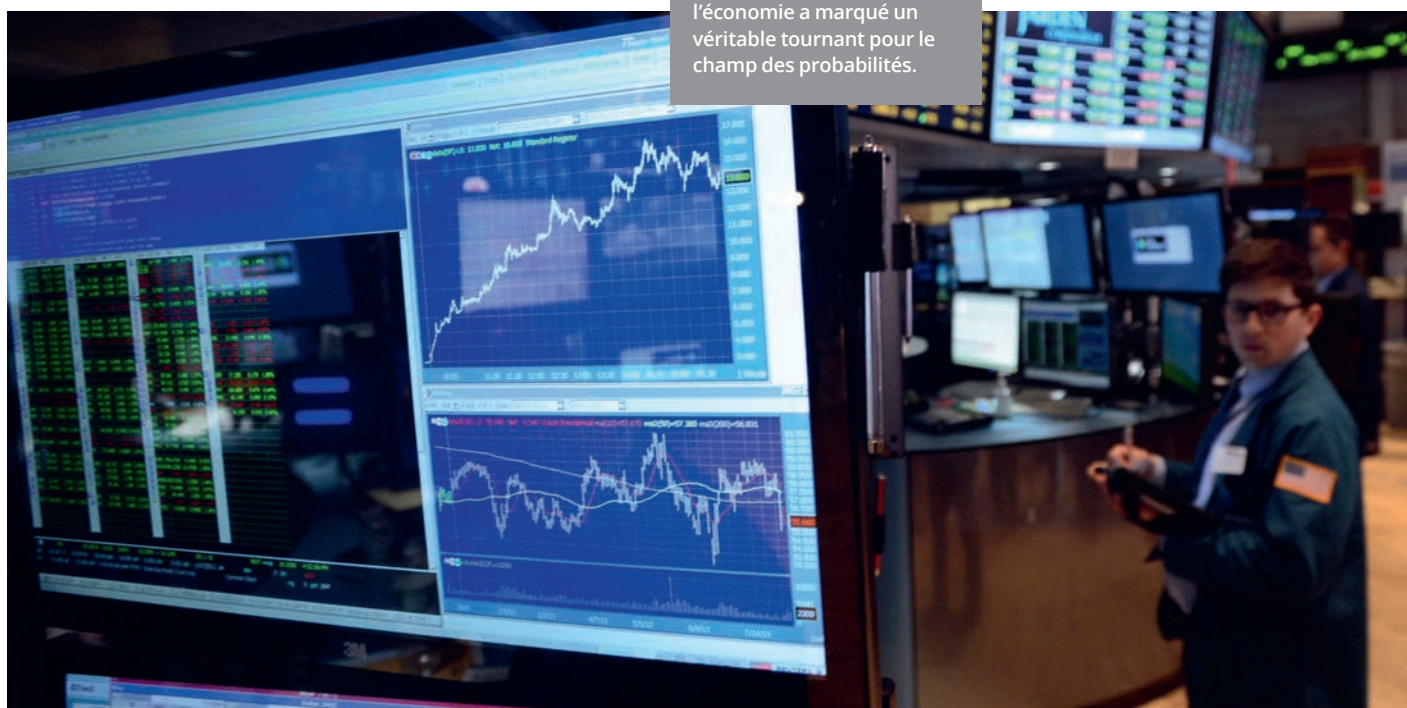
“Les probabilités sont devenues une discipline mature, qui se nourrit elle-même.”
Nicolas Curien, mathématicien

de mathématicien, voulant comprendre comment fonctionne une communauté scientifique qui, en quelques années, pouvait à ce point être fascinée par le fonctionnement de la Bourse. Une fascination qui d'ailleurs a entraîné des avancées mathématiques significatives. »

Les chercheurs n'ont ainsi jamais cessé de trouver de nouvelles applications et des questionnements plus fondamentaux. Un succès qui n'a cependant pas toujours déteint sur toute la société. « Les probabilités sont une notion mathématique qui devrait être mieux comprise du grand public, conclut Nicolas Curien. Elles sont maintenant partout, jusque dans les sondages dont nous sommes abreuvés par les médias. Il faut en maîtriser les principes pour ne pas se faire piéger par des raisonnements fallacieux et des paradoxes probabilistes. » Espérons que la lumière portée sur les travaux du nouveau médaillé Fields contribue à cet objectif d'intérêt public. ■

 Lire l'intégralité de l'article
sur lejournel.cnrs.fr

Dans les années 1990, la financiarisation de l'économie a marqué un véritable tournant pour le champ des probabilités.



La recherche se dévoile en images

Le cru 2022 du concours La preuve par l'image est arrivé ! Découvrez ici une petite sélection de ce concours dédié aux images issues de la recherche menée dans tous les domaines, organisé par le CNRS avec l'Acfas, son partenaire canadien.

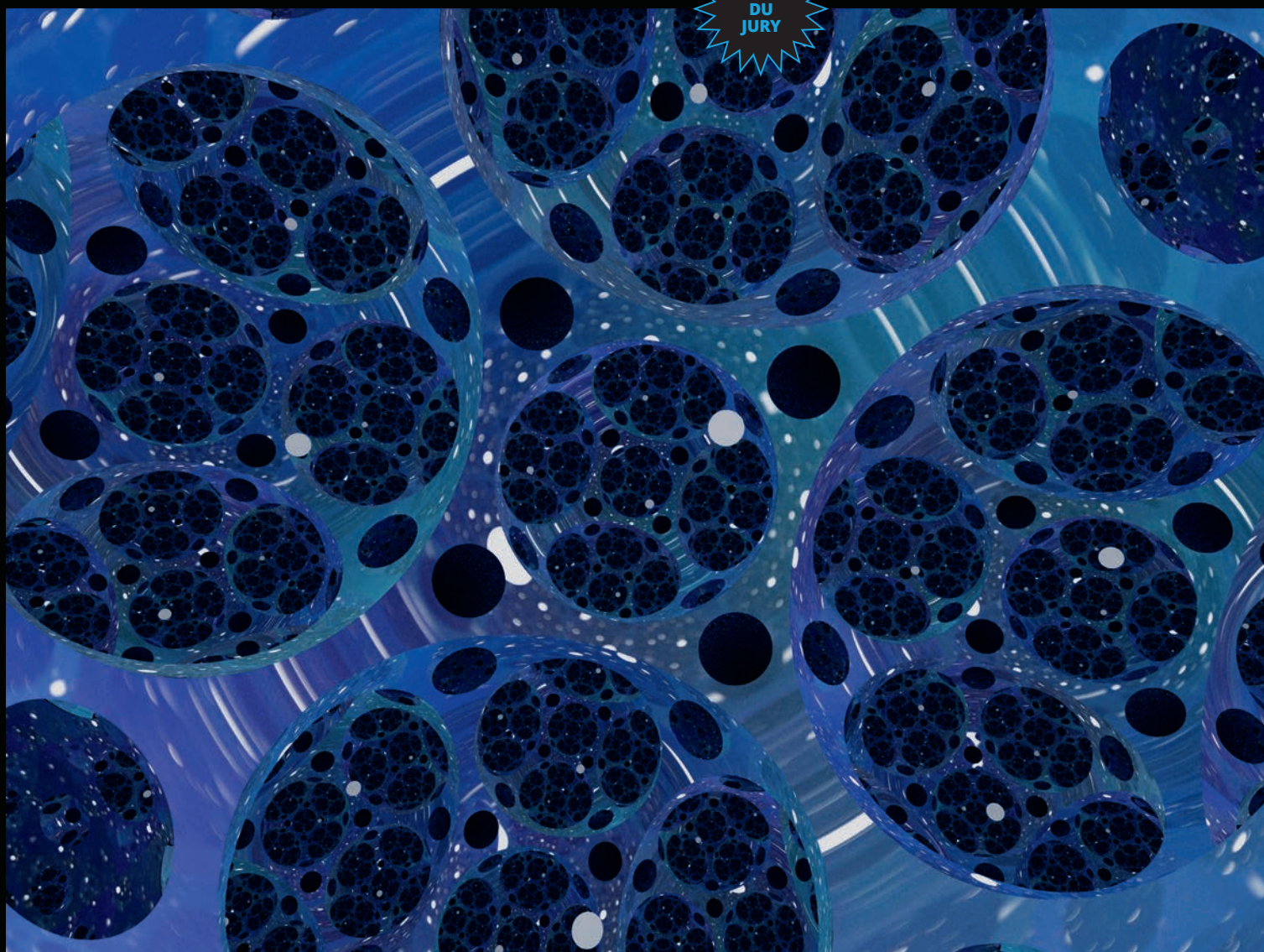
TEXTE ANNE-SOPHIE BOUTAUD ET LA RÉDACTION

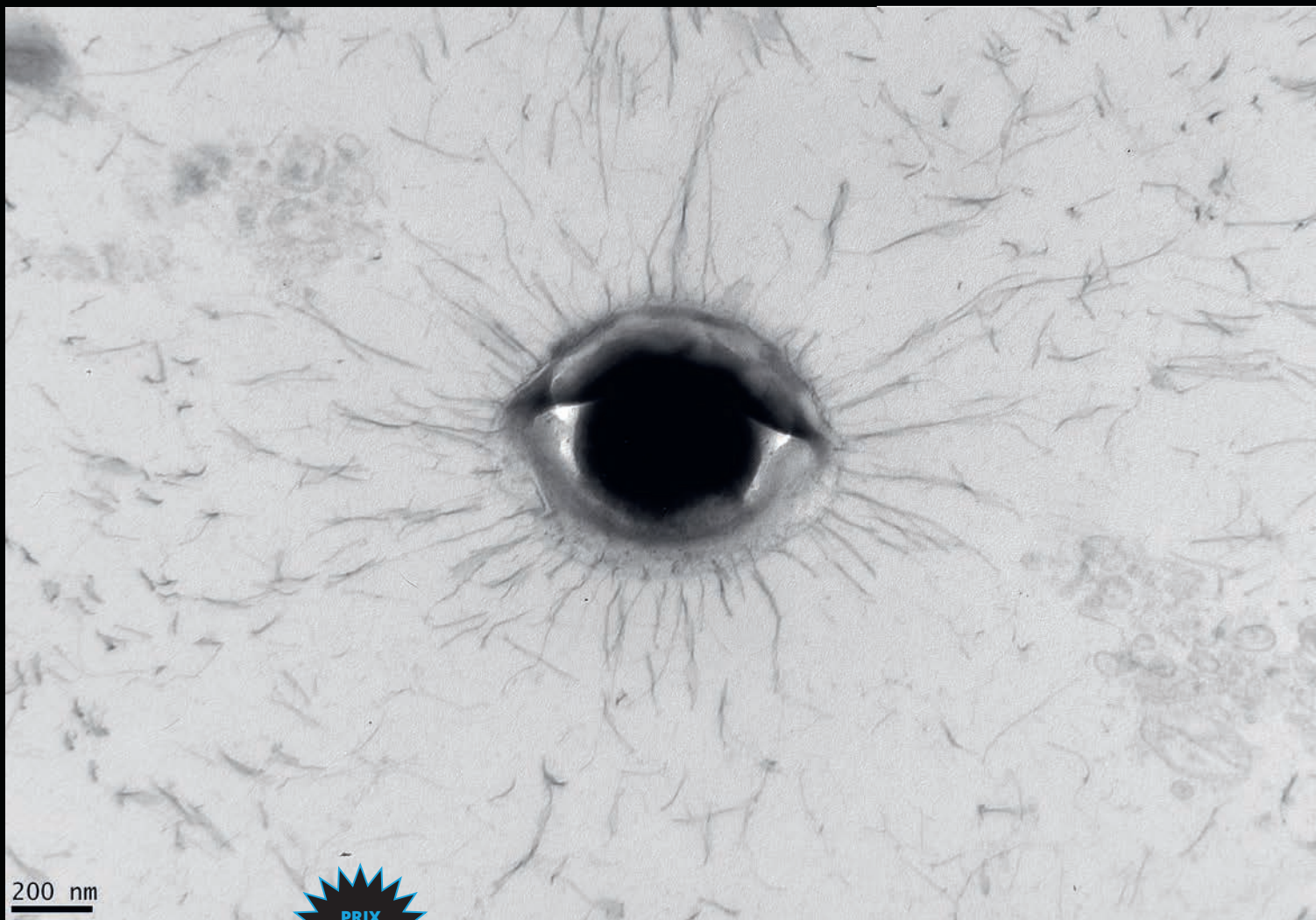
Bleu hyperbolique

► RÉMI COULON, SABETTA MATSUMOTO, HENRY SEGERMAN, STEVE TRETTEL

© R. Coulon-Irmar/S. Matsumoto-Georgia Tech/
H. Segerman-OSU/S. Trettel-Stanford University

Simulation de ce que verraient les habitants d'un univers régi par la géométrie hyperbolique. La lumière ne s'y déplace plus en ligne droite mais selon des géodésiques, les courbes les plus courtes entre deux points, chamboulant notre vision du monde.





200 nm

PRIX
DU
JURY

Cyclope

► FRANÇOISE WATTEAU, THIERRY MORVAN

© F. Watteau, Th. Morvan/OTÉLO

Vous n'êtes pas sur la Lune de Méliès, mais dans des cellules de paille de blé... d'un fumier de bovin. Sec, ce milieu n'est plus propice à la vie et certaines bactéries ont résisté en entrant en dormance à l'état de spores, à l'image de cette spore aux allures intrigantes d'œil.

>> Retrouvez l'intégralité
des photos sur

www.concours-preuve-image.fr

Seals can fly

► ISABELLE CHARRIER

© I. Charrier/ NeuroPSI

Cette otarie à fourrure du Cap vient tout juste de mettre bas, comme en atteste le cordon ombilical tout rose de son petit. Une vraie mère indigne, qui jette sans pitié son bébé en l'air ? C'est tout le contraire : elle l'éloigne des autres femelles de la colonie qui pourraient se montrer très agressives envers ce petit étranger.





Bibliothèque biologique

► LOUISE LE BARBENCHON
© L. Le Barbenchon/I2M

Cet os de seiche dévoile ici au microscope une architecture bien singulière qui lui confère des propriétés remarquables. Malgré une densité très faible (près de 93 % de porosité !), il présente une étonnante rigidité qui pourrait inspirer de futurs biomatériaux.





PRIX
COUP DE
CŒUR

Le côté bleu de la force

► ANNE HAGUENAUER, FRÉDÉRIC ZUBERER
© A. Haguenaue, F. Zuberer/CRIOBE

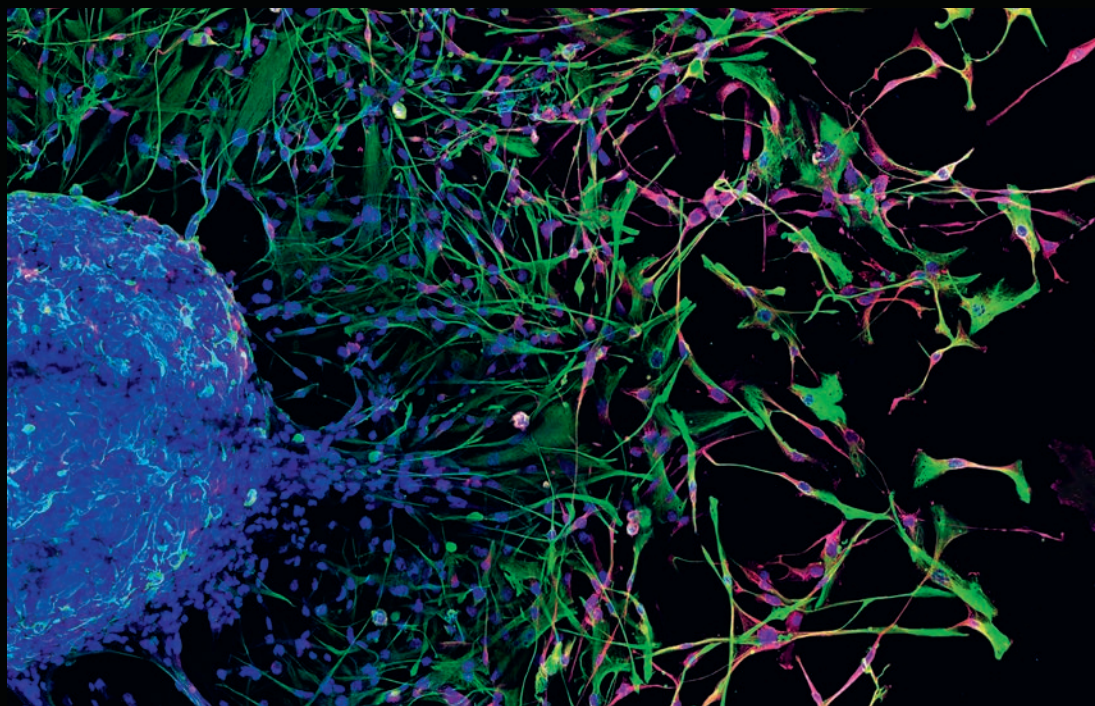
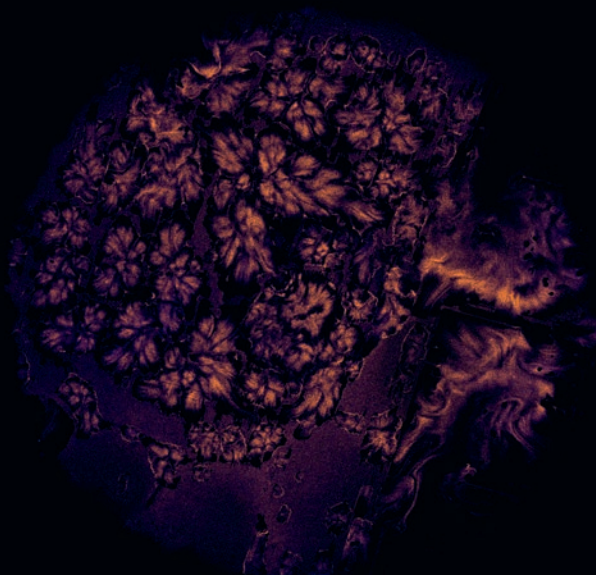
Ne vous fiez pas au paysage paradisiaque : ce plongeur étudie le blanchissement d'anémones de mer causé par la hausse de la température de l'océan à Moorea, en Polynésie française. Un phénomène menaçant pour les coraux tropicaux et les anémones de mer, leurs algues symbiotiques et les poissons qui en sont locataires...

Mosaïque microbienne

► LUCAS LO GIUDICE, PAULINE SILBERREISS

© L. Lo Giudice, P. Silberreiss/iCube/Redberry

Avant d'être commercialisé, un lait stérilisé doit être incubé durant plusieurs jours, pour être sûr que certaines bactéries toxiques n'y font pas de résistance. Or l'intelligence artificielle permet aujourd'hui de les détecter beaucoup plus facilement en identifiant les micro-organismes et particules grâce à leur taille et leur morphologie, comme ici dans cet échantillon.



Galaxie cérébrale

► CAROLINE DELMAS, ELIZABETH COHEN-JONATHAN, LAETITIA LIGAT

© C. Delmas, E. Cohen-Jonathan, L. Ligat/CRCT

Cette culture de cellules souches neurales (en bleu) montre divers destins possibles : certaines adoptent un profil d'astrocyte (en vert), d'autres un profil de neurone (en rouge).

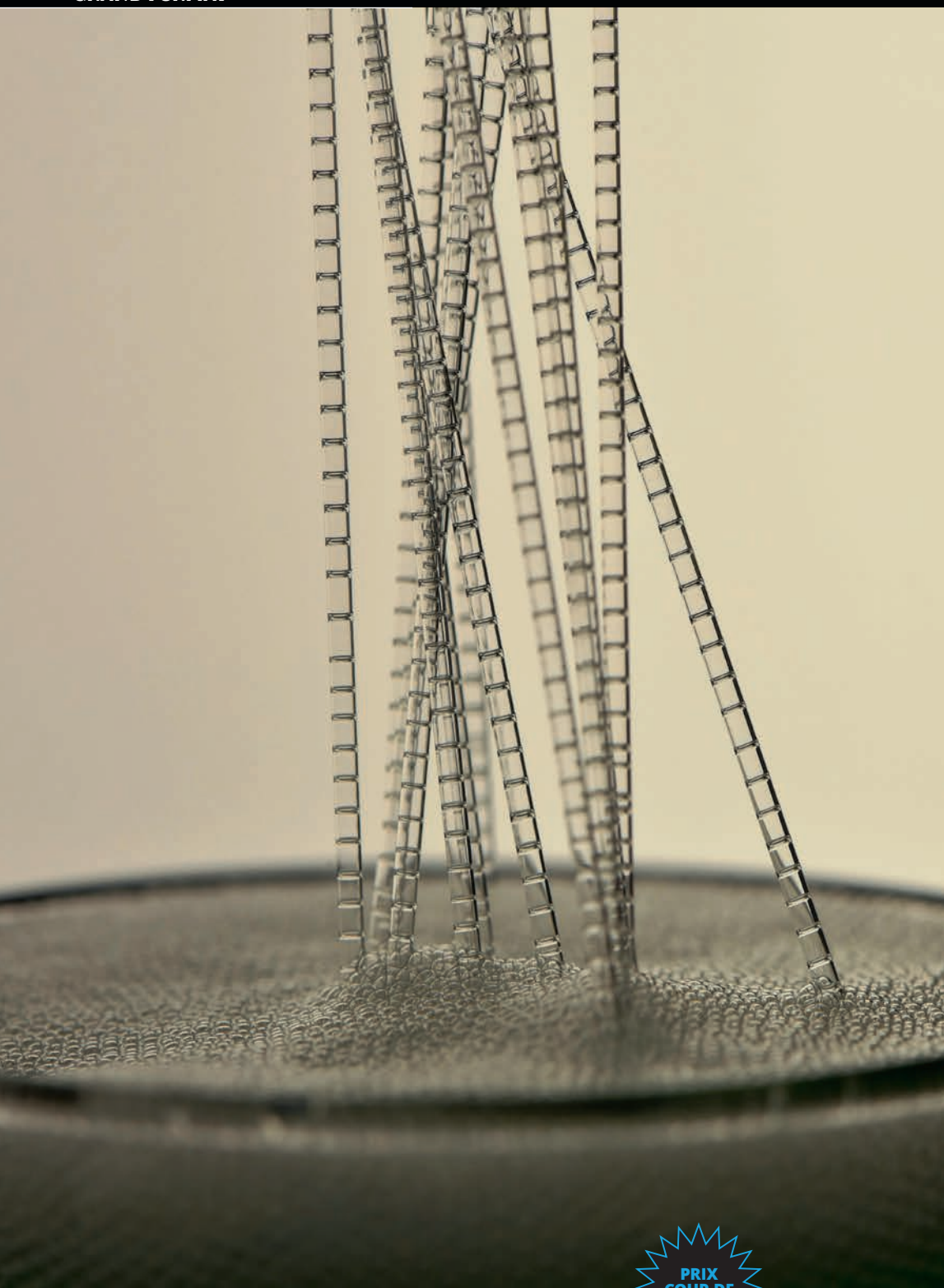


Life and death

► MICHAEL RERA, AURORE COLIBERT

© M. Rera, A. Colibert/B2A-IBPS

Ces deux drosophiles ont le même âge et le même génotype... mais celle de droite a une espérance de vie de trois jours contre vingt pour sa voisine. Elle a en effet atteint l'état « smurf », identifiable in vivo par un colorant bleu traversant la barrière intestinale uniquement chez les individus engagés dans la mort. Ce type de biomarqueurs permettra-t-il un jour d'anticiper notre propre mort ?



Fôret de bambous

► **FRANÇOIS BOULOGNE, ALEXIS COMMEREUC**
© Fr. Boulogne, A. Commereuc/LPS

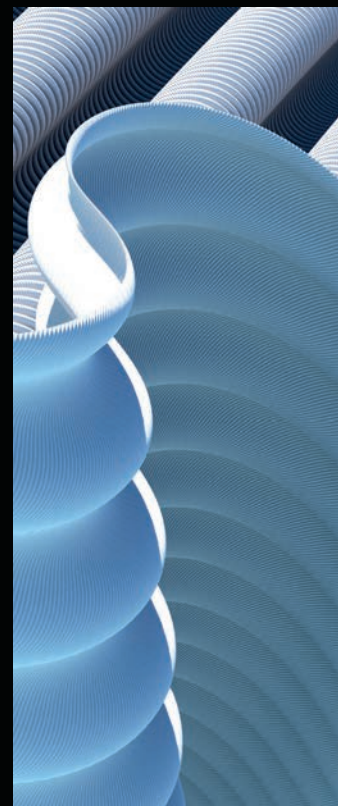
Si l'ascension d'un liquide dans un tube capillaire est un phénomène bien connu, les scientifiques tentent ici de le revisiter grâce à cette bamboueraie de laboratoire. Et à la mousse qu'ils ont générée dans un verre en « bullant » de l'air dans une solution savonneuse. À la clef, une meilleure connaissance des mousses, pour de nombreuses applications.

Little monster

► **CAROLE SIRET, SERGE VAN DE PAVERT**

© C. Siret, S. van de Pavert/CIML

Grâce à cette imagerie d'un embryon de souris de 13,5 jours, les scientifiques étudient la formation des ganglions lymphatiques, petits organes essentiels à la réponse immunitaire. En bleu, les cellules lymphoïdes passent dans le foie où elles prolifèrent avant de migrer dans l'organisme pour donner naissance aux ganglions.



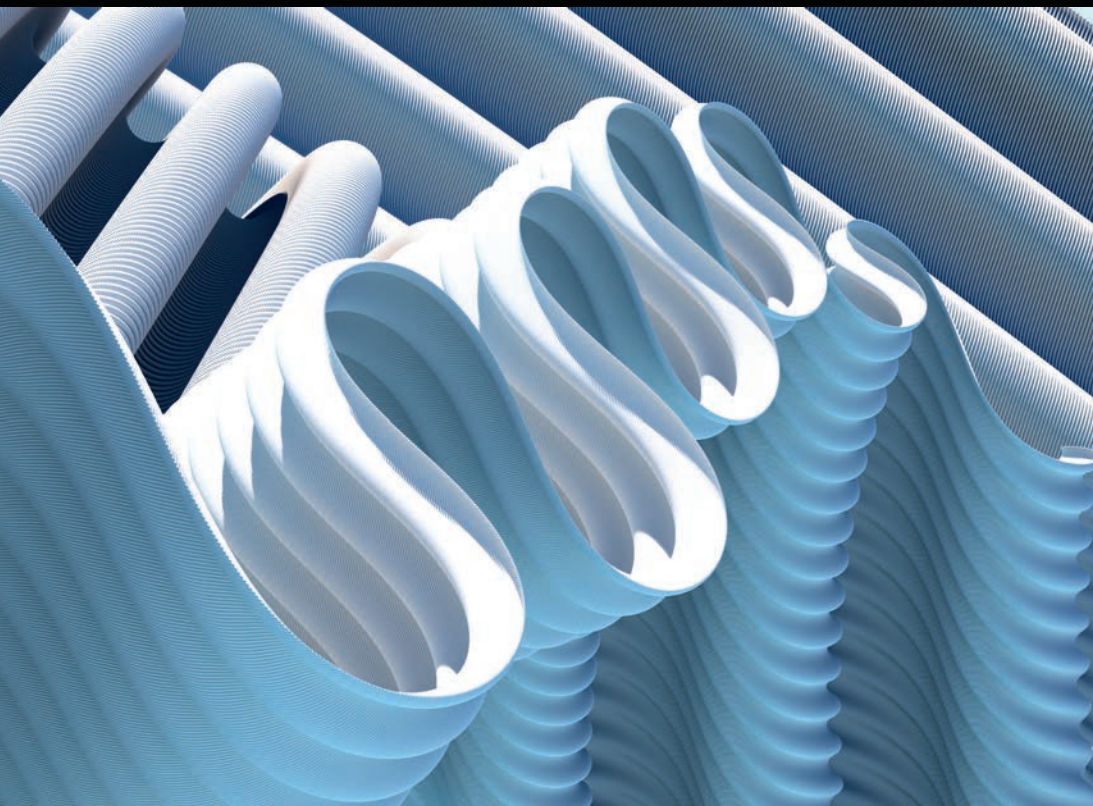
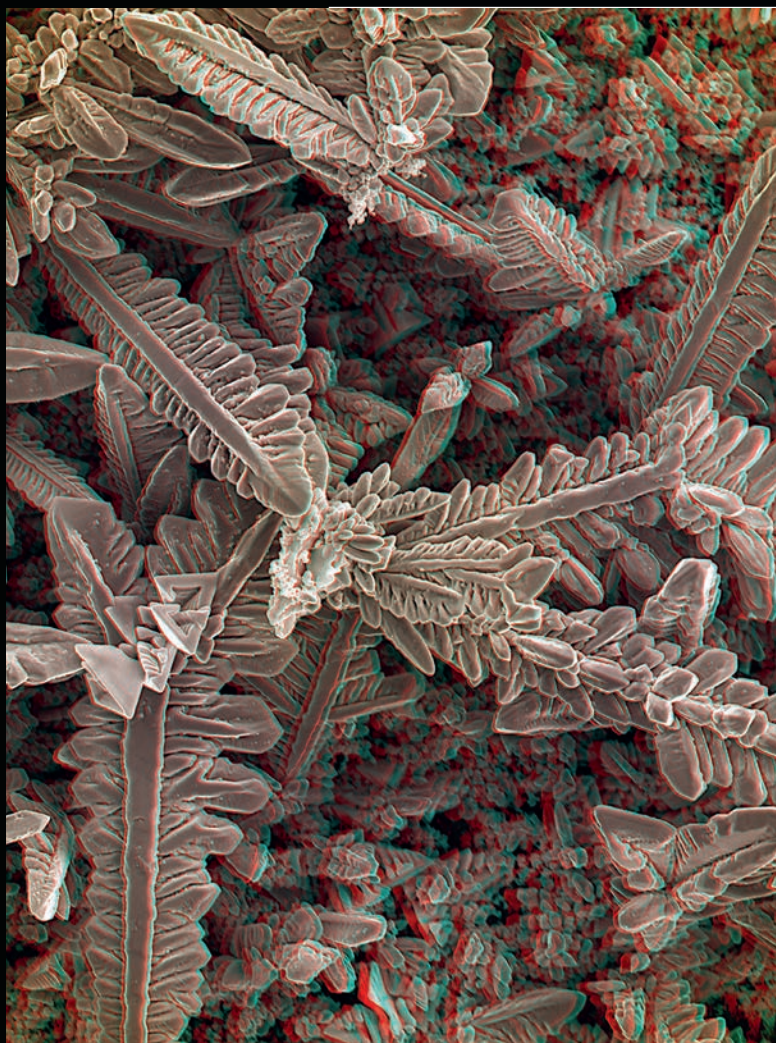


Copper field

► **BERTRAND REBIÈRE, DAMIEN VOIRY**

© B. Rebière, D. Voiry/ICGM

Une impression de flou ? Des lunettes 3D vous permettront d'observer en relief ces nanostructures empilées de cuivre, un métal-candidat pour transformer en de potentielles ressources les milliards de tonnes de CO_2 injectées chaque année dans l'atmosphère. Les chercheurs ont mis au point des catalyseurs à base de cuivre comme celui-ci, permettant de convertir efficacement le CO_2 en monoxyde de carbone (CO) et en éthylène (C_2H_4).



L'infini trouve toujours son chemin

► **VINCENT BORRELLI, ROLAND DENIS, FRANCIS LAZARUS, MÉLANIE THEILLIÈRE, BORIS THIBERT**

© V. Borrelli, R. Denis-ICJ/Fr. Lazarus-G-SCOP/M. Theillière-Univ. Luxembourg/B. Thibert-LJK

Voici la vue rapprochée d'une surface représentant l'espace hyperbolique et son bord à l'infini. Si l'existence d'une telle surface a été prédite par le mathématicien John Nash dans les années 1950, sa visualisation vient d'être réalisée par une équipe de scientifiques, fascinés par cette propriété étonnante : le chemin le plus court entre un point de son bord sinueux et n'importe quel autre point de cette surface est de longueur... infinie.



Les grands travaux de la mécanique

La construction, un chantier d'avenir

MATIÈRE

NUMÉRIQUE

Comment optimiser la structure d'une construction pour respecter des normes de sécurité drastiques tout en diminuant son impact environnemental ? Un casse-tête que les mécaniciens s'emploient à résoudre.

PAR KHEIRA BETTAYEB

Chantier du Grand Palais éphémère, à Paris. Ce bâtiment provisoire de 10 000 m² accueille les événements du Grand Palais durant les travaux de rénovation.

© XAVIER POYVIRÉA

Révolutionner la façon de bâtir, sauver les œuvres d'art ou optimiser les performances sportives de haut niveau, voici trois exemples de défis auxquels s'attaque la mécanique, discipline mise à l'honneur le 1^{er} juin lors d'un colloque¹ co-organisé par le CNRS à l'Académie des sciences.

Comment mieux bâtir ? La question hante depuis toujours les professionnels de la construction. Mais ces dernières décennies, elle s'est singulièrement complexifiée du fait d'évolutions sociétales et environnementales, qui ont donné naissance à de nouvelles contraintes obligeant à optimiser les structures de construction. Ainsi, la survenue d'accidents tragiques tels que la rupture de ponts a renforcé le besoin de sécurité chez les usagers. Le réchauffement climatique et la pollution ont mené à une réglementation environnementale plus drastique, qui exige désormais de faire attention aux émissions de gaz à effet de serre depuis la conception jusqu'à la déconstruction des nouveaux bâtis. Enfin, l'épuisement des ressources (pétrole, bois...) pousse à limiter le volume de matière utilisé. Afin d'aider les constructeurs à répondre à tous ces nouveaux impératifs, la recherche en mécanique s'illustre particulièrement ici.

À la croisée de la physique, des mathématiques appliquées et de l'informatique, cette science étudie les mouvements et déformations des systèmes matériels, et les forces qui les induisent. Ici, la mécanique des matériaux et des structures est incontournable pour résoudre les « calculs de structure » (dimensions des poutres, etc.) indispensables à la construction d'édifices répondant à des exigences bien précises en termes de sécurité, de capacités mécaniques, d'architecture et d'impact environnemental.

De puissants calculs pour de bonnes dimensions

L'une des pistes les plus prometteuses pour optimiser les constructions vise à développer des codes de calcul de structures, fiables, efficaces et simples d'utilisation, pour éviter un « défaut » récurrent dans les constructions : le surdimensionnement de certains éléments structuraux souvent peu chargés, comme les murs – un écart responsable d'une consommation inutile de matière. Parmi les groupes engagés sur cette voie de recherche : l'équipe Matériaux et structures architecturés du laboratoire Navier² à

l'École des Ponts ParisTech, dont fait partie Jérémie Bleyer. « Nous nous concentrons sur le développement de nouvelles techniques de calcul et de nouveaux outils de conception numérique destinés à aider les ingénieurs structures à mieux estimer les capacités de résistance d'un ouvrage complexe. De quoi conceptualiser des solutions plus sécuritaires, mais aussi minimiser l'impact écologique et le volume de matériaux nécessaire », détaille le chercheur. Il souligne aussi que « les avancées récentes dans le domaine des mathématiques de l'optimisation et l'augmentation des capacités de calcul rendent possible aujourd'hui la résolution de problèmes à plusieurs millions de variables d'optimisation. Ce qui permet d'optimiser des objets ou structures de plus en plus complexes et donc d'être d'autant plus précis dans le calcul ».

La géométrie : un autre paramètre important

Très puissants, ces nouveaux codes de calcul peuvent également permettre d'optimiser directement la géométrie des structures ; et ce, dès la phase d'esquisse du projet ! En effet, « mal anticipée, la géométrie de l'édifice peut avoir des impacts colossaux au niveau environnemental », explique Olivier Baverel, enseignant-chercheur au laboratoire Navier et à l'ENS Architecture de Grenoble. Et de citer l'exemple « peu raisonnable » du « Nid d'oiseau », ce stade d'une capacité de 91 000 spectateurs construit à Pékin (Chine) pour accueillir les Jeux olympiques (JO) de 2008. Comme l'a estimé en 2014 une équipe américaine du Massachusetts Institute of Technology³, cet ouvrage a nécessité près de dix fois plus de béton que le stade olympique de Londres édifié pour les JO d'été 2012, et de même capacité (environ 16 000 kg de matériel par siège, contre environ 1 500 kg).

De fait, il est désormais bien établi que certaines formes sont plus efficaces que d'autres. « C'est le cas, par exemple, des structures "funiculaires" (en courbe, Ndlr), dont la courbure annule le moment de flexion (réaction induite à l'intérieur d'un élément de structure lorsqu'une force lui est appliquée, provoquant sa flexion, Ndlr), versus les structures en flexion, comme les poutres : dans les premières, toute la matière est sollicitée par des efforts ; dans les secondes, seules les parties extrêmes de la section de la poutre sont impliquées,

la partie centrale n'est quasiment pas sollicitée », précise Olivier Baverel. D'où la nécessité de développer des outils de conception numérique permettant de paramétrer le choix de la forme structurelle.

Bâtiments démontables : bientôt la norme ?

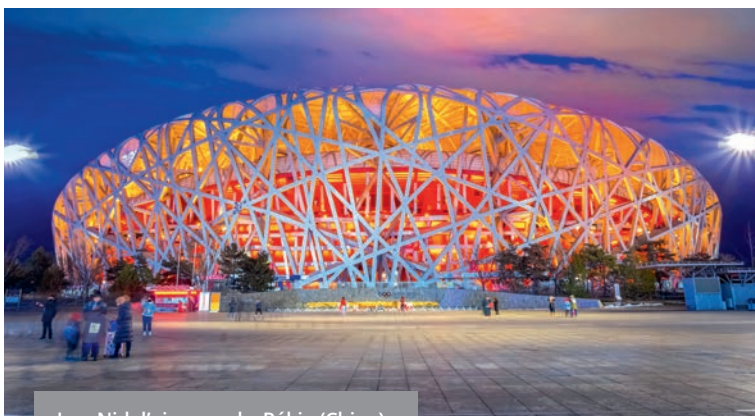
Une autre piste pourrait également aider à réduire l'impact environnemental de la construction : les bâtiments démontables, permettant le réemploi de leurs éléments au lieu de les jeter. Selon les derniers chiffres de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), en 2016, le secteur de la construction a produit 224 millions de tonnes de déchets en France, ce qui correspond à... 70 % de la production nationale de déchets ! En réalité, l'idée n'est pas nouvelle : « la construction traditionnelle en bois a été pensée pour que les éléments porteurs puissent être remplacés aux premiers signes de faiblesses ou de vieillesse », fait remarquer Olivier Baverel. Cette stratégie explique la longévité de certains chalets autrichiens, qui tiennent debout depuis cinq cents ans, et de la plus ancienne auberge au monde, le Ryokan Hoshi au Japon, dont la construction remonte à 718 !

Le hic : à ce jour, cette approche est plus onéreuse et plus longue à mettre en œuvre que la construction « classique ». Mais les chercheurs ont bon espoir de la rendre compétitive : en s'appuyant sur les progrès récents et à venir de la construction robotisée – qui permet de faire plusieurs actions en même temps et/ou plus rapidement – et le développement d'outils numériques d'aide à la conception. « Grâce à ces innovations, le savoir-faire de la construction bois, japonais ou européen, peut être réinterprété pour passer d'une production artisanale à une production industrielle, plus rapide et plus précise », assure-t-il.

Deux types d'assemblages à l'étude

Ceci dit, avant que les édifices démontables ne se démocratisent, il faudra réussir à planifier toutes les actions qui permettront l'assemblage et le désassemblage des différents éléments... Au laboratoire Navier, Olivier Baverel et ses collègues envisagent deux solutions : l'assemblage non séquentiel, où plusieurs pièces différentes sont assemblées simultanément grâce à la conception assistée par ordinateur et à des bras robotisés ; et l'assemblage séquentiel, où les pièces sont ajoutées les unes après les autres, la dernière part, appelée clef, « verrouillant » l'assemblage.

Actuellement, le chercheur et son équipe travaillent à développer des algorithmes de conception automatisée permettant de mettre en œuvre ces deux approches. « Nous espérons aboutir, dans quelques années, à un démonstrateur qui aidera à démontrer le potentiel de ces assemblages non conventionnels, à tester des stratégies robotisées capables de les mettre en œuvre et à vérifier la résistance mécanique des constructions ainsi obtenues », indique-t-il. Dans les laboratoires de mécanique, la marche vers une construction optimisée, plus verte, est donc déjà bien engagée. II



Le « Nid d'oiseau » de Pékin (Chine).

1. La mécanique, une clé du futur, colloque organisé par l'Académie des sciences en partenariat avec le CNRS, l'Association française de mécanique et l'Académie des technologies, 1er juin 2022, Institut de France, Paris. 2. Unité CNRS/ENPC/Univ. Gustave Eiffel. 3. C. De Wolf et al., "Comparing material quantities and embodied carbon in stadia", "Proceedings of IASS Annual Symposia", n° 12, 2014.



La Sainte Trinité couronnant la vierge, peinture sur bois du XVI^e siècle, placée dans une chambre climatique hygrorégulée (musée Fabre, Montpellier, 2018).

Des mécaniciens au secours des œuvres d'art

MATIÈRE

NUMÉRIQUE



Pour conserver ou restaurer une toile de maître soumise à l'épreuve du temps, aux variations de température et d'humidité, François Hild nous parle de solutions nouvelles apportées par sa discipline.

PROPOS RECUEILLIS PAR GAËL HAUTEMULLE

Comment en êtes-vous venu, dans le cadre de vos travaux de mécanique expérimentale appliquée à la résistance des matériaux et des structures, à vous intéresser à la restauration des œuvres d'art ?

François Hild ¹. Cela est né d'une rencontre avec une enseignante de l'École de Condé de Paris, qui formait les futurs conservateurs et restaurateurs de patrimoine et de biens culturels. Dans le cadre de leur cursus, ses étudiants restaurent, au long cours, une œuvre d'art pendant deux ans. Leur mémoire de fin d'études, outre une

étude historique et un rapport de conservation et de restauration détaillés, doit contenir une approche scientifique de leur futur métier, appelée partie technico-scientifique. C'est dans ce cadre, et grâce à la présence de John-Éric Dufour ², doctorant dans notre laboratoire avec lequel nous développons des techniques alors très innovantes de stéréo-corrélation d'images globale, que nous avons travaillé, en 2013, sur une *Vierge à l'enfant*, et en 2014, sur une *Descente de croix*, conservée dans le chœur de la basilique de Saint-Maurice-en-Valais, en

¹. Directeur de recherche au CNRS, au Laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS - unité CNRS/Université Paris-Saclay/Centrale Supélec/ENS Paris-Saclay). ². J.-É. Dufour, « Mesures de forme, de déplacement, et de paramètres mécaniques par stéréo-corrélation d'images isogéométrique », thèse de doctorat, 2015, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01236259/document>

Suisse. Une expérience passionnante. Pour l'anecdote, des analyses mécaniques par imagerie ont aussi été mises à contribution pour percer les secrets d'une autre toile de maître, bien plus connue celle-ci, *La Joconde*, pour connaître l'état du panneau de bois sur lequel elle a été peinte³. J'aurais beaucoup aimé participer à ces travaux de recherche !

Qu'est-ce que la stéréo-corrélation d'images ?

F. H. Le principe s'inspire de la vision humaine. Si vous avez une notion de distance à un objet dans l'espace, et que vous parvenez à agripper facilement votre tasse de café, par exemple, c'est que votre cerveau triangule les deux points de vue différents perçus par vos deux yeux. Essayez de le faire en fermant un œil, c'est beaucoup plus compliqué. Nous faisons la même chose, par appariement, grâce à deux appareils photo numériques, pour des mesures de forme : la corrélation des niveaux de gris des deux images nous renseigne, de façon très

précise, sur la forme de l'objet étudié et sur la manière dont il se déforme. À cette époque, nos algorithmes et le développement significatif des puissances de calcul ont permis l'essor de cette technique globale. Avec John-Éric Dufour, nous travaillions alors sur ces méthodes de mesure de formes 3D et de champs de déplacements 3D surfaciques, par stéréo-corrélation d'images, dans le cadre d'une thèse Cifre (cofinancée par Safran Aircraft Engines) sur l'étude de pièces de moteurs d'avions.

Comment cela s'applique-t-il à la conservation des toiles de maître ?

F. H. Les toiles, en général en lin, sont tendues sur des châssis et subissent, au cours du temps, des variations de température et d'hygrométrie qui les font se tendre ou se plisser. Le risque est de voir la couche picturale se fissurer, s'écailler, voire même se déta-

cher de façon irréversible, ce qui est une catastrophe ! Des solutions existent, déployées lors du retour de la toile nettoyée sur son châssis, mais leur choix dépend des besoins du tableau et des conditions hygrométriques du lieu de conservation.

Concernant la *Descente de croix* par exemple, comme deux méthodes étaient envisagées, nous avons introduit deux maquettes et leur échantillon de peinture, tendus selon les deux méthodes en discussion, dans une enceinte climatique. Elles ont été photographiées toutes les quinze minutes, soumises aux mêmes cycles d'humidité relative, identiques aux données enregistrées in situ, dans la basilique suisse, grâce à un thermo-hygromètre enregistreur. Les clichés ont permis de comparer la réponse de la couche picturale de chaque maquette-test, puis de choisir la solution adéquate, à base d'un système de tension, d'agrafes et d'une zone téflonnée (le Téflon est un matériau apprécié pour son très faible coefficient de frottement). L'utilisation de la mécanique a permis le choix du bon système de tension de toile et notre choix a été validé, ensuite, sur la toile restaurée. C'est un exemple parmi tant d'autres de l'utilisation actuelle de l'imagerie dans les essais mécaniques.

C'est-à-dire ?

F. H. La mécanique est la science du dimensionnement. Nous sommes à un moment charnière de notre discipline. Au XX^e siècle, les outils de conception mécanique ont conféré à l'expérimentateur le rôle d'ultime vérificateur. Notre siècle a vu un tel développement des méthodes de prévision par la modélisation numérique et les modèles de comportement mathématiques, qu'un nouveau dialogue, une synthèse même, devient nécessaire entre la mécanique des essais, expérimentale, et celle des calculs, la mécanique numérique et théorique⁴. C'est une période passionnante. ■

Détail de la *Descente de croix*, de S. Düring, avant restauration. On voit les dommages induits par les déformations de la toile soumise aux variations de chaleur et d'humidité dans la basilique Saint-Maurice-du-Valais (Suisse).



2 cm

³. L'ensemble de ces travaux est résumé dans *Au cœur de la Joconde, Léonard de Vinci décodé* (Gallimard, 2006). ⁴. Depuis une vingtaine d'années, François Hild développe, avec Stéphane Roux, également chercheur au LMPS, une approche originale basée sur l'utilisation d'outils de modélisation numérique pour l'analyse par imagerie des essais mécaniques. <http://www.lmt.ens-cachan.fr/>



© MATTHEW CHILDS / REUTERS

Quarts de finale de course de BMX féminin lors des JO de Tokyo, au Japon, en 2020, au parc de sport urbain Ariake.

Ça roule pour la biomécanique

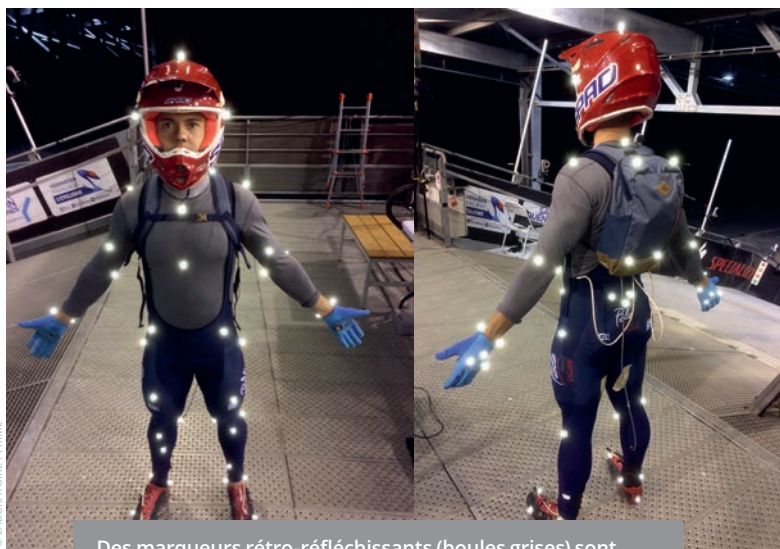
VIVANT

Épreuve olympique depuis 2008, le BMX Race requiert d'appliquer sur les pédales les forces les plus importantes de tout le cyclisme. Des chercheurs en biomécanique ont été sollicités pour objectiver les gestes et améliorer les performances des sportifs.

PAR MARTIN KOPPE

Au plus haut niveau, les athlètes se départagent sur des temps et des mouvements toujours plus fins. Dans cette quête de la précision et de la justesse, la science est de plus en plus sollicitée, notamment à l'approche d'événements majeurs tels que les Jeux olympiques (JO) de Paris 2024. Au croisement de l'ingénierie, de la mécanique et de la médecine, la biomécanique compte parmi les domaines les plus prisés pour améliorer les performances. « *La biomécanique est l'application de la mécanique aux systèmes vivants, et en particulier au corps humain*, explique Mathieu Domalain, enseignant-chercheur à l'institut Pprime (P')¹. *On distingue traditionnellement deux axes. Le premier, qui est le mien, touche à l'étude des mouvements, mais d'autres scientifiques s'intéressent à la résistance des matériaux et tissus biologiques. Avec mes collègues, nous développons une approche plus macroscopique, où nous analysons par exemple les efforts exercés au niveau des muscles ou des articulations.* »

1. Institut P' : recherche et ingénierie en matériaux, mécanique et énergétique (CNRS).



Des marqueurs rétro-réfléchissants (boules grises) sont placés sur les principales articulations du sportif. Ils réfléchissent un rayonnement capté par des caméras optoélectroniques, ce qui permet de suivre leur trajectoire et de réaliser une analyse cinématique des gestes effectués.

Les travaux de Mathieu Domalain ont d'abord concerné l'ergonomie, la médecine physique et réadaptation, puis il s'est ensuite progressivement orienté vers la paléontologie avant de se tourner, surtout, vers le sport de très haut niveau. « Dans ce contexte, la biomécanique sert à objectiver la performance, précise Mathieu Domalain. Les entraîneurs et leurs athlètes bénéficient de leurs yeux et de leur expérience. Nous contribuons, grâce aux chiffres, à la technique gestuelle employée afin que les sportifs et leur staff puissent prendre des décisions éclairées. Nous leur apportons des outils pour mieux comprendre le fonctionnement du corps humain en situation de performance, à partir d'analyses de vitesse, d'angles articulaires et de coordination intersegmentaire. C'est ainsi qu'ils iront chercher le dixième de seconde qui fera la différence entre une première et une seconde place. »

Un écosystème pour booster les performances

L'institut Pprime a justement été sollicité par la Fédération française de cyclisme (FFC) afin de fournir un accompagnement scientifique à ses entraîneurs. Le centre de recherche travaille en effet depuis une trentaine d'années avec différents organismes sur l'étude du geste sportif, notamment avec l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep) et le Centre de ressources, d'expertise et de performance sportive (Creps) de Poitiers. « Le Creps apporte une expertise au plus près du sport et de l'entraîneur, avec des solutions concrètes et un accompagnement régulier, avance Mathieu Domalain. En tant que chercheurs, nous n'avons pas les mêmes échelles de temps, mais cela apporte une réelle complémentarité dans l'expertise. »

Avec le Centre régional d'innovation et de transfert de technologie (Critt) dédié aux sports et aux loisirs, à Châtelleraut, ces trois structures réunies au travers du Centre d'analyse d'images et performance sportive (Caips), offrent un écosystème particulièrement attractif pour

l'accompagnement des projets de performance des fédérations sportives. Il existe deux épreuves de BMX aux JO : le BMX freestyle, qui consiste à enchaîner des figures au sol et dans les airs et le BMX race, une course entre huit athlètes sur un terrain parsemé de bosses et de virages, pour laquelle les chercheurs ont été sollicités. Ils étudient l'efficacité de la technique gestuelle de chaque cycliste, ainsi que l'influence des caractéristiques de leur matériel telles que la géométrie des cadres de vélo, la longueur des manivelles, etc., en utilisant les outils classiques de la biomécanique. Cela passe en particulier par un système optoélectronique composé d'une quinzaine de caméras à haute fréquence. Celles-ci capturent le mouvement grâce à des marqueurs réfléchissants, collés au niveau de repères anatomiques. À partir des coordonnées des points enregistrés, des algorithmes analysent la dynamique du mouvement.

Paris 2024 dans la ligne de mire

Une autre partie du travail concerne l'analyse des forces. « Dans le cas du BMX, nous utilisons des capteurs spéciaux pour mieux comprendre les interactions entre le pied et la pédale, explique Mathieu Domalain. Les experts du BMX sont les cyclistes qui exercent les forces les plus importantes sur leurs pédales, car l'épreuve ne dure qu'environ 40 secondes pendant lesquelles ils sprintent, sautent et prennent des virages particulièrement brusques. Ce matériel permet de mesurer l'amplitude de ces forces, mais également leur orientation, gage d'efficacité du mouvement de pédalage. » Les capteurs utilisés ont été conçus par Sensix, une société issue des travaux d'un ancien doctorant de Pprime, mais l'institut cherche aussi à développer ses propres appareils de mesure.

À l'approche des JO de 2024 à Paris, un appel à projets de recherche Sport de très haute performance, piloté par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et le ministère de la Jeunesse et des Sports, a attribué huit millions d'euros à six projets. Mathieu Domalain participe à l'un d'eux, PerfAnalytics, qui « vise à offrir des outils de mesure, notamment vidéo, utilisables au quotidien par les entraîneurs. En effet, nous disposons de tout le matériel nécessaire en laboratoire, mais il n'est pas adapté à la mesure embarquée. » L'objectif est donc de pouvoir réaliser des mesures et des analyses sur les sites d'entraînement et de compétition. Cela passe par de la transmission sans fil, la miniaturisation des capteurs et par le développement d'alternatives aux marqueurs réfléchissants utilisés en capture de mouvements, ou encore de nouveaux outils d'intelligence artificielle pour analyser les données vidéo. De quoi sérieusement muscler l'arsenal dont disposent les entraîneurs et les compétiteurs. II

À voir

Le concours de photos MécaPixel (voir portfolio CNRS le journal n° 307) dont les prix ont été remis le 1^{er} juin à l'Institut de France, se décline à présent sous la forme d'une exposition itinérante. Informations et réservations :

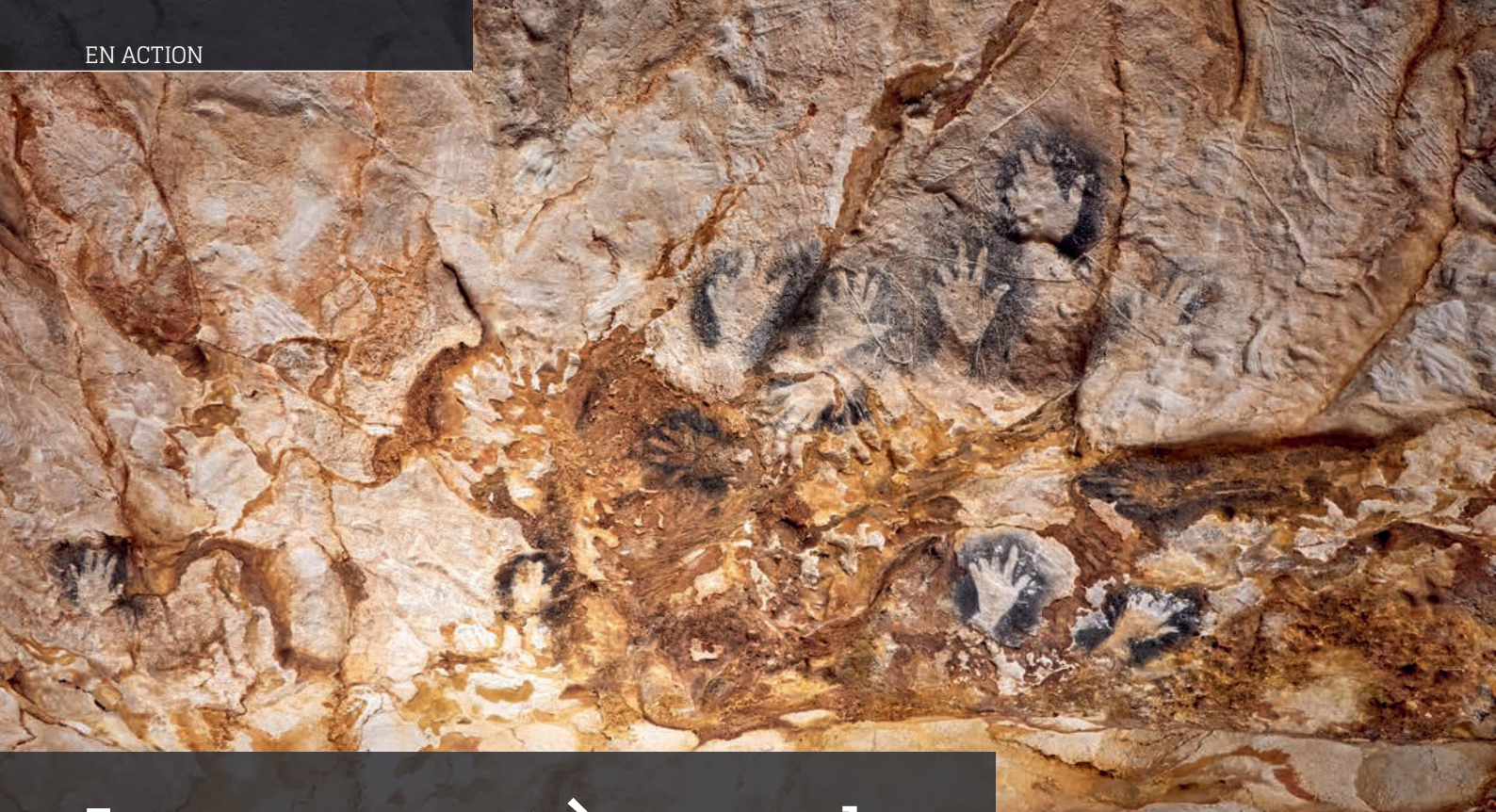
<https://bit.ly/3AUvVtb>

EN ACTION



*Des grottes préhistoriques
au fin fond de l'Univers,
les scientifiques se déploient pour
faire avancer les connaissances.*

ILLUSTRATION : CLÉMENCE MONNET/AGENT002 POUR CNRS LE JOURNAL



© KLÉBER ROSSILLON & RÉGION PACA/SOURCES 3D MC/PHOTO F. PALVAREL

Les mystères de la grotte Cosquer

SOCIÉTÉS



PRÉHISTOIRE Alors que la réplique de la grotte



© N. MONTAYA

Cosquer a ouvert ses portes au public début juin à Marseille, Cyril Montoya, qui en est le responsable scientifique, nous parle de ce joyau menacé par la montée des eaux... et des nombreuses énigmes qu'une grande campagne de recherche va tenter de résoudre.

PROPOS RECUEILLIS PAR BRIGITTE PERUCCA

La découverte de la grotte Cosquer constitue une histoire en soi. Quelles en ont été les grandes étapes ?

Cyril Montoya ¹. Le terrain, très difficile d'accès, participe de cette histoire en effet complexe. La découverte remonte au milieu des années 1980 mais le plongeur Henri Cosquer attendra 1991 pour la déclarer officiellement, à la suite d'un drame où

trois plongeurs ont trouvé la mort dans le boyau qui mène à la grotte. Alors que la grotte relève du Paléolithique supérieur comme le prouvent les premières datations au carbone 14 réalisées sur des échantillons de charbons prélevés, c'est à Jean Courtin, néolithicien, qu'il revient de l'authentifier car aucun archéologue spécialiste de la période n'est alors en capacité de plonger par 37 mètres

de fond, et en suivant un boyau sombre et assez étroit de plus de 137 mètres sous le massif des Calanques. La France a beau être le pays qui concentre le plus grand nombre de grottes ornées au monde, aucune n'avait encore été découverte à l'est du Rhône, en Provence, ce qui a conduit des préhistoriens à douter de son authenticité pendant plusieurs mois. Le doute levé, plusieurs campagnes de fouille et de conservation s'organisent en 1992 et 1994, auxquelles s'associe le préhistorien et spécialiste d'art pariétal, Jean Clottes. Des travaux d'aménagement et d'autres campagnes suivront. La restitution de la grotte, plus de trente ans après sa découverte, marque la fin d'un cycle mais elle nous réserve certainement encore des surprises.

À quelles périodes préhistoriques correspond la fréquentation de la grotte ?

C. M. Avec une quarantaine de datations réalisées, la grotte Cosquer est sans doute – avec Chauvet – une des grottes ornées les mieux datées au monde grâce aux nombreux résidus de charbon qui y ont été prélevés. Elle

¹. Conservateur en chef du patrimoine, membre permanent du Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe Afrique (Lampea, unité CNRS/Aix Marseille Université/Ministère de la Culture), responsable scientifique de la grotte Cosquer.

► De nombreuses empreintes de mains « en négatif » ont été recensées dans la grotte Cosquer, dont certaines ont les doigts raccourcis (réplique de la grotte, villa Méditerranée, Marseille).

a été fréquentée pendant plusieurs millénaires, dans une fourchette située entre 27 000 ans et 14 000 ans avant notre ère. Cette longue période correspond à deux grandes cultures paléolithiques identifiées par les préhistoriens : le Gravettien et l'Épigravettien. Les hommes, femmes et enfants dont on trouve les traces de mains dans la grotte sont des *sapiens-sapiens*, autrement dit des gens qui nous ressemblent. Rappelons que les hommes et femmes préhistoriques habitaient à proximité de l'entrée des grottes, sous abri ou en plein air, mais jamais en profondeur.

Dans quel environnement évoluaient-ils ?

C. M. L'entrée de la grotte Cosquer est située aujourd'hui sous la mer, ce qui n'était pas le cas il y a 30 000 ans où l'eau se trouvait 120-130 mètres plus bas et il fallait parcourir 6 à 10 kilomètres pour rejoindre le littoral depuis la grotte. Cosquer n'est donc pas une grotte littorale stricto sensu. Tout autour, il faut s'imaginer un espace très ouvert, de type steppique, avec à la fois le massif escarpé des Calanques et devant, une grande plaine avec des bosquets d'arbustes comme des genévriers, des collines, des vallées détournées par des pins sylvestres – une espèce d'arbres dont les charbons ont été identifiés à la fois comme ayant servi à l'éclairage dans la cavité et comme composant des aplats enduits noirs sur les parois. Le climat était celui de l'Islande actuelle : étés courts et hivers très rigoureux. Ce qui explique la présence de certaines espèces animales.

Précisément, avec douze espèces représentées, plus de 230 figures animales, les parois offrent un spectacle d'une grande diversité...

C. M. Une diversité relative car les espèces représentées de manière dominante sont celles que l'on trouve dans d'autres grottes préhistoriques : chevaux, bovidés, cervidés... Cosquer

“L'eau monte, la grotte est menacée, sa disparition est programmée. D'ores et déjà, 4/5^e de la grotte sont immergés.”

contient cependant quelques éléments très originaux comme les animaux marins (grands pingouins, phoques-moines) mais également la représentation d'antilopes saïgas, animal en voie de disparition qui vit aujourd'hui dans les steppes d'Asie centrale. Parmi les cervidés, on trouve un mégacéros, animal très spectaculaire dont les bois pouvaient atteindre trois mètres de haut. Ainsi que des animaux qui restent encore indéterminés. Plusieurs de ces espèces ont aujourd'hui complètement disparu de la Méditerranée.

La présence de nombreuses mains peintes « en négatif » interroge. Quelle signification peut-on leur attribuer ?

C. M. Nous en avons en effet recensé un très grand nombre. L'artiste apposait sa main sur la paroi et soufflait de

l'argile tout autour, comme avec un pochoir, laissant ainsi apparaître sa main. D'où l'expression de mains « en négatif ». Des mains d'hommes, de femmes, d'enfants : l'intégralité d'un groupe humain a fréquenté Cosquer. La présence de mains en négatif n'est cependant pas une caractéristique propre à Cosquer. On peut même parler de comportement propre à la culture gravettienne en Europe. La grotte de Gargas notamment, dans les Hautes-Pyrénées, en compte plusieurs centaines. À Cosquer, certaines de ces mains ont des doigts incomplets. On peut imaginer des mains mutilées, blessées mais l'hypothèse la plus solide est que ces mains traduisent une sorte de code, un langage de communication entre chasseurs-cueilleurs comme l'utilisaient encore il n'y a pas si longtemps les Indiens d'Amérique du Nord.

► Henri Cosquer dans une salle de la grotte, en 1994.



© HENRI COSQUER/GAMMA-RAPHO

Mais leur sens ne nous est plus accessible aujourd'hui. Pas plus que celui des dessins géométriques qui couvrent certaines parois, une étrangeté qui n'est pas spécifique à Cosquer...

Pour vous archéologue, la grotte est loin d'avoir livré ses secrets...

C. M. Ces dernières années, la restitution de la grotte a nécessité, pour des raisons de conservation et de valorisation, d'acquérir en 3D une grande partie des parois de la cavité. L'ouverture de Cosquer Méditerranée va permettre de valoriser ce remarquable travail et donnera l'accès au plus grand nombre à ce patrimoine exceptionnel. Les années qui viennent vont nous permettre de nous focaliser sur la conservation par l'étude de ce site en péril. Car on ne connaît pour l'instant cette cavité ornée que de manière globale. Il nous faut vraiment entrer dans le détail. Cette grotte, c'est aussi des sols, des foyers d'éclairage, des traces d'activité de toutes sortes. Par exemple, de nombreux prélèvements de matière plastique liée à l'altération des parois ont été identifiés. Quel était l'usage par les groupes humains préhistoriques de

▼ Dans la villa Méditerranée, béton et composites ont permis de reconstituer la topographie de la grotte Cosquer dans toute sa complexité (reliefs, géologie, couleurs...).

cette pâte calcaire ? Nous allons également travailler sur les silex découverts dans la grotte et tenter de découvrir pour quels usages ils ont été taillés.

Est-ce là une course contre la montre qui s'engage ?

C. M. Oui car l'eau monte, la grotte est menacée, sa disparition est programmée. D'ores et déjà, 4/5^e de la grotte sont immergés. Nous allons donc établir une stratégie de travail qui tiendra compte de la montée des eaux. Notre recul, qui est déjà d'une quinzaine d'années, montre une accélération. Les dégâts provoqués par le réchauffement climatique sont très visibles

dans la grotte. La campagne de fouilles archéologiques que nous allons engager sera nécessairement différente de l'approche choisie dans les autres grottes ornées où la conservation est placée au-dessus de toutes les considérations. La sauvegarde de Cosquer ne peut s'opérer que par l'étude scientifique, même s'il va falloir opérer des interventions invasives que nous nous interdirions sans doute dans d'autres sites. Si l'on n'intervient pas rapidement, c'est la mer qui va s'en charger !

Quelles sont les questions clés auxquelles cette prochaine campagne va tenter de répondre ?

C. M. Une des premières questions



© KLEBER ROSSILON & RÉGION PACA/SOURCES 3D M/PHOTO F. PALVAREL



“La restitution de la grotte a nécessité, pour des raisons de conservation et de valorisation, d’acquérir en 3D une grande partie des parois de la cavité.”

porte sur la chronologie de fréquentation de la cavité. Est-elle bien cernée ? Nous allons travailler sur les phases de fréquentation, partant notamment de l’hypothèse que le boyau que nous empruntons pour y pénétrer n’a peut-être pas été accessible tout le temps. Comprendre cette accessibilité est essentiel, d’où l’intérêt de croiser les approches archéologiques et géomorphologiques. L’équipe que j’ai réunie compte ainsi des karstologues qui nous aideront à comprendre, notamment, comment s’est formée la grotte dans le massif des Calanques et comment elle a évolué jusqu’à aujourd’hui ; et des hydrogéologues aptes à décrypter le fonctionnement complexe passé et actuel de la grotte. Nous disposons grâce aux relevés qui ont été effectués durant les dix dernières années de données qui peuvent nous éclairer sur les modalités scientifiques de baisse et de montée des eaux dans la cavité.

Notre équipe comprend aussi des géomorphologues qui étudieront la dynamique sédimentaire à l’intérieur et à l’extérieur de la grotte et la façon dont les deux espaces sont connectés. À cette palette, il faut bien sûr ajouter des archéologues pour travailler notamment sur les sols, des spécialistes de l’art pariétal, des archéozoologues qui pourront s’appuyer sur les relevés 3D pour étudier le comportement animal tel qu’il a été saisi par les artistes préhistoriques. Mais cette équipe est destinée encore à s’élargir, notamment sur les problématiques paléo-environnementales. C’est une vraie enquête interdisciplinaire que nous allons mener avec le soutien du ministère de la Culture et l’appui du bassin scientifique local, comprenant notamment le Laboratoire méditerranéen de Préhistoire

Europe Afrique² (Lampea) et le Centre européen de recherche et d’enseignement de géosciences de l’environnement³ (Cerege).

La restitution constitue une sorte d’hymne aux technologies numériques... Sont-elles en train de transformer votre métier ?

C. M. Nous disposons, grâce aux technologies numériques, de relevés d’une précision inédite, à l’échelle infra-millimétrique. La chronologie des tracés, la stratigraphie, le profil de l’outil, la précision des gestes de celles et ceux qui ont peint ou gravé sur les parois nous sont également apportés par ces relevés. Les relevés 3D permettent aussi de travailler « au sec » de manière confortable alors que l’accès à la grotte demeure extrêmement fatigant et complexe. La 3D permet un très bon enregistrement de terrain, ce qui en fait une excellente archive scientifique. Mais cela demeure un outil. Rien ne remplacera jamais l’œil humain qui capte un ensemble et parfois même des détails qui échappent à la technologie. **II**

À visiter

Cosquer Méditerranée : le site de la réplique de la grotte Cosquer, Villa Méditerranée, Marseille

À voir

La grotte Cosquer - Un chef-d’œuvre en péril, documentaire réalisé par Marie Thiry, produit par Gédéon Programmes en coproduction avec le CNRS, sur Arte.tv

À écouter

« Une plongée dans la grotte Cosquer », podcast réalisé par Clément Baudet, sur lejournald.cnrs.fr

 Lire l’intégralité de l’entretien sur lejournald.cnrs.fr

En bref

L’INNOVATION RÉCOMPENSÉE ET SOUTENUE

De nombreux projets d’innovation issus de laboratoires du CNRS et de ses partenaires se sont distingués au Concours d’innovation 2022, avec respectivement 23, 32 et 17 lauréats pour les trois volets de ce concours : i-PhD, i-Lab et i-Nov. Organisé par l’État, ce concours soutient et encourage « la création et le développement d’entreprises fortement innovantes nées de la recherche de pointe française ».

UN NOUVEAU LABORATOIRE FRANCO-JAPONAIS

Le 24 juin, le CNRS, l’université Grenoble-Alpes et l’université de Tsukuba au Japon, ont signé la création du laboratoire international de recherche J-FAST, laboratoire franco-japonais pour la physique et la technologie des semi-conducteurs. Il a pour objectifs de mener des recherches sur des procédés innovants de fabrication à l’échelle atomique de matériaux semi-conducteurs, tout en promouvant des actions de formation et la mobilité internationale.

UN PARTENARIAT POUR LA MOBILITÉ

Le 8 juillet, Valeo et le CNRS ont officialisé un premier accord-cadre qui organise sur cinq ans leur coopération dans des programmes de recherche autour de l’automobile et de la mobilité. Les projets porteront ainsi sur la conception durable, l’intelligence artificielle, les systèmes intelligents, la cybersécurité, les sciences des données, les villes inclusives ou les énergies nouvelles.

UNE FEUILLE DE ROUTE AVEC L’IRSN

Début juin, le CNRS et l’Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) ont établi une feuille de route précisant les sujets de collaboration dans le cadre de leur accord-cadre renouvelé en 2020. Les six thématiques retenues sont l’altération des matériaux des composants et des structures ; les séismes et les interactions sol-structure ; les recherches transverses in situ dans le domaine de l’environnement ; les nouvelles techniques nucléaires pour la santé ; les capteurs et la métrologie ; et enfin les plateformes logicielles et la simulation.

2. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/Ministère de la Culture 3. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/IRD/Inrae.

La Fondation CNRS, une dynamique bien engagée

RECHERCHE La Fondation CNRS évolue. Depuis deux ans, elle a mis en place différentes actions pour soutenir la recherche, notamment la création de fondations sous égide, et la dotation de la médaille d'or du CNRS à partir de cette année.

PAR LAURENCE STENVOT

« La pluridisciplinarité des recherches réalisées au CNRS offre un panorama très large allant du changement climatique aux inégalités éducatives, et la Fondation CNRS reflète ces nombreux enjeux de société et les porte aussi bien via le mécénat d'entreprise que par des soutiens financiers ciblés, jusqu'à la fondation sous égide », témoigne Michel Mortier, directeur général de la Fondation CNRS.

Officiellement créée à l'occasion des 80 ans du CNRS en 2019, la Fondation CNRS est devenue opérationnelle en janvier 2020. Elle a déjà récolté plus de 1 million d'euros de dons en deux ans et demi, qui ont permis de soutenir une douzaine de projets, notamment en lien avec la crise du Covid-19, les maladies rares, les intelligences atypiques, le changement climatique, etc. Elle travaille désormais sur son offre destinée aux entreprises avec l'appui d'un cabinet spécialisé. « Nous bâtissons actuellement des offres de projets de recherche à soutenir selon différentes thématiques afin que les entreprises se reconnaissent dans leur choix de mécénat », ajoute Michel Mortier.

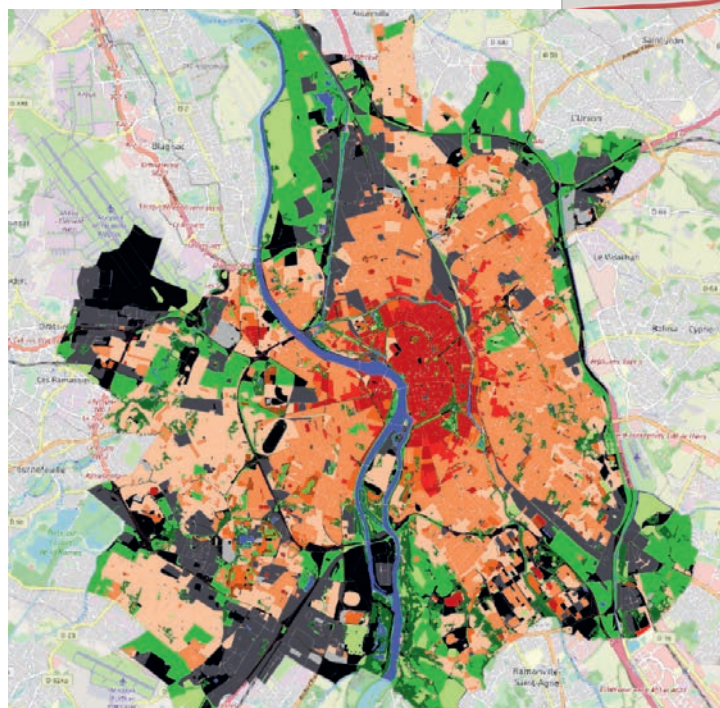
Une valorisation sans attente commerciale

Dès ses débuts, la Fondation CNRS a souhaité proposer la possibilité « d'abriter » d'autres fondations – un processus qui s'accélère depuis 2021. « La fondation sous égide était un outil très attendu par les instituts du CNRS et leurs chercheuses et chercheurs pour valoriser de manière non commerciale certains travaux de recherche », analyse son directeur général. Ce dispositif est très intéressant, car il permet au porteur du projet de ne pas avoir à créer sa propre fondation, mais de l'héberger au sein de la Fondation CNRS pour bénéficier de son support juridique et financier. Le porteur de projet et son équipe se concentrent quant à eux sur la recherche de mécènes. « Pour un porteur de projet, choisir la fondation sous égide, c'est profiter des mêmes avantages que s'il avait créé sa

► Le thème de la ville du futur fait partie des nombreux sujets de réflexion de la Fondation 2100 (ici le projet Positive Futur, 2020).



► Cartographie des zones climatiques locales pour la commune de Rennes dans le cadre du projet Geoclimate+ développé par la Fondation GEOMANUM.

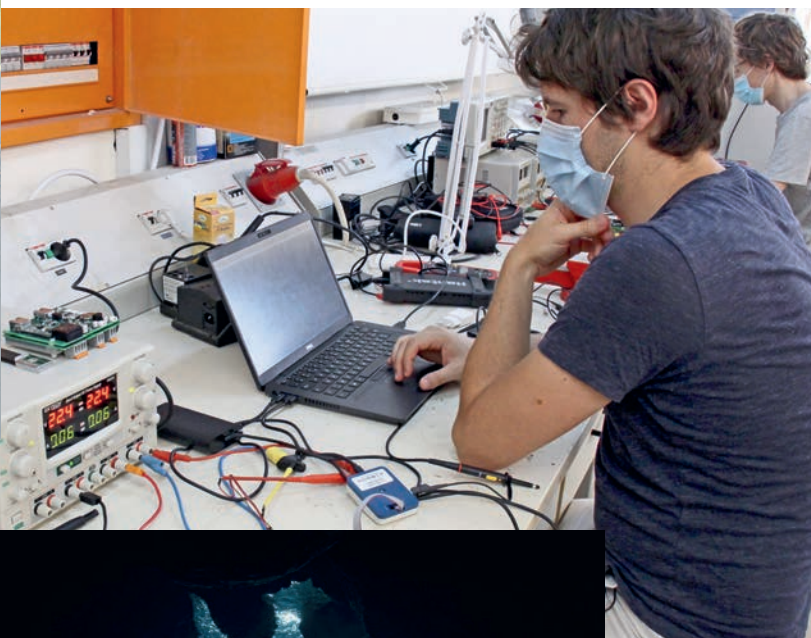


propre fondation sans les lourdeurs administratives. » Cette possibilité permet notamment de valoriser certains projets « sans attente commerciale » tels que les logiciels libres qui ne s'achètent pas mais « vivent au sein de nombreuses communautés de recherche » ; ou encore des travaux en sciences humaines et sociales qui « n'ont pas toujours de retombées commerciales ».

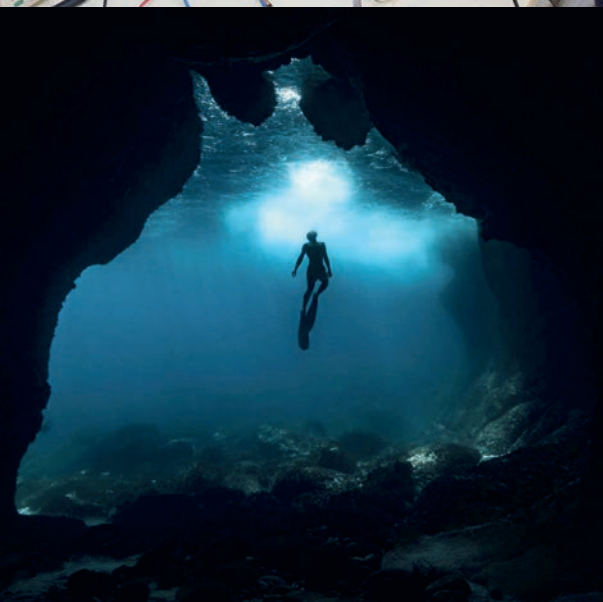
« Une stratégie gagnant-gagnant »

Depuis la création de la Fondation CNRS, trois fondations sous égide ont été créées : la Fondation Rescue Ocean (jusqu'en 2022), la Fondation GEOMANUM et la Fondation 2100. Et cette année, la Fondation OwnTech et la Fondation 1 Ocean ont rejoint le dispositif. « Pour créer une fondation sous égide, il faut que l'objet de la fondation à créer soit compatible avec celui de la Fondation CNRS », souligne Michel Mortier.

► La mission de la Fondation OwnTech : animer un espace communautaire autour d'un commun technologique visant à démocratiser l'accès à l'électronique de puissance.



© LUIS VILLALBA/CNRS



© ALEXIS ROSENFELD

► La Fondation 1 Ocean soutient le projet d'exploration « 1 Ocean, le grand témoignage sur l'Océan », mené par le photographe Alexis Rosenfeld avec l'UNESCO.

Erwan Bocher, chercheur au Laboratoire des sciences et techniques de l'information, de la communication et de la connaissance (LAB-STICC)¹ et porteur de la fondation GEOMANUM - qui met les sciences de l'information géographique au service de la transition écologique et de l'adaptation au changement climatique dans les territoires -, attendait la création de la Fondation CNRS avec impatience : « Cela fait plus de dix ans que je porte ce projet de mener des recherches sur les territoires avec l'ensemble des acteurs de la société », explique-t-il. La Fondation 2100, composée d'un cercle d'intellectuels qui réfléchissent à la prospective de la société à cent ans, a elle aussi su reconnaître l'intérêt du positionnement pluridisciplinaire du CNRS pour son projet : « Un des fondateurs a consacré toute sa vie à la prospective pour en faire une discipline à part entière, explique Michel Mortier. En se liant à la Fondation CNRS, la Fondation 2100 pourra s'emparer des productions des chercheurs du CNRS pour faire avancer sa réflexion. »

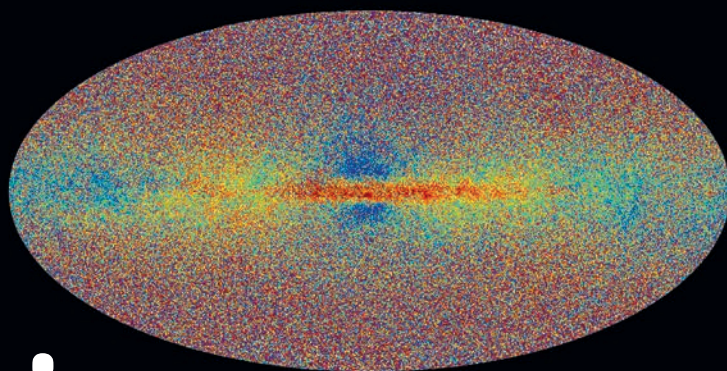
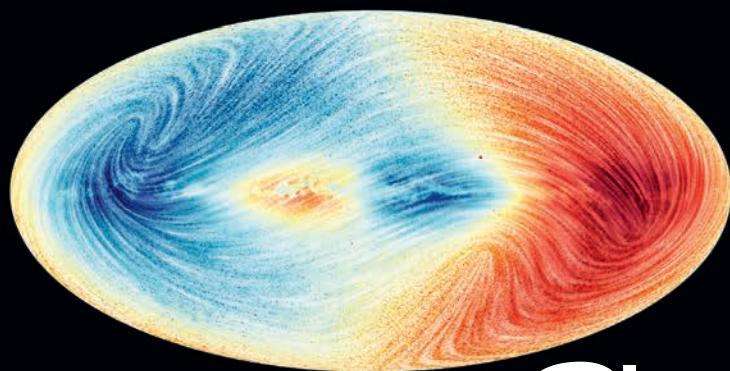
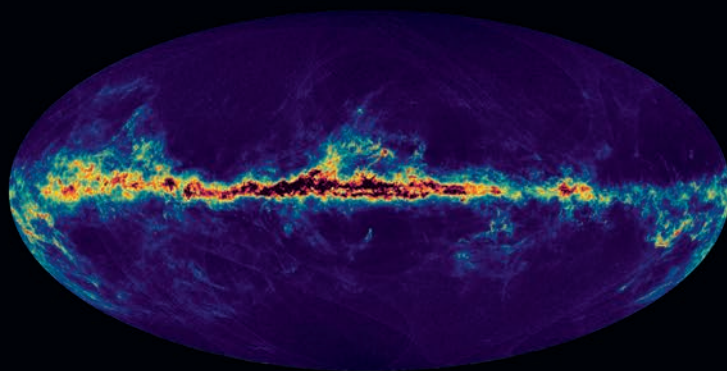
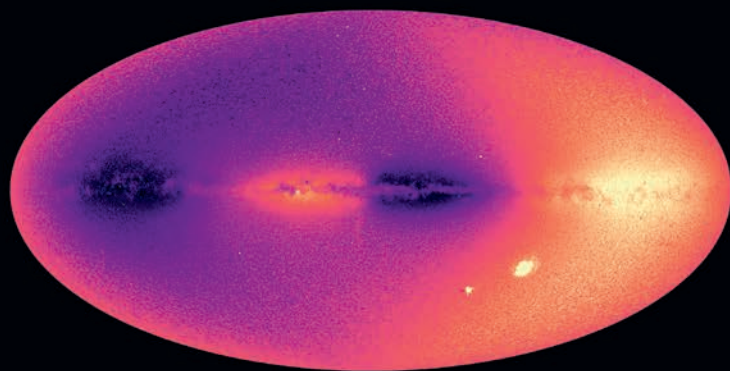
De nombreux prix pour soutenir la recherche

Pour récompenser une recherche déjà accomplie, la Fondation a souhaité se positionner sur les prix et les récompenses : une dotation de 50 000 euros pour la médaille d'or du CNRS ; le prix Suzanne Bella Srodogora – attribué à une femme ingénieure, technicienne, administrative, pour son parcours exceptionnel ; le prix Claude Paoletti – qui récompense deux jeunes chercheuses et chercheurs en biologie, toutes disciplines confondues ; le prix Georges Brahms de la Fondation CNRS – attribué à un chargé de recherche de la promotion de l'année dans le domaine de la biologie de l'ADN d'un montant de 10 000 euros destiné à soutenir l'installation du lauréat. Et enfin le prix Lelong de la Fondation CNRS, qui soutient des recherches anthropologiques sur les cultures d'Amazonie péruvienne et des régions adjacentes.

Deux cents mille euros d'une entreprise américaine

Grande nouveauté, la Fondation CNRS attire aussi des fonds de l'étranger. « Les laboratoires du CNRS sont reconnus mondialement, et nous avons eu des demandes spécifiques de mécénat venant de grandes entreprises hors Hexagone », souligne Michel Mortier. Un exemple récent : un don de 200 000 euros provenant d'une entreprise pharmaceutique américaine pour soutenir des recherches pour la conception de médicaments antiviraux. Le développement international de la Fondation l'a conduit à devenir partenaire de Friends of Fondation de France² qui permet à des donateurs aux États-Unis de bénéficier de déduction fiscale. De la même manière, la Fondation est devenue membre du réseau Transnational Giving Europe pour collecter des dons en provenance de pays européens. « La Fondation CNRS devient une véritable boîte à outils au service des laboratoires, des chercheuses et chercheurs », conclut Michel Mortier. ▮

1. Unité École nationale d'ingénieurs de Brest/École nationale supérieure de techniques avancées Bretagne/École nationale supérieure Mines-Telecom Atlantique Bretagne Pays-de-la-Loire/ Université de Bretagne Occidentale/université de Bretagne Sud. 2. Les Amis de la Fondation de France est une organisation à but non lucratif qui permet aux particuliers et aux institutions aux États-Unis de faire des dons à des organisations caritatives européennes et françaises de confiance.



Gaia:

le catalogue galactique nouveau est arrivé

UNIVERS

ASTRONOMIE La seconde partie du troisième catalogue de la mission européenne Gaia a été dévoilée le 13 juin. Très attendue, cette nouvelle édition contient des données uniques sur notre galaxie et son environnement.

PAR KHEIRA BETTAYEB



Lire l'intégralité de l'article
sur [lejournal.cnrs.fr](https://www.lejournal.cnrs.fr)

Obtenir une carte du ciel la plus étendue et la plus précise jamais réalisée, afin de mieux comprendre la composition, le passé, l'avenir et l'environnement de notre Voie lactée composée d'au moins 200 milliards d'étoiles... C'est le vertigineux objectif de la mission spatiale Gaia. Grâce aux nouvelles données publiées le 13 juin 2022, les scientifiques n'ont jamais été aussi près de ce but !

Mission majeure de l'Agence spatiale européenne (ESA), Gaia est entièrement dédiée à l'astrométrie, une branche de l'astronomie qui s'efforce d'évaluer la position, la distance et le mouvement des étoiles, astéroïdes et autres objets célestes. Car connaître l'éloignement des étoiles permet d'évaluer l'énergie qu'elles émettent, puis d'en déduire leur masse et leur âge, et de mieux comprendre leur fonctionnement. Mais en raison des turbulences de l'atmosphère qui perturbent la propagation des rayons lumineux, les mesures depuis la Terre restaient imprécises. L'ESA a donc lancé en 1989 le premier satellite d'astrométrie spatiale, Hipparcos (1989-1993). Cet engin a

► Quatre cartes de la Voie lactée réalisées à partir des nouvelles données Gaia (vitesse radiale, vitesse radiale et mouvement propre, poussières interstellaires et composition chimique).

permis d'établir la position de 120 000 étoiles, avec une précision de l'ordre du millième de seconde d'arc, c'est-à-dire à peu près la grosseur d'une pièce de 2 euros vue à 1 000 kilomètres.

Seconde mission d'astrométrie spatiale de l'ESA, Gaia a été lancée le 19 décembre 2013 depuis la base de Kourou (Guyane). Son satellite renferme deux télescopes dotés de trois instruments de mesure très puissants : « *un astromètre, qui mesure la position et le déplacement des objets célestes ; un spectrophotomètre, destiné à analyser l'intensité lumineuse des étoiles pour en déduire leurs propriétés physiques (température, masse, âge...); et un spectrographe, qui mesure la vitesse radiale (dans la ligne de visée) des astres et leur composition chimique* », détaille François Mignard, un des initiateurs de Gaia, directeur de recherche CNRS émérite au laboratoire Lagrange ¹.

500 millions de mesures réalisées chaque jour !

Placé autour du point de Lagrange L2, une zone spatiale située sur l'axe Soleil-Terre, à 1,5 million de kilomètres de notre planète, Gaia exécute une rotation complète sur lui-même en six heures. Tel un phare, il explore l'ensemble de la voûte céleste et effectue chaque jour 500 millions de mesures ! Sur Terre, cette énorme quantité de données est dépouillée, traitée et analysée par un groupe de 450 ingénieurs et astronomes de 25 pays (dont une centaine rien qu'en France) : le consortium DPAC (*Data Processing and Analysis Consortium*). « *Cette structure est aussi importante que les trois instruments de mesures de Gaia : sans elle, les données brutes du satellite seraient inexploitable par les astronomes* », souligne François Mignard. Ce consortium gère aussi, avec l'ESA, la publication du catalogue de Gaia.

Dévoilée en 2016, la toute première édition de cet inventaire, baptisée Gaia DR1 (Data Release 1), recense la position de près de 1,15 milliard d'étoiles et de 2 500 quasars, estimée avec une précision de 0,5 à 15 millièmes de seconde de degré. « *Par rapport à Hipparcos, le nombre d'astres référencés a été multiplié par 10 000 et la précision de leur position (à éclat comparable), par trois* », compare François Mignard. Le second catalogue (DR2), livré en 2018, référence environ 1,7 milliard d'étoiles, mais aussi, pour la première fois, plus de 14 000 astéroïdes.

« *Ces corps sont de précieux témoins de la naissance du Système solaire : alors que la surface des planètes a été très remaniée depuis cette époque (notamment, en raison de leur activité géologique : volcanisme, tectonique des plaques etc.), la composition chimique des astéroïdes n'a, elle, pas évolué. Donc leur étude peut aider à mieux comprendre les principaux processus physiques qui amènent à la formation d'un système planétaire autour d'une étoile* », éclaire Benoît Carry, planétologue au laboratoire Lagrange et à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides ². Autre point notable de la DR2 : elle comprend également

la vitesse radiale de plus de 7 millions de sources. « *Ce paramètre permet de connaître la vitesse des étoiles dans les trois dimensions spatiales et ainsi, de cartographier en 3D les mouvements dans notre galaxie* », explique Paola Sartoretti, ingénieure de recherche CNRS au laboratoire Galaxies, Étoiles, Physique, Instrumentation ³ (Gepi) et responsable scientifique de l'équipe de traitement des données du spectromètre de Gaia.

Une avalanche de découvertes en perspective

Enfin, un autre ensemble de données a été publié en décembre 2020 : dit EDR3 (E pour *early*, précoce en anglais), il correspond à la première partie de la DR3 et comporte des informations astrométriques sur 1,8 milliard d'étoiles. Les données publiées en juin en constituent la seconde partie, qui comporte notamment les vitesses radiales de plus de 34 millions d'étoiles, et la position d'environ 160 000 astéroïdes. Mais les chercheurs pourront aussi y trouver de nombreux paramètres astrophysiques (température de surface, rayon, luminosité...) pour un plus grand nombre d'étoiles, une classification de la quasi-totalité des objets célestes observés, la première cartographie chimique de la Voie lactée et une description inédite des petits corps du Système solaire.

Très attendues, ces nouvelles données devraient aider à répondre à plusieurs grandes questions : la galaxie est-elle née en une seule fois ou bien est-elle le résultat de la fusion de plusieurs galaxies voisines ? Quelle est sa masse ? Comment tourne-t-elle ? Combien d'étoiles sont en train d'échapper à son champ gravitationnel ?

Jusqu'ici, « *les données de Gaia ont déjà permis de faire plusieurs avancées majeures* », relève Piercarlo Bonifacio, directeur de recherche CNRS au Gepi. Par exemple, les données de la DR1 et de la DR2 ont permis de découvrir que la Voie lactée a subi une fusion majeure avec une autre galaxie, dite Gaia-Sausage-Enceladeus (GSE), et que la plupart des étoiles attribuées jusqu'ici au halo galactique (la vaste région remplie de gaz chaud qui entoure la Voie lactée) appartenaient à cette autre structure. Les données de l'EDR3 ont permis quant à elles de calculer les trajectoires des galaxies naines qui orbitent autour la nôtre ; ce qui a révélé que la plupart d'entre elles ne tournent pas autour de la Voie lactée depuis longtemps, mais en sont à leur premier passage au péricentre (point de l'orbite où la distance est minimale par rapport au foyer de cette orbite).

Et l'aventure ne s'arrête pas là : un quatrième catalogue Gaia devrait arriver fin 2025, et un cinquième fin 2030. De quoi entrevoir une avalanche de nouvelles autres avancées... II



Pour en savoir plus

sur les données de Gaia DR3 (en anglais)

>> <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dr3>

1. Unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur. 2. IMCCE (CNRS/Observatoire de Paris-PSL). 3. Unité CNRS/Observatoire de Paris-PSL.

Quand le verre et la lumière font des étincelles

MATIÈRE

OPTIQUE À l'image de la lumière qu'elles conduisent, les fibres optiques irradient une grande variété d'applications, des télécommunications aux capteurs médicaux. À l'occasion de l'Année du verre, tour d'horizon des avancées dans ces domaines où les scientifiques redoublent de créativité.

PAR GRÉGORY FLÉCHET

Dans l'esprit de tout un chacun, les fibres optiques restent largement associées au transport de gros volumes d'informations sur de très longues distances. Une prouesse rendue possible au tournant des années 1970 grâce au développement de procédés dérivés du dépôt chimique en phase vapeur (CVD). Cette technique permet de produire un barreau de silice appelé « préforme » d'une extrême pureté. Les fibres élaborées à partir de cette préforme sont ainsi capables de transmettre un signal lumineux sur une centaine de kilomètres, contre vingt mètres dans le verre qui compose nos baies vitrées. Le flux de données que peut prendre en charge chaque fibre optique est en outre sans commune mesure avec celui d'un fil de cuivre.



Lire l'intégralité de l'article
sur lejournel.cnrs.fr



« La capacité maximale d'une fibre optique monomode utilisée dans un câble transocéanique peut atteindre environ 100 térabits par seconde (Tb/s) ce qui équivaut à la transmission de 500 disques Blu-ray chaque seconde », précise Laurent Bigot, directeur de recherche CNRS au laboratoire de Physique des lasers, atomes et molécules¹ (Phlam). Mais avec la croissance exponentielle du trafic internet, les câbles de télécommunications vont bientôt arriver à saturation. Pour faire face à ce risque, le scientifique et son équipe développent depuis dix ans une nouvelle génération de fibres multicanales en partenariat avec la société Draka, leader mondial des câbles de télécommunications.

Fédérer la recherche pour stimuler l'innovation

« En mettant à profit le multiplexage spatial qui consiste à augmenter le nombre de chemins optiques dans un volume de verre identique à celui d'une fibre monomode, il est

FIBRE OPTIQUE MONOMODE

Désigne une fibre optique conçue pour n'autoriser qu'un seul chemin optique pour l'onde lumineuse.

envisageable de multiplier par cent la capacité de transmission de la lumière », souligne le chercheur qui s'est appuyé sur la plateforme FiberTech Lille, basée à l'Institut de recherche sur les composants logiciels et matériels pour l'information et la communication avancée² (Ircica).

L'équipe de Laurent Bigot tente de faire émerger de nouvelles applications dans le domaine de la photonique. Les travaux menés avec la start-up Lightcore Technologies, fondée en 2019 par des ingénieurs et scientifiques de l'institut Fresnel³, de l'institut de recherche XLim⁴ de Limoges et du laboratoire Phlam, visent par exemple à développer des endoscopes de nouvelle génération : « Il s'agit de mettre au point une technique d'imagerie biomédicale la moins invasive possible à partir de fibres à cœur creux fonctionnalisées à leur extrémité avec une bille de silice faisant office de lentille », explique Laurent Bigot.

Les équipes impliquées dans la conception et la fabrication de fibres innovantes sont réunies au sein du groupement d'intérêt scientifique (Gis) Grifon⁵ (pour Groupement d'initiatives pour les fibres optiques nouvelles). « Grâce aux rencontres qu'il organise une fois par an, le Gis Grifon permet à notre communauté de se tenir informée des développements en cours et des outils technologiques à disposition dans les différents centres de recherche », précise Laurent Bigot, dont le laboratoire est à l'initiative de ce GIS avec l'Institut de physique de Nice (Inphyni) et le XLim.

« Cette relation privilégiée entre le milieu académique et le monde de l'entreprise contribue à mieux identifier les sujets de recherche amont susceptibles de se concrétiser par de futurs développements technologiques chez les industriels », assure Wilfried Blanc, directeur de recherche CNRS à l'Inphyni. Au sein de ce laboratoire, le physicien travaille sur un nouveau concept de fibre optique contenant des nanoparticules. Déployée le long d'une aiguille hypodermique, une telle fibre permettrait par exemple de cibler avec une plus grande précision la zone d'injection d'une péridurale afin de renforcer l'efficacité du produit anesthésique.

Miser sur l'infrarouge pour étendre les applications

De son côté, la Bretagne dispose de plusieurs laboratoires ou groupes de recherche en pointe sur la fabrication de fibres optiques de nouvelle génération. C'est le cas de l'équipe « verres et céramiques » de l'Institut des sciences chimiques de Rennes (ISCR) qui élabore depuis les années 1990 des fibres optiques à partir de verres de chalcogénures. Parce qu'ils contiennent des éléments chimiques comme le soufre, le sélénium ou le tellure, ces verres sont capables de transmettre le rayonnement infrarouge jusqu'à une longueur d'onde de 20 micromètres (µm).

« La fabrication de fibres optiques à base de verres de chalcogénures est un processus délicat car il implique de disposer d'une préforme dépourvue de toute contamination que

1. Unité CNRS/Univ. de Lille. 2. Unité CNRS/Univ. de Lille. 3. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ./Centrale Lille. 4. Unité CNRS/Univ. de Limoges. 5. À ce jour, le Gis Grifon rassemble sept centres de recherche : l'Institut de physique de Nice (CNRS/Univ. Côte d'Azur), le Phlam (CNRS/Univ. de Lille), l'Institut Xlim (CNRS/Univ. de Limoges), l'équipe « verres et céramiques » de l'Institut des sciences chimiques de Rennes (CNRS/Univ. de Rennes 1/École nationale supérieure de chimie de Rennes/Insa), l'Institut lumière matière (CNRS/Univ. Lyon 1), le Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (CNRS/Comue Université Bourgogne Franche-Comté) et l'Institut de chimie de la matière condensée (CNRS/Institut polytechnique de Bordeaux/Univ. de Bordeaux).

l'on obtient, entre autres, par une succession d'étapes de purification », explique Catherine Boussard-Plédel, ingénieure de recherche CNRS à l'ISCR. Axés sur la spectroscopie par ondes évanescentes dans le moyen infrarouge, les premières recherches de cette spécialiste des verres de chalcogénures ont abouti, en 2011, à la création de la start-up Diafir. À partir d'une simple goutte de sérum sanguin, les capteurs médicaux développés par cette société sont destinés à dépister les personnes atteintes de stéatohépatite non alcoolique, une maladie du foie dont le diagnostic précoce reste très difficile.

« Ces outils de diagnostic utilisent la spectroscopie par ondes évanescentes pour enregistrer le signal infrarouge d'une grande diversité de molécules, en temps réel et par simple contact avec la substance à analyser », détaille Catherine Boussard-Plédel. Loin de se cantonner au domaine médical, ses travaux sur les fibres en verres de chalcogénures offrent bien d'autres applications : détection de bactéries dans les produits alimentaires, suivi des niveaux de concentration de polluants, révélation de l'atmosphère des exoplanètes, etc. « Ces outils de diagnostic utilisent la spectroscopie par ondes évanescentes pour enregistrer le signal infrarouge d'une grande diversité de molécules, en temps réel et par simple contact avec la substance à analyser », détaille l'ingénieure.

© JEAN-CLAUDE MOSCHETTI / FOTON / IRSTTF / CNRS PHOTO THÈQUE



Une scientifique vérifie l'état de surface et de propreté d'une fibre optique avec un microscope avant son insertion dans une liaison optique-hyperfréquence.

La diffusion Brillouin a 100 ans

Décrétée Année internationale du verre par les Nations unies, 2022 coïncide, par le plus grand des hasards, avec le centenaire d'une découverte majeure pour l'optique : l'effet Brillouin, mis en évidence par le physicien français Léon Brillouin (1889-1969). « Dans son article purement théorique qui explique en substance que la lumière se propage dans toutes les directions grâce aux ondes acoustiques, Brillouin prédit que cette diffusion peut s'accompagner d'un changement de fréquence. Or à l'époque, la majorité des scientifiques spécialistes de l'optique estiment que seule la fluorescence permet d'obtenir un tel décalage en fréquence », rappelle Jean-Charles Beugnot, chargé de recherche CNRS à l'institut Femto-ST*. S'il n'obtient pas le prix Nobel de physique pour sa théorie, Léon Brillouin pressent rapidement sa portée. Et aujourd'hui, la diffusion Brillouin captive encore les scientifiques qui travaillent sur les fibres optiques. « Tandis que les spécialistes de la spectroscopie s'efforcent d'exalter ce phénomène, les chercheurs qui travaillent dans le domaine des télécommunications et sur les lasers de forte puissance photonique veulent à tout prix l'éliminer car cette diffusion limite la puissance transmise par fibres optiques », résume Jean-Charles Beugnot qui met lui-même à contribution la diffusion Brillouin pour développer de nouvelles générations de capteurs acoustiques.

* Franche-Comté électronique mécanique thermique et optique - sciences et technologies (CNRS/Comue Université Bourgogne Franche-Comté).

Il y a tout juste un an, la scientifique de l'ISCR et son équipe ont également débuté une collaboration avec Jean-Marie Tarascon, professeur au Collège de France et chercheur de renommée mondiale dans le domaine du stockage de l'énergie (lire son portrait p. 6). Objectif de ce nouveau projet : assurer le suivi in situ des phénomènes chimiques inhérents au fonctionnement des batteries pour améliorer leur fiabilité et leur durée de vie. « Afin d'avoir accès à la chimie des batteries pendant leur fonctionnement, nous avons opté pour des capteurs à fibres optiques en verres de chalcogénures alimentés par un laser, détaille-t-elle. Ce type de capteur permet de détecter en temps réel l'évolution dynamique des électrolytes et la nature des produits issus de leur décomposition. »

Des microcapteurs intégrés pour traquer la pollution aquatique

À une centaine de kilomètres au nord de Rennes, l'institut Fonctions optiques pour les technologies de l'information⁶ (Foton) de Lannion exploite lui aussi les verres de chalcogénures mais sous la forme de couches minces. Dans le cadre d'un récent projet financé par l'Agence nationale de la recherche et porté par Virginie Nazabal, directrice de recherche CNRS à l'ISCR, en collaboration avec le Bureau

6. Unité CNRS/Université de Rennes 1.



de recherches géologiques et minières (BRGM) et Ifremer, l'institut Foton s'est lancé dans le développement de microcapteurs optiques pour la surveillance in situ de la qualité de l'eau douce et salée. « *Cela implique de concevoir un dispositif à la fois compact et portable incorporant le capteur constitué d'un guide d'onde intégré en verres de chalcogénures et une source laser à cascade quantique émettant dans le moyen infrarouge* », explique Joël Charrier, maître de conférences à l'institut Foton.

Pour relever ce défi, le chercheur s'appuie sur le Centre commun lannionnais d'optique, une plateforme technologique de l'institut Foton entièrement dédiée à la réalisation et aux caractérisations de circuits optiques intégrés. Une fois opérationnel, ce dispositif de détection miniaturisé sera en mesure d'identifier une large gamme de polluants aquatiques, allant des composés organiques volatiles aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, en passant par les nitrates. « *Les principales bandes d'absorption des polluants aquatiques se situant dans le moyen infrarouge, la quasi-totalité de ces substances pourront être ciblées par nos capteurs optiques* », conclut Joël Charrier. Les nouvelles propriétés des fibres optiques n'ont pas fini de nous étonner ! ||



Pour en savoir plus

sur les nombreux événements de l'année du verre en France
 >> <https://www.anneeduverre2022.fr/>

En bref

LE CNRS COPILOTE LES 13 NOUVEAUX PEPR EXPLORATOIRES

Le 18 juillet, Sylvie Retailleau, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, a annoncé les 13 nouveaux Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) exploratoires. Le CNRS est pilote ou copilote de tous ces projets qui couvrent des domaines allant de la modélisation du climat à la psychiatrie de précision, en passant par la gestion des ressources du sous-sol, l'étude du génome des espèces marines, la

formalisation d'une science du risque ou encore l'étude des interactions entre lumière et matière. Cette deuxième vague de PEPR exploratoires, qui visent des secteurs scientifiques ou technologiques en émergence pour lesquels l'État souhaite identifier et structurer les communautés en prévision d'éventuelles stratégies nationales à venir, est financée à hauteur de 600 millions d'euros par France 2030.

Lire l'article sur CNRS Info : <https://bit.ly/3Rkt8QW>

LE CNRS EN FORCE À VIVATECH

Du 15 au 18 juin et pour la troisième fois, le CNRS était présent au salon Viva Technology, le grand rendez-vous de l'innovation à Paris qui a reçu cette année plus de 90 000 visiteurs. Douze entreprises issues de recherches fondamentales étaient présentes sur le stand de l'organisme, tandis que dix interventions ont permis de présenter recherches et projets innovants sur la cybersécurité, l'exploration spatiale, la décarbonation de l'industrie ou l'ingénierie de la santé.

À voir : <https://bit.ly/3QfMjdp>

© FR. MAGNIOT/CNRS



Le président Emmanuel Macron, la ministre Sylvie Retailleau et le PDG du CNRS Antoine Petit sur le stand de l'organisme à VivaTech, le 17 juin.



© VINCENT ISORE/IP3/MAXPPP



L'IA s'attaque à la sclérose en plaques

© GOVIND BHAGAVATHEESHWARAN, DANIEL REICH/NINDS/NIH

VIVANT



NUMÉRIQUE



INTELLIGENCE ARTIFICIELLE La sclérose en plaques est une maladie incurable qui s'attaque au système nerveux. L'IA pourrait permettre son diagnostic plus précoce, pour une meilleure efficacité des traitements visant à ralentir sa progression.

PAR MARTIN KOPPE

Maladie auto-immune, la sclérose en plaques se caractérise par la dégradation de la myéline, la membrane qui protège les axones des neurones. La communication au sein du système nerveux est alors progressivement perturbée, entraînant des atteintes motrices et neurologiques de plus en plus importantes. La sclérose en plaques est pour l'instant incurable, mais des traitements permettent d'en soulager certains symptômes, et ce d'autant plus si la maladie est découverte tôt. Or aujourd'hui, la maladie est repérée plutôt tardivement.

« Le diagnostic précoce de la sclérose en plaques passe notamment par l'observation par IRM de biomarqueurs, comme des lésions ou le volume anormal de certaines structures cérébrales, explique Reda Abdellah-Kamraoui, doctorant au Laboratoire bordelais de recherche en informatique ¹ (LaBRI). L'extraction manuelle de ces informations à partir d'images IRM prend un temps considérable, et des techniques automatiques ont donc été développées. »

Les méthodes d'apprentissage profond (ou *deep learning*), développées pour les tâches de reconnais-

sance d'images, ont été naturellement mises à contribution pour automatiser ces opérations complexes et fastidieuses.

Fausse images pour vraies IA

« L'IA reste un outil capable de se tromper, insiste Reda Abdellah-Kamraoui. Les médecins gardent le monopole du diagnostic. L'apprentissage profond permet cependant d'obtenir une prédiction objective, là où deux cliniciens ne donnent pas forcément la même interprétation. » Celui-ci passe par l'accumulation d'exemples et de données, avec lesquels les algorithmes s'entraînent à distinguer les éléments importants sur les images IRM. Mais ces éléments ne sont pas standardisés.

À Bordeaux, Reda Abdellah-Kamraoui étudie justement la généralisation de réseaux de neurones, afin qu'ils puissent s'entraîner malgré des données hétérogènes. Dans la

1. Unité CNRS/Institut polytechnique de Bordeaux/Univ. de Bordeaux. 2. Cerveau en breton. 3. Unité CNRS/Université Rennes 1.

► Image IRM en fausses couleurs d'un hémisphère cérébral de personne atteinte de sclérose en plaques (les zones lésées sont en rouge).

même idée, une partie des travaux est dédiée à la génération d'images synthétiques, qui pallient le manque de données pour entraîner les algorithmes. Le jeune chercheur a ainsi participé au challenge de l'*International conference on medical image computing and computer assisted intervention* (MICCAI), dédiée à l'imagerie médicale, sur la détection et la segmentation des nouvelles lésions dues à la sclérose en plaques.

« Il fallait détecter les nouvelles lésions à partir de deux IRM successives d'un même patient, précise-t-il. Le souci est que comme les patients sont traités dès que des lésions sont repérées, les IRM suivantes ne montreront pas de différences importantes et nous manquons donc de données pour entraîner nos algorithmes. Nous avons alors proposé une technique où nous générons de fausses images IRM qui simulent le cas d'un patient qui n'aurait pas été traité pendant plusieurs années, puis nous nous en servons pour entraîner nos IA. »

Reda Abdellah-Kamraoui et ses collègues s'intéressent également à la prédiction du score de sévérité de la sclérose en plaques, un paramètre très important pour les médecins, à partir là encore d'images IRM mais aussi de données démographiques et cliniques.

Un apprentissage généralisable

L'étude des IRM dépasse cependant le seul cadre de la sclérose en plaques. Pierrick Coupé, directeur de thèse de Reda Abdellah-Kamraoui, a ainsi créé avec Jose V. Manjón de l'université polytechnique de Valence (Espagne) la plateforme volBrain. Celle-ci permet de télécharger des données d'IRM et d'effectuer automatiquement de nombreuses tâches utiles au diagnostic d'autres pathologies neurodégénératives, dont Alzheimer ou Parkinson.

En France, d'autres groupes travaillent aussi à l'aide au diagnostic de la sclérose en plaques par IA. L'équipe

Empenn² de l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires³ (Irisa) participe ainsi au programme Primus⁴ fondé par le CHU de Rennes, doté de huit millions d'euros par l'appel à projets « Recherche hospitalo-universitaire en santé ». « La sclérose en plaques, c'est 120 000 malades en France qui font chacun une IRM par an, souligne Gilles Edan, praticien hospitalier et professeur émérite au CHU de Rennes. Ajoutez à cela que les neurologues et les radiologues ne peuvent pas être experts dans toutes les maladies couvertes par leur discipline, il est donc impossible que chaque image IRM soit interprétée par un spécialiste de la sclérose en plaques. »

Une aide à la décision médicale

Le projet Primus est centré autour de deux outils. Le premier visera l'aide à la décision médicale, et également à faciliter l'adhésion des patients aux médicaments qui leur sont prescrits, car ils peuvent avoir des effets secondaires importants. Ce futur outil sera basé sur des données de très haute qualité, issues d'essais cliniques des laboratoires pharmaceutiques ainsi que d'une cohorte de patients OFSEP⁵ suivis avec une rigueur extrême. « Il trouve des patients qui partagent un maximum de caractéristiques avec les nôtres, puis nous montre comment les différents traitements ont agi sur eux, poursuit Gilles Edan. Nous avons alors des indicateurs solides et personnalisés de l'évolution probable de la maladie sous traitement. »

Le second outil de Primus se concentre quant à lui sur les IRM et fournira, grâce à une immense banque de données, des références aux médecins qui ne seraient pas experts en sclérose en plaques. « C'est une vraie révolution, se réjouit Gilles Edan. C'est comme si nous avions la mémoire et l'expérience d'avoir traité 10 000 patients à portée de clic ! » II



Lire l'intégralité de l'article sur lejournal.cnrs.fr

En bref

UN NOUVEAU MODÈLE D'IA POUR LES LANGUES

Entraîné par le supercalculateur Jean Zay et impliquant de nombreux chercheurs du CNRS, le plus grand modèle de langue multilingue et *open science* jamais créé vient d'être livré. Le projet BigScience est basé sur une intelligence artificielle qui apprend simultanément deux modèles, l'un de génération de textes et l'autre de représentation de textes, en effectuant de manière répétitive une tâche élémentaire : prédire le prochain mot d'un texte dont on connaît le début, à la manière de ce que font les claviers « intelligents ». Il permet de gérer 46 langues, de l'anglais au basque, en vue de différentes applications dont la traduction automatique.

DES REPORTAGES ESTIVAUX SUR FRANCE INTER

Cet été, CNRS le Journal était partenaire du Temps d'un bivouac, avec des reportages codiffusés dans cette émission de France Inter. Au menu, une plongée dans la grotte Cosquer, une mission de sauvegarde des busards au milieu des champs ou une promenade en mer pour étudier les fascinantes éponges de mer. Ces podcasts sont à retrouver sur :

<https://lejournal.cnrs.fr/france-inter>

UNE CONVENTION AVEC L'UNIVERSITÉ GRENOBLE-ALPES

Le 24 juin 2022, Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, et Yassine Lakhnech, président de l'UGA, ont signé une nouvelle convention partenariale. Celle-ci engage pour une période de six ans les deux établissements à conduire une politique scientifique commune au sein de 70 unités mixtes de recherche ou d'appui partagées.

UN LABORATOIRE COMMUN AUTOUR DE L'URANIUM

Le CNRS, l'université de Lorraine et Orano, opérateur international dans le domaine du nucléaire, unissent leurs expertises en créant le laboratoire commun Cregu, nouvelle interface de recherche sur l'uranium à Nancy. Son objectif est de développer des approches et des procédés plus performants pour la découverte et l'exploitation de nouvelles ressources en uranium, matière première du nucléaire.

4. Projection in multiple sclerosis. 5. Observatoire français de la sclérose en plaques.

Avec le projet ACROSS : Make our air great again

MATIÈRE

TERRE

REPORTAGE Grâce à un réseau de capteurs situés sur plusieurs sites en Île-de-France, une équipe internationale a étudié, du 16 juin au 25 juillet, le devenir du panache de pollution parisien et ses interactions avec les forêts alentour.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Ce 15 juin, au dernier étage du bâtiment Lamarck B situé sur le campus de l'université Paris Cité, les scientifiques s'activent. Les appareils de mesure arrivent progressivement et doivent être calibrés avant de pouvoir recueillir les données. Les dates ont été choisies pour suivre les vagues de chaleur favorisant des pics d'ozone – un polluant particulièrement néfaste pour la santé humaine. Le 13 juin devait ainsi donner le coup d'envoi de la campagne Across¹ (pour *Atmospheric chemistry of the suburban forest*) mais les très fortes températures ont affecté une partie des instruments. Aline Gratien, coresponsable du site parisien qui étudie, au sein du Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques² (Lisa), le devenir du carbone organique, est confiante : « Nous avons mis en route un système de climatisation spécifiquement adapté leur permettant de rester – presque – au frais. Cet épisode de canicule, qui va très certainement engendrer un fort pic de pollution sur la région parisienne, nous fournira des données intéressantes. »

En plus de la station météo comprenant l'anémomètre (pour la mesure du vent), tout un panel d'instruments ont été installés sur le toit du bâtiment pour mesurer les gaz et les particules du ciel parisien. Parmi eux, radars et Lidar³ détectent en temps réel les aérosols en suspension. Les instruments sont reliés par un enchevêtrement de lignes – dont une en cuivre, rattachée à une tête PM1⁴, pour la phase particulaire, et une autre en Téflon pour la phase gazeuse – à une salle informatique. Là, les scientifiques vont sonder minutieusement la nature des éléments recueillis,

leur concentration et leur composition, et enregistrer ces données quotidiennement tout au long de la campagne.

Un projet inédit sur la qualité de l'air

Lancée à l'initiative du programme *Make our planet great again*⁵ (Mopga), et faisant partie des dix projets scientifiques pour l'étude de la qualité de l'air et le climat urbain réunis au sein de l'initiative Paname 2022, la campagne Across vise à étudier la rencontre et le mélange de deux masses d'air, urbaine et péri-urbaine, pour en déterminer le rôle sur la qualité de l'air. Le projet est piloté par Christopher Cantrell, alors chercheur à l'université du Colorado, qui s'est rapproché dès 2017 du Lisa. Cinq ans plus tard, toute la communauté française de la chimie atmosphérique est impliquée, ainsi que plusieurs laboratoires internationaux et plus d'une vingtaine de partenaires⁶. Au total, Across réunit plus de 15 laboratoires et près de 120 scientifiques, ingénieurs, postdocs et étudiants. « Cette vaste

1. <https://across.cnrs.fr> 2. Unité CNRS/Univ. Paris Cité/UPEC. 3. Technologie de télédétection par laser qui utilise des ondes lumineuses. 4. Les particules fines PM1 (dont le diamètre est inférieur ou égale à 1 micromètre) sont parmi les plus dangereuses pour la santé humaine. 5. Programme prioritaire de recherche piloté par le CNRS, invitant des chercheurs du monde entier à rejoindre la France pour y mener des recherches sur le changement climatique suite à la décision des États-Unis de sortir de l'Accord de Paris. 6. Lisa (Paris), Ircelyon (Lyon), LCE (Marseille), LSCE (Paris),



© NATALIA DURANGOHEMIS.FR

► Le bois de Boulogne et les tours de la Défense, à Paris



© CYRIL FRÉJOLON/CNRS PHOTOTHÈQUE

► Cette station météo installée sur un bord de Seine sert à mesurer la température et l'humidité au niveau du sol.

entreprise n'aurait pas été possible sans le soutien d'un grand nombre de scientifiques de toute la France, de l'Europe et des États-Unis», souligne Christopher Cantrell, actuellement chercheur à l'université Paris-Est Créteil.

La campagne va permettre d'en savoir plus sur l'interaction entre le milieu urbain et les polluants atmosphériques engendrés par les activités humaines, et le milieu forestier et les molécules produites par les végétaux. Deux masses d'air qui ont des compositions très différentes. « Les oxydes d'azote et les composés organiques sont libérés dans l'atmosphère par les transports, l'industrie, la production d'énergie et d'autres sources. Ces composés interagissent avec la lumière du soleil pour produire des composés secondaires, notamment de l'ozone et des aérosols organiques, nocifs pour la santé humaine et qui peuvent également dégrader les rendements des cultures agricoles, poursuit le chercheur. Or, la transformation de ces émissions a souvent lieu en milieu rural, ce qui conduit à certains types de produits secondaires. »

Deux phases d'observation étaient prévues : l'une au sol, qui s'étend sur six semaines en milieux urbains et péri-urbains. Des mesures ont été effectuées à Paris, à

l'observatoire de recherche atmosphérique du Sirta⁷ situé en plein cœur du plateau de Saclay, dans la forêt de Rambouillet où une tour de 40 mètres est équipée de ces mêmes capteurs, et sur un site de mesure à Orléans ; l'autre phase s'est déroulée en vol, du 16 juin au 7 juillet, à bord d'un avion de recherche, l'ATR-42 de Safire⁸. Ce laboratoire volant, qui embarque 2,5 tonnes de matériel, effectue des vols à basse altitude au sein du panache (300 mètres) afin d'obtenir les mesures les plus précises possible. « L'objectif est ici d'explorer la structure verticale et horizontale de la chimie complexe de la pollution atmosphérique », indique Vincent Michoud, du Lisa, copilote du projet et responsable du site de Rambouillet pendant la campagne.

Des années d'analyse en perspective

Across cherche ainsi à étudier si les produits secondaires sont différents lorsque l'air contenant des émissions urbaines se mélange à de l'air contenant des émissions biogéniques. « Si nous avons une bonne compréhension de ces masses d'air prises séparément, nous avons un manque de données, sur le terrain, pour étudier finement les réactions chimiques de leurs mélanges. Leur rencontre va-t-elle inhiber ou au contraire accélérer la formation de polluants ? Notre objectif principal est de le déterminer », explique Vincent Michoud.

« Après des années de préparation, nous en sommes désormais au stade de l'observation. [...] Les données nous permettront de transformer des signaux bruts en quantités atmosphériques », s'enthousiasme Christophe Cantrell. Pour ce faire, les scientifiques disposent d'une plateforme pour déposer, stocker et agréger leurs données. Cette base de données sans précédent permettra l'amélioration et la validation des modèles de qualité de l'air ; dans un second temps, les chercheurs compareront ces observations avec leurs modélisations afin d'identifier les processus qui leur manquaient, et de pouvoir les affiner. En pratique, les résultats de la campagne Across contribueront à mieux prédire les pics de pollution et guider les politiques publiques dans les mesures d'urgence (sur la circulation automobile alternée par exemple). En théorie, les scientifiques pourront ainsi tester de nouveaux scénarios pour améliorer l'urbanisme. « Mais ces données massives que nous récoltons aujourd'hui nécessiteront plusieurs années d'analyse avant de pouvoir en tirer des conclusions », souligne Aline Gratien.

L'initiative Paname 2022 est menée en parallèle avec d'autres programmes qui s'appuieront sur les données produites par le site parisien, comme H2C, sur les effets de la chaleur et de la pollution atmosphérique sur la santé humaine, et Street, sur la réponse des arbres parisiens au stress urbain et les conséquences induites sur la qualité de l'air. II



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](https://www.lejournal.cnrs.fr)

LMD (Paris), Mairie de Paris), CNRM (Toulouse) et Harvey Mudd College (Californie). 7. Le Site instrumental de recherche par télédétection (Sirta) est un observatoire fondé en 1999 à l'initiative de l'Institut Pierre-Simon Laplace. Sa rénovation récente a été coordonnée par le CNRS, l'École polytechnique et la Région Ile-de-France. 8. Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement, fondé par le CNRS, Météo-France et le Cnes.

Au Cern, l'exploration des origines de l'Univers repart de plus belle

© 2013 CERN

Après trois ans de mise à l'arrêt et une vaste cure de jouvence de l'ensemble de ses installations, le LHC (*Large Hadron Collider*), le collisionneur géant de particules du Cern, près de Genève, a redémarré. Cent mètres sous terre, dans son anneau de 27 kilomètres de circonférence, des protons sont à nouveau accélérés dans les deux sens à une vitesse proche de celle de la lumière, avant d'être projetés les uns contre les autres au sein des quatre détecteurs – Alice, Atlas, CMS, LHCb – placés le long de leur trajectoire. À la clé, un concentré d'énergie cinétique qui, en vertu de l'équivalence entre énergie et masse, se mue en gerbes de particules qui témoignent des processus à l'œuvre dans l'intimité de la matière.

Parmi les améliorations apportées, l'énergie et la fréquence des collisions ont été augmentées, de même que la capacité des détecteurs à en récolter les produits. Ainsi, à l'issue de cette nouvelle période, ou *run*, d'une durée de quatre ans, la masse de données générées sera multipliée par trois.

Vers un nouveau continent de la physique

Le *run 3* du LHC est la suite d'une aventure scientifique commencée il y a douze ans. À l'époque, l'objectif des scientifiques était de prouver l'existence du fameux boson de Higgs, ce qu'ils ont fait dès 2012 grâce aux expériences Atlas et CMS. La découverte, récompensée par le prix Nobel de physique en 2013, parachève alors l'édification du modèle standard.

UNIVERS

PHYSIQUE DES PARTICULES Le 4 juillet 2012, le monde apprenait la découverte du boson de Higgs. Dix ans après cet événement historique, et trois ans de cure de jouvence, les installations du LHC redémarrent et devraient permettre une collecte de données deux fois plus importante que les précédentes.

PAR MATHIEU GROUSSON

Mais le LHC avait aussi une autre mission : découvrir les indices d'une physique au-delà du modèle standard, qui ne décrit qu'incomplètement notre Univers. « *On entre dans une phase d'exploration de l'inconnu*, témoigne Marie-Hélène Genest, chercheuse au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie¹ (LPSC), à Grenoble, et membre de l'expérience Atlas. *On n'est sûr de rien, si ce n'est que le run 3 va nous permettre de réaliser de très belles mesures à la précision inégalée.* » On recherchera ainsi la trace de nouvelles particules. « *Du fait de l'énergie légèrement plus importante engagée lors des collisions (de 13 à 13,6 TeV), la probabilité de produire des événements rares et intéressants augmentera de 20 % à 250 % selon la masse des particules* », explique la chercheuse.

Certaines de ces particules hypothétiques pourraient résoudre l'énigme de la matière noire, qu'on ne détecte à ce jour que par ses effets gravitationnels. D'autres seraient le signe de symétries nouvelles, ou bien de l'existence de

1. Unité CNRS/Univ. Grenoble-Alpes. 2. Unité CNRS/Univ. Paris-Saclay.

► **Vue d'artiste du mécanisme Brout-Englert-Higgs.** Ce champ de recherche en physique des particules explique comment les particules subatomiques reçoivent une masse grâce à leur interaction avec le champ de Higgs.



Lire l'intégralité de l'article sur lejournel.cnrs.fr

dimensions supplémentaires. Quoi qu'il en soit, comme l'explique Marie-Hélène Schune, au Laboratoire des 2 infinis Irène Joliot-Curie² (IJCLab) et membre de l'expérience LHCb, « dans une période où l'expérience doit servir de guide pour faire le tri parmi les très nombreuses approches proposées au-delà du modèle standard, notre stratégie sera de regarder dans toutes les directions possibles sans référence à une théorie en particulier. »

Les scientifiques traqueront tous les écarts aux prédictions du modèle standard. Comme le détaille Marie-Hélène Genest, « ces écarts pourraient en effet être le signe de l'existence de particules non standards trop massives pour se matérialiser au LHC, faute d'une énergie suffisante, mais faisant néanmoins ressentir leur influence virtuelle dans les processus quantiques accompagnant les collisions. » À cet égard, on s'intéressera à l'expérience LHCb conçue pour étudier la désintégration de particules appelées mésons B, qui contiennent un quark beau ou son antiparticule. De fait, les données enregistrées au cours des runs précédents ont révélé plusieurs anomalies dans la désintégration de certains mésons beaux soit en électrons, soit en muons. Selon le modèle standard, les deux processus devraient être parfaitement équivalents. Or ce n'est pas le cas. « À cette heure, ces écarts ne sont pas encore statistiquement suffisamment significatifs pour conclure, mais ils pourraient se renforcer et finir par dessiner un paysage cohérent en faveur d'une physique inconnue », s'enthousiasme Marie-Hélène Schune.

Percer les secrets du Higgs

L'étude précise des propriétés du Higgs sera également l'une des priorités du run 3. Comme l'explique Yves Sirois, au Laboratoire Leprince-Ringuet³ (LLR) et membre de l'expérience CMS : « On observe que les particules de matière s'organisent en trois familles parfaitement identiques sans que l'on sache pourquoi. Plus précisément, les particules des différentes familles ne se distinguent que par leur masse, c'est-à-dire via la façon dont elles interagissent avec le Higgs. Ainsi, un éventuel écart entre la manière dont le Higgs se désintègre en muons ou en taus, deux particules qui jouent le même rôle au sein de leur famille respective, pourrait nous mettre sur une piste pour comprendre pourquoi l'Univers matériel semble présenter trois copies identiques de lui-même. »

Le run 3 permettra aussi les premières mesures des propriétés du champ de Higgs qui baigne tout l'Univers, donnant leur masse aux particules. « Il y a là un lien profond avec l'histoire de l'Univers, précise Yves Sirois. En effet, on sait que juste après le big bang, les particules n'avaient pas de masse, ce qui signifie que le champ de Higgs présentait une structure différente. Celle-ci a-t-elle évolué partout en même temps dans le cosmos, ou bien par croissance de

régions de plus en plus vastes ? Nous n'en savons rien, de même que nous ne savons pas si le champ de Higgs, dans sa structure actuelle, est définitivement stabilisé ou pas. »

Un plasma de quarks et de gluons

On n'oubliera pas l'expérience Alice, dédiée à l'étude du plasma de quarks et de gluons (PQG) – une sorte de « soupe » ultra-chaude et dense composée de quarks et de gluons libres obtenue en faisant entrer en collision des noyaux de plomb. Le PQG correspond à l'état dans lequel se trouvait l'Univers quelques microsecondes après le big bang. Impossible à observer directement, le PQG se révèle par les particules qu'il éjecte au sein du détecteur en se refroidissant. On espère ainsi mieux comprendre la transition qui voit le plasma brûlant se muer en matière ordinaire lorsque la température diminue. « C'est très important pour contraindre les modèles de l'histoire de l'Univers et les extrapoler jusqu'à l'ère de Planck durant laquelle le cosmos à peine sorti du big bang n'était encore qu'une bouillie de particules quantiques », explique Stefano Panebianco, de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers⁴ et membre de l'expérience Alice. De quoi faire du run 3 une formidable opportunité pour mettre le LHC au défi des plus grands mystères de l'infiniment petit comme de l'infiniment grand. II

► **Le physicien Peter Higgs, le 4 avril 2008, au Cern.** En 1964, il a prédit l'existence d'un nouveau type de particule fondamentale, appelé le boson de Higgs.

Cet article fait partie d'une série dédiée au run 3 du LHC à retrouver sur le site de l'In2p3.



© MAXIMILIEN BRICE/2008 CERN

3. Unité CNRS/École polytechnique. 4. CEA Paris-Saclay.

Le big data au service de la transition écologique

NUMÉRIQUE

INNOVATION L'entreprise Kayrros, qui était présente cette année sur le stand du CNRS au salon VivaTech, développe des solutions pour le suivi des ressources énergétiques et des risques climatiques. **PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD**

Afin de détecter, analyser et suivre quasiment en temps réel les stocks de pétrole brut mondiaux, des fuites de méthane ou encore les volumes de carbone séquestrés par les forêts de la planète, Kayrros, fondée en 2016, s'appuie sur des données publiques, des images satellites ou des informations recueillies sur les réseaux sociaux pour en dégager des mesures précises. L'objectif : guider les industriels et les politiques publiques dans la transition écologique.

« Kayrros est née d'un constat global face aux limites et aux carences des données traditionnelles dans le secteur de l'énergie. Il y avait un besoin de transparence et de données fiables, et un espace en termes d'informations à combler », explique Antoine Halff, analyste et cofondateur¹. La jeune pousse s'appuie en grande partie sur les satellites Sentinel, déployés dans le cadre du programme Copernicus de l'Agence spatiale européenne, qui scannent la Terre à un rythme quasi quotidien.

Traiter une multitude de données

« En 2016, les données affluent. On commence à avoir les moyens de les traiter à l'échelle pour sortir des chiffres macro-économiques, grâce notamment aux progrès de l'IA sur l'interprétation des images », précise Alexandre d'Aspremont, directeur de recherche au CNRS au Département d'informatique de l'ENS². Travaillant de concert avec par exemple le Centre Borelli³, pour le traitement et l'interprétation des données satellites, ou le Laboratoire des

sciences du climat et l'environnement⁴ (LSCE), l'essentiel de leur technologie consiste alors à récupérer ces images, les traiter, les calibrer et les rendre comestibles par les algorithmes.

« Nous cherchons à développer des outils de mesure pour des applications pour lesquelles il n'y a encore aucun cas d'usage établi. Jusque très récemment par exemple, il y avait de grandes difficultés à détecter, suivre et quantifier les fuites de méthane à l'échelle de la planète », explique Antoine Halff.

Cartographier les fuites de méthane

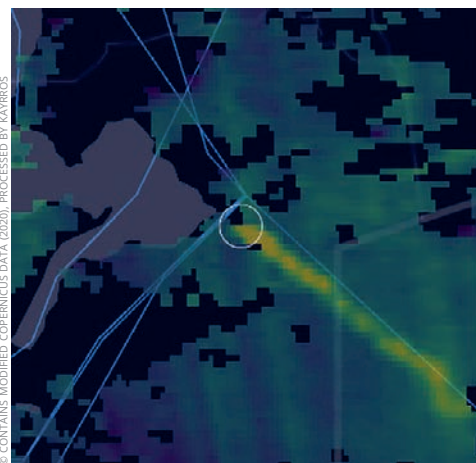
Avec des chercheurs du LSCE, ils ont analysé de façon systématique des milliers d'images produites quotidiennement pendant deux ans par le satellite Sentinel-5P de l'ESA, et ainsi cartographié 1 800 panaches de méthane à travers le globe, dont 1 200 ont été attribués à l'exploitation d'hydrocarbures – production et trans-

port. Des rejets accidentels ou liés à des opérations de maintenance qui conduisent à des fuites très importantes et dont l'ampleur était largement sous-estimée : 8 millions de tonnes par an, localisées majoritairement dans quelques pays.

La start-up s'appuie également sur les données fournies par les satellites européens SMOS, qui permettent d'avoir des images assez fidèles de la végétation, ou encore GEDI qui permet de mesurer la hauteur des arbres et d'en déduire le volume des forêts. « Nous cherchons désormais à suivre en quasi-temps réel des émissions de CO₂ et des volumes de carbone séquestrés par la végétation », précise Alexandre d'Aspremont.

Kayrros, qui compte désormais plus de 150 collaborateurs, vient tout juste de lever 40 millions d'euros pour déployer et accélérer la commercialisation de leurs outils, dont le premier qui permet d'estimer les variations de stocks de pétrole brut dans le monde – 10 000 réservoirs dont ils ont déduit le volume à partir d'images radar – et qui a pour but d'apporter un peu de transparence dans un marché parfois opaque. **■**

Ces images montrent des points chauds de méthane au-dessus d'un gazoduc au Kazakhstan, détectés par Sentinel-5P (à gauche) et Sentinel-2 (à droite).



1. Avec Antoine Rostand, Jean-Michel Lasry, Laurent El Ghaoui, Antoine Halff et Alexandre d'Aspremont. 2. Unité CNRS/ENS-PSL/Inria 3. Unité CNRS/ENS Paris-Saclay. 4. Unité CNRS/CEA/UVSQ.

LES IDÉES



*Prenons le temps de la réflexion sur
les inégalités entre hommes et femmes,
de leur patrimoine à
leur présence dans les médias.*

ILLUSTRATION : CLÉMENCE MONNET/AGENT002 POUR CNRS LE JOURNAL



© COIL PERS

Du privilège masculin dans les médias

Par Ange Richard, doctorante en sociologie et traitement automatique des langues au Pacte, Laboratoire de sciences sociales¹ et au Laboratoire d'informatique de Grenoble².

Les hommes sont en moyenne trois fois plus mentionnés ou cités que les femmes dans les médias, et ce chiffre ne faiblit pas sensiblement depuis des décennies. C'est ce que de nombreuses études fondées sur l'analyse de contenu et le codage manuel de corpus de presse démontrent régulièrement. Le dernier rapport du Global Media Monitoring Project, la plus vaste de ces études qui, tous les cinq ans depuis 1995, procède à une recension internationale de la place des femmes dans les médias de plus de cent pays sur la même journée, chiffre la part des femmes entre 23 et 26 % selon les médias dans le monde³. De telles études sont coûteuses en données et en main-d'œuvre. Elles ne permettent de faire des constats que sur des périodes limitées, même si leurs résultats laissent déjà deviner une certaine régularité.

GenderedNews traque les inégalités

C'est de la volonté de porter ce constat à une plus grande échelle que le projet GenderedNews⁴ est né. Le site monitor en temps réel les inégalités genrées de mention et de citation dans la presse quotidienne française. Ce tableau de bord est la partie publique et visible d'un projet de recherche plus large dans lequel nous cherchons à développer des outils issus de méthodes computationnelles permettant de mesurer les déséquilibres genrés de représentation dans les médias français. Chaque jour et ce depuis plus d'un an, les algorithmes de GenderedNews parcourent les liens des articles publiés sur les fils Twitter de sept journaux de la presse quotidienne nationale puis calculent la

présence des hommes dans les personnes mentionnées et citées. Le propre de l'actualité, c'est de changer constamment. Pourtant, jour après jour, les chiffres fournis par le tableau de bord font preuve d'une régularité surprenante. Quel que soit le média, quel que soit le jour, les hommes constituent environ 75 % des personnes citées et mentionnées dans les articles. C'est notre premier constat : le phénomène d'inégalités genrées dans la représentation médiatique est un problème structurel.

Le tableau de bord permet différentes visualisations, grâce à des graphiques par semaine, par catégorie et par source. L'algorithme de GenderedNews agrège les rubriques des différents médias et permet des comparaisons par catégories. On retrouve des distinctions genrées parlantes : les catégories « People », « Société » et « Culture » sont les seules qui atteignent parfois (mais toujours difficilement) la parité. Les rubriques

« Religion », « International », « Sport » et « Politique » sont quant à elles toujours en majorité dominées par des hommes, avec un taux avoisinant les 80 % d'une semaine à l'autre.

Quelques « anomalies » visibles

Un calcul sur la longue durée permet de souligner les constances, mais aussi quelques ruptures. Un moment en particulier a attiré notre attention : à l'été 2021, on observe une baisse nette du taux de masculinité des mentions, notamment pour le journal sportif *L'Équipe* qui, d'une moyenne de 90 % d'hommes, baisse à 73 %. Les Jeux olympiques (JO) semblent l'expliquer : à ce moment-là la presse parle davantage de sports mixtes ou féminins, et plus de sportives tout court, ce qui fait baisser la présence des hommes dans les catégories « Sport ». Cependant dès les JO terminés, la catégorie retrouve son niveau antérieur et immédiatement, on y mentionne à nouveau 90 % d'hommes.



© PIERRE MÉNAGEIRA

¹ et ². Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes. ³. Macharia, Sarah (dir.), « Who Makes de News », 6^e rapport du Global Media Monitoring Project, 2021 [En ligne]. ⁴. Le projet est porté par Ange Richard, Gilles Bastin et François Portet. <https://gendered-news.imag.fr/genderednews>

Certaines catégories sont intéressantes à observer en détail : la catégorie « Éducation », par exemple, est une des plus fluctuantes : tantôt 40 % d'hommes mentionnés ou cités, tantôt 80 %. Une analyse plus fine montre que lorsque les sujets de cette rubrique portent sur les réformes ou la politique en termes d'éducation, les articles mentionnent et citent plus d'hommes (majoritaires au gouvernement), tandis que lorsque les articles traitent des enseignants et enseignantes, des personnels et publics fréquentant les établissements scolaires, la part des hommes chute drastiquement. Au-delà des déséquilibres de représentation, il y a donc aussi des enjeux liés aux stéréotypes de genre qui entrent en ligne de compte.

Ces analyses à grande échelle sont faites grâce aux méthodes computationnelles de GenderedNews, qui s'appuie sur des technologies informatiques du traitement automatique des langues.

Algorithmes et sociologie

Ces méthodes permettent notamment de distinguer les mentions (les personnes dont le nom est mentionné dans les articles, les personnes « sujets » des articles) des citations (les personnes dont les propos sont rapportés dans les articles, qui ont été interrogées et dont la parole est reléguée). Cela permet d'observer que les citations sont quasi systématiquement plus masculines que les mentions : s'il est déjà rare pour les femmes d'être mentionnées dans les nouvelles, il leur est encore plus difficile d'y avoir une voix.

Le taux de masculinité des mentions est calculé à partir des prénoms repérés automatiquement

dans les articles. L'algorithme s'appuie sur une base de données de prénoms tirée du recensement de l'Insee, à partir de laquelle un « score de masculinité » est attribué à chaque prénom non ambigu (ne pouvant désigner autre chose qu'une personne). Une moyenne de ce taux est ensuite calculée pour chaque article puis pour chaque source.

La distribution des citations, elle, est calculée à partir d'un système à base de règles qui extrait les citations (entre guillemets ou paraphrasées) des textes ainsi que leur auteur ou autrice. Le genre de la personne citée est ensuite assigné à partir d'un faisceau d'indices que l'on peut trouver dans le texte : un pronom, un prénom genré, un nom de métier genré ou encore un titre.

Un intérêt pour les médias

Ce site web a pour fonction d'objectiver quotidiennement les inégalités de représentation dans les principaux journaux quotidiens et de rendre cette mesure publique (un bot Twitter, @genderednews, publie tous les lundis les chiffres de la semaine passée). Au-delà de cette plateforme de monitoring, nous travaillons aujourd'hui dans deux directions : un partenariat plus poussé avec des rédactions comme l'AFP et Mediapart, qui nous permet d'analyser plus finement les stéréotypes genrés se nichant dans les habitudes d'écriture des journalistes (par exemple, l'usage différencié des verbes qui introduisent les propos des femmes et des hommes). Ce partenariat a d'ailleurs donné naissance dans le cas de Mediapart à l'élaboration d'outils internes de monitoring à partir de notre travail.

La seconde direction dans laquelle nous avançons est l'amélioration de nos outils de détection à partir de systèmes basés sur de l'apprentissage automatique, plus performants que ceux à base de règles. ||



Lire l'intégralité du point de vue sur lejournale.cnrs.fr

À lire

Climat



En 1965, Claude Lorius, jeune glaciologue en mission en Antarctique, refroidit son whisky avec des glaçons prélevés sur place. L'intuition géniale qu'il a en voyant les bulles dans son verre – et si les glaces avaient archivé la composition de l'atmosphère ? – marque la naissance d'une spécialité, l'*ice core science*, capitale pour comprendre l'impact des activités humaines sur le climat. Le sociologue des sciences Morgan Jouvenet en livre dans cet ouvrage une histoire vivante, précise et précieuse à l'heure où le dérèglement climatique s'accélère mais où le déni climatosceptique reste répandu.

Des glaces polaires au climat de la Terre. Enquête sur une aventure scientifique, Morgan Jouvenet, CNRS Éditions, août 2022, 350 p., 25 €.

Physique



Permettant de « magnifiquement décrire l'essentiel des phénomènes qui nous entourent », les théories de la physique n'en sont pas moins gravées dans le marbre ni exemptes d'anomalies.

Le physicien Aurélien Barrau, docteur en philosophie, consacre son nouvel ouvrage à ces « fissures » dont certaines – et l'histoire des sciences en regorge d'exemples – aboutiront certainement à des révolutions scientifiques et aux théories de demain. Un ouvrage éclairé et aussi éclairant sur la matière noire que sur la manière de penser la recherche aujourd'hui.

Anomalies cosmiques. La science face à l'étrange, Aurélien Barrau, Dunod, coll. « Quai des sciences », septembre 2022, 208 p., 17,90 €.

Univers



Prédits il y a cent ans par la théorie d'Einstein, les trous noirs sont longtemps restés des phénomènes de science-fiction avant d'être détectés directement grâce aux ondes gravitationnelles, puis enfin vraiment « vus » grâce à l'Event

Horizon Telescope. Dans cet ouvrage, l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet – qui fut dès les années 1970 l'un des tout premiers à modéliser l'apparence visuelle de ces objets à la densité supposée infinie – répond à toutes les questions que suscitent ces corps qui défient nos intuitions sur l'espace, le temps et la lumière.

Les trous noirs en 100 questions, Jean-Pierre Luminet, Tallandier, coll. « 100 questions », août 2022, 336 p., 18 €.

Inégalités de patrimoine : les femmes toujours à la peine



SOCIÉTÉS



ENTRETIEN En matière de patrimoine, le droit français n'est vraiment égalitaire entre femmes et hommes que depuis la tardive année 1985. Et même aujourd'hui, des inégalités perdurent toutes classes sociales confondues. Héritages, séparations des couples et attitudes des professionnels du droit y jouent un rôle non négligeable... C'est l'analyse de la sociologue Sibylle Gollac, co-autrice de l'ouvrage *Le Genre du capital*.

PROPOS RECUEILLIS PAR MATTHIEU STRICOT

Vous travaillez sur la façon dont le patrimoine circule et s'accumule au sein de la famille, et ce en lien avec le droit. Comment la loi dans ce domaine a-t-elle évolué en deux siècles ?

Sibylle Gollac ¹. Tout d'abord, le Code civil de 1804 établit les enfants, quels que soient leur sexe et rang de naissance, comme héritiers et héritières réservataires du patrimoine. Mis à part la quotité disponible ², les parents sont tenus de partager leur patrimoine à parts égales entre leurs enfants. Cela n'empêche pas le Code civil d'alors de mettre en place un rapport de subordination dans le mariage, le mari gérant à la fois le patrimoine du couple et le patrimoine propre de l'épouse. Plusieurs travaux en histoire montrent toutefois que les

veuves pouvaient avoir un pouvoir économique important et que, dans les familles où il n'y avait que des filles, certaines ont endossé des rôles masculins.

Deuxième date importante : la grande réforme des régimes matrimoniaux, en 1965. Les femmes peuvent enfin ouvrir un compte en banque et gérer seules leur patrimoine propre. Le mari reste le gestionnaire des biens communs mais doit demander certaines autorisations à son épouse, pour vendre ou hypothéquer les biens immobiliers du couple par exemple. Ce n'est que vingt ans plus tard – en 1985 ! – que les deux conjoints sont considérés au même titre comme gestionnaires du patrimoine en commun.

© HBO - GARY SANCHEZ PRODUCTIONS / COLLECTION CHRISTOPHEL



Pourquoi les inégalités de patrimoine perdurent-elles ?

S. G. La circulation des biens d'une génération à l'autre s'inscrit dans des stratégies familiales de reproduction qui visent le maintien du statut social de la famille. Ce sont souvent des hommes qui l'incarnent, particulièrement les aînés des garçons, les parents se révélant particulièrement soucieux de leur réussite. Cela s'accompagne d'une attribution préférentielle des biens dits « structurants » du capital familial, par exemple une entreprise ou une maison de famille. Ils reçoivent aussi plus souvent que leurs sœurs des donations, ce qui leur permet d'asseoir cette position sociale tout en perpétuant le nom, un bien symbolique important.

Comment avez-vous procédé pour votre étude ?

S. G. Nos enquêtes s'étendent sur une vingtaine d'années. Nous avons constitué des études approfondies de familles – des monographies –,

¹. Sociologue, chargée de recherche au CNRS, au Centre de recherches sociologiques et politiques de Paris (Cresppa, unité CNRS/Université Paris 8/Université Paris Nanterre). ². La quotité disponible, particularité du droit français, correspond à la moitié du patrimoine s'il y a un seul enfant dans la famille, à un tiers s'il y a deux enfants, et à un quart s'il y a trois enfants.



parfois sur plus de dix ans, en effectuant des entretiens répétés avec les différents membres, en les observant dans leur vie quotidienne et lors d'événements plus exceptionnels (mariages, enterrements, baptêmes...). Nous nous sommes appuyées sur leurs archives personnelles, comme des actes notariés, et nous avons exploité des données statistiques, notamment l'Enquête Patrimoine de l'Insee³. Nous nous sommes ensuite intéressées aux séparations conjugales et aux héritages grâce à des entretiens avec des notaires et des consultations de dossiers. Dans le cadre d'une vaste enquête collective⁴, nous avons suivi plus de 300 audiences aux affaires familiales et créé une base de données à partir de 4 000 dossiers d'affaires familiales.

Nous nous sommes également entretenues avec des juges, des greffières (les hommes sont très peu nombreux au greffe...), des avocates

et des avocats, et nous avons observé des rendez-vous avec leur clientèle, en constatant aussi combien les trajectoires professionnelles et les conceptions du métier dépendent du genre.

Pourquoi les professionnels du droit n'agissent-ils pas pour compenser l'inégalité des mécanismes familiaux ?

S. G. Nous démontrons qu'ils et elles font plutôt le contraire, notamment en mettant en œuvre ce que nous appelons des comptabilités inversées sexistes. En cas de succession ou de divorce, l'acte notarié officiel se présente comme un inventaire des biens, avec une évaluation de chacun d'eux, une valeur totale de la succession ou du patrimoine conjugal, divisée par le nombre de parts. Ensuite seulement, vient une distribution des biens pour coller à la valeur de chaque part ainsi évaluée. Et, si ça ne colle pas, l'acte notarié prévoit des compensations :

► Dans la série *Succession* (2018), Logan Roy met en compétition ses quatre enfants avant de choisir son successeur à la tête de la Waystar RoyCo. Aurait-il immédiatement nommé Shiv, seule à montrer quelques dispositions comparée à ses frères, si elle avait été un homme ?

les soultes. Mais en interrogeant les notaires, on se rend compte qu'ils et elles procèdent dans l'ordre inverse. La plupart du temps, ils tâchent d'abord de produire un consensus sur qui va garder les biens structurants. Ensuite, ils mettent leurs clients d'accord sur les compensations : la somme que celui qui récupère le bien va accepter de verser à ses frères et sœurs ou à son ex-conjointe. C'est seulement une fois ces compensations négociées qu'arrive le moment d'établissement de l'inventaire et des évaluations. Les biens structurants, plus souvent reçus par des hommes, sont alors très souvent sous-évalués. Les compensations financières reçues par les femmes le sont d'autant. Il n'y a pas besoin que ces professionnels soient sexistes pour mettre en œuvre ces comptabilités sexistes.

Les notaires placent au cœur de leur pratique le devoir d'assurer « la paix des familles ». Il y a donc peu de chances qu'ils remettent en cause les consensus familiaux, même s'ils sont inégaux. D'autant que ces professionnels sont, pour la plupart, issus de familles de notaires ou de milieux indépendants, du petit restaurateur au pharmacien, dans lesquelles la transmission d'un bien structurant constitue le nœud des stratégies familiales de reproduction. Nous avons montré que leurs trajectoires sociales personnelles ont un impact sur leurs pratiques.

Et quid des classes sociales ?

S. G. L'intervention des professionnels du droit contribue aussi à la reproduction de la société de classes. Les notaires, par exemple, ont le souci d'aider leurs clients, particulièrement leurs bons clients, c'est-à-dire les familles les plus riches, à transmettre leur capital de génération en génération, et notamment à le protéger du fisc. Par conséquent, les familles riches sont plus souvent et plus attentivement accompagnées par des professionnels. Et dans ces familles, les interlocuteurs de ces

3. Il a fallu attendre 1998 pour avoir des informations suffisantes permettant de reconstituer le patrimoine individuel des femmes et des hommes qui vivent en couple. Auparavant, le patrimoine n'était évalué que par ménage. 4. Cette enquête a donné lieu à une première publication collective (*Au tribunal des couples. Enquête sur des affaires familiales*, Collectif Onze, Odile Jacob, 2013), et s'est poursuivie au sein des équipes Ruptures puis Justines (<https://justines.cnrs.fr/>), avec des financements de la Mission Droit et Justice, de la Ville de Paris et de la CNAF.

professionnels sont particulièrement les hommes dont ils serviront au mieux les intérêts au moment des héritages et des divorces.

Vous écrivez que, pendant que les femmes travaillent, les hommes accumulent...

S. G. La formule est volontiers provocatrice. Cela ne signifie pas que les hommes ne travaillent pas, mais plutôt que les femmes sont spécialisées dans un travail gratuit, le travail « domestique »⁵. Ces « tâches ménagères » constituent un vrai travail mais il est gratuit et réalisé dans la sphère privée. L'Enquête Emploi du temps de l'Insee de 2010 montre que, si on additionne le temps de travail rémunéré et le temps de travail domestique des personnes en couple avec enfant, les femmes travaillent en moyenne 54 heures par semaine contre 51 pour les hommes. Les deux tiers de ce temps de travail sont gratuits pour les femmes, tandis que deux tiers sont rémunérés pour les hommes. Cela aboutit à des inégalités de revenus de 42 % en moyenne dans les couples de sexe différent en France, alors que les femmes sont en moyenne plus diplômées que les hommes. Les possibilités d'accumulation par le travail sont donc plus réduites pour elles. Les effets de cette division sexuée du travail sur le revenu et les possibilités d'épargner s'ajoutent donc aux inégalités face à l'héritage.

Selon une étude de 2019⁶, ces inégalités de patrimoine s'élevaient à 9 % en 1998 et grimpent à 16 % à présent !

S. G. Cela s'explique par le fait qu'il y a quelques décennies, la majorité des gens vivaient en couple marié, sous le régime légal de la communauté de biens réduite aux acquêts : ce qui avait été acquis pendant le mariage était partagé à parts égales. Les générations du baby-boom, par exemple, s'étaient souvent mariées jeunes, avaient accumulé très peu de patrimoine propre avant le mariage et

▼ La famille Bezos, en 2016. Lors du divorce du couple en 2019, MacKenzie a préféré céder les trois quarts de ses actions d'Amazon et l'ensemble de ses droits de vote au conseil d'administration à son ex-mari Jeff pour éviter un affolement boursier.



© TODD WILLIAMSON / GETTY IMAGES

avaient souvent acheté leur logement ensemble. Mais avec l'augmentation des unions libres, des mariages plus tardifs et le développement des contrats de séparation de biens, les inégalités de revenus se traduisent de plus en plus aujourd'hui en inégalités de patrimoine.

Au final, ces inégalités touchent-elles tous les milieux, aisés comme populaires ?

S. G. Oui, mais les mécanismes sont très différents. Prenons les revenus. Chez les plus pauvres, quand l'inégalité de revenus est forte, c'est parce qu'un des conjoints, le plus souvent la femme, n'en a pas du tout. Chez les plus riches, quand la différence de revenus est forte, c'est parce que celui du mari est très élevé, largement supérieur à celui de sa femme qu'elle ait ou non un emploi, même bien rémunéré. Maintenant, prenons le patrimoine. Dans les classes populaires, il est fréquent que les gens n'en aient aucun, il n'y a donc pas d'inégalité. Mais en cas de séparation, le niveau de vie des hommes se maintient quasiment à l'identique et ils parviennent parfois à accumuler un peu de capital. Cela s'avère quasiment impossible pour leurs ex-conjointes qui assurent la garde des enfants sans ou avec une très faible pension alimentaire. Et c'est la non-reconnaissance par l'État, dans les modes de calcul des pensions, du travail domestique et parental, qui les empêche d'accumuler. Dans les

familles les plus riches, les écarts importants de patrimoine sont plutôt le résultat de stratégies familiales qui privilégient la concentration de la richesse dans les mains des hommes. Par exemple, Jeff et MacKenzie Bezos possédaient 130 milliards de dollars. Bien que mariée sous le régime de la communauté de biens, MacKenzie Bezos a renoncé à une grande partie de ses droits et notamment cédé les trois quarts de ses actions d'Amazon et l'ensemble de ses droits de vote au conseil d'administration à son ex-mari. Le but était d'éviter un affolement des marchés boursiers pour ne pas mettre en danger la fortune familiale. Tout en restant une des femmes les plus riches du monde, elle se retrouve avec un patrimoine de 35 milliards « seulement », un tiers de ce à quoi elle pouvait prétendre. Cet appauvrissement peut paraître incomparable avec celui, bien plus courant et dur de conséquence, des femmes de classes populaires et de leurs enfants.

Toutes ces inégalités – entre Jeff et MacKenzie Bezos, entre ex-conjoints et ex-conjointes de milieux populaires, entre femmes (et entre hommes) de familles riches ou démunies – ne peuvent se comprendre qu'à l'intersection des différents rapports sociaux, de classe et de sexe notamment, qui structurent nos sociétés. II



À lire :

Le Genre du capital. Comment la famille reproduit les inégalités, Sibylle Gollac et Céline Bessièrre, La Découverte, coll. « SH / L'envers des faits », février 2020, 336 p., 21 €.



Lire l'intégralité de l'entretien sur lejournalcnrs.fr

⁵La dénomination de « travail domestique » est apparue dans les sciences sociales au cours des années 1970, sous l'influence des féministes matérialistes et marxistes. ⁶Les chiffres sur l'augmentation des inégalités de patrimoine dans les couples ont été établis par l'économiste Nicolas Frémeaux et la démographe Marion Leturcq. <https://www.cairn.info/revue-de-l-ofce-2019-1-page-145.htm>

Visions spatiales

UNIVERS

Une quinzaine d'années séparent ces deux clichés de la nébuleuse de la Carène. Pendant ce temps, la nébuleuse est restée la même, mais l'instrument a changé. À gauche, la caméra du télescope Hubble l'a capturée dans le spectre visible – dont la lumière traverse mal les épais nuages de gaz –, tandis qu'à droite, le James Webb Space Telescope (JWST) l'a photographiée dans le domaine infrarouge (pour lequel les nuages sont transparents), révélant la lumière intense émise par les toutes jeunes étoiles de cette pouponnière stellaire. Une image parmi les (déjà) nombreuses livrées par le télescope de la Nasa, dont la conception a impliqué plusieurs équipes du CNRS. « Ces images sont extraordinaires », nous confiait dès juillet Olivier Berné, astrophysicien de l'IRAP qui codirige un des programmes prioritaires d'observation, consacré à la nébuleuse d'Orion. Celui-ci a d'ailleurs livré l'image de couverture de ce numéro, à quelques heures du bouclage de votre journal ! La moisson ne fait que commencer...

A lire : <https://bit.ly/3RZkOG7>

Hubble / 2008

James Webb / 2022





de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Roscoff, un phare pour la science

La Station biologique de Roscoff¹ (SBR) célèbre en 2022 ses... 150 ans ! Première station marine dédiée à la recherche en Europe, la SBR est toujours restée à la pointe des études sur le vivant, comme en témoigne encore tout récemment une découverte majeure sur la pollinisation en milieu marin qui a fait la une de la revue *Science*². Elle a aussi marqué en profondeur l'histoire du CNRS.

Un homme, des circonstances

« *L'action, a écrit une personnalité qui en savait quelque chose, ce sont les hommes au milieu des circonstances.* » L'homme, ici, c'est Henri de Lacaze-Duthiers (1821-1901) : fils d'un baron gascon qui n'a jamais compris son amour pour la science, républicain engagé au point de refuser de prêter serment à Napoléon III après son coup d'État, sa passion et ses convictions l'ont exposé à des débuts difficiles ! Mais un savant, c'est bien connu, se satisfait de peu : un microscope et quelques mollusques ont longtemps suffi à son bonheur, jusqu'au moment où le monde académique lui a ouvert ses portes – la faculté des sciences de Lille, sous le décanat de Louis Pasteur, puis l'École normale supérieure, le Muséum, la Sorbonne et pour finir l'Académie des sciences, mais pour cette dernière il a fallu attendre 1871, la chute de l'empereur et la proclamation de la République.

de la faune et de la flore au large de ce bourg breton, il y établit en août 1872 un « laboratoire de zoologie expérimentale » qu'il dirigera jusqu'au soir de sa vie, en impulsant dans son champ de recherche une révolution égale à celle que Claude Bernard a introduite en physiologie.

Soucieux de créer un lieu où les scientifiques pouvaient étudier le vivant dans son environnement et non pas figé depuis des lustres dans des bocaux d'alcool, convaincu que la zoologie devait rompre avec l'approche naturaliste basée sur la seule observation pour devenir une science expérimentale, Lacaze-Duthiers a créé un espace de liberté, loin des pesanteurs et des ronds de jambe parisiens.

Vent frais sur la recherche

D'emblée, les idées nouvelles soufflent sur Roscoff avec la vigueur du noroît, et ses successeurs ont su mettre ce contexte à profit : son élève Yves Delage, qui transforme le laboratoire en « station biologique » en 1909, encourage par exemple les travaux en embryologie expérimentale et en physiologie ; puis la SBR devient dans l'entre-deux-guerres le lieu de formation d'une génération de généticiens qui vont faire école au sein des établissements scientifiques du pays...

Dès ses débuts, le CNRS en particulier noue des liens étroits avec la Station. Liens humains, d'abord, et l'on ne s'étonnera pas de croiser de part et d'autre les mêmes personnalités – le biochimiste Louis Rapkine, par exemple, grand protecteur des savants menacés sous l'Occupation, le généticien Boris Ephrussi, futur médaillé d'or du CNRS en 1968, ou encore Georges Teissier, directeur de la Station de 1945 à 1971, directeur du CNRS de 1946 à 1950, et patron du laboratoire de génétique évolutive de Gif-sur-Yvette. Liens institutionnels, également, qui donnent eux aussi lieu à des expérimentations originales : à la Libération, vingt ans avant de créer ses premières unités mixtes, le CNRS s'associe à la Sorbonne pour fonder un Centre d'études d'océanographie et de biologie maritime à Roscoff. Cette coopération entre les deux acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur va stimuler un renouveau de l'océanographie dont la science et la France tireront de grands bénéfices, jusqu'à nos jours.

Le 150^e anniversaire de la SBR est l'occasion de remettre cette belle histoire en lumière. Et de rappeler que, ici comme dans tous les domaines, la recherche ne demeurera un enjeu capital pour notre avenir qu'en continuant de cultiver les racines, souvent profondes, qui lui ont permis de fleurir... II

“ En 1872, Henri de Lacaze-Duthiers crée un espace de liberté, loin des pesanteurs et des ronds de jambe parisiens. D'emblée, les idées nouvelles soufflent sur Roscoff. ”

Les circonstances, justement : Lacaze-Duthiers est convaincu que le désastre éprouvé par la France face à la Prusse en 1870 découle de la faiblesse de son organisation scientifique, et qu'il faut y remédier en bâtissant de nouveaux laboratoires. Arpenteur infatigable des côtes françaises, c'est sur le site de Roscoff, dans le Finistère, qu'il apporte sa pierre à l'œuvre de reconstruction nationale : fasciné par la richesse

1. Unité CNRS/Sorbonne Université 2 Voir la vidéo « Comment les algues font-elles des bébés ? », sur lejournald.cnrs.fr

SOUTENEZ LA RECHERCHE

FAITES UN DON À LA FONDATION CNRS



Le CNRS développe une recherche libre, dans tous les domaines, au meilleur niveau international et sur le long terme. Pour contribuer à faire avancer les connaissances, répondre aux grands défis de notre société et innover : soutenez la recherche, faites un don à la fondation CNRS.

fondation-cnrs.org 

casden



BANQUE POPULAIRE

La banque coopérative
de la Fonction publique

COMME MOI, REJOIGNEZ LA CASDEN, LA BANQUE DE LA FONCTION PUBLIQUE !

Jenny, Enseignante chercheuse



PARIS 2024



PARIS 2024

PARTENAIRE PREMIUM

casden.fr



Retrouvez-nous chez

**BANQUE
POPULAIRE**