



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

CNRS

LE JOURNAL

Trimestriel n° 294 AUTOMNE 2018



Préhistoire :
**enquête aux
sources de
la modernité**

La philosophe
Barbara Cassin
reçoit la médaille
d'or du CNRS

ENTRETIEN AVEC
ANTOINE
PETIT,
PDG DU CNRS

SANTÉ
Les chimistes
réinventent
les sucres

2018-2019

Année de la chimie, de l'école à l'université

Retrouvez les actions CNRS sur
anneedelachimie.cnrs.fr



Une initiative du ministère de l'Éducation nationale, en association avec le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Le CNRS est partenaire de l'opération.



Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs

formation entreprises

Organisme de formation continue

- **250 formations technologiques courtes proposées par le CNRS dans ses laboratoires de recherche** pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens des secteurs public et privé
- **Domaines de formation**
Big data et IA, génie logiciel, sciences de l'ingénieur, chimie, biologie, microscopie, urbanisme, enjeux de société et plus encore

+ de **1300 stagiaires** formés chaque année



Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr



contact : cfe.contact@cnrs.fr ou +33 (0)1 69 82 44 55  @CNRS_CFE

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 53 88**E-mail :** lejourn@cnrs.fr**Le site Internet :** <https://lejourn.cnr.fr>**Anciens numéros :**<https://lejourn.cnr.fr/numeros-papiers>**Gérer son abonnement au journal****(pour les agents du CNRS) :**<https://lejourn.cnr.fr/abojournal>**Directeur de la publication :**

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Rédacteurs :

Anne-Sophie Boutaud, Laure Cailloce,

Yaroslav Pigenet, Laurence Stenvot

Assistante de la rédaction**et fabrication :**

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :Stéphanie Arc, Grégoire Fléchet,
Léa Galanopoulou, Mathieu Grousson,
Denis Guthleben, Romain Hecquet,
Martin Koppe, Francis Lecompte,
Saman Musacchio, Fabien Trécourt**Secrétaires de rédaction :**

Isabelle Grandrieux, Catherine Caltaux

Conception graphique :

Céline Hein

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry,

Marie Mabrouk

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.cnr.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 :

Antoine Petit, président-directeur
général du CNRS.

PHOTO : F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

Le 19 octobre 2019, le CNRS fêtera ses 80 ans d'existence. Pas encore un siècle, mais un âge vénérable qui nous donnera tout au long de l'année prochaine l'occasion de célébrer dans l'Hexagone et à l'étranger les valeurs qui sont au fondement de notre institution : la liberté de la recherche, l'avancée des connaissances, le travail en équipe, l'excellence scientifique, l'innovation et le transfert, le progrès social, la diffusion de la culture scientifique comme antidote aux contre-vérités et à l'obscurantisme.

Cette année-anniversaire doit donner au CNRS l'opportunité de s'adresser au public, à tous les publics. Aux citoyens, dont il est redevable des efforts consentis pour le financement de la recherche. Aux personnels, qui travaillent dans les laboratoires et dans les délégations, chercheuses et chercheurs, ingénieurs et techniciens, qui contribuent de façon exemplaire à repousser les limites des connaissances. À nos partenaires, académiques ou industriels, avec qui nous partageons la recherche au quotidien. Au monde de l'édu-

cation, enseignants et élèves envers lesquels les scientifiques ont un devoir d'attention. Aux décideurs politiques enfin à qui il incombe de défendre la place et le rang de la recherche publique en connaissance de cause. De nombreux événements et rendez-vous émailleront cette année 2019 nous permettant ainsi de dialoguer avec vous tous.

La science, souveraine au XIX^e siècle, semble avoir perdu de son aura, mais elle a fondamentalement transformé

nos vies. Les attentes qu'elles suscitent restent immenses, le CNRS en est conscient. « Nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes » : ce slogan accompagnera nos célébrations tout au long de l'année. Il n'est pas vain. Car, depuis sa création, le CNRS a accompagné les grandes mutations de la société et continuera de le faire.

Brigitte Perucca,
directrice de la communication
du CNRS



© F. VERNHET



GRAND FORMAT

13

Préhistoire : aux sources de la modernité	14
Chasseurs de météorites en Antarctique	24
Antoine Petit : « La France doit être fière de son CNRS »	30



6

Barbara Cassin
ou le pouvoir des mots

EN PERSONNE

5

Christine Hu Guo repousse les limites de détection	9
Un trio pour l'innovation	10
Yvon Maday : « Transformer les inventions mathématiques en innovations »	11



40

Les sucres, nouvelles
molécules de la santé

EN ACTION

35

La présidentielle 2017 au prisme de Twitter	36
Pour les JO de 2024, sportifs et scientifiques font équipe ...	38
Les pigments révèlent l'invisible	43
Des données sous protection	44
Tara a achevé son tour des coraux	45
Des solutions existent pour protéger la nature	46
Et la photographie créa la couleur	48
BepiColombo met le cap sur Mercure	50
France, terre de dinosaures	52



58

Transhumanisme:
de l'illusion à l'imposture

LES IDÉES

55

L'impossible modélisation de la société	56
Le Smartphone entre poison et remède	60
Les prochains défis de la mécanique	61
Les abeilles sont-elles aussi victimes de leur intelligence ?	62

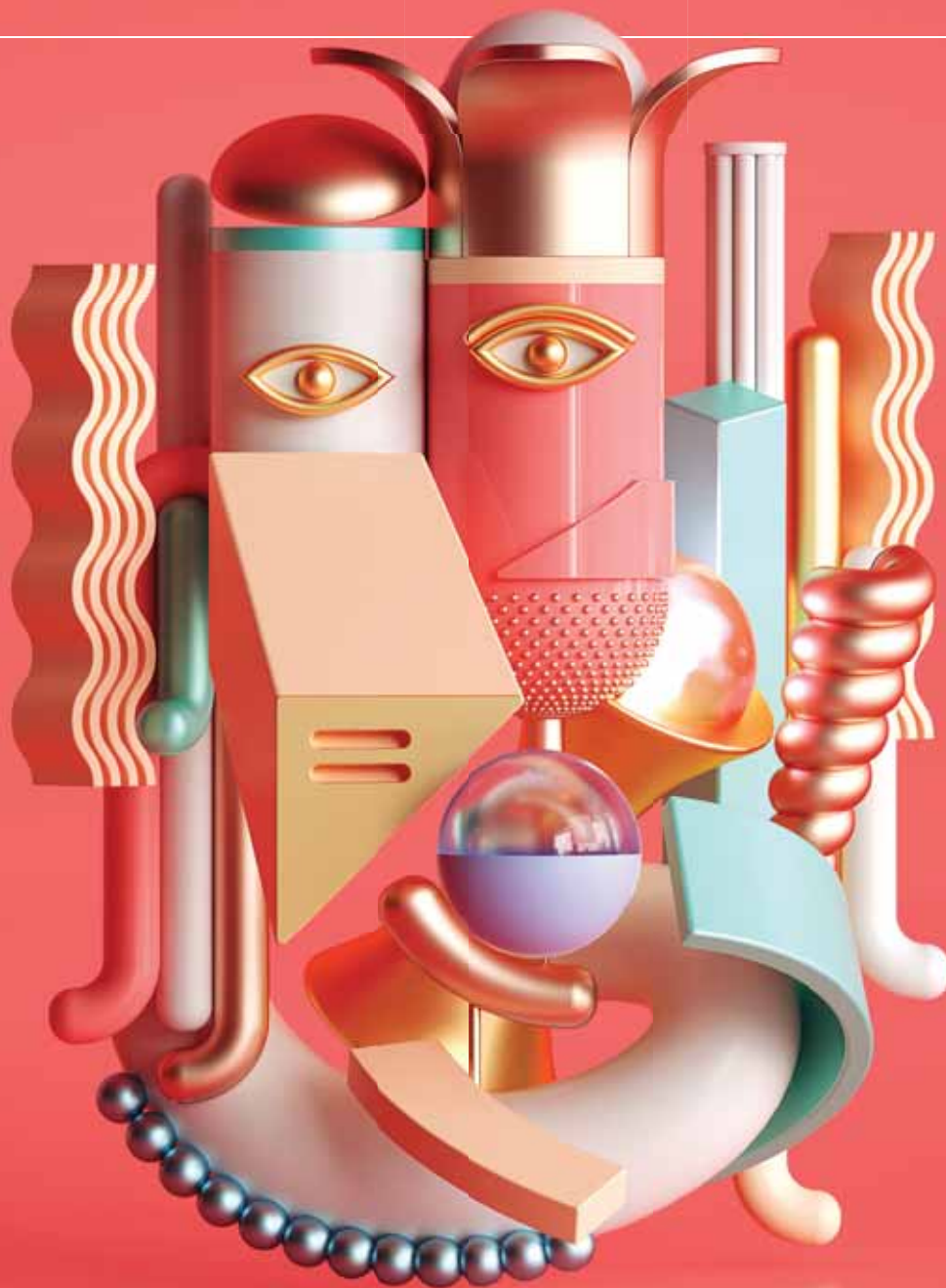
CARNET DE BORD

Myriam Lajaunie nous raconte un souvenir de recherche 64

LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

La com', toute une histoire... 66

EN PERSONNE



*Une philosophe en or et des chercheurs
à la pointe de l'innovation...
Les talents du CNRS sont à l'honneur
dans ce numéro.*

ILLUSTRATION : OMARAQIL/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

Barbara Cassin ou le pouvoir des mots

PAR FRANCIS LECOMPTE

Philosophie. Helléniste, passionnée par la force du langage, Barbara Cassin qui recevra la médaille d'or 2018 du CNRS, le 29 novembre à la Sorbonne, a remis la sophistication au goût du jour et n'a de cesse de souligner la richesse qui se niche dans la diversité.

Au moment de rencontrer Barbara Cassin chez elle, dans son jardin d'hiver niché au cœur du Quartier latin, on se demande quel fil tirer pour résumer sa bibliographie, foisonnante, ses travaux et ses engagements multiples. « *C'est simple*, répond-elle. *Je me suis toujours occupée de ce que peuvent les mots.* » Le pouvoir des mots, la petite Barbara, née à Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine) deux ans après la fin de la Seconde Guerre mondiale, n'a pas attendu d'atteindre l'âge de raison pour le percevoir. La rencontre, au lycée, avec un professeur de grec, lui fait aimer cette langue et ses grands textes philosophiques.

Dès ses premiers travaux d'étudiante, la « méthode Cassin » se met en place. C'est par le langage et le discours qu'il faut aborder la philosophie et ses questions fondamentales. Pour obtenir sa maîtrise de philosophie à la Sorbonne, en 1968, elle s'intéresse aux grands débats métaphysiques qui ont agité la fin du XVII^e siècle bouleversé à la fois par la révolution scientifique et le coup de jeune apporté à la pensée par Descartes. Mais elle choisit d'y entrer par le biais d'un échange de lettres entre le philosophe et mathématicien Leibniz et un adversaire des thèses cartésiennes, le théologien belge Antoine Arnauld : son intérêt se porte moins sur la pertinence des thèses défendues par l'un et l'autre que sur les figures logiques et rhétoriques qu'ils utilisent pour argumenter. « *Au moment où ils prononcent la même phrase, voilà qu'ils n'arrivent plus du tout à s'entendre. C'est assez représentatif de nos sociétés...* », explique Barbara Cassin.

À l'étroit dans les cases des disciplines universitaires, elle mêle joyeusement la littérature, l'histoire ou la dialectique... Cette incapacité à cloisonner les différents types de discours ne lui facilite pas la tâche : elle se lance à l'assaut de l'agrégation sur laquelle elle se cassera les dents... six fois ! À défaut d'entamer une brillante carrière universitaire, Barbara Cassin a pu, durant toutes ses années d'étudiante, « *travailler comme jamais* » et accumuler les connaissances et les rencontres décisives.

Par l'intermédiaire de ses professeurs Jean Beaufret et Michel Deguy, elle a notamment l'occasion de participer chez René Char à l'un des séminaires de Martin Heidegger, le philosophe allemand dont la pensée sur l'Être et sur le langage aura une influence considérable dans la seconde moitié du XX^e siècle dans tous les milieux intellectuels. À l'époque, à la toute fin des années 1960, Heidegger n'est pas encore le centre des polémiques qui ont éclaté ensuite sur son passé nazi. Même si Barbara Cassin, qui est juive, n'en ignore rien, cela ne présente pas un obstacle à ses yeux. Elle partage l'argument de Hannah Arendt, dont elle est l'une des premières traductrices, pour qui les philosophes ont toujours éprouvé une certaine fascination pour les tyrans.

Invitée en Afrique du Sud

Rester « *loin des escaliers de la Sorbonne* » a aussi permis d'orienter l'étudiante vers le Capes et de multiples formes d'enseignement. Elle passe notamment deux années face aux adolescents psychotiques de l'hôpital Étienne-Marcel, à Paris, où exerçait aussi une certaine Françoise Dolto. Pour surmonter les troubles de langage considérables dont souffrent ces jeunes, la pédagogue les met à l'écriture et à la réalisation d'un journal qu'ils s'en vont vendre dans la rue. Dès lors, Barbara Cassin fait entrer la psychanalyse dans le champ, déjà très vaste, de ses investigations.

Elle ne lâche pas pour autant la philosophie. En 1984, elle est recrutée par le CNRS au Centre Léon-Robin de recherches sur la pensée antique¹. Et dix ans plus tard, elle est enfin reconnue par l'institution universitaire : elle



1. Unité CNRS/Sorbonne Université/École normale supérieure de Paris.



“Quand on traduit, le sens n'est plus tout à fait le même ni tout à fait un autre.”

soutient brillamment une thèse d'État, publiée ensuite sous le titre « L'Effet sophistique ». Elle y remet à l'honneur une école philosophique refoulée depuis deux millénaires. Prospères dans le monde grec dès avant Socrate, les sophistes faisaient profession d'enseigner l'art de persuader un juge, un opposant, une assemblée. Très vite, Platon, dans la plupart de ses dialogues, puis Aristote, dénoncent les raisonnements parfois fallacieux que ces professionnels du langage mettent au service de leur éloquence. Ce point de vue a prévalu jusqu'à nos jours : le sophisme est défini comme ce raisonnement purement verbal, sans solidité et reposant sur une logique fallacieuse. Tout le monde connaît le syllogisme qui fait d'un cheval bon marché un produit cher, parce que tout ce qui est rare est cher...

Pour sa thèse, Barbara Cassin est remontée à la source, c'est-à-dire aux textes des sophistes eux-mêmes, en particulier ceux de Gorgias. Elle a retraduit son *Éloge d'Hélène*, où il plaide pour innocenter Hélène, qui a pourtant provoqué la guerre de Troie. C'est par son discours, soutient Barbara Cassin, et par sa puissance logique que Gorgias parvient à renverser la situation, réalisant une performance au sens littéral du terme.

Pour Barbara Cassin, cela ne fait aucun doute : les mots font des choses. En cela, ils ont aussi une dimension politique. Elle a pu le démontrer avec éclat lors de l'avènement de Nelson Mandela à la présidence de

l'Afrique du Sud, en contribuant, via un accord international avec le CNRS, à la Commission Vérité et Réconciliation mise en place en 1995 dans le cadre de la fin de l'apartheid et de la transition démocratique. « Avec Barbara, nous avons réfléchi en philosophes sur la réconciliation et, dans notre rapport, nous avons exposé comment on pouvait obtenir la pacification de la nation au moyen des ressorts de la rhétorique, raconte Philippe-

Joseph Salazar, doyen de la Faculté des lettres du Cap. Ce qu'on présentait en Europe comme des débats judiciaires étaient en fait des débats politiques et ils allaient contribuer à élaborer la forme éthique du nouvel État. » Ou comment les mots peuvent contribuer à construire une nation.

La réflexion sur le sens des mots, quand ceux-ci voyagent d'une langue à l'autre, est une autre de ses préoccupations. Voilà vingt ans qu'elle s'interroge notamment sur ce que pourrait être une philosophie européenne à l'heure du tout-puissant « globish », cet anglais globalisé pratiqué dans le monde entier. Une première ...

Repères

- 1947** Naissance à Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine)
- 1968** Maîtrise de philosophie à La Sorbonne
- 1984** Chercheur CNRS au Centre Léon-Robin de recherches sur la pensée antique
- 1994** Thèse sur la sophistique
- 1995** Invitée de la Commission Vérité et Réconciliation, en Afrique du Sud
- 2004** Publication du « Dictionnaire des Intraduisibles »
- Mai 2018** Élection à l'Académie française



Lire l'intégralité de ce portrait et notre entretien avec Barbara Cassin sur les Maisons de la Sagesse sur lejournald.cnrs.fr

... réponse est venue en 2004, sous la forme d'un objet unique dans l'histoire de la philosophie, pour ne pas dire de l'édition : le *Vocabulaire européen des philosophies*, plus connu sous le nom de « Dictionnaire des Intraduisibles ». Un monument qui balaie plus de 1 500 mots du langage philosophique, confrontés à la difficulté de leur traduction dans une quinzaine de langues.

« *Quand on traduit, le sens n'est plus tout à fait le même ni tout à fait un autre, lance la philosophe, il y a toujours plus d'une bonne traduction possible.* » Le Dictionnaire, pour lequel elle a mobilisé 150 chercheurs et traducteurs dans le monde, ne donne donc pas la bonne traduction, il montre au contraire les discordances et les différences : les Intraduisibles sont « *non pas ce qu'on ne traduit pas, mais ce qu'on ne cesse pas de (ne pas) traduire* », souligne la chercheuse, qui travaille à la parution d'un nouveau « Dictionnaire des Intraduisibles », celui des trois monothéismes cette fois, tant les trois grands textes sacrés que sont la Torah, la Bible et le Coran ont à nous

dire sur le rapport que nous entretenons avec les langues et les mots.

Barbara Cassin ne redoute rien tant que se laisser happer par le temps, elle qui a été élue membre de l'Académie française au mois de mai dernier, et consacre ces jours-ci beaucoup d'énergie à faire vivre son nouveau projet : celui des Maisons de la Sagesse déjà actives à Aubervilliers et à Marseille et dédiées à l'accueil des migrants, entre microcrédit et enjeux de traduction. II



© D. GOURY

Des projets à foison

Édition, exposition... Barbara Cassin revient sur ses différents engagements.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

La médaille d'or qui vous distingue vient s'ajouter à une actualité déjà chargée, notamment éditoriale...

En effet ! Début novembre est sorti chez Fayard *Quand dire, c'est vraiment faire*, un livre qui met en perspective mes travaux sur le caractère « performatif » du langage – le langage ne se contente pas de décrire les choses, il peut influencer la réalité et produit des effets concrets. Je le montre à travers trois exemples : la poésie, quand Ulysse, tout nu, dit à Nausicaa « *je te prends les genoux* » au lieu de les lui prendre pour de bon ; la rhétorique et les performances du sophiste Gorgias qui réussit à innocenter Hélène de Troie par son seul discours ; et enfin, la politique contemporaine, avec la Commission Vérité et Réconciliation en Afrique du Sud, qui construit le peuple arc-en-ciel avec des mots. Je pilote également la *Revue des femmes philosophes* de l'Unesco, dont nous avons mis en ligne le 3^e numéro, « *Intellectuels, philosophes, femmes en Inde : des espèces en danger* », car la violence, et pas seulement à l'égard des femmes, y est de plus en plus dure.

Après avoir été la commissaire au Mucem d'Après Babel, traduire, avez-vous d'autres projets d'expositions ?

L'exposition *Babel voyage*. Après une déclinaison à

Genève, à la Fondation Martin Bodmer, sous le titre *Les routes de la traduction*, nous réfléchissons à une adaptation en Argentine. Je travaille aussi à un projet sur les « objets migrants », pour 2020, avec le musée d'archéologie de la Vieille Charité, à Marseille. L'idée est de mettre en correspondance un objet migrant de l'Antiquité et un objet migrant contemporain relevant d'un même type de transformation, de réutilisation, de syncrétisme, pour montrer comment les migrations, de tous temps, sont normales et précieuses.

Votre dictionnaire des « Intraduisibles » est déjà traduit en dix langues... Quoi de neuf sur ce front-là ?

Il n'est pas seulement traduit, il est à chaque fois réinventé et de nouveaux mots y font leur entrée, comme le mot « charia » apparu dans la version arabe. Aujourd'hui, je réfléchis à la création d'une plateforme en ligne qui rassemblerait toutes ces versions et les ferait se croiser – une sorte de « Wiki des Intraduisibles ». J'espère que le coup de projecteur donné par la Médaille d'or m'aidera à faire avancer ce projet et à réunir les financements nécessaires.

HAL25

Puce

qu'elle a conçue et qui permet de lire les signaux du trajectomètre d'Alice, expérience de physique, au LHC.

145

articles publiés dans des revues à comité de lecture et présentés dans les workshops.

2012

prix du meilleur article

remis par l'association professionnelle Institute of Electrical and Electronics Engineers.

11

brevets

obtenus pour la société Thomson Multimédia entre 1988 et 1998.

Christine Hu Guo repousse les limites de détection

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Ingénieure en microélectronique à l'Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien de Strasbourg¹, lauréate 2018 de la médaille de cristal du CNRS, Christine Hu Guo développe des capteurs pour les détecteurs de particules chargées en physique subatomique et l'imagerie biomédicale. Ceux-ci ont été utilisés lors des expériences Star, aux États-Unis, et prochainement Alice, au LHC, qui permettent d'étudier une phase de la matière de l'Univers primordial, appelée plasma quarks-gluons.

Mimosa28

Capteur CMOS

mis au point par son équipe en 2013, après dix ans de recherches.

360 mégapixels

équipent le détecteur de traces pour l'expérience Star, à Brookhaven, aux États-Unis.

1. Unité CNRS/Université de Strasbourg.

Événement. La médaille de l'innovation a été remise, le 10 octobre, à Valérie Castellani, Thierry Chartier et à Daniel Le Berre. Décerné par le CNRS depuis 2011, ce prix récompense des chercheurs pour leurs travaux exceptionnels dans les domaines technologique, thérapeutique ou social.

PAR LAURENCE STENVOT

Un trio pour l'innovation

Valérie Castellani

Spécialiste en biologie du développement à l'Institut NeuroMyoGène¹, Valérie Castellani, âgée de 52 ans, est la cofondatrice de Oncofactory, start-up créée avec Céline Delloye-Bourgeois, biologiste dans la même unité. La technologie qu'elle a développée avec son équipe permet de créer une réplique miniaturisée du cancer d'un patient, et d'en faire une image en 3D en quelques jours. Les travaux de départ de la lauréate sont pourtant très fondamentaux : ils s'attachent à mieux comprendre les mécanismes cellulaires et moléculaires qui sous-tendent la génération des neurones dans l'embryon, leur migration et la mise en place de leurs connexions nerveuses. « *Mon parcours vers la valorisation souligne l'importance des laboratoires de recherche fondamentale pour l'innovation* », commente-t-elle.

Elle aborde ainsi la tumorigenèse (ensemble des étapes menant à la formation des tumeurs) et la dissémination métastatique sous l'angle de la biologie du développement. Et pour étudier un cancer pédiatrique, elle utilise un embryon d'oiseau comme organisme hôte. Au sein de celui-ci, elle greffe des cellules tumorales prélevées chez des patients et obtient une reproduction de la pathologie. Brevetée, cette technologie est adaptée avec succès à de nombreux cancers de l'adulte. Rechercher de nouveaux biomarqueurs, prédire l'évolution tumorale et expérimenter des médicaments sur ces modèles devient donc possible. Cette innovation marque ainsi une véritable avancée pour la médecine personnalisée. « *Amener une technologie vers une application rapidement utile pour la société est une expérience incroyable* », se réjouit Valérie Castellani.



Thierry Chartier

Expert en matériaux et procédés céramiques, Thierry Chartier, 58 ans, est chercheur à l'Institut de recherche sur les céramiques². C'est un pionnier des procédés additifs pour l'élaboration de céramiques, technologies qui font l'objet d'un engouement international et « *constituent une vraie révolution industrielle pour "l'Usine du futur"* », commente-t-il. Formé au partenariat industriel dès son doctorat, il a développé une technologie qui a permis en 2001 la création de la start-up 3DCeram : il s'agit d'exploiter la stéréolithographie, procédé de construction de pièces 3D par photopolymérisation d'un système céramique réactif. Thierry Chartier participe ensuite au développement d'un procédé jet d'encre qui donnera lieu, en 2006, à la création d'une seconde start-up, Ceradrop, spécialisée dans les techniques d'impression pour l'électronique imprimée. Chacune de ces start-up emploie une vingtaine de personnes. Les nouvelles méthodes d'élaboration de pièces céramiques de formes complexes qu'il a développées ont notamment donné lieu à une première mondiale au CHU de Limoges, en 2013 : la réalisation d'un implant crânien en hydroxyapatite (os synthétique) à partir du fichier scanner d'un patient. Rompu au transfert industriel, il a aussi monté en 2005 un laboratoire commun avec Air Liquide, dont la vocation est de développer des matériaux et des systèmes céramiques permettant de produire de nouvelles sources d'énergie et d'améliorer l'efficacité énergétique.



1. Unité CNRS/Inserm/Université Claude-Bernard-Lyon-I. 2. Unité CNRS/Université de Limoges. 3. Unité CNRS/Université d'Artois.

Daniel Le Berre

Père du logiciel libre Sat4j, utilisé par des millions de personnes dans le monde, Daniel Le Berre, 46 ans, est enseignant-chercheur à l'université d'Artois-Centre de recherche en informatique de Lens³. Ce passionné de génie logiciel et d'intelligence artificielle s'intéresse en particulier à la conception et à l'évaluation d'algorithmes pour l'inférence et la prise de décision. Dès son DEA en 1994, il écrit son premier logiciel de résolution du problème SAT (problème de logique propositionnelle). En 2004, il crée le logiciel Sat4j qui propose un ensemble d'outils de raisonnement en variables booléennes (« 0 » si une proposition est fausse, « 1 » si une proposition est vraie) pour le langage Java. Conçu dès le départ comme un logiciel libre pouvant être facilement réutilisable dans d'autres logiciels, Sat4j intègre en 2005 le consortium ObjectWeb (maintenant OW2), qui promeut le développement d'interlogiciels libres. Sat4j totalise plus de 200 000 téléchargements depuis janvier 2006 et se classe à la 15^e place des projets les plus téléchargés d'OW2. En 2008, Sat4j intègre la plateforme ouverte Eclipse, atelier logiciel destiné à la production de logiciels libres.

« Les grandes entreprises comme IBM, Intel,

Microsoft ont rapidement intégré les solveurs SAT à leurs outils et la communauté scientifique a aussi adopté leur usage, commente le lauréat. Le logiciel Sat4j est ensuite né de la volonté d'étendre les bénéfices de cette avancée majeure aux développeurs Java. »

Découvrez les vidéos des trois lauréats sur
» <https://lejournel.cnrs.fr/innov/médailles>

© P. KITMACHER/UPMC



3 QUESTIONS À

Yvon Maday

«Transformer les inventions mathématiques en innovations»

Lauréat du prix Pioneer du Conseil international des mathématiques industrielles et appliquées (Iciam), Yvon Maday¹ nous parle de ses travaux et des innovations qu'elles occasionnent.

PROPOSS RECUEILLIS PAR MATHIEU GROUSSON

Quelle est la particularité de vos travaux ?

Yvon Maday : Je propose de nouvelles approches pour la simulation de problèmes associés à un phénomène réel et posés sous la forme d'un modèle mathématique, sur des ordinateurs de grande taille. Je m'intéresse par exemple à la manière dont on peut tirer parti d'ordinateurs de plus en plus massivement parallèles pour résoudre un problème. Par exemple, comment découper celui-ci pour qu'il soit résolu sur 1 000 processeurs simultanément (on dit « en parallèle »).

Quelles applications peut-on citer ?

Y. M. : Elles sont aussi variées que la modélisation du flux sanguin, l'optimisation de processus industriels ou la conception mécanique. Avec des collègues mathématiciens, nous avons par exemple collaboré avec des chimistes sur la simulation de la dynamique moléculaire. Pour ce travail d'équipe, nous avons reçu le prix Atos – Joseph Fourier 2018². D'ici à quatre ans, nous avons aussi l'objectif de simuler la fixation d'une protéine sur le cytoplasme³, pour des applications à la génomique et à la médecine personnalisée.

L'innovation est-elle pour vous une finalité ?

Y. M. : C'est en effet le sens de mon activité. Ainsi, j'ai été amené (au sein de l'institut tremplin Carnot Smiles que j'ai créé) à collaborer avec des grandes entreprises (EDF, la RATP, Alstom ou L'Oréal) comme avec des PME et des start-up. Mon objectif de numéricien est de proposer les simulations les plus proches de la réalité et les plus rapides possible, et dont le résultat soit de plus certifié.

Retrouvez le palmarès 2019 complet sur
» www.cnrs.fr/insmi/spip.php?article2868

1. Yvon Maday travaille au Laboratoire Jacques-Louis Lions (CNRS/Université Paris-Diderot/Sorbonne Université/Inria). 2. Récompense les travaux réalisés dans les domaines de la simulation numérique, de l'intelligence artificielle et du calcul quantique. 3. Ensemble des éléments situés à l'intérieur de la cellule, à l'exclusion du noyau, qui lui permettent d'assurer ses fonctions.

Gérard Mourou, Prix Nobel de physique 2018



© A. CHEZIER/CNRS PHOTOTHÈQUE

Le 2 octobre, Gérard Mourou, professeur et membre du haut collège de l'École polytechnique, a remporté le Nobel de physique 2018, récompense qu'il partage avec Donna Strickland. Le troisième lauréat est Arthur Ashkin pour l'invention des pinces optiques. Gérard Mourou et Donna Strickland ont élaboré une méthode de génération d'impulsions optiques ultracourtes de haute intensité. La technique d'amplification des lasers, baptisée Chirped Pulse Amplification,

a permis de créer des impulsions laser ultracourtes et de considérablement gagner en puissance. À la clé, des applications pour l'étude de la matière mais aussi en médecine, notamment en chirurgie de l'œil. Après avoir passé une partie de sa carrière aux États-Unis, Gérard Mourou est revenu en France en 2005, où il a dirigé le Laboratoire d'optique appliquée jusqu'en 2008. Il est à l'origine de plusieurs grands projets dans le domaine des lasers de puissance, dont le projet XCAN, le laser Apollon et l'infrastructure ELI.

Ursula Bassler élue au Cern...

Directrice adjointe de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS, Ursula Bassler a été élue à la présidence du conseil du Cern, à compter du 1^{er} janvier 2019.

...Étienne Ghys à l'Académie

Directeur de recherche au CNRS, le mathématicien Étienne Ghys a été élu secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences pour la première division. Il prendra ses fonctions le 1^{er} janvier 2019.

L'Europe encourage la synergie

Le Conseil européen de la recherche a sélectionné 27 groupes de recherche pour le premier appel à projets Synergy Grant 2018, doté de 250 millions d'euros. Sept impliquent des scientifiques français et deux sont pilotés par des chercheurs du CNRS : **Emmanuel Francis**, du Centre d'études de l'Inde et de l'Asie du Sud², et **Tristan Meunier**, de l'Institut Néel³.

REMISE DU PRIX PAOLETTI

Le prix Paoletti, récompensant de jeunes biologistes, a été remis le 17 octobre à **Lisa Roux** pour ses travaux sur des



© SHARPEN PICTURES



© H. RAQUET

« mécanismes neuronaux impliqués dans la formation, la consolidation et le rappel de traces mnésiques en lien avec l'olfaction » et à **Abdou Rachid Thiam**, pour ses travaux sur « le métabolisme des gouttelettes lipidiques cellulaires ».

La Fondation L'Oréal remet ses prix

Le 8 octobre, la Fondation L'Oréal a dévoilé les 30 jeunes chercheuses lauréates de son programme L'Oréal-Unesco Pour les femmes et la Science France. Parmi elles, 20 mènent leur recherche dans un laboratoire du CNRS.

Vincent Lafforgue

lauréat d'un prix
Breakthrough 2019

Directeur de recherche à l'Institut Fourier⁴, Vincent Lafforgue figure parmi les lauréats du prix Breakthrough 2019. Une nouvelle distinction pour ce mathématicien qui, cet été, animait avec trois autres français les conférences plénières du Congrès international de Rio.



© G. LAUMON

Nominations au CNRS

Plusieurs nominations ont eu lieu à la tête de directions ou de délégation du CNRS. **Christophe-Alexandre Paillard**, administrateur civil hors classe du ministère de la Défense, a été nommé directeur de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation de la gestion, à compter du 23 novembre. Depuis le 1^{er} novembre, **Sylvie Rousset**, jusqu'alors vice-présidente recherche de l'Université Paris-Diderot, est directrice de l'information scientifique et technique. Le 1^{er} septembre, **Virginie Bonnaillie-Noël**, directrice adjointe scientifique à l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du CNRS, a pris la tête de la direction d'appui à la structuration territoriale de la recherche. Enfin, **Christine Brunel**, auparavant adjointe au délégué de la délégation régionale Alsace, est désormais déléguée régionale de la délégation Normandie du CNRS.

1. Unité CNRS/Ensta ParisTech Université Paris-Saclay/École polytechnique. 2. Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales. 3. Unité CNRS/Université Grenoble Alpes. 4. Unité CNRS/Université Grenoble Alpes.

GRAND FORMAT



*Enquêter sur la modernité
à la préhistoire, récolter des météorites
sur les glaciers antarctiques
et parler recherche avec Antoine Petit.*

ILLUSTRATION : OMARAQIL/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

Préhistoire *Aux sources* *de la* *modernité*

VIVANT



SOCIÉTÉS



Forme du crâne, patrimoine génétique, existence de sépultures ou production artistique, ces critères ont longtemps servi à distinguer *Homo sapiens*, « l'homme moderne », de tous les autres hominins, Néandertal en tête. Mais les découvertes ne cessent de jeter le trouble sur cette frontière un peu trop nette. Aujourd'hui, des préhistoriens, des anthropologues, des généticiens... proposent de revoir le concept même de modernité, en particulier lors d'un prochain colloque coorganisé par le CNRS et le Muséum national d'histoire naturelle.

DOSSIER RÉALISÉ PAR LÉA GALANOPOULO





La préhistoire est partout. Dans les médias, à coups de découvertes sensationnelles. Dans les expositions et les reproductions, où accourt le public pour découvrir les fresques de Lascaux ou de Chauvet. On nous parle d'origine et de plus ancien, de naissance de l'art et des symboles, d'invention de l'agriculture et de l'élevage, des débuts de l'écriture ou d'émergence de l'état. On vient là, par ces temps immémoriaux, mettre en scène les grands caractères jugés universels de notre humanité.

La préhistoire est donc universelle et les documents que l'archéologie met au jour et qu'elle accumule nous touchent précisément pour cette raison : les premiers outils de pierre des rivages du lac Turkana (au nord du Kenya, NDLR), vieux de plus de 3 millions d'années, appartiennent à l'humanité tout comme les fresques de la grotte Chauvet.

Ces traces sont universelles, car elles échappent à la mémoire collective ou individuelle et personne ne peut se les approprier. Elles constituent de fait un patrimoine mondial de l'humanité et servent de point d'ancrage pour définir les humains de la préhistoire dans toute leur épaisseur temporelle.

Nicolas Teyssandier est archéologue préhistorien, chargé de recherche au sein du Laboratoire travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés¹. Il est chargé de mission pour l'Institut écologie et environnement du CNRS.



Aujourd'hui, un concept trace une frontière dans ces temps anciens : la modernité. Il puise ses racines dans l'entreprise de faire coexister évolution humaine et universalité de l'homme et de ses fondements culturels. Sans être encore nommé, il émergea dès l'invention de la préhistoire dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Accepter l'évolution imposait en effet de déterminer où et quand l'homme s'était véritablement « accompli », en distinguant les formes « fossiles » de celles dont nous serions directement issus. Au début du XX^e siècle, des traits archéologiques caractéristiques furent donc établis pour distinguer Néandertal et *Sapiens*, sur le plan anatomique comme comportemental. L'émergence d'outils en matières dures animales, d'objets à vocation symbolique comme les parures, et, plus encore, de manifestations graphiques et artistiques servirent à tracer une frontière entre ces deux humanités.

Des origines à la récupération politique

Au cours du XX^e siècle, ce concept vit sa signification s'enrichir de la volonté de mieux embrasser toute l'humanité contemporaine, dépassant les différences comportementales ou physiques sur lesquelles avaient prospéré les idéologies ségrégationnistes voire eugénistes ayant frappé l'Occident ou d'autres parties du monde. La modernité se rangeait cette fois-ci résolument du côté de l'universel : au lieu de servir à distinguer les peuples, tout à la gloire de certains et au mépris des autres, ce concept devenu pleinement humaniste servait à les réunir sous une même bannière. Dès lors, on comprend aisément pourquoi les facultés psychiques et symboliques d'*Homo sapiens* prirent une place centrale, alors qu'elles demeuraient sans doute les caractères les plus délicats à identifier pour les préhistoriens.

Définir la modernité comme ce qui unit toutes les populations contemporaines autour des mêmes aptitudes, ...

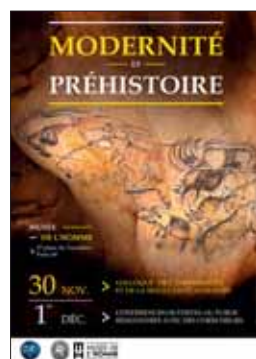
¹. Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales/Université de Toulouse Jean-Jaurès/ministère de la Culture et de la Communication/Institut national de recherches archéologiques préventives.

... invite à un retour en arrière pour définir depuis quand il en est ainsi. Ce faisant, la modernité s'entend comme un concept lourd de portée idéologique et s'invite fréquemment dans les réponses que les scientifiques tentent d'apporter à notre société contemporaine.

Un exemple emblématique d'utilisation politique du concept m'a frappé lors d'une visite à l'Origins Center de Johannesburg, en Afrique du Sud. Inauguré en 2006 par le président Thabo Mbeki, cet espace muséographique est dédié à l'exploration, ou même à la célébration de l'histoire des peuples autochtones d'Afrique australe (les San ou Bochimans). En remontant le temps à travers les premiers coquillages percés, les blocs de colorants raclés et gravés de tracés géométriques ou les pointes de sagaies en os, l'archéologie identifie leur origine à plus de 75 000 ans alors que bien de ces caractères n'apparaissent que plus tardivement en Europe avec l'introduction d'*Homo sapiens* il y a environ 45 000 ans.

La modernité de l'humanité serait donc originaire des rivages sud-africains, les Bochimans en seraient les héritiers directs et tout à coup l'archéologie aide à la réhabilitation de ce peuple et de ses descendants soumis à l'apartheid entre 1948 et 1991. Une véritable mise en scène positive de la science pour réconcilier des peuples autochtones et leur destin !

Il est tout aussi patent qu'autour des questions touchant à la modernité s'articulent celles, fondamentales, de l'universel et de l'altérité : *Tous parents, tous différents* pour reprendre le titre d'une exposition inaugurée au musée de l'Homme au début des années 1990. Les enjeux sont fondamentaux : nous appartenons tous



Modernité et Préhistoire. De l'universalité et de la singularité des identités humaines.

Le colloque organisé par le CNRS et le Muséum national d'histoire naturelle réunira, les 30 novembre et 1^{er} décembre au musée de l'Homme, des ethnologues, des philosophes, des généticiens, des archéologues et des paléontologues. Au programme : conférences ouvertes au public et rencontres avec les chercheurs.



>> <https://modernite.sciencesconf.org>

à une même espèce, partageons des gènes hérités d'ancêtres communs, mais notre carte d'identité génétique nous est propre et unique. Il s'agit d'accepter l'altérité tout en reconnaissant l'universalité de l'humanité, sa capacité à se mélanger et à produire une large diversité de couleurs de peau, d'organisations sociales et économiques, et de destins.

Un peu d'altérité dans l'humanité

L'utilisation de ce concept en préhistoire et en évolution humaine n'a donc rien d'anodin. Utile sur un plan scientifique, par sa capacité à reconnaître des formes d'organisations socio-économiques différentes, il tend hélas à limiter les possibles et à se fixer uniquement sur une dialectique renvoyant dos à dos modernes et non-modernes. D'autant que l'on sait aujourd'hui que cette supposée modernité n'est pas l'apanage d'*Homo sapiens*. Les Néandertaliens, et sans doute d'autres encore, ont eux aussi développé des comportements modernes, lorsqu'ils enterraient leurs morts, utilisaient des colorants, planifiaient leurs épisodes de chasse ou même perforaient des coquillages pour en faire des parures.

Le colloque organisé par le CNRS et le Muséum national d'histoire naturelle (lire ci-dessus) propose de réfléchir aux tenants et aux aboutissants de ce concept de modernité afin que notre communauté scientifique assume et affronte davantage son rôle politique, essentiel à l'égard de la société. Il s'agira de mieux percevoir combien la modernité influence à la fois nos démarches et la restitution de nos résultats au plus grand nombre. En confrontant les points de vue de la préhistoire avec d'autres disciplines des sciences humaines (anthropologie, philosophie) et biologiques (génétique), l'enjeu sera de mieux comprendre, à travers les sociétés passées, comment peuvent aujourd'hui s'articuler harmonieusement universel et singulier, humanité et altérité. ■ N. T.



La modernité de l'humanité serait originaire des rivages sud-africains, les Bochimans, ici dans le désert du Kalahari, en Afrique du Sud, en seraient les héritiers directs.

La modernité, une notion qui fait débat

La naissance d'*Homo sapiens* signe celle de l'homme moderne. Du moins schématiquement, car l'émergence de la modernité est bien plus complexe.

Vue d'artiste de Néandertal : une version ultramoderne face à une version plus « primitive » de lui-même. On lui reconnaît, aujourd'hui, certaines caractéristiques que l'on croyait réservées à *Homo sapiens*, l'« homme moderne ».

Et si la notion d'homme moderne était dépassée ? Pendant des décennies, les préhistoriens ont défini l'homme moderne comme la somme d'une série de critères anatomiques et culturels. Un homme au crâne développé et à la mâchoire en retrait, le front haut, capable de langage et d'utilisation d'outils complexes. Cet *Homo sapiens* parti d'Afrique il y a 70 000 ans pour rejoindre le continent européen serait devenu, subitement, l'homme moderne que nous connaissons aujourd'hui. Pourtant, au fil des découvertes archéologiques, génétiques et anatomiques, la révolution moderne est aujourd'hui mise en doute.

« Nous nous sommes trompés. Le mythe du Paléolithique supérieur comme émergence immédiate de l'homme moderne en Europe, qui a supplanté Néandertal, est remis en question », confie Nicolas Teyssandier. Spécialiste du Paléolithique supérieur et de l'histoire des évolutions humaines, il coordonne un colloque sur le sujet où seront réunis des ethnologues, des philosophes, des généticiens, des archéologues et des paléontologues fin novembre à Paris (voir p. 16).

Au début du XX^e siècle, la définition de l'homme moderne reposait essentiellement sur une comparaison de la morphologie de Néandertal et de la nôtre. « *Le but était avant tout de nous distinguer les uns des autres* », ajoute Nicolas Teyssandier, à partir des traits anatomiques les plus significatifs, c'est-à-dire les plus dépendants de la génétique et donc les plus stables d'un individu à l'autre. « *C'est pour cela que l'on s'est concentré avant tout sur la forme du crâne* », explique Isabelle Crevecoeur, paléo-anthropologue, chargée de recherche au laboratoire De la préhistoire à l'actuel : culture, environnement et anthropologie (Pacea)¹, à l'Université de Bordeaux.

L'anatomie moderne sens dessus dessous

Aujourd'hui, ce qui est considéré comme une anatomie moderne réside principalement sur la présence d'un cerveau globulaire, avec un gonflement du cervelet et des zones pariétales, d'un menton mandibulaire et d'une face rétractée sous le crâne. Des attributs qui se développent tôt au stade embryonnaire. Néanmoins, Isabelle Crevecoeur nous explique qu'il est impossible de dater ...

PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR

Période archéologique, le Paléolithique supérieur débute en Europe aux alentours de -40 000 et perdure jusqu'à vers -12 000 ans.

1. Unité CNRS/Université de Bordeaux/ministère de la Culture et de la Communication/École pratique des hautes études/Institut national de recherches archéologiques préventives.

... précisément la naissance de cette anatomie moderne. « C'est un sujet très débattu. Si on utilise ce terme "d'anatomie moderne" c'est avant tout parce qu'on n'arrive pas à donner une définition précise de l'Homo sapiens. » Ces critères anatomiques s'appuient sur la découverte du fossile d'Omo Kibish en Éthiopie, daté de 200 000 ans. « Lorsqu'on a trouvé ce fossile, on s'est dit : "Voilà, ça, c'est l'homme moderne !" », commente-t-elle.

Seulement, comment savoir si cet homme d'Omo Kibish a laissé des descendants ? Et si les préhistoriens ne sont pas partis du mauvais modèle pour définir la modernité ? D'autant plus que si l'on applique cette définition à certains fossiles du Paléolithique supérieur, ils ne seraient plus considérés comme modernes. Autre exemple : l'homme de Jebel Irhoud, découvert au Maroc et daté de 300 000 ans, possède une face moderne, mais un crâne archaïque. À l'inverse, d'autres fossiles présentent un crâne moderne, mais une face archaïque. « Plus on accumule les informations anatomiques, avec la découverte de nouveaux fossiles, et moins ils entrent dans les boîtes de la modernité que nous avons préétablie, souligne Isabelle Crevecoeur. Nous sommes nombreux à penser qu'être anatomiquement moderne n'a pas de sens. »

Pour dessiner les contours de l'homme moderne, l'anatomie a cédé sa place au concept de modernité

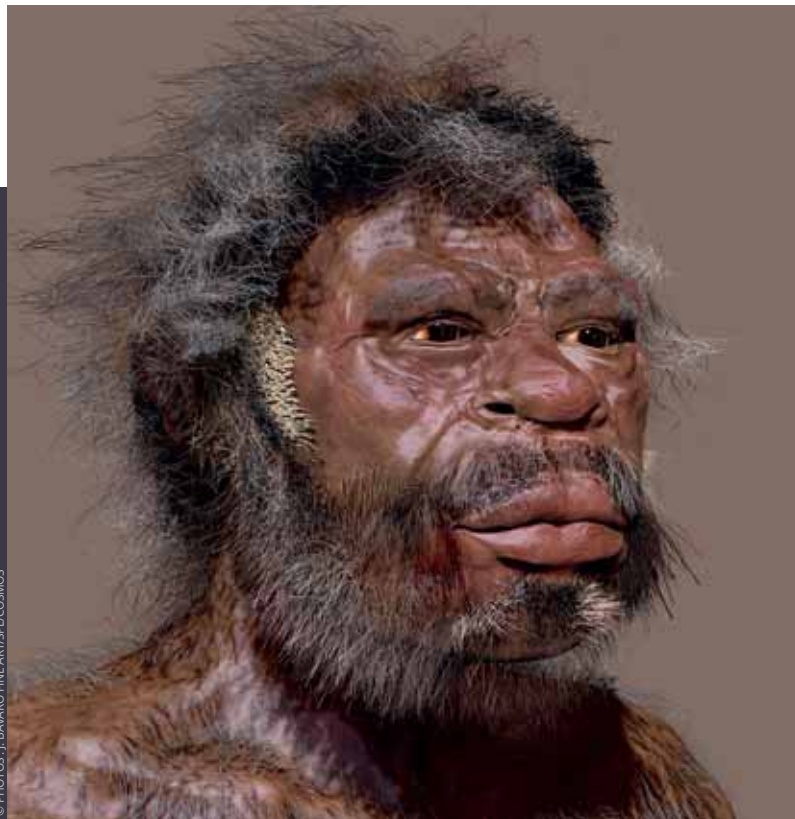
culturelle. Une théorie née il y a un peu plus de vingt ans. « On considérerait que l'homme moderne était né avec l'acquisition du langage », précise Francesco d'Errico, préhistorien et directeur de recherche CNRS au laboratoire Pacea, qui s'intéresse de près aux évolutions comportementales et cognitives de nos ancêtres. Cette définition de modernité a ensuite intégré l'utilisation de parures, d'outils complexes ou encore de sépultures.

Place à la culture symbolique !

Si la culture et les interactions sociales sont le propre de l'homme, l'une des difficultés des travaux sur l'évolution culturelle est le manque de critères clairs pour interpréter le matériel issu des fouilles. Que ce soit les pigments, les parures ou les gravures retrouvés, comment savoir si cela relève du symbolique ou juste d'une fonction utilitaire ? « Ainsi, pour les parures, on regarde si elles sont régies par des codes stricts, comme le fait d'utiliser toujours la même espèce de coquillage en collier, de les couvrir d'ocre et d'aller les chercher loin du site », explique Francesco d'Errico. Autre exemple : l'utilisation des pigments. Si une population s'échine à chauffer une ocre jaune, pour qu'elle devienne rouge, « c'est que le rouge relève d'une symbolique et que les pigments ne servent pas qu'à protéger la peau », précise-t-il. Ces indices permettent de spéculer sur l'histoire des groupes humains, voire sur la date d'apparition des premières cultures.

Que ce soit l'utilisation de pigments, de pointes de chasse, de parures ou de sépultures, tous

© MUSÉE DE L'HOMME DE NÉANDERTAL

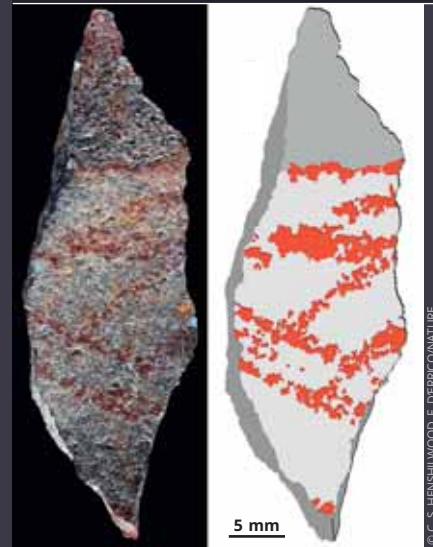


Reconstitution du visage de l'homme de Jebel Irhoud découvert au Maroc et daté de 300 000 ans. Cet *Homo sapiens* possède une face moderne mais un crâne archaïque (ci-dessus).



Moulage du squelette complet de Néandertal de la Chapelle-aux-Saints. On ignore s'il s'agit d'une véritable sépulture ou du résultat de la chute accidentelle d'un individu...

Vieux de 73 000 ans, ces traits, retrouvés en Afrique du Sud, forment le plus ancien dessin abstrait réalisé au crayon d'ocre.



© C. S. HENSHILWOOD, F. DERRICOMAT

définissent la modernité culturelle. Et théoriquement l'*Homo sapiens*. Pourtant, ces comportements « modernes » sont parfois retrouvés dans des populations bien plus anciennes, tout en étant absents de nombreux sites archéologiques habités par les premiers hommes modernes. Certains préhistoriens pensent désormais que Néandertal, lui aussi, utilisait des pigments, produisait des mastics, et gravait des motifs abstraits (lire p. 21). Et des squelettes néandertaliens datés de 120 000 ans semblent correspondre à des sépultures. « Même les chimpanzés semblent avoir des pratiques mortuaires », précise Francesco d'Errico. *Cela signifie que notre ancêtre commun devait probablement aussi avoir des telles pratiques. Où placer une césure dans six millions d'années de traitement du défunt, dont nous connaissons somme toute encore très peu de chose ?* »

Un concept archaïque

Ces données relativisent la définition même de la modernité. « On se rend compte que le concept de modernité culturelle n'a plus rien de moderne ! », constate Francesco d'Errico. Pendant 200 000 ans des innovations culturelles naissent et disparaissent dans différentes régions du globe. Et elles auraient en définitive peu à voir avec la modernité biologique de l'homme. « Longtemps, nous avons supposé que l'émergence de notre espèce était la cause unique de l'avènement de cultures proches de la nôtre, mais nous retrouvons des comportements modernes chez des populations considérées par le passé comme biologiquement et culturellement archaïques ! », insiste encore Francesco d'Errico.

Si modernité culturelle et biologique peuvent être séparées, l'étude de l'anatomie renseigne tout de même sur l'évolution des modes de vie de nos ancêtres. Ainsi, l'examen de la morphologie de l'humérus aide à comprendre les activités quotidiennes des *Homo sapiens*. Les formes anciennes d'humérus sont comparées aux os de nos contemporains pratiquant régulièrement la course à pied, la nage ou la rame. Si le remodelage osseux est semblable,

« on peut supposer qu'ils avaient le même genre d'activité », indique Isabelle Crevecoeur. Et l'anatomie balaye parfois certaines idées reçues. Alors que Néandertal est perçu comme une brute épaisse, l'analyse de ses phalanges révèle qu'il avait une habileté supérieure à la nôtre !

Né de la diversité

Désormais, tous s'accordent sur un point : ces évolutions modernes ont fonctionné par mosaïque. Une théorie confirmée par la génétique. « Si l'homme moderne était né d'un coup, on le retrouverait dans l'étude du génome, or ce n'est pas le cas. En revanche, on voit une évolution graduelle, en mosaïque », explique Éveline Heyer, généticienne au laboratoire Éco-anthropologie et ethnobiologie². En remontant génération par génération le génome humain, il est possible d'observer des ruptures génétiques. Une sorte d'arbre généalogique génétique, réalisé sur de l'ADN actuel, avec en complément de l'ADN ancien, très difficile d'accès. « Avec ces analyses, on voit clairement, dans le génome actuel, la sortie d'Afrique de Sapiens il y a 70 000 ans, et en comparant avec l'ADN ancien de Néandertal on estime la séparation entre ces deux branches à environ 800 000-600 000 ans », illustre Éveline Heyer.

L'étude génomique confirme aussi notre ressemblance frappante avec Néandertal : 99,7 % de notre génome est commun, « alors qu'entre deux hommes modernes la ressemblance est de 99,9 % », indique la généticienne. Bien sûr, la génétique n'explique pas tout : « On ne retrouvera pas un gène codant directement la capacité à réaliser des peintures rupestres ! », sourit Éveline Heyer. Mais elle permet de comprendre les adaptations locales et environnementales de chaque population. La couleur de peau, l'apparition des yeux bleus, la protection contre certains pathogènes comme le paludisme... Toutes ces données génétiques sont des signatures de sélection à chaque moment de l'histoire.

Si l'adaptation à l'environnement se lit dans le génome, elle peut également être retranscrite grâce à l'épigénétique. Cette discipline permet d'étudier les modifications de l'expression des gènes, par exemple la **méthylation** de l'ADN, qui peuvent résulter de ...

MÉTHYLATION

Processus biochimique conduisant à l'inactivation d'une partie de l'ADN.

2. Unité CNRS/Muséum national d'histoire naturelle (MNHN)/Université Paris-Diderot. Éveline Heyer est également professeur au MNHN.

“Le concept de modernité est dépassé depuis le début, la révolution de l’homme moderne n’a jamais eu lieu.”

... différents facteurs, comme les changements environnementaux ou l’alimentation. C’est le sujet de recherche de Lluís Quintana-Murci, généticien des populations et directeur de recherche au laboratoire génomique évolutive modélisation et santé³. « *Les changements génétiques de notre génome et leur implication dans l’adaptation sont des processus rares et lents, mais une fois que le changement est effectué, il est pérenne. Alors que l’épigénétique est beaucoup plus rapide, mais moins stable* », indique-t-il.

En étudiant les modifications génétiques et épigénétiques de différentes populations, il est possible de retracer les conditions de vie de nos ancêtres et de comprendre quels facteurs génétiques ont été façonnés. « *Lorsqu’on compare le profil génétique de deux populations d’agriculteurs, l’une forestière et l’autre rurale, on voit qu’ils n’ont pas le même profil de méthylation. Et les modifications épigénétiques touchent surtout des gènes codant pour l’immunité*, explique ainsi Lluís Quintana-Murci, *L’expression de l’ADN a été modifiée en fonction du milieu de vie.* »

Que ce soit en termes de brassage génétique, anatomique ou culturel, la diversité semble être la clé de la modernité. « *À chaque fois que nous avons rencontré d’autres populations, nous nous sommes mélangés, et avons échangé nos gènes et des traits culturels* », rappelle Francesco d’Errico. Certes, *Homo sapiens* reste le

seul et dernier représentant de la lignée *Homo*, mais rien n’indique qu’il en est le plus moderne... Sa survie pourrait être le fruit du hasard. Il manque encore de nombreux éléments, notamment sur la naissance de Néandertal, pour retracer un semblant d’histoire humaine. Et la période de 400 000 à 200 000 ans reste opaque pour les scientifiques.

Une vision eurocentrée biaisée

Étudier la modernité à la préhistoire permet de repenser notre conception de l’humanité. Car pendant des années, l’accent était mis sur l’unicité de l’espèce et « *la notion de modernité sous-entend une évolution graduelle vers un “mieux”* », regrette Isabelle Crevecoeur. Pourtant, il y a plus de différence entre deux groupes de chimpanzés qu’entre toutes les populations humaines. Désormais, la définition de l’homme moderne devrait s’orienter vers plus d’universalisme, en incluant les singularités et les adaptations locales de chaque population. « *Le concept de modernité est dépassé depuis le début, la révolution de l’homme moderne n’a jamais eu lieu* », tranche Francesco d’Errico. Un avis que partage Isabelle Crevecoeur : « *C’est une polarité gênante, je ne pense pas que nous soyons au-dessus des autres espèces fossiles.* »

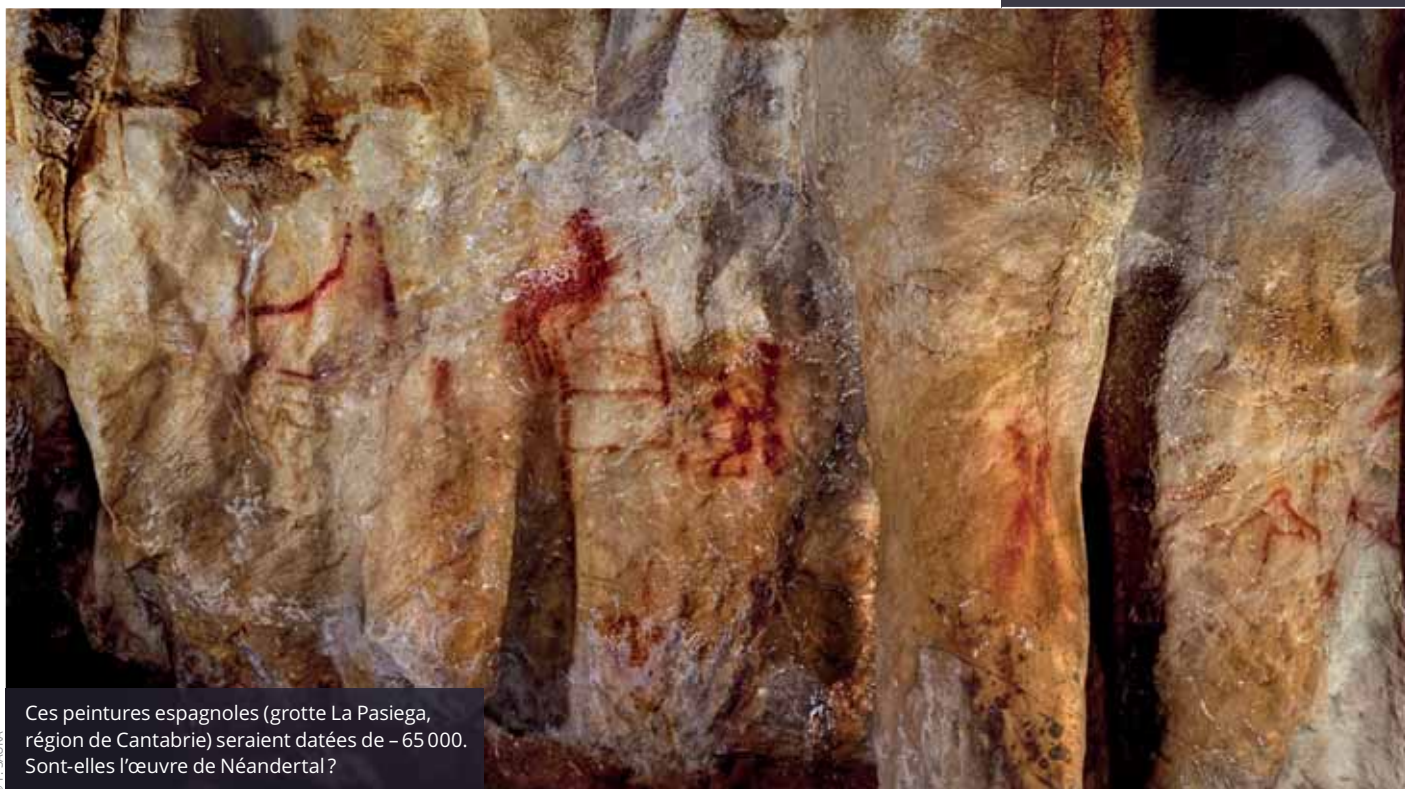
« *Parler de modernité a permis de lancer le débat* », rappelle Nicolas Teyssandier. Car, pendant des décennies, la recherche de fossiles s’est concentrée sur l’Europe, induisant une vision eurocentrée de l’évolution des hominins. « *En Afrique, il y avait un déséquilibre régional énorme sur les fouilles : les zones coloniales britanniques en Afrique de l’Est étaient très étudiées, mais pas du tout d’autres régions comme l’Angola. Ça a biaisé notre vision* », raconte Isabelle Crevecoeur. Le concept de modernité à la préhistoire est voilé de politique. Que ce soit pour essentialiser des populations, les différencier ou les stigmatiser.

Ce n’est que dans les années 1990, que les fouilles se sont ouvertes à toute l’Afrique. Les premiers résultats ont été révélés dans les années 2000. Ces données ont chamboulé notre vision de l’homme, confirmant notamment la sortie d’Afrique et l’existence de morphologie et de culture multirégionales. « *Désormais, c’est l’Asie que l’on est en train de découvrir, avec certainement à la clé des découvertes immenses* », s’enthousiasme Nicolas Teyssandier. ■ L. G.



L’analyse ADN d’une phalange trouvée en 2012 dans la grotte de Denisova, en Sibérie (Russie), a permis de définir une nouvelle lignée : l’homme de Denisova.

3. Unité CNRS/Institut Pasteur.



Ces peintures espagnoles (grotte La Pasiega, région de Cantabrie) seraient datées de ~ 65 000. Sont-elles l'œuvre de Néandertal ?

Néandertal est-il le premier artiste ?

La récente découverte de peintures interroge sur la naissance des premières œuvres d'art dans l'histoire de l'humanité.

Et si, bien avant Léonard de Vinci ou Michel-Ange, Néandertal avait été le premier artiste de l'humanité ? C'est ce que suggère une datation de fresques rupestres espagnoles, publiée en février 2018 dans la revue *Science*¹, dont les résultats font débat tant du point de vue méthodologique que de l'interprétation. Les mains et les animaux de trois grottes auraient été dessinés il y a 65 000 ans, soit 25 000 ans avant l'arrivée d'*Homo sapiens* dans la péninsule ibérique. Sont-ils l'œuvre de Néandertal ? Aucun ossement retrouvé dans ces grottes ne renforce l'hypothèse, mais une poignée de preuves abondent dans ce sens. Des traces de pigments dans un coquillage ont ainsi été datées de 115 000 ans. Et des dessins de félins et des traces de mains visibles dans la grotte des Merveilles à Rocamadour (Lot) auraient entre 50 000 et 70 000 ans.

« Nous savons peu de chose sur l'organisation sociale des Néandertaliens, commente Claudine Cohen², philosophe et historienne des sciences, spécialiste des représentations préhistoriques. Parler d'artistes

néandertaliens ne convient pas vraiment, car s'il y a des manifestations symboliques, on ne sait rien de l'existence d'artistes spécialisés dans ces sociétés. »

Capable de réaliser des sépultures, de collectionner des objets, de fabriquer un outillage sophistiqué et doué de langage, « Néandertal (longtemps considéré comme notre cousin « primitif » ; NDLR) n'était certainement pas si différent de nous », estime Claudine Cohen. « Finalement l'art serait peut-être le dernier point à éclaircir », souligne Audrey Rieber, chercheuse à l'Institut d'histoire des représentations et des idées dans les modernités³, qui juge que « cela ne devrait pas prendre longtemps avant qu'on ne parle d'art néandertalien ».

L'art de l'imitation

Pour Camille Bourdier, maîtresse de conférences en art préhistorique au Laboratoire travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (Traces)⁴, à Toulouse, la question se pose différemment : c'est la place qu'il occupe dans la société qui confère à l'artiste son statut. « Le terme "artiste" désigne une ...

1. « U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art », D. L. Hoffmann, C. D. Standish et al., *Science*, 23, 2018, vol. 359, pp. 912-915. Les estimations se fondent sur la datation par uranium-thorium de la couche de calcite qui enduit les peintures. 2. Directrice d'études à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS), où elle est membre du Centre de recherches sur les arts et le langage (CNRS/EHESS). Elle est également directrice d'études à l'École pratique des hautes études (EPHE) et membre du laboratoire Biogéosciences (CNRS/EPHE/Université de Bourgogne). 3. Unité CNRS/Univ. Jean-Monnet/ENS de Lyon/Univ. Lumière Lyon-2/Univ. Jean-Moulin Lyon-3/Univ. Clermont Auvergne. 4. Ibid. note 1, p. 15.



Découverte dans la grotte d'Altamira (Espagne) en 1879, cette œuvre pariétale ne fut authentifiée qu'en 1902.

... catégorie socioprofessionnelle, c'est un spécialiste dont l'identité sociale naît de la production graphique ou plastique », indique-t-elle. Or, pour Néandertal comme pour les *Sapiens* du Paléolithique supérieur, les vestiges de ces identités sociales sont presque inexistants.

Ces débats renvoient à ceux de la reconnaissance de l'art pariétal, au début du XX^e siècle. Découvertes en 1879, les peintures de la grotte d'Altamira, en Espagne, ne furent par exemple authentifiées qu'en 1902. « La communauté scientifique avait reconnu sa beauté, évidente, mais pas le fait que l'homme paléolithique en est l'auteur », indique Audrey Rieber. Face à une œuvre complexe et magnifique, scientifiques et archéologues pensent d'abord à un faux. La vision de l'homme préhistorique exclut alors ses capacités artistiques en les renvoyant à la faculté d'imitation inhérente à toute espèce primitive, capable de reproduire la forme de quelques animaux.

Une lente reconnaissance

« Les artistes modernes sont certainement parmi les premiers fascinés par la modernité de l'art pariétal », raconte Claudine Cohen. En visite à Lascaux, Picasso aurait lancé : « Nous n'avons rien inventé ! » Mais si, en 1950, Ernst Gombrich ouvre sa très diffusée *Histoire de l'art* par l'art préhistorique, il l'exclut de « notre » histoire qui ne commencerait qu'avec les Égyptiens. « Les théoriciens de l'art étaient à l'époque gênés par l'idée d'un artiste paléolithique, qui remettait en question le statut d'artiste édifié jusque-là sur l'art de la Renaissance, compris comme début de la modernité », développe Audrey Rieber.

Si la reconnaissance de l'art préhistorique est si lente, c'est qu'il reste difficile de connaître les motivations des artistes préhistoriques. « On a d'abord pensé qu'ils faisaient de l'art pour l'art », dit Claudine Cohen. Une chose

est sûre : les Néandertaliens, comme les *Sapiens*, pouvaient être animés par certains principes esthétiques. Et, tout comme l'artiste moderne, ils utilisaient des outils pour graver ou sculpter, des pinceaux, des pochoirs et des pigments. Au Paléolithique, les œuvres retrouvées sont par ailleurs codifiées : « L'animal est très réaliste, la femme ou l'homme sont représentés de manière très fruste et stylisée, avec une insistance sur le sexe et les parties centrales du corps, le visage souvent absent ou masqué », souligne la chercheuse.

Une question de style

Archéologue et ethnologue, André Leroi-Gourhan a mis en lumière un art pariétal très ordonné qui organise entre eux symboles, figures animales et humaines... Impossible de les considérer comme des imitations isolées et archaïques : ce sont bien des œuvres d'art, construites et pensées. « Lorsque l'on découvre Lascaux, on ne peut plus nier l'existence d'une œuvre, créée par des artistes », confirme Claudine Cohen.

Si ce sont des artistes, existait-il une professionnalisation de l'art ? « Au Paléolithique supérieur, on peut parler de division du travail. Avec un art aussi élaboré, on imagine que, dans ces sociétés, la capacité de représenter le monde était déléguée à certains », répond Claudine Cohen. Indéniablement, les peintures de Lascaux ou de Chauvet sont le fruit de personnes talentueuses, dont le savoir-faire était certainement transmis. « Il y a débat également sur les échanges culturels entre *Sapiens* et Néandertal : ils utilisaient les mêmes pigments, mais qui les a empruntés à l'autre ? Y a-t-il eu transmission ? », questionne Claudine Cohen.

La question de la stylistique paléolithique est aussi un axe de recherche majeure. « L'objectif est de définir des traditions iconographiques dans le temps et



Datés de
– 36 000 ans, les
animaux peints de
la grotte Chauvet-
Pont-d'Arc, en
Ardèche, font
partie des plus
anciennes et des
plus magnifiques
peintures
pariétales.



Lire l'article en intégralité
sur cnrslejournale.fr

sexuée des tâches dans ces sociétés. L'artiste serait-il alors un homme ? La violence exprimée dans ses œuvres, des scènes de guerre, d'exécution, révèle une organisation sociale complexe et des conflits politiques. « Cet art devient presque une source historique. Il s'approche au plus près de la société », estime-t-elle.

Mais à défaut de preuves matérielles, l'interprétation de l'art préhistorique relève parfois d'illusions rétrospectives. Elle se calque d'ailleurs souvent sur notre façon moderne de voir l'art. « Au début du XX^e siècle, on a ainsi considéré l'art pariétal comme un art religieux, en partie parce que ceux qui l'étudiaient étaient des religieux », rappelle Claudine Cohen, citant l'abbé Breuil, spécialiste de l'art pariétal. « On se rend compte à quel point les interprétations sont des projections du présent », souligne-t-elle.

« Depuis Altamira, tout est décadence », aurait lancé Picasso. La reconnaissance de l'artiste néandertalien questionne la notion de progrès dans l'art. L'art suivrait-il une chronologie qui tend vers plus de beauté, de perfection et de technique ? « Du point de vue de l'artiste, cette chronologie n'a pas de sens, même si c'est la façon dominante de présenter l'art », constate Audrey Rieber, qui rejette l'idée que « l'on se place aujourd'hui au sommet de l'art ».

Reste surtout une interrogation insoluble : que considère-t-on comme de l'art ? « Je serais bien incapable de répondre ! », s'amuse Audrey Rieber. Claudine Cohen va plus loin : « Ne peut-on considérer que les premiers artistes étaient finalement les tailleurs de silex, il y a deux millions d'années ? En réalisant des bifaces aux belles formes en amande, ne manifestaient-ils pas déjà un sens esthétique ? » **L. G.**



Ce motif en croisillon, découvert dans la grotte de Gorham à Gibraltar et vieux de plus de 39 000 ans, est la première gravure pariétale attribuée à des Néandertaliens.

“Impossible de considérer les figures animales, humaines et les symboles de l'art pariétal comme des imitations isolées et archaïques: ce sont bien des œuvres d'art, construites et pensées.”

l'espace », explique Camille Bourdier. Et ainsi de repérer des filiations ou des ruptures historiques dans l'art pariétal. L'analyse stylistique s'intéresse aussi à l'auteur, pour cerner sa « patte » : combien d'artistes ont participé aux œuvres ? S'agit-il toujours des mêmes ? « Si oui, cela rouvre la question de la spécialisation des activités et celle de la mobilité des groupes humains », conclut-elle.

Le passé au prisme du présent

L'analyse de ces œuvres renseigne également sur l'organisation sociale et la vie quotidienne. Lorsqu'au Néolithique, les rapports sociaux se complexifient, la sédentarité, l'agriculture et l'élevage se développent. « De nouveaux thèmes apparaissent alors sur les fresques, comme la chasse ou la récolte de miel. En Méditerranée occidentale, des thèmes et des symboles se répètent, en particulier les anthropomorphes schématisés », explique Esther López-Montalvo, archéologue, spécialiste de l'art néolithique au Laboratoire Traces. L'art néolithique levantin est en rupture totale avec les traditions graphiques antérieures par sa forte composante naturaliste et narrative. La chasse et la virilité sont sublimées. « On peut penser que cela permet d'affirmer une identité sociale et symbolique », indique la néolithicienne.

« La femme est souvent représentée isolée dans les panneaux de l'art levantin, elle ne participe pas aux activités masculines », ajoute Esther López-Montalvo. L'art néolithique nous montre déjà une répartition

Chasseurs de météorites en Antarctique

TERRE

Géologie. En décembre 2017 et janvier 2018, une équipe franco-italienne de géologues est partie traquer les météorites en Antarctique. Qu'elles soient chaudes ou froides, les étendues désertiques se prêtent en effet particulièrement bien à la recherche de ces roches extraterrestres, tombées du ciel sur notre Terre. Objectif : en savoir plus sur les origines du Système solaire, mais aussi sur la composition et l'évolution de corps célestes comme Mars ou la Lune.

TEXTE JÉRÔME GATTACCECA, GÉOLOGUE AU CEREGE¹,
AVEC LAURE CAILLOCE

PHOTOS JÉRÔME GATTACCECA, L. FOLCO,
M. GEMELLI/PNRA

1

1. Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement (CNRS/Inra/IRD/Aix-Marseille Université/Collège de France).



1. Les champs de glace bleue situés au pied des reliefs rocheux sont le terrain de jeu privilégié des scientifiques : la glace s'y accumule et, avec elle, les météorites qui remontent à la surface.



2

2. Avec un peu d'entraînement, les météorites sont assez faciles à repérer sur la glace, que l'on se déplace à pied ou en motoneige.

3. Comme la petite roche située en dessous du piolet, leur couleur est noire et leur aspect légèrement poli, la faute à leur passage dans l'atmosphère terrestre qui a provoqué la fusion de la couche extérieure de la roche.



3

4. Cette très rare météorite lunaire semblerait presque banale si l'on n'apercevait pas, grâce à un petit éclat de la couche de fusion, l'intérieur noir et blanc caractéristique des roches arrachées à la surface de la Lune.



4

5. À Miller Butte, au sommet des monts Transantarctiques, les chercheurs collectent des micrométéorites dans les fissures et cavités de la roche. Ces objets de moins d'un millimètre résultent de l'arrivée sur Terre de poussières extraterrestres.

6. Les glaciers antarctiques comme, ici, le glacier Priestley, sont de vrais tapis roulants qui s'écoulent lentement vers l'Antarctique et emportent avec eux les météorites piégées dans la glace.





6



Retrouvez le récit de l'expédition
sur lejournal.cnrs.fr/meteorites



Antoine Petit : “La France doit être fière de son CNRS”

Entretien. Emploi, intégrité scientifique, budget, Europe, parité... Nommé président-directeur général du CNRS le 24 janvier 2018, Antoine Petit présente les grands axes de sa politique et ses ambitions pour l'organisme scientifique.

PROPOS RECUEILLIS PAR BRIGITTE PERUCCA ET FABRICE IMPÉRIALI

Vous avez été nommé il y a bientôt dix mois à la tête du CNRS. Quelles sont les choses qui vous ont surpris depuis votre retour ?

Antoine Petit : J'ai retrouvé avec grand plaisir cet organisme que j'avais quitté en 2006. J'avais bien sûr continué à suivre l'actualité du CNRS et à travailler avec lui, notamment dans les diverses fonctions que j'ai occupées au sein d'Inria. J'ai été touché par le très bon accueil que j'ai reçu. Ces dernières années, la place des organismes de recherche a pu sembler être remise en question. Nommer à la tête du CNRS un président-directeur général d'organisme en fonction a été de nature, je crois, à rassurer les personnels sur ce point. La France a besoin d'organismes de recherche, notamment d'un CNRS, forts. Elle a tout autant besoin d'universités fortes. Et elle a besoin de partenariats forts entre les organismes et les universités. Cette conviction est, me semble-t-il, partagée par l'ensemble des personnels du CNRS, et aussi de ses partenaires. J'ai trouvé un CNRS ouvert à la fois vers la société et vers le secteur industriel. Ce n'est pas nouveau, mais cette évolution s'est accentuée depuis une vingtaine d'années et elle correspond aux enjeux actuels. Oui, le CNRS peut faire une recherche fondamentale au meilleur niveau international tout en étant préoccupé par des questions socio-économiques ou sociales. Mais, pour être complet, j'ai aussi pu constater qu'au CNRS, certaines choses pouvaient prendre du temps, parfois plus de temps qu'ailleurs. Cette inertie relative a sans doute aidé l'organisme à résister à toutes les tempêtes. Cependant, elle doit être remise en question lorsqu'il s'agit de mettre en place des évolutions rapides et consensuelles. Enfin, j'ai trouvé une équipe de collaborateurs

d'un grand professionnalisme, d'une grande efficacité et avec de réelles valeurs humaines. Je tiens à lui rendre hommage. C'est un grand honneur que d'être à la tête du CNRS et une fierté que de succéder à Alain Fuchs que je salue amicalement.

Vous avez engagé une série de rencontres avec certaines grandes universités dont le CNRS est un partenaire privilégié. Êtes-vous en train d'amorcer un changement dans la politique de sites, avec une différenciation selon les sites ?

A. P. : Si on s'en tient aux chiffres, 80 % des personnels permanents du CNRS sont sur 13 sites et 90 % sur

“J’ai trouvé un CNRS ouvert à la fois vers la société et vers le secteur industriel.”

17 sites. De fait, l'organisme concentre ses forces sur un nombre limité de sites. Et, forcément, les relations ne sont pas les mêmes avec une université ou avec un site sur lequel nous avons 50 ou 100 unités mixtes de recherche qu'avec un site où nous en avons 5 ou 6. Dans un premier temps, nous avons donc souhaité accorder une attention particulière aux partenariats avec les sites où le CNRS est le plus présent. Cela représente, à quelques exceptions près, les Idex¹ et les I-sites². Nous avons proposé aux équipes présidentielles de ces sites des rencontres stratégiques en présence du comité de direction du

CNRS, qui comprend l'ensemble de ses directrices et directeurs d'institut. J'assume cette politique différenciée. Et si le CNRS n'est pas là pour faire l'aménagement du territoire, il saura aussi continuer à soutenir l'excellence où qu'elle soit, y compris dans des universités de moindre renom, mais qui ont construit avec nous des niches d'excellence de renommée internationale.

C'est pourquoi vous souhaitez mettre en place un nouveau dispositif autour des directeurs scientifiques référents ?

A. P. : Dans l'organisation mise en place par Alain Fuchs, les directeurs et directrices scientifiques référents (DSR) jouaient un rôle important. Mais ces DSR sont également tous responsables d'institut, ce qui leur pose souvent un problème de disponibilité. Nous avons donc souhaité les libérer des tâches les plus opérationnelles, pour les repositionner sur des tâches plus stratégiques, du niveau du comité de direction du CNRS. Nous avons pour cela renforcé le rôle de leurs adjoints (ADSR), en précisant la quotité de temps qu'ils consacrent à ces tâches. Nous apprendrons en marchant, et s'il faut étoffer ces équipes via des chargés de mission liés, par exemple, à la restructuration d'une thématique au sein d'une université, nous le ferons. Par ailleurs, je n'oublie pas le rôle très important des délégués régionaux dans cette équipe dédiée à l'accompagnement des sites.

Que peut-on dire du budget 2019 ?

A. P. : Aujourd'hui, je ne peux pas donner de chiffres précis, car le budget sera validé par le conseil d'administration du 13 décembre. Mais la tendance générale est celle d'un budget stable par rapport à celui de l'an dernier avec la reconduction d'une subvention particulière de l'ordre ...

1. Initiatives d'excellence. 2. Initiatives sciences, innovation, territoire, économie.

... de 10 millions d'euros accordée aux laboratoires. La nouveauté, c'est que nous avons effectué un audit du fonds de roulement, et que nous avons identifié une somme de l'ordre de 80 millions d'euros qui était libre d'utilisation. Nous avons obtenu l'autorisation de l'utiliser – non pas tout en 2019, mais dans une perspective pluriannuelle.

Comment va être utilisée cette somme ?

A. P. : Elle ne peut pas être utilisée pour des dépenses pérennes puisque, par définition, une fois qu'on l'aura dépensée elle ne sera plus là. Nous avons mis la priorité sur deux postes assez différents : le recrutement de doctorants et une subvention exceptionnelle pour les laboratoires. Pour cette dernière, nous allons dégager une enveloppe de 15 millions d'euros qui s'ajoutera à la somme que j'évoquais à l'instant, à savoir les 10 millions d'euros donnés à titre exceptionnel par le ministère.

Concernant le premier poste, combien de doctorants le CNRS va-t-il recruter et dans quels domaines ?

A. P. : Au fil des années, le CNRS s'est privé, pour des raisons budgétaires, de la possibilité de financer des doctorants directement, c'est-à-dire avec l'argent venant de l'État ; il a bien sûr continué à le faire avec les ressources venant des contrats. Il me semble important, en termes de politique scientifique, de nous en donner à nouveau les moyens. Nous recruterons donc au moins 300 doctorants – 200 en 2019, au moins une centaine en 2020 et j'espère même plus – pour soutenir trois champs d'action : la coopération internationale, l'aide à des questions sociales et la pluridisciplinarité. Sur ce dernier champ par exemple, nous lancerons l'année prochaine, dans le cadre des 80 ans du CNRS, un appel à projet intitulé « 80|PRIME » à l'issue

duquel 80 projets interdisciplinaires seront sélectionnés. Chacun d'entre eux pourra être accompagné d'une bourse de thèse financée à 100 % sur trois ans. Nous rechercherons aussi un « effet levier », autrement dit des financements complémentaires de prestigieuses universités étrangères, dans le cadre de partenariats internationaux par exemple, ou encore de collectivités territoriales ou de fondations à qui nous allons proposer de contribuer à ce programme via des cofinancements. Nous serons vigilants sur le devenir de ces doctorants, en veillant à privilégier ceux dont les sujets offrent

“Le fait que le CNRS n'arrive pas à assurer aux femmes qu'il recrute une carrière comparable à celle des hommes me choque profondément.”

les meilleures chances d'employabilité dans l'industrie, les associations, les administrations, sans se limiter aux laboratoires de recherche académiques ou privés. L'apport des docteurs dans toutes les couches de la société n'est pas encore assez reconnu dans notre pays. Enfin, faut-il le préciser... ce recrutement de doctorants, que nous pouvons financer grâce au fonds de roulement jusqu'en 2020, ne se substitue pas aux recrutements de chercheurs permanents dont le financement doit être pérenne. Ce sont deux sources de financement différentes et non fongibles.

Justement, combien de personnels permanents le CNRS va-t-il recruter l'an prochain ?

A. P. : Une fois encore, les décisions finales seront prises par le conseil d'administration, en décembre. Mais, pour des raisons budgétaires, nous nous apprêtons à abandonner le schéma de recrutement de 300 chercheurs et 300 ingénieurs et techniciens (IT) mis en place ces dernières années, pour recruter 250 chercheurs et 310 IT. Ces chiffres correspondent à nos estimations de départs à la retraite, lissés sur cinq ans. Ce schéma 250-310 sera donc reconduit les années suivantes. Si tous les départs à la retraite sont compensés, il n'en sera pas de même des autres départs définitifs, estimés à environ 80 par an.

Depuis votre arrivée, vous avez multiplié les annonces concernant le transfert et l'innovation. Quel signal entendez-vous donner à travers elles ?

A. P. : Avant tout, le CNRS travaille davantage avec le monde socio-économique qu'il ne le fait savoir ; je trouve qu'il souffre là d'un excès de modestie. Opposer recherche fondamentale et relations avec le milieu industriel n'a aucun sens : nos Prix Nobel Albert Fert ou Jean-Marie Lehn sont des exemples emblématiques de scientifiques au meilleur niveau mondial, mais dont les laboratoires ont toujours tissé des liens très forts avec des partenaires industriels. Il est normal de souhaiter que la recherche française, qui est d'une qualité exceptionnelle, puisse avoir un impact socio-économique plus important pour notre pays. C'est dans ce sens que nous avons créé une direction générale déléguée à l'innovation qui s'inscrit au même rang que la direction générale déléguée à la science et la direction générale déléguée aux ressources. C'est un symbole important.



Quelles actions concrètes allez-vous mener ?

A. P. : Tout d'abord, nous allons au moins doubler le nombre d'actions de prématuration pour soutenir des projets émergents à fort potentiel d'innovation. Nous voudrions aussi construire de réels partenariats stratégiques pluriannuels avec des grands groupes. Nous partageons avec plusieurs d'entre eux une histoire commune qui se concrétise la plupart du temps par la création d'unités mixtes ou de laboratoires communs. Nous voudrions aller plus loin et tendre à présent vers des feuilles de route partagées, à plus long terme. Nous avons déjà initié des discussions très encourageantes en ce sens avec Total et Solvay, deux des partenaires historiques du CNRS. Nous étudions enfin la possibilité de mettre en place un fonds d'investissement pour la création d'entreprise, qui serait complémentaire des fonds existants.

Sur la parité, vous montrez une certaine impatience, notamment sur les carrières. Faut-il

bousculer les règles pour faire davantage de place aux femmes ?

A. P. : Le fait que la proportion de chercheuses soit inférieure à celle des chercheurs n'est pas un scoop, c'est malheureusement un phénomène qui touche, plus ou moins, toutes les institutions françaises et tous les pays. Mais le fait que le CNRS n'arrive pas à assurer aux femmes qu'il recrute une carrière comparable à celle des hommes me choque profondément. Même si l'année 2017 a été marquée par une légère augmentation du nombre de femmes promues directrices de recherche de classe exceptionnelle (25,6 % contre 22,5 % en 2016), elles ne représentent toujours que 16 % des effectifs dans le grade le plus élevé. C'est un problème important dont nous sommes collectivement responsables, et je souhaite en effet que le CNRS prenne des mesures pour tenter de le résoudre. À ma demande, un comité chargé de faire des propositions concrètes a donc été mis en place par la Mission pour la place des femmes. J'ai aussi écrit aux présidents de section du Comité national

pour leur demander d'être extrêmement vigilants sur les promotions.

Vous avez nommé un référent intégrité scientifique, un référent déontologue... Quelle sera leur mission respective ?

A. P. : Nous avons en effet souhaité avoir un dispositif complet au sein du CNRS. Le poste de référent déontologue – qui est aussi le référent lanceur d'alertes – a été confié à Joël Moret-Bailly. Mais nous avons aussi considéré que les questions d'intégrité scientifique, qui prennent une place de plus en plus importante, nécessitaient un traitement particulier. J'ai donc nommé un référent intégrité, qui est Rémy Mosseri. Bien entendu ces deux personnes vont travailler de façon concertée et avec la médiatrice du CNRS Maïté Armengaud mais aussi avec la DRH. Par ailleurs, le référent intégrité scientifique sera assisté par quatre personnes qui l'aideront à couvrir des champs disciplinaires variés. Avant cela, j'avais aussi demandé à Olivier Le Gall, président du Conseil de l'Office français de l'intégrité ...

... scientifique, d'animer un petit groupe de travail chargé de faire des recommandations. C'est sur leur base que la première tâche de Rémy Mosseri a été de proposer un plan d'action très concret qui a été validé par le comité de direction.

Quelles sont les idées fortes de ce plan d'action ?

A. P. : En préambule, je tiens à dire qu'il faut absolument préserver le principe de la présomption d'innocence. De plus, je suis totalement opposé aux dénonciations anonymes. On ne doit pas les accepter, mais garantir plutôt la confidentialité des dénonciateurs, pour autant qu'ils soient de bonne foi. Cela étant dit, il n'y a malheureusement pas de raison que le monde de la recherche soit exonéré d'avoir quelques tricheurs en son sein. Je suis convaincu qu'il s'agit de quelques cas isolés mais il convient d'être alors d'une sévérité lourde envers les tricheurs, tout en respectant une échelle dans les sanctions. Les auteurs de fraudes scientifiques doivent être dénoncés. C'est pourquoi dans des affaires récentes, les noms des chercheurs sanctionnés ont été explicitement révélés.

Fin septembre, le comité de direction s'est déplacé à Bruxelles pour une série d'entretiens avec des responsables européens. Le CNRS est-il suffisamment présent dans les programmes de recherche européens ?

A. P. : De manière générale, la France n'est pas assez présente dans les grands programmes européens. Prenons un chiffre : dans le programme-cadre de recherche et développement technologique, la France met 16 milliards d'euros et en « récupère » 11,6. Certes, l'Europe doit se construire avec une forme de solidarité, mais dans le cas présent la différence est énorme et inexplicable si on se réfère à la qualité incontestable de la recherche

française. Le problème essentiel est que nous ne soumettons pas assez de projets... alors même que le taux de succès des équipes françaises est supérieur à la moyenne européenne. Cette situation n'est pas satisfaisante. Pour y remédier, le CNRS, qui a un rôle d'étendard de la recherche française, doit être plus présent sur la scène européenne. C'est pour cela que nous avons délocalisé pour la première fois un comité de direction à Bruxelles. Cela a été l'occasion de rencontrer le nouveau directeur général à la recherche et à l'innovation, Jean-Éric Paquet, et pour un certain nombre de directrices et de directeurs d'institut de rencontrer des responsables européens.

“Le CNRS, qui a un rôle d'étendard de la recherche française, doit être plus présent sur la scène européenne.”

Cet automne, le physicien français Gérard Mourou s'est vu attribuer le prix Nobel.

Considérez-vous que la science française se porte bien ?

A. P. : Soyons honnêtes : si Gérard Mourou a poursuivi sa carrière dans une unité mixte CNRS/École polytechnique, les travaux qui lui ont valu le prix Nobel ont été réalisés lorsqu'il était chercheur aux États-Unis. Le CNRS recrute chaque année 30 % de chercheurs étrangers : il ne faut donc pas s'offusquer qu'à l'inverse des chercheurs français exercent à l'étranger. La science française continue à être l'une des plus reconnues

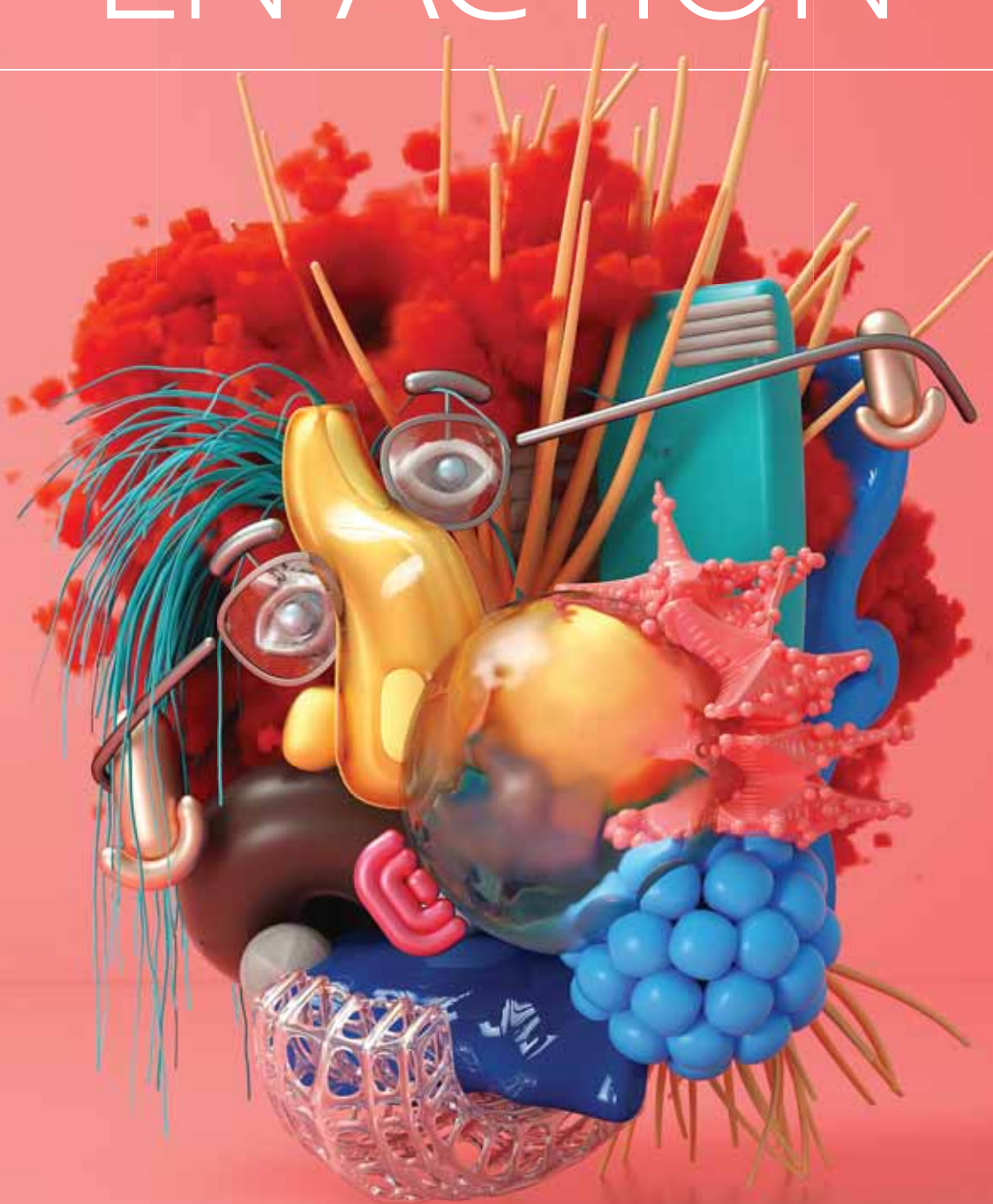
à travers le monde. Maintenant, il faut être conscient que certains pays, qui jusqu'ici n'étaient pas des acteurs majeurs de la recherche, s'y investissent de plus en plus. Mathématiquement parlant, la part de la recherche française et celle de la recherche européenne vont donc diminuer dans les années à venir. Nous devons veiller à ce que la France et l'Europe continuent à être attractives, dans une compétition de plus en plus féroce pour garder les talents. Nous devons vraiment avoir une réflexion sur les environnements scientifiques que nous offrons aux chercheurs et aux chercheuses, et aussi aborder, sans dogme ni tabou, la question de leur rémunération. J'ai demandé au ministère d'ouvrir un chantier sur ce dernier point qui me semble crucial.

En 2019, le CNRS aura 80 ans.

Quels messages souhaitez-vous faire passer à cette occasion ?

A. P. : Pour moi, c'est une occasion en or de faire parler du CNRS, mais aussi, plus généralement, de la science française. D'être capable de mettre en avant tout ce que le CNRS et ses partenaires ont fait depuis 80 ans. Et d'illustrer que cette science est partout dans notre quotidien, qu'elle a un impact, même si cet impact peut prendre parfois du temps pour être visible en dehors de la communauté scientifique. Le CNRS souhaite absolument faire passer ces messages auprès du grand public, des industriels mais aussi des décideurs, des hommes politiques. La France doit être consciente de la qualité de la recherche française. Elle doit être fière de son CNRS et lui donner les moyens de ses ambitions qui rejailiront sur l'ensemble de la société et de l'économie française. **II**

EN ACTION



*Que ce soit pour préparer les JO
de 2024 ou pour traquer les fossiles
de dinosaures dans l'Hexagone,
les chercheurs sont sur tous les terrains.*

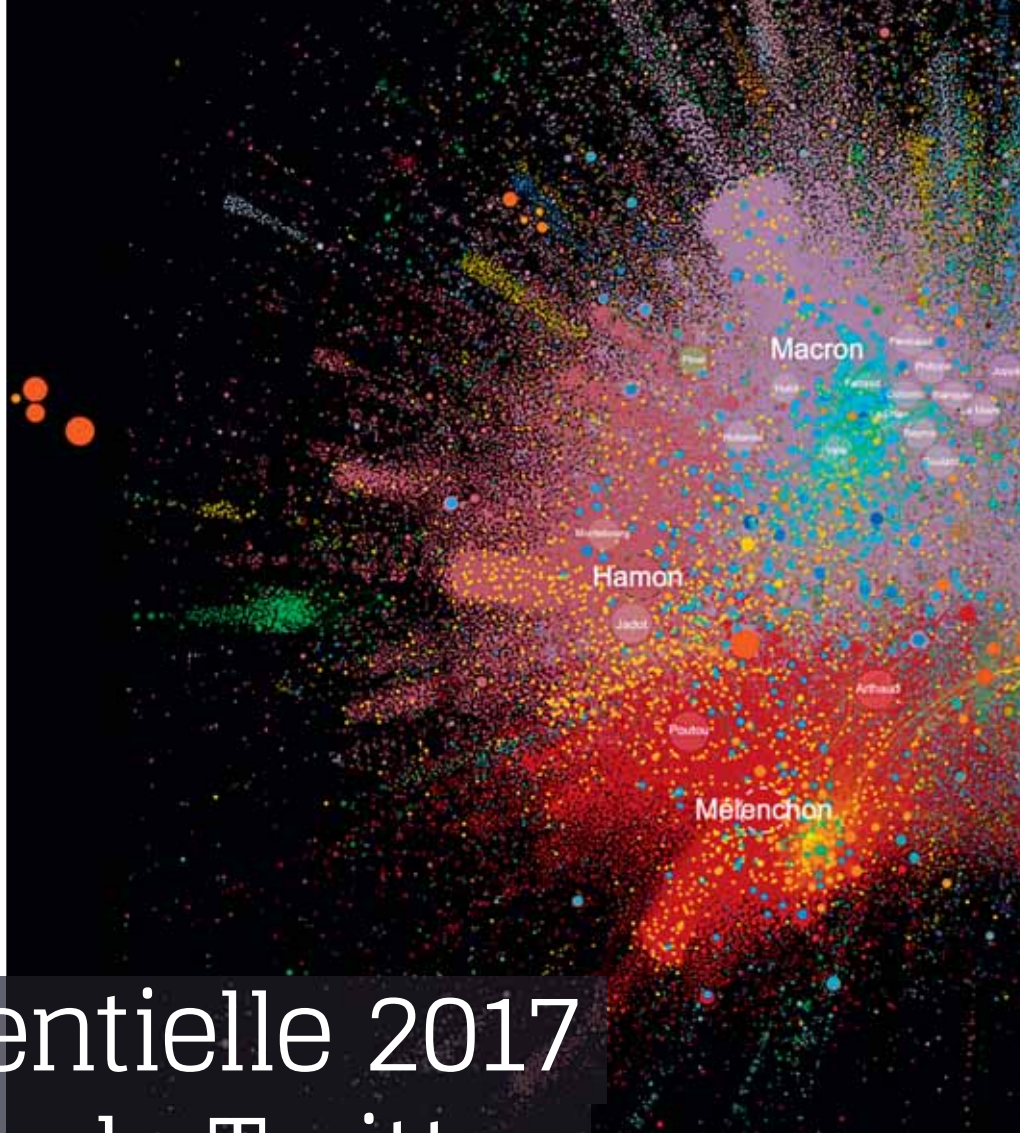
ILLUSTRATION : OMARAQIL/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

SOCIÉTÉS

Systèmes complexes.

Pendant près d'un an, une équipe de chercheurs a décrypté plus de 60 millions de tweets, grâce à un nouvel outil : le Politoscope. Entre fake news et réorganisation des communautés politiques, le cœur d'une campagne bat-il au rythme des tweets ?

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD



La présidentielle 2017 au prisme de Twitter

Comment ont évolué les communautés politiques sur Twitter pendant l'élection présidentielle de 2017 ? Comment s'y sont propagées les informations, vraies ou fausses, durant la campagne ? Pour répondre (entre autres) à ces questions, l'équipe de David Chavalarias¹, chercheur à l'Institut des systèmes complexes du CNRS et au Centre d'analyse et de mathématique sociales², a mis au point un outil inédit : le Politoscope. De juin 2016 à mai 2017, le Politoscope a récolté et analysé en temps réel 60 millions de tweets, à travers les échanges de plus de 2,4 millions de comptes individuels. Résultats, méthodologie et gestion des données personnelles : les chercheurs ont publié leur analyse dans la revue *Plos One*³.

Dans leur étude, ils ont collecté le contenu rattaché aux comptes de 3 700 personnalités politiques – candidats aux primaires, députés, sénateurs, personnes occupant un poste important au sein d'un parti. Ils ont également

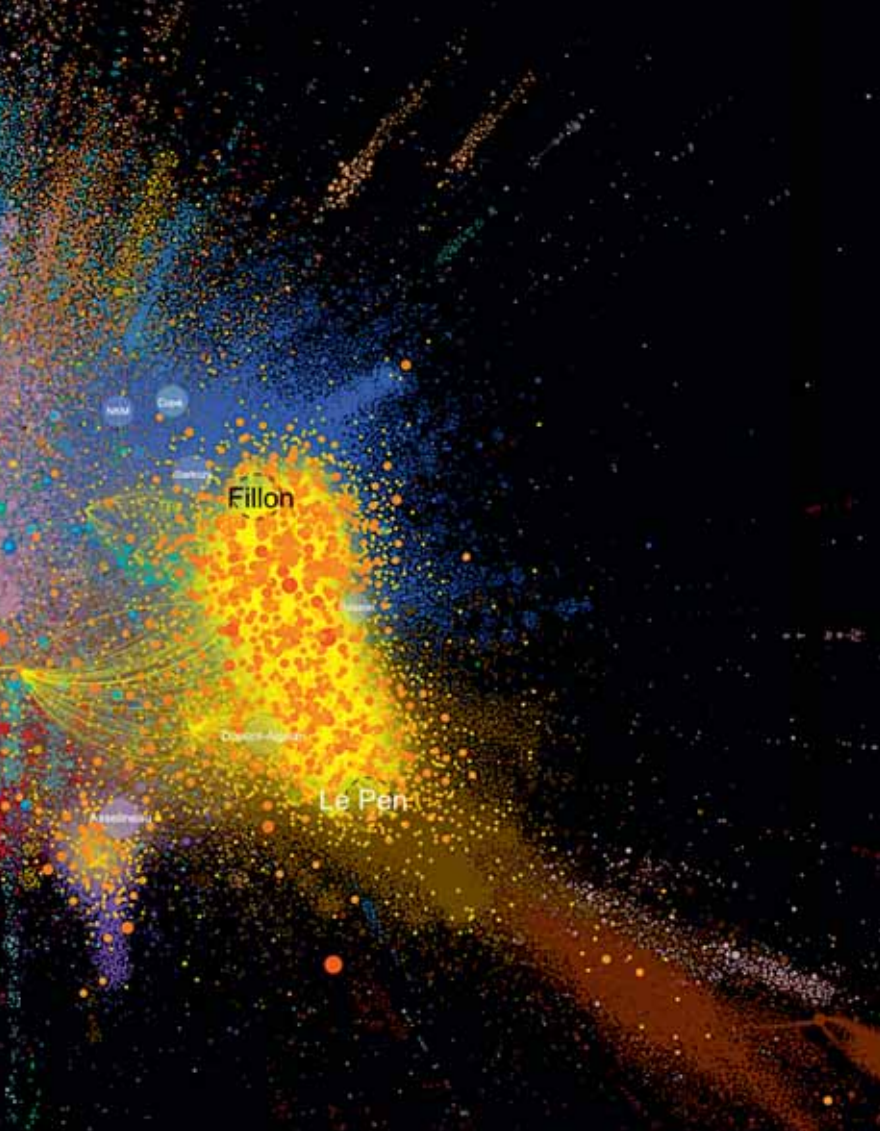
extrait certains mots clés reliés à la campagne présidentielle pour observer les réseaux gravitant autour de chacun des candidats. En étudiant les retweets (soit le partage d'un tweet à l'identique) de plus de 2,4 millions de comptes, ils ont pu établir une cartographie, quotidienne-ment mise à jour, des communautés politiques.

Le rôle clé des retweets

« Lorsqu'une personne relaie de manière récurrente les contenus émis par le compte d'une personnalité politique ou d'un parti, cela peut être considéré comme une forme d'agrément avec les opinions exprimées par le compte », développent les chercheurs. « L'analyse automatique des retweets permet de mesurer, parfois avant que les médias ne l'annoncent, les réorganisations des communautés politiques, et ce en réponse ou en amont de certains événements clés », relatent-ils. Comme la distanciation d'une partie des sarkozystes avec la communauté Fillon

1. Noé Gaumont, post-doctorant au Centre d'analyse et de mathématique sociales (CNRS/EHESS) et résidant à l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (CNRS), et Mazyar Panahi, ingénieur à l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (CNRS). 2. Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales.

3. « Reconstruction of the Socio-Semantic Dynamics of Political Activist Twitter Networks – Method and Application to the 2017 French Presidential Election », D. Chavalarias, N. Gaumont, M. Panahi, *Plos One*, 19 septembre 2018 (<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0201879>).



▼ Répartition de la circulation des fake news (en jaune et en orange) et de leurs réfutations (en vert) dans les communautés politiques sur Twitter en 2017. La taille des points est proportionnelle au volume de publication dans ces catégories.

quelques jours avant le « Pénélope Gate ». Ou encore cette reconfiguration après le grand débat du 4 avril 2017, en réaction à la sortie de Philippe Poutou : « Nous, quand on est convoqué par la police, on n'a pas d'immunité ouvrière, désolé, on y va. » Une remarque largement relayée par les médias. « Avec cette intervention, sa communauté Twitter, jusque-là inexistante, s'est considérablement développée : plus de 13 000 comptes sur une courte période », détaille David Chavalarias. Fusion, scission, émergence, disparition progressive ou encore changements brutaux de taille des groupes : ils ont ainsi pu identifier plusieurs dynamiques au sein des communautés et entre celles-ci.

Le phénomène fake news

Et si le Politoscope fait figure de baromètre du paysage politique français, les chercheurs ont également analysé le phénomène fake news. Ils se sont appuyés sur la liste des 179 fake news – associées à leur rectification – répertoriées dans le Decodex, outil de vérification des informations développé par *Le Monde*. Pour David Chavalarias, sur Twitter, pas de « tsunami » de fausses informations durant la campagne. « Sur les 60 millions de tweets

collectés, nous avons recueilli seulement 4 888 tweets comportant un lien référencé comme une fausse information par le Decodex, soit moins de 0,01 %. » Un chiffre sans doute minoré, mais qui donne à voir le rôle des communautés dans leur diffusion.

Car les chercheurs ont également distingué près de 2 millions de comptes actifs politiquement mais non rattachés à une formation politique : « la mer ». « Cette mer a engendré 43 % des 60 millions de tweets que nous avons analysés, mais seulement 19 % des tweets relayant des fausses nouvelles ! Alors que les communautés de François Fillon et de Marine Le Pen ont diffusé respectivement 50,75 % et 22,21 % du nombre total de fausses nouvelles », développe David Chavalarias. Tout en soulignant que leur analyse ne fait pas la distinction entre les comptes officiellement affiliés à une communauté, les militants ou d'éventuels « trolls ».

Une propagation locale

Ainsi, en l'absence de couverture médiatique, les fausses informations sont 4 fois plus partagées que leurs réfutations, de manière plus locale et restent circonscrites à leur communauté d'origine. Leurs démentis, quant à eux, touchent moins de monde, mais plus de communautés différentes, sans pour autant atteindre les comptes initialement exposés aux fake news. « Combattre les fausses nouvelles via des rectifications est une tâche délicate, expliquent les scientifiques, car on observe deux "hémisphères" : celui qui produit les fausses informations, les lit et les partage, et celui qui produit leurs décryptages et les diffuse. Il ne s'agit pas ici de stigmatiser telle ou telle communauté politique ni d'évaluer le nombre de personnes atteintes par ces fake news mais également de mesurer la diversité des communautés qu'elles touchent afin de mener la meilleure stratégie possible pour atténuer leurs effets. »

Les chercheurs développent actuellement une application déclinée du Politoscope. L'objectif : suivre l'actualité politique dans toute sa diversité et en temps réel à travers ce que disent et relaient plusieurs milliers de personnalités politiques françaises, toutes tendances confondues. « La numérisation de nos interactions sociales modifie sensiblement notre rapport à l'information. Nous mettons les outils de la recherche publique à la disposition des citoyens pour qu'ils puissent eux-mêmes mieux comprendre et analyser les prises de paroles et de positions des personnalités politiques », conclut David Chavalarias. II



Découvrez le site du politoscope sur
» <https://politoscope.org>

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

Pour les JO de 2024, sportifs et scientifiques font équipe

VIVANT

MATIÈRE



© J. BARAN/ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Physique. Optimiser les performances des athlètes français et contribuer à leur succès aux prochains Jeux olympiques et paralympiques à Paris, tel est l'objectif de Sciences 2024. Son directeur, Christophe Clanet, physicien au CNRS, nous explique les enjeux de ce projet de recherche inédit.

PROPOS RECUEILLIS PAR STÉPHANIE ARC

En quoi consiste Sciences 2024 ?

Christophe Clanet¹ : C'est le programme que nous avons lancé à l'École polytechnique début 2018 avec Frank Pacard, directeur de l'enseignement et de la recherche, en vue de la préparation des Jeux olympiques et paralympiques (JOP) de Paris en 2024. Destiné à aider les athlètes dans leur quête de performances, dans les 40 disciplines olympiques et les 20 disciplines paralympiques, il rassemble une cinquantaine de chercheurs et une centaine d'étudiants en sciences dures issus de onze grandes écoles² et, bientôt, des universités. Les équipes sciences et techniques des activités physiques et sportives, et les sciences médicales étaient déjà impliquées auprès des athlètes. Mais c'est la première fois, en France, que des physiciens, des mécaniciens et des mathématiciens s'engagent collectivement dans ce domaine. Durant les cinq prochaines années, l'objectif est de traiter 500 questions au travers de 100 projets de recherche et 400 projets étudiants. En juillet, 50 ont déjà été sélectionnés par notre conseil scientifique. Par exemple, deux projets menés à l'École des ponts et à l'École centrale de Lyon sur la cadence optimale en course de natation et sur le choix des pneus en course en fauteuil.

▲ Les anneaux géants sur le parvis du Trocadéro, face à la tour Eiffel, célèbrent Paris comme ville-hôte des JO 2024.



© E. PIERMONTREÁ

L'ambition de ces Olympiades, formulée par l'ex-ministre des Sports Laura Fessel, est élevée...

C.C. : L'objectif est d'obtenir 15 médailles aux Jeux paralympiques et de doubler le nombre de médailles olympiques qui est de 40 depuis 6 Olympiades. Jusqu'ici, les seuls pays qui ont doublé leur nombre de médailles en deux Olympiades sont l'Australie, à Sydney en 2000, et la Grande-Bretagne, à Londres en 2012.

Nous ne prétendons pas que la science est la clé de voûte de la réussite sportive, mais elle peut y contribuer en complétant les dispositifs existants.

Comment la physique et les mathématiques aident-elles les sportifs à monter sur les podiums ?

C.C. : Quelle que soit la discipline, l'écart entre le premier et le deuxième est inférieur au pourcent : il est de

l'ordre d'une main en natation (20 cm sur 100 m, soit 0,2 %), de l'ordre d'un bateau en aviron (20 m sur 2 km, soit 1 %) ou d'un pied au biathlon, comme lors de la course remportée par le biathlète Martin Fourcade aux Jeux de Corée en 2018. Gagner ne serait-ce que 15 cm sur 15 km (soit 0,01 %), en réduisant par exemple la friction des skis sur la neige, permet donc de passer de deuxième à premier. Il y a deux ans, mon laboratoire et celui de Lydéric Bocquet, à l'École normale supérieure, à Paris, ont ainsi été sollicités par l'équipe de Martin Fourcade pour concevoir un fart adapté aux conditions de température et d'humidité de la Corée. Caroline Cohen et Luca Canale ont beaucoup travaillé et progressé sur ce sujet. Optimiser le matériel en fonction du sportif peut lui permettre de gagner ces précieux pourcents.

Comment déterminez-vous vos objectifs de recherche ?

C.C. : Nous commençons par une journée d'immersion dans la discipline où nous observons un entraînement et échangeons avec les entraîneurs et les athlètes. Ensemble, nous identifions les questions sur lesquelles les sciences dures peuvent apporter des réponses. Nous travaillons ensuite dans nos laboratoires, puis nous revenons vers eux. Leurs besoins sont de trois types : développer un outil de mesure (nouveau capteur), valider leurs croyances ou déterminer un optimum. Par exemple, en aviron, où il est très important que les sportifs rament à l'unisson, nous travaillons sur la conception d'un outil qui permette de mesurer la synchronisation des rameurs et des rames.

1. Christophe Clanet est directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'hydrodynamique (CNRS/École polytechnique). 2. Soutenu par le CNRS et le Centre national des sports de la défense, un accord a été signé le 4 juillet 2018 entre l'École polytechnique, l'École normale supérieure de Paris, Lyon et Rennes, l'École centrale de Lyon, l'École des ponts ParisTech, l'École nationale supérieure d'arts et métiers, l'École nationale supérieure de techniques avancées ParisTech, l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris, l'École navale et l'Institut national des sciences appliquées Lyon.



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

Vous leur donnez ainsi la possibilité de vérifier si leurs intuitions sont bonnes...

C.C. : Oui. Depuis des années, par exemple, certaines équipes nationales d'aviron frottent leur bateau avec de la toile émeri, car elles sont persuadées qu'une coque rugueuse glisse mieux qu'une coque lisse. Pour nous, cette question est un joli problème de friction, aux frontières des connaissances actuelles sur l'impact des textures et du mouillage sur la friction hydrodynamique. La forme optimale des coques qui permet de minimiser cette friction est aussi un très beau sujet. À terme, nous espérons fabriquer ce bateau avec un constructeur français (actuellement les constructeurs de coques de haut niveau sont italiens ou allemands).

Vous identifiez enfin pour eux des équipements ou des conditions d'utilisation idéales.

C.C. : En effet, les sportifs souhaitent que nous puissions aussi définir pour eux des optimums. En course en fauteuil, par exemple, ils se demandent quel type de pneus et quelle pression utiliser pour diminuer les frictions sur le Tartan. Trop larges ou sous-gonflés, les pneus entraînent une importante surface de contact. Trop fins et surgonflés, ils s'enfoncent dans le revêtement de la piste et cela développe une friction importante. Nous cherchons donc à élaborer une règle pour trouver un optimum sur chaque piste. Autre exemple, en saut en longueur paralympique, où, en s'inspirant de Franck Barré, tous les athlètes sautent sur leur prothèse, il s'agit de concevoir la prothèse la mieux adaptée aux propriétés physiologiques de chacun. Une question que l'on ne peut négliger lorsque l'on sait que le champion olympique allemand



Markus Rehm saute quasiment un mètre plus loin que le deuxième...

N'y a-t-il pas là une forme d'inégalité dans la compétition ?

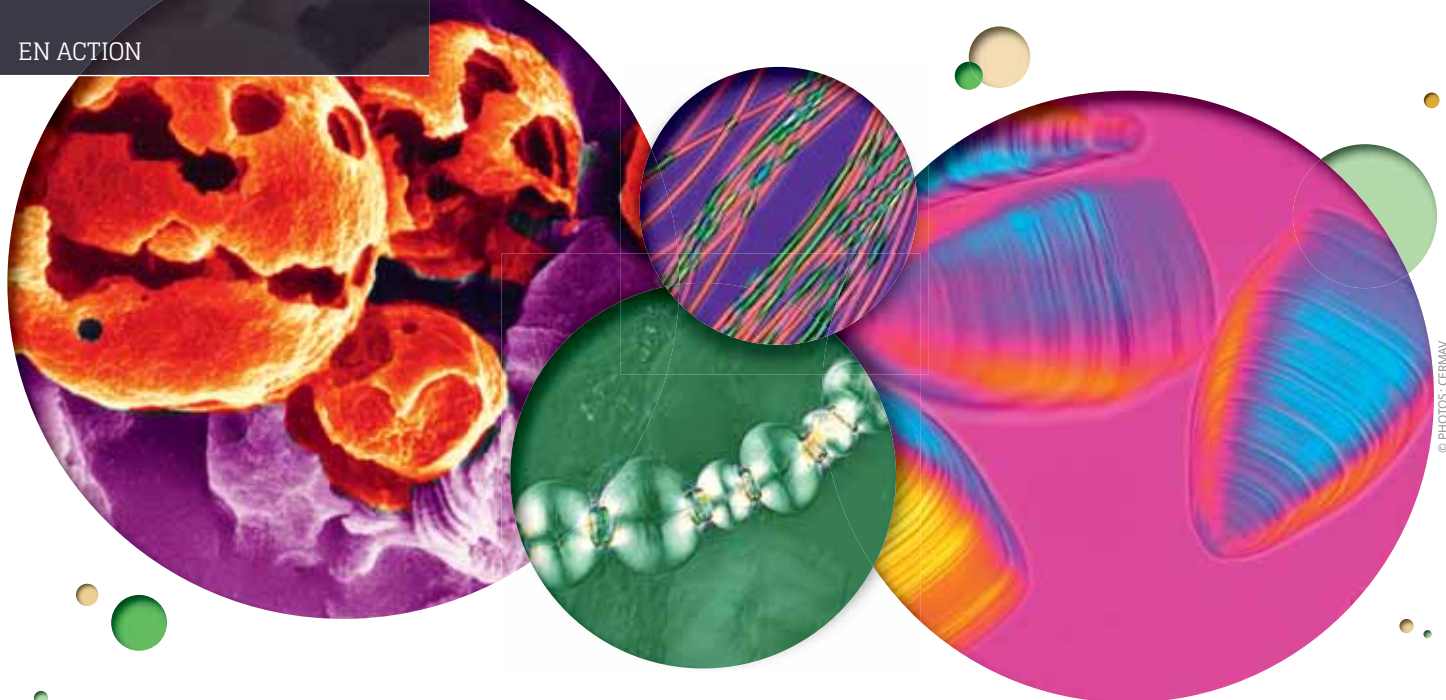
C.C. : Dès lors qu'un sport nécessite une « machine », il faut définir ce qui relève de la « triche » ou du dopage technologique. Comme dans le cyclisme, où l'on interdit les sources d'énergie extérieures, batterie ou moteur cachés, la lutte antidopage technologique va devenir un enjeu au même titre que la lutte contre le dopage médical. La question est de savoir si l'on donne le même matériel à chaque équipe ou si chaque nation a le droit d'utiliser le sien, comme c'est déjà le cas. Dans cette voie, chaque pays a la possibilité d'optimiser les équipements de ses sportifs... à condition de pouvoir financer les recherches. Ce n'est pas un hasard si les classements des pays selon leur nombre de médailles et selon leur PIB sont quasiment identiques. Et si la Grande-Bretagne occupe aujourd'hui la 2^e place en nombre de médailles alors qu'elle était à la 36^e en 1996, c'est parce qu'elle a financé ce secteur. En France, cela se met en place. Pour Sciences 2024, nous menons une levée de fonds pour financer les projets de recherche (thèses et post-doctorats). Une dizaine de

▼ Comme Markus Rehm, les athlètes sautent sur leur prothèse. Il s'agit de concevoir la prothèse la mieux adaptée à chacun.

thèses Sciences 2024 vont ainsi être lancées dès janvier 2019.

Cette collaboration sportifs-chercheurs porte-t-elle ses fruits à d'autres niveaux ?

C.C. : Oui, car au-delà des performances réalisées par les athlètes aux JOP, ce projet se prolonge par le développement d'innovations techniques, telles que les prothèses ou les fauteuils élaborés en paralympisme, et par la création de start-up telles que Phyling, spécialisée dans le développement de capteurs spécifiques au haut niveau, la collecte de données et leur analyse. La typologie des fibres musculaires que nous avons réalisée chez les haltérophiles va aussi nous permettre d'identifier les pathologies précoces du muscle, en collaboration avec l'hôpital de Garches (Hauts-de-Seine). Enfin, avec les maquettes pédagogiques Roxana, Sciences 2024 vise la promotion de l'enseignement des sciences dans les collèges et les lycées au travers d'exemples tirés du sport. Ce projet amorcé par Roxana Maracineanu, ministre des Sports (nommée en septembre 2018) est développé par des enseignants de classes préparatoires avec les équipes de Sciences 2024. L'ensemble de ces actions constituera l'héritage de Sciences 2024. ||



© PHOTOS: CERMAY

Les sucres, nouvelles molécules de la santé

MATIÈRE

VIVANT

Chimie. VIH, obésité, Parkinson... autant de maladies qui pourraient être soignées grâce à des glucides complexes. En s'inspirant de ces sucres, présents à la surface de nos cellules, plusieurs équipes de recherche élaborent différentes stratégies. Démonstration avec six applications.

PAR GRÉGORY FLÉCHET

GLYSCSCIENCES

Disciplines qui étudient les glucides complexes et leurs relations avec les protéines et les lipides.

Souvent pointé du doigt pour ses méfaits, le sucre inspire aussi de nouvelles voies thérapeutiques. Les spécialistes des **glysciences** s'intéressent ainsi à la structure spatiale et aux propriétés chimiques des longues chaînes de glucides présentes à la surface de nos cellules. « Ces sucres complexes sont impliqués dans la plupart des maladies chroniques et infectieuses », explique Anne Imberty, directrice du Centre de recherche sur les macromolécules végétales (Cermav) du CNRS, à Grenoble. Ils sont en effet reconnus par des récepteurs protéiques qui se trouvent sur les bactéries et les virus mais aussi sur les cellules du système immunitaire. »

Pour combattre une infection, les chercheurs ont donc eu l'idée de façonner des molécules « leurres » qui miment l'action de ces glucides complexes tout en ayant un pouvoir d'attraction démultiplié. Au lieu de se fixer sur les cellules de la paroi intestinale ou pulmonaire pour y déclencher une réaction infectieuse, les agents pathogènes vont alors se lier à ces molécules

« leurres » (lire « Un spray contre les infections pulmonaires », p. 42). « Ces molécules "antiadhésives" permettent de neutraliser un micro-organisme pathogène, d'atténuer non seulement l'infection mais aussi l'inflammation », développe Julie Bouckaert chercheuse au sein de l'Unité de glycobiologie structurale et fonctionnelle¹.

Les sucres complexes subissent par ailleurs une succession de réactions enzymatiques destinées à les assembler et à les associer à d'autres molécules comme les lipides ou les protéines : c'est la glycosylation. Biochimiste dans le même laboratoire que Julie Bouckaert, Anne Harduin-Lepers étudie les étapes ultimes de ce processus dont le dérèglement est à l'origine de cancers épithéliaux comme ceux du sein et du côlon. « Si nous parvenons un jour à identifier les mécanismes moléculaires qui sous-tendent cette perturbation, nous pourrions développer de nouvelles voies thérapeutiques agissant directement sur les enzymes de la glycosylation », espère la chercheuse. II



À l'occasion de l'Année de la chimie, découvrez le nouveau blog du CNRS Le Journal sur lejournald.cnrs.fr/blogchimie

1. Unité CNRS/Université de Lille. 2. Institut parisien de chimie moléculaire (CNRS/Sorbonne université), Institut Pierre-Louis d'épidémiologie et de santé publique, Laboratoire processus d'activation sélectif par transfert d'énergie uni-électronique ou radiatif (CNRS/ENS Paris/Sorbonne Université). 3. Unité CNRS/Sorbonne Université. 4. Unité CNRS/Grenoble INP Pagora. 5. Unité CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes.

► Vues au microscope de grains d'amidon (à gauche et à droite), de fibres de cellulose régénérée (au centre en haut) et de bois (au centre en bas).

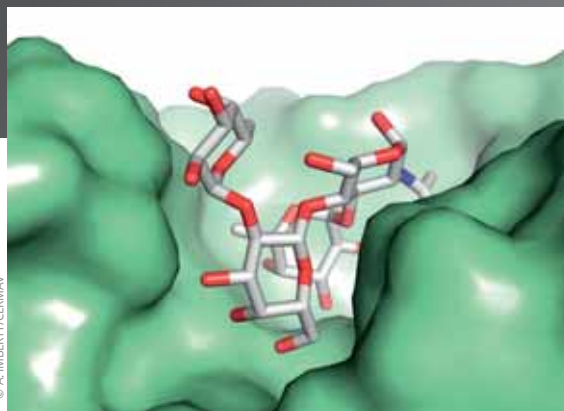
DES GROUPES SANGUINS MIEUX IDENTIFIÉS

Les sucres complexes qui tapissent nos cellules jouent un rôle majeur dans nos interactions avec les protéines portées par les virus, les bactéries et les cellules de notre système immunitaire. On sait aussi qu'une maladie bactérienne comme le choléra affecte davantage les individus porteurs du groupe sanguin O. Partant de ces constats, des équipes de Grenoble et de Graz (en Autriche) essaient de développer une méthode de détection des groupes sanguins reposant sur les récepteurs bactériens.

Les chercheurs ont détourné la machinerie cellulaire d'une bactérie pour qu'elle fabrique des récepteurs protéiques disposant d'atomes de fluor

en des points précis de leur squelette moléculaire. « Ainsi modifiés, les récepteurs protéiques ont témoigné d'une affinité plus forte pour les sucres portés par les globules rouges du groupe sanguin A », résume Anne Imberty, biochimiste au CNRS et directrice du Cermav, à Grenoble. Le fait de pouvoir déplacer à loisir les atomes de fluor à la surface de la protéine offre la possibilité de mettre au point des biomarqueurs spécifiques à chaque groupe sanguin. Le but : rendre plus fiables les tests destinés

à limiter les risques de rejet associés aux transfusions sanguines.



© A. IMBERTY/CERMAV

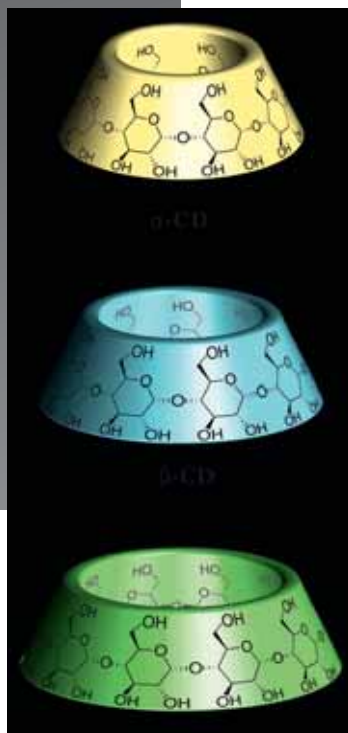
► Molécule de sucre dans le site de reconnaissance d'un anticorps humain (en vert). Les sucres des cellules sanguines jouent un rôle majeur au niveau immunitaire.

LA THÉRAPIE GÉNIQUE DANS DES CAPSULES

Chaînes cycliques de glucose en forme d'abat-jour, les cyclodextrines ont la capacité d'encapsuler des molécules, comme dans une cage. À partir de ces « cages », une équipe réunissant des chercheurs issus de trois laboratoires français² a élaboré une structure qui peut transporter des molécules biologiques, et, en particulier, des fragments d'ADN. « Grâce à des modifications chimiques sur la cyclodextrine, nous avons permis que ces molécules s'emboîtent, explique Matthieu Sollogoub, enseignant-chercheur à l'Institut parisien de chimie moléculaire³. Nous avons ensuite créé une succession de points d'ancrage (chargés positivement) sur ces emboîtements, ce qui permet à un brin d'ADN (chargé négativement) de s'y arrimer. »

Ces structures présentent aussi l'avantage d'être réversibles. Une fois la molécule d'intérêt acheminée dans le cytoplasme d'une cellule, la colonne de cyclodextrines se dégrade spontanément libérant l'ADN et évitant ainsi tout risque de toxicité pour l'organisme. Ces caractéristiques laissent notamment entrevoir la possibilité d'utiliser les cyclodextrines comme vecteurs de gènes dans le cadre de la thérapie génique.

► Schéma de molécules de cyclodextrine en forme d'abat-jour. En les empilant, les chercheurs fabriquent une « cage » capable de transporter des fragments d'ADN.



© M. SOLLOGOUB

LA FIBRE INTESTINALE DES PRÉBIOTIQUES

Grâce à un procédé novateur d'extraction des **hémicelluloses**, une équipe du Laboratoire génie des procédés papetiers (LGP2)⁴, du Cermav et du laboratoire Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité⁵, a isolé un mélange d'oligosaccharides au fort potentiel **prébiotique**. Après l'avoir testé sur des bactéries de notre système digestif, ce mélange a été administré à des souris. À l'aide d'analyses ADN, les chercheurs ont démontré que son absorption par les rongeurs avait favorisé la croissance des « bonnes » bactéries de leur système digestif. « Les indicateurs moléculaires de l'inflammation atteignaient des niveaux de concentration moins élevés que chez des souris n'ayant pas reçu de prébiotiques », précise Christine Chirat, professeure en chimie du bois au LGP2 et coordinatrice de ces travaux. Les bénéfices de ce mélange de sucres complexes, 100 % naturel, augurent de sa prochaine commercialisation comme complément alimentaire visant à corriger une carence en fibres. Reste à en caractériser la totalité des molécules qui le composent. Des applications médicales destinées à lutter contre l'obésité ou les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin pourront ensuite être envisagées.

HÉMICELLULOSE

Constituant du bois renfermant une grande diversité de sucres complexes.

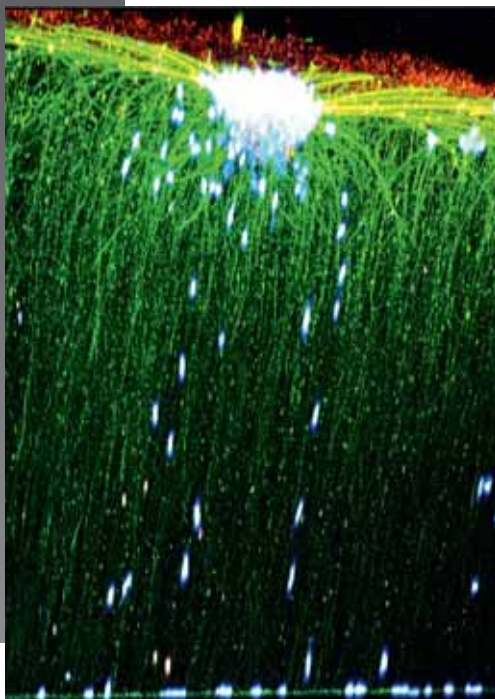
PRÉBIOTIQUE

Constituant alimentaire susceptible d'améliorer notre santé en stimulant certaines bactéries du microbiote intestinal.

UN GEL RÉPARATEUR DU TISSU CÉRÉBRAL

Si l'acide hyaluronique est surtout connu pour sa propension à gommer les rides, ses longues chaînes de sucres veillent aussi au bon développement de nos cellules, notamment dans le cerveau. En le combinant à un oligomère d'acides aminés (fragments de protéines courts), Rachel Auzély-Velty et son équipe ont conçu un gel susceptible de contrôler la régénération du tissu cérébral. « En injectant notre gel dans le cerveau de rats, nous avons déjà pu démontrer sa biocompatibilité tout en constatant par IRM que celui-ci restait parfaitement localisé dans la zone ciblée par l'injection », commente l'enseignante-chercheuse au Cermav. En associant leur gel à des cellules souches neurales, les chercheurs envisagent à présent de reconstruire des réseaux de neurones fonctionnels au niveau de zones cérébrales lésées à la suite d'un AVC. Cette stratégie pourrait aussi un jour compenser la destruction de cellules nerveuses liée à la maladie de Parkinson.

▲ Développement de neurites (prolongements de neurones) *in vitro* dans un gel ensemencé par des cellules souches neurales. Vue en microscopie biphotonique.



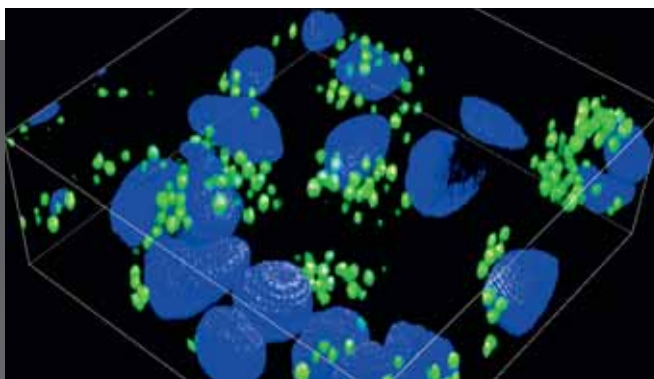
© L. HAIRARD, B. VAN DER SANDEN/INSERM/UTMC/IMAG

LE VIH STOPPÉ PAR UN MIME

Dans la lutte contre le virus du Sida, les premières molécules validées inhibaient la réplication du VIH au sein de cellules déjà infectées. Bloquer le virus avant son entrée dans ses cellules cibles est une piste plus récente⁶. Le mécanisme d'entrée du VIH met en jeu de multiples cibles thérapeutiques potentielles, souvent étudiées indépendamment les unes des autres. En rupture avec ces approches, un consortium français⁷ a conçu une stratégie originale visant à bloquer simultanément l'interaction du VIH avec trois acteurs majeurs de son entrée : le récepteur CD4, les corécepteurs CCR5 et CXCR4, et un polysaccharide linéaire et sulfaté, l'héparane sulfate. Pour cela les chercheurs ont conçu et synthétisé la molécule CD4-HS : un mime fonctionnel du récepteur CD4 lié à un dodécamère synthétique d'héparane sulfate. « Nous avons d'abord vérifié *in vitro* que CD4-HS bloquait les sites de reconnaissance du VIH prévus, lui interdisait l'accès aux cellules et possédait une remarquable activité antivirale, explique David Bonnaffé, membre du consortium et enseignant-chercheur à l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay⁸. Puis une optimisation moléculaire nous a permis de sélectionner un composé encore plus actif pour une étude *in vivo* chez le macaque, qui a mis en évidence la capacité de notre composé à empêcher une contamination via les muqueuses vaginales. » Cette efficacité thérapeutique chez l'animal permet d'envisager d'utiliser cette molécule à des fins préventives et a confirmé son potentiel dans des traitements curatifs.

UN SPRAY CONTRE LES INFECTIONS PULMONAIRES

Deux chimistes du CNRS ont conçu des molécules « leurres » spécialement destinées aux micro-organismes pathogènes responsables des infections pulmonaires. « Elles sont constituées d'une charpente chimique sur laquelle se greffent plusieurs sucres de synthèse. Ceux-ci imitent les glucides complexes présents à la surface des cellules qui tapissent la paroi des poumons », détaille Sébastien Gouin, chercheur au laboratoire Chimie et Interdisciplinarité : synthèse, analyse, modélisation⁹. Introduits sous forme de spray dans les voies respiratoires, ces composés s'arriment solidement aux récepteurs protéiques des agents pathogènes, les empêchant de se fixer à la paroi pulmonaire. « En réduisant presque à néant le pouvoir de virulence de ces micro-organismes, cette stratégie antiadhésive offre l'opportunité de diminuer significativement le risque d'infection chez les personnes immunodéprimées



© P. LE PAPE/LABORATOIRE ICMIM

comme les patients placés en soins intensifs ou les malades de la mucoviscidose », commente Sébastien Vidal de l'Institut de chimie et biochimie moléculaires et supramoléculaires¹⁰. L'innocuité de ces molécules antiadhésives a été démontrée chez la souris, mais d'autres tests doivent être réalisés chez l'animal. S'ils sont concluants, les premiers essais cliniques sur l'homme pourraient débiter d'ici à trois ou cinq ans.

▲ Adhésion de spores d'un agent infectieux (*Aspergillus fumigatus*, en vert) sur des cellules pulmonaires (en bleu). Vue en microscopie de fluorescence.

6. Validée par la commercialisation des antirétroviraux Enfuvir et Maraviroc. 7. Des chercheurs du CEA, du CNRS, de l'Institut Pasteur et des universités Joseph-Fourier et Paris-Sud. 8. Unité CNRS/Université Paris-Sud. 9. Unité CNRS/Université de Nantes. 10. Unité CNRS/Université de Lyon/Insa Lyon/École supérieure de chimie, physique, électronique de Lyon.

Les pigments révèlent l'invisible

+ Lire l'intégralité de cet article sur notre blog « De la découverte à l'innovation » sur lejournel.cnrs.fr

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

MATIÈRE

Chimie. Des matériaux qui changent de couleur sous l'effet de chocs, de modification de pression ou de température ? C'est possible grâce aux pigments dits « intelligents », technique développée par OliKrom, start-up implantée à Pessac.

À la croisée de la recherche fondamentale et de ses applications industrielles, OliKrom s'inscrit dans le courant de la deeptech : des innovations technologiques de rupture, souvent sorties des laboratoires de recherche fondamentale, susceptibles de révolutionner leur marché et d'en ouvrir de nouveaux. « Nos pigments répondent à des problématiques environnementales qui concernent des domaines très variés, de l'aéronautique aux revêtements des bâtiments en passant par les emballages alimentaires, explique Jean-François Létard, ancien directeur de recherche à l'Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux (ICMCB)¹, et fondateur de la start-up. La mission d'OliKrom est de répondre à ces problématiques, de la recherche à la production, en développant encres et peintures sensibles aux modifications de leur environnement et prêtes à l'emploi. »

De la paille à l'industrie

En 2000, c'est l'aboutissement de travaux menés à l'ICMCB depuis des années : les pigments à changement de couleur sont enfin maîtrisés à l'échelle du laboratoire. En 2005, Jean-François Létard et son équipe déposent un premier brevet international². Puis, en 2013, Jean-François Létard suit le programme HEC Challenge+ afin de se former aux pratiques de management et de l'entrepreneuriat. En 2014, il décide de mettre sa carrière de chercheur entre parenthèses pour créer OliKrom, à Pessac, dans l'agglomération bordelaise. Aujourd'hui, OliKrom compte une équipe de 14 personnes (docteurs, ingénieurs...) et vient d'acquérir un site industriel de plus de 1600 m² dédié à son centre administratif, à son bureau de recherche et développement et à sa propre unité de production.

L'entreprise collabore avec Airbus depuis près de six ans à travers Chococomp, un consortium qui regroupe des laboratoires (LCMCP³, ICMCB, Institut P', ENSMA-P'). « Notre mission, détaille Jean-François Létard, est

de développer des revêtements sensibles à des stimuli extérieurs. Par exemple, lors du transport et de l'assemblage des différentes parties d'un avion, des chocs peuvent se produire. Des chocs qui peuvent être sous la surface ou à peine visibles : leur détection nécessite des inspections non négligeables. Nous avons donc développé des pigments capables de repérer ces impacts sur les matériaux composites : la couleur de la peinture change sous l'effet d'une variation de pression ou concomitamment à un choc. Cela permet également de quantifier de manière précise les dommages subis. » En parallèle, l'équipe d'OliKrom développe des revêtements thermosensibles propres à identifier des surchauffes – deux seuils d'alerte, à 120° et 140°, pour deux variations de couleur.



OliKrom est par ailleurs l'un des quatre lauréats du projet « Route du futur », lancé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. « Le projet Sushis⁴, pour une route intelligente, comprend le développement de signalisations horizontales photoluminescentes, qui renforceront la sécurité des usagers en conditions météo dégradées et permettront des économies d'énergie, plus particulièrement en milieu urbain », rapporte le chercheur-entrepreneur. Des produits intelligents aux propriétés caméléons : pour OliKrom, l'aventure ne fait donc que commencer. ■

▶ Avec une peinture photo-luminescente, le marquage au sol des routes sera visible la nuit et par mauvais temps.

1. Unité CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP. 2. Le portefeuille de brevets est détenu par le CNRS. OliKrom exploite également plusieurs licences en exclusivité. 3. Unité CNRS/ Collège de France/Sorbonne Université. 4. L'un des six modules du projet I-Street, porté par le groupe Eiffage, en partenariat avec Total MS – Direction Bitume, OliKrom et l'Isttar.

Des données sous protection



Numérique. Déléguée à la protection des données au CNRS, Gaëlle Bujan revient sur la mise en place du Règlement général sur la protection des données au sein de l'organisme.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

Qu'est-ce que le Règlement général sur la protection des données (RGPD) entré en application le 25 mai dernier ?

Gaëlle Bujan : Le RGPD est le règlement européen relatif à la protection des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces dernières. En France, il étend la loi informatique et libertés. Ce règlement organise les relations et les dispositions que prennent entreprises et institutions pour respecter la vie privée des personnes. Il s'inscrit évidemment dans le contexte de l'essor du numérique dans lequel les données circulent très vite. La protection de la vie privée est devenue un droit fondamental : chaque individu doit devenir maître de l'utilisation de ses données personnelles.

concernant. D'autre part, il s'applique aux programmes de recherche qui utilisent des données à caractère personnel. La communauté scientifique doit s'approprier les nouveaux textes, les concepts, réaliser des démarches préalables pour protéger les données de la recherche et sécuriser leurs activités scientifiques. Les 550 directeurs d'unité CNRS, responsables de traitements, seront garants de la conformité à la réglementation.

La protection des données n'est pas une problématique nouvelle au CNRS...

G. B. : En effet. Dès 2010, le CNRS s'est organisé de manière volontariste pour la protection des données. Cela s'est traduit notamment par la nomination, en 2011, d'un correspondant « informatique et libertés » dont la mission était de faciliter certaines formalités sans passer par la Commission nationale de l'informatique et des libertés. Ces actions se poursuivent désormais avec le service protection des données. Nous ne souhaitons pas ajouter de lourdeur administrative, mais aider et servir les unités avec, par exemple, la réadaptation des formulaires au RGPD, la rédaction de modèles de mention d'informations, ou encore une forte communication sur l'intranet. Notre équipe, composée de cinq personnes, est joignable pour toute demande d'informations, d'aide pour les formalités, de formations.

Quelles sont vos priorités ?

G. B. : Notre objectif principal est de favoriser l'activité du CNRS en garantissant la conformité à la réglementation sur la protection des données et de la vie privée des personnes. Nous avons retenu cinq axes stratégiques : développer une culture de la protection des données au CNRS en sensibilisant sur la réglementation, les droits de chacun ; mettre en « conformité RGPD » les traitements de données déjà existants au CNRS ; constituer la documentation sur la conformité qui inclut une centralisation des registres pour toutes les entités du CNRS concernées ; développer des mesures techniques et organisationnelles pour la protection des données, les chiffrements des portables... les outils de l'offre de service de la direction des systèmes d'information sont ici essentiels ; enfin, construire des politiques de protection des données adaptées aux disciplines et aux activités du CNRS qu'elles soient de nature administrative ou scientifique. Sur ce dernier volet, nous travaillons à la mutualisation et à la simplification des pratiques, en concertation avec nos partenaires de l'enseignement supérieur et de la recherche. ■

Quel impact ce Règlement a-t-il sur les agents du CNRS ?

G. B. : Le CNRS appliquait la loi informatique et libertés ; il s'agit maintenant de se conformer à la réglementation européenne et française. D'une part, le RGPD a un impact sur les données administratives des agents qui peuvent solliciter des modifications, des suppressions de données, par exemple, et qui seront progressivement mieux informés de l'utilisation des données les





© PHOTOS: L. THIAULT



© F. AUBAT/TARA EXPÉDITIONS FOUNDATION

Tara a achevé son tour des coraux



© P. WEST/BOQUEST STUDIO/TARA EXPÉDITIONS

Dans les îles des Tuamotu (Polynésie française), le blanchissement des coraux a atteint 30 à 50%. L'analyse des échantillons de coraux prélevés permettra de mieux comprendre la vie des récifs et leur capacité d'adaptation.

Le 27 octobre, la goélette *Tara* a retrouvé Lorient, son port d'attache breton, après deux ans et demi de navigation et 100 000 km parcourus dans l'océan Pacifique. L'expédition Tara Pacific, qui a réuni 70 experts internationaux, a permis d'explorer l'impact des pressions anthropiques sur les récifs coralliens, autour de 32 îles dans 26 pays. Si seulement 25 % des coraux sont en bonne condition, les scientifiques ont observé sur place des situations très contrastées mêlant facteurs de stress globaux – réchauffement climatique et acidification de l'océan – et locaux (techniques de pêche, urbanisation, pollutions, etc.). Les recherches vont se poursuivre avec l'étude de quelque 36 000 échantillons de tissus coralliens, de poissons associés, de sédiments, d'eau à différentes profondeurs... prélevés lors de 2 650 plongées. **II** M. R.



© S. FRETWELL/TARA EXPÉDITIONS



Lire notre entretien avec Serge Planes, directeur scientifique de Tara Pacific sur lejournel.cnrs.fr

Des solutions existent pour protéger la nature

VIVANT

TERRE



DR

Biologie. Selon certains, la sauvegarde de la biodiversité serait complètement déconnectée du réel ou peu conciliante avec les activités humaines. Pour Laurent Godet, coauteur d'une étude qui a analysé quelque 13 000 articles publiés sur le sujet, ces affirmations n'ont aucun fondement. Entretien.

PROPOS RECUEILLIS PAR MATHIEU GROUSSON

Avec Vincent Devictor¹, vous avez publié une analyse bibliographique de la littérature scientifique consacrée à la biologie de la conservation². Quel en est le but ?

Laurent Godet³ : La biologie de la conservation est une discipline jeune pour laquelle il existe peu de synthèses des connaissances produites. Or s'agissant d'une discipline censée proposer des mesures pour ralentir, voire stopper, la crise de la biodiversité, alors même que celle-ci s'accélère, il est essentiel de s'interroger sur son efficacité. D'où notre idée de dresser un état des lieux des résultats accumulés depuis quinze ans.

D'autant que la biologie de la conservation est la cible de nombreux détracteurs...

L. G. : En effet, selon eux, notre discipline ne délivrerait que des messages pessimistes contre-productifs, ses outils seraient inefficaces, et elle ne s'intéresserait qu'à des **hotspots** de biodiversité tropicale. Nous serions déconnectés du réel et incapables de proposer des solutions intégrant les problématiques socio-économiques... Notre étude est aussi une réponse à cette litanie sans fondement.

Comment avez-vous procédé ?

L. G. : Nous avons examiné les

12 971 articles publiés entre janvier 2000 et février 2015 par les biologistes de la conservation. Nous les avons classés en trois catégories selon qu'ils s'intéressaient à l'état de la biodiversité, aux menaces qui pèsent sur celle-ci ou aux solutions pour faire face à son déclin. Nous avons aussi regroupé les publications non empiriques (opinions, débats, controverses, etc.) dans une quatrième catégorie dite « autre ». Regroupant 76 % des articles de notre corpus initial, l'étude reflète le dynamisme et le caractère non monolithique de notre discipline.

Quels sont les principaux résultats de votre étude ?

L. G. : Au sujet des 1 050 articles consacrés à l'évaluation de l'état de santé d'une espèce ou d'un écosystème, 125 concluaient à un mauvais état, 767 à un état potentiellement mauvais, 147 à un bon état et 11 à un état potentiellement bon. Notre planète connaît bien une crise environnementale majeure... Pour autant, au sein de ce tableau globalement négatif, la littérature scientifique fait également état de situations positives, en Afrique, en Amérique du Sud et en Europe. On peut ainsi citer le retour spontané des grands prédateurs que sont le loup, l'ours, le lynx et le glouton sur

▲ Le lynx est parmi les grands prédateurs à nouveau présents sur le continent européen.



© J.-C. MUÑOZ/BIOSPHOTO

HOTSPOTS

Zone géographique représentative de la biodiversité, avec une grande richesse en espèces.

notre continent. Bien sûr, notre étude ne porte que sur les quinze dernières années. Si bien que nous n'évaluons que l'état de santé des « survivants ». Une étude comparable sur les cinq cents dernières années aurait au contraire révélé

1. Chercheur à l'Institut des Sciences de l'évolution de Montpellier (CNRS/ Université de Montpellier/IRD/EPHE) 2. «WhatConservation does ?», L. Godet et V. Devictor, *Trends in Ecology and Evolution* (<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.07.004>). 3. Chercheur au sein de l'unité Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG - Unité CNRS/université de Nantes/Université de Rennes 2/UBO/Université Caen Normandie/Université d'Angers/EPHE).



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

▶ Avec plus de 130 couples nicheurs dans les gorges du Tarn et de la Jonte, la réintroduction du vautour fauve, *Gyps fulvus*, est un succès.

© F. SARAZIN/CNRS PHOTO THÈQUE

envahissantes et, enfin, les extinctions en chaîne découlant des trois premiers facteurs. S'y ajoutent aujourd'hui les changements climatiques qui déséquilibrent encore plus les milieux naturels. Il est donc malhonnête de mettre en avant un défaut de connaissance comme argument pour repousser la mise en place de mesures de conservation.

Selon vos détracteurs, la chute de la biodiversité serait plutôt le signe de l'inefficacité des mesures de conservation...

L. G. : Considérons les faits : en matière de protection, la majorité des études portent sur les aires protégées. Parmi ces publications, 90 font état d'un succès contre seulement 18 qui rendent compte d'un échec. La clé de voûte des mesures de conservations est donc efficace.

Ces aires sont-elles pour autant compatibles avec l'activité humaine ?

L. G. : On entend dire ici et là que les aires protégées reviendraient à mettre la nature sous cloche. Mais c'est une vision archaïque. Par exemple, en France métropolitaine, seuls 100 km², soit 0,02 % du territoire, sont labellisés Réserve biologique intégrale, y interdisant toute activité humaine. Quant aux réserves intégrales de parcs nationaux, elles n'ont pour ainsi dire jamais vu le jour. À l'inverse, la majorité des aires protégées intègrent des activités humaines. Ainsi, la préservation de l'environnement va de pair avec l'agropastoralisme et le tourisme dans les réserves naturelles nationales et régionales et dans tous les parcs naturels régionaux. Citons encore les nombreux travaux sur les espèces réintroduites avec succès, c'est le cas de plusieurs espèces d'oiseaux en Europe, comme le vautour fauve dans les Cévennes. Des expériences de restauration de milieux ont aussi des effets positifs et

rapides. En Finlande, la suppression de la canalisation d'un cours d'eau a ainsi entraîné un retour de communautés d'invertébrés aquatiques en quelques années.

Il y a aussi des échecs ?

L. G. : Oui, bien sûr. Par exemple, 40 études font état de l'insuffisance de la mise en place d'aires protégées. De même, aux Pays-Bas, une série de travaux a démontré l'inefficacité des mesures agro-environnementales pour conserver des prairies favorables aux oiseaux. D'où l'intérêt du large panel de solutions de conservation proposé par les spécialistes.

Si des solutions existent, n'y a-t-il pas un paradoxe à constater la poursuite de l'érosion de la biodiversité ?

L. G. : En matière environnementale, nous faisons face à des politiques de petits pas très largement insuffisantes. Alors que la plupart des propositions des scientifiques sont *a minima* des intérêts environnementaux, elles sont souvent ensuite vidées de leur substance dans des compromis qui n'ont pas grand sens. Citons le cas du rôle des genêts, un oiseau qui niche au sol dans les prairies humides. Les exigences agronomiques imposent souvent une fauche précoce alors qu'il faudrait une fauche tardive pour éviter de détruire les œufs et les poussins de cette espèce. Résultat : les réglementations imposent souvent de faucher à une date intermédiaire, ce qui ne résout rien pour personne !

Que faudrait-il faire ?

L. G. : Accepter qu'il puisse y avoir des oppositions, des conflits et des arbitrages difficiles. Et que la sauvegarde de la biodiversité impose des choix qui ne sont pas toujours favorables à l'exploitation. Notre étude démontre que les scientifiques font leur travail. Aux politiques de faire le leur ! ■

des disparitions massives. Quoi qu'il en soit, il apparaît que les conclusions des biologistes de la conservation sont loin d'être unanimement pessimistes.

Les causes de cette dégradation sont-elles aujourd'hui bien identifiées ?

L. G. : Oui. Notre étude montre que la littérature de ces quinze dernières années documente très bien ce que nous savons depuis plus de trente ans. À savoir que les menaces principales qui pèsent sur la biodiversité sont la fragmentation des habitats, la surexploitation des ressources, l'introduction d'espèces exotiques

▶ Le nombre de pontes de la tortue verte, *Chelonia mydas*, a été multiplié par six de 1977 à 2013, grâce à sa protection.

© A. ROUSE/PHOTOSHOTO/BIOSPHOTO

MATIÈRE

Chimie. À la question : qui a inventé la photographie couleur ? La réponse spontanée n'est pas forcément Louis Ducos du Hauron. On lui doit pourtant les premières épreuves trichromes, à partir d'un procédé toujours au cœur de nos images numériques.

PAR SAMAN MUSACCHIO

Et la photographie créa la couleur

Vase au bégonia, verre de vin et tulipe. Le titre est peu emballant, le sujet encore moins. Pourtant, il s'agit d'une des toutes premières épreuves couleur de l'histoire de la photographie. Ce cliché date de 1879¹ et a été pris en trichromie par un certain Louis Ducos du Hauron, technique qu'il nommera héliochromie au charbon (Voir schéma, p. 49). Cette nature morte, comme une partie de ses œuvres² est conservée au musée des Beaux-Arts d'Agen, ville où cet inventeur méconnu du grand public finira ses jours. Musée qui a la délicate tâche de veiller sur ce patrimoine fragile et inestimable.

C'est justement pour définir des protocoles de conservation adaptés qu'une quinzaine de ces pièces ont été envoyées au Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), à Paris. Là, elles sont analysées par une équipe pluridisciplinaire de chimistes, d'historiens, de conservateurs³ et confrontées à d'autres épreuves produites à la même époque afin de mieux com-

prendre les processus chimiques, les pigments utilisés et connaître les dégradations⁴. Bref, sonder les matériaux pour comprendre comment les photographies couleur ont été réalisées.

La course à la couleur

Sur cette question de l'antériorité de la couleur, l'histoire demeure floue. Pour certains, les premières photographies couleur seraient apparues dès 1850, réalisées par Levi Hill, pasteur baptiste américain. Mais cette piste reste controversée. « Ces "hilotypes" montrent des couleurs très fugitives, loin des résultats obtenus par Ducos du Hauron », commente Jean-Paul Gandolfo, enseignant et spécialiste de photographie ancienne à l'École nationale supérieure Louis-Lumière.

Pour lui, le point de départ se situerait en 1861, à Édimbourg (Écosse), avec l'expérience du physicien James Clerk Maxwell, qui serait la première à démontrer la synthèse additive trichrome en utilisant trois lanternes magiques (à filtres rouges, verts et



▼ Vase au bégonia, verre de vin et tulipe, de Louis Ducos du Hauron (1879), une des premières photographies couleur.

bleus). Ducos du Hauron aurait-il eu connaissance de cette expérience ? Alors qu'il y a une synchronicité absolue – la première photographie couleur de Ducos du Hauron date de 1869 – il n'y a à ce jour aucune preuve historique qui permette de confirmer cette hypothèse.

Mais le 7 mai 1869, alors que Ducos du Hauron s'apprête à présenter à la Société française de photographie sa méthode de photographie couleur, le physicien français Charles Cros décrit le même procédé. Cette rivalité n'empêchera pas les deux hommes d'« imaginer des solutions en partie communes par rapport aux problématiques de la photographie couleur trichrome, mais avec deux postures très différentes : dans les années 1880, Charles Cros proposera un nouveau procédé à base de colorants, alors que Ducos du Hauron restera attaché aux techniques pigmentaires », explique Jean-Paul Gandolfo.

C'est d'ailleurs en raison de ses explorations liées aux pigments et à la chimie – souvent différentes d'une

1. Il existe plusieurs versions du *Vase au bégonia*. 2. Environ une centaine d'épreuves sont partagées, entre autres, par le musée Nicéphore-Népce à Chalon-sur-Saône, le musée d'Orsay, l'Académie des sciences et le musée des Beaux-Arts d'Agen. La George Eastman House, à Rochester aux États-Unis, le plus ancien musée de photographie du monde, en détient aussi quelques-unes. 3. Cette équipe est constituée de scientifiques, conservateurs de l'ESRF, du CNRS, du C2RMF, du musée d'Orsay, de l'École nationale supérieure Louis-Lumière, de la faculté des sciences et ingénierie de Sorbonne Université, de Chimie Paris Tech, et d'une conservatrice-restauratrice de photographies indépendante. 4. « From Obscurity to Light: Rediscovering Ducos du Hauron's Color Photography Through the Review of his Three-Color Printing Processes and Synchrotron Micro-Analysis of his Prints », M. Cotte, T. Fabris, et al., *Angew.Chem.Int.*, 2018, PDF consultable sur <https://doi.org/10.1002/anie.201712617>. 5. *Vase au bégonia, Falaise d'Alger*, et un fragment inconnu. 6. Unité CNRS/Sorbonne Université. 7. Ducos du Hauron est également l'inventeur des anaglyphes, ces images qui restituent l'impression de relief, et il dépose des brevets qui annoncent le cinématographe des frères Lumière.



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

épreuve à l'autre – que l'œuvre de Ducos du Hauron est si difficile à comprendre et à conserver.

Au cœur de la matière

Parmi les 27 épreuves analysées par des méthodes non invasives afin d'en déterminer les techniques et les constituants, 3 clichés⁵, où un prélèvement était possible, ont été confiés à Marine Cotte, chercheuse au Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale⁶ et responsable d'une ligne de lumière au synchrotron européen de Grenoble.

« C'est la première fois que je travaille sur une photographie, indique la chimiste, qui s'attelle d'habitude à la peinture. Quand cela est possible, il faut toujours privilégier l'analyse des œuvres d'art in situ, sans prélèvement. Mais parfois, notamment pour obtenir des informations sur la matière dans des couches internes, il peut être nécessaire de prendre de minuscules fragments. L'utilisation

de microscopes par rayons X ou infrarouge sur installation synchrotron permet alors de sonder la matière avec une résolution micronique et d'en révéler tous les détails. Ces trois œuvres présentaient des dégradations plus ou moins importantes avec parfois des décollements, laissant apparaître des couches sous-jacentes. Cela nous a permis d'effectuer des prélèvements dans des couches d'habitude inaccessibles. »

Gélatine et bleu de Prusse

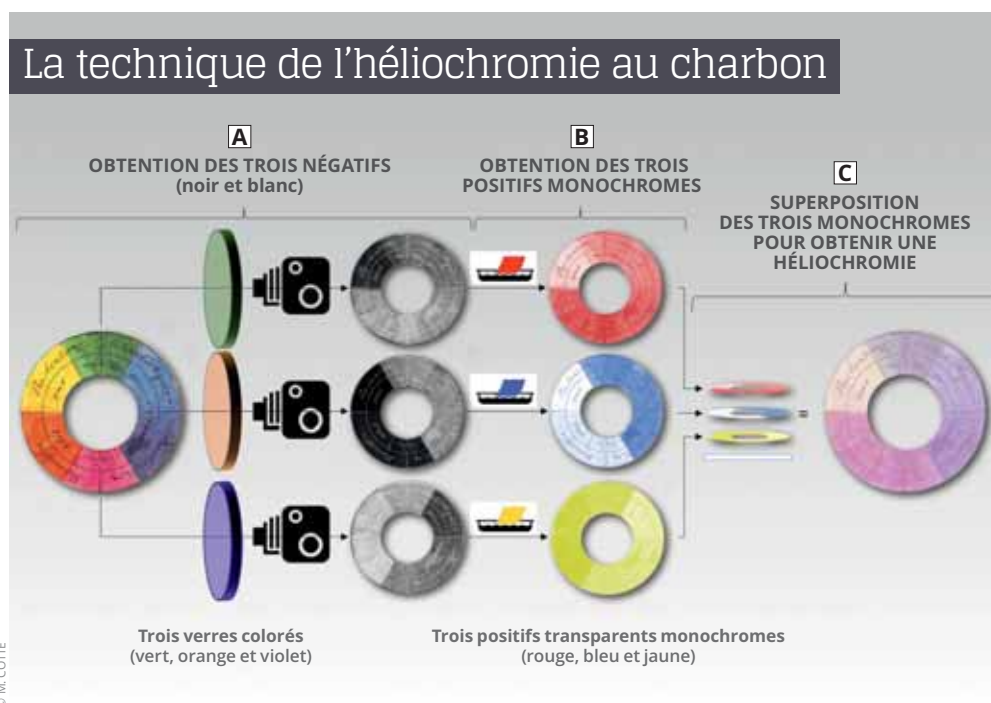
Les résultats sont assez impressionnants : dans deux cas, il y a un accord parfait entre ce que révèlent les analyses et certains procédés que Ducos du Hauron décrit dans sa correspondance. Les plus significatifs ont été obtenus grâce à la microscopie par infrarouge, car « les analyses sont beaucoup plus sensibles aux composés organiques, cela donne des marqueurs très nets. Nous avons trouvé entre autres de la gélatine, du

collodion, de la résine. Des pigments, comme du bleu de Prusse, facilement identifiables par cette technique », explique Marine Cotte. Ce type de recherche peut permettre de comprendre à la fois la manière dont les œuvres d'art ont été fabriquées (choix des matériaux et leur modification par des processus chimiques, physiques...) et les dégradations qu'elles ont subies (du fait de la lumière, de l'environnement, de restaurations antérieures...).

Car à l'époque de Ducos du Hauron, les photos se dégradent déjà. « Il critique d'ailleurs certains de ses premiers procédés en disant : "J'ai modifié tel pigment par untel, car il n'était pas stable à la lumière..." », indique Marine Cotte. Il cherchait vraiment à améliorer la stabilité sur le long terme. » Mais lorsqu'il propose ses théories, Ducos du Hauron est « pénalisé à la fois par un manque de reconnaissance en termes de validation scientifique et sur un plan technique, où il est finalement trop en avance pour concrétiser ses inventions sur un plan industriel. »

D'ailleurs, ses brevets, d'une durée de quinze ans à l'époque, ne seront jamais reconduits et ses innovations seront développées par d'autres, les plus connus étant les frères Lumière qui lanceront la trichromie et la photographie couleur dans l'ère industrielle, sous le nom d'autochrome⁷.

« Ce qui est remarquable, conclut Jean-Paul Gandolfo, c'est que la trichromie – procédé tellement critiqué à l'époque, y compris dans une partie de la communauté scientifique – va s'imposer au fil des siècles jusqu'à être transposée à l'échelle numérique. À la surface d'un capteur numérique comme sur une impression jet d'encre ou sur l'écran d'une salle de cinéma, on retrouve aujourd'hui des triades de couleurs qui prolongent les dispositifs proposés par Ducos du Hauron au XIX^e siècle. » II



Le sujet est photographié trois fois à travers trois filtres de couleurs – ici vert, orange et violet. Des positifs pigmentés en jaune, rouge et en bleu sont produits à partir des négatifs originaux et superposés pour recréer les couleurs originales du sujet.

BepiColombo met le cap sur Mercure

PAR MARTIN KOPPE

UNIVERS

Astronomie. Connue depuis l'Antiquité, Mercure est loin d'avoir livré tous ses secrets. D'où la mission internationale BepiColombo, lancée en octobre, dont le programme s'annonce chargé : étudier la surface, l'atmosphère et le champ magnétique de la planète.

Mercure n'est pas la planète la plus visitée de notre Système solaire. Et pour cause : sa proximité avec le Soleil complique sérieusement les explorations. Jusqu'ici, seules deux missions spatiales lui ont été consacrées : Mariner 10 dans les années 1970, puis Messenger en 2011. En lançant BepiColombo, en octobre, les agences spatiales européennes, l'ESA, et japonaise, Jaxa, espèrent lever le voile sur cette planète. Après un périple de sept ans, BepiColombo, dont la conception des instruments a impliqué huit laboratoires liés au CNRS, mettra en orbite deux satellites autour de Mercure, qui observeront pendant deux ans sa surface, son atmosphère et sa magnétosphère.

Les deux précédentes missions avaient déjà permis de cartographier partiellement la surface de la planète, et avaient mis en évidence l'existence d'un champ magnétique, preuve d'un cœur métallique encore actif, des traces de volcanisme et d'activité tectonique. Elles avaient également détecté la présence d'eau et une atmosphère très peu dense. « *Messenger embarquait un magnétomètre et de quoi mesurer les ions et les particules énergétiques, mais la sonde était surtout consacrée à l'observation de la planète, de sa fine atmosphère et de sa surface*, explique Dominique Delcourt, directeur de recherches CNRS, directeur du Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E)¹, et responsable du spectromètre de masse ionique embarqué sur le satellite japonais de la mission BepiColombo. *En présence d'un champ magnétique intrinsèque, une cavité magnétique se crée dans l'Espace, une magnétosphère, et de nombreux phénomènes de transport et d'accélération de particules s'y déroulent.* »

Une mission, deux satellites

La mission BepiColombo contient deux satellites qui embarquent près de 100 kilos d'instruments. Le premier, MPO (Bepi) s'occupera principalement de cartographier la planète et d'étudier sa surface, sa structure interne et son exosphère, sorte d'atmosphère très peu dense et s'étendant à de très hautes altitudes. Le second, MMO² (rebaptisé Mio), se focalisera sur l'environnement

▲ **Vu d'artiste de la mission spatiale BepiColombo et de ses deux satellites : MPO, au premier plan, et Mio.**

magnétisé de la planète. Une fois à destination, les deux satellites seront libérés en deux temps. D'abord Mio, puis Bepi qui s'insérera dans l'orbite la plus basse jamais effectuée autour de Mercure.

« *Avec tous ces instruments, nous allons faire de nouvelles découvertes, mais aussi revisiter les apports de Messenger, s'enthousiasme Dominique Delcourt. La combinaison des observations des deux satellites permettra des mesures stéréoscopiques en quelque sorte,*



1. Unité CNRS/Cnes/Univ. d'Orléans. 2. Pour Mercury Magnetospheric Orbiter (« orbiteur magnétosphérique de Mercure »). 3. Pour Mass Spectrum Analyzer (« analyseur de spectre de masse »). 4. Unité CNRS/École polytechnique/Observatoire de Paris/Univ. Paris-Sud/Sorbonne Université. 5. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud. 6. Unité CNRS/Univ. Sorbonne-Paris Cité. 7. Unité CNRS/Cnes/Univ. Toulouse-III Paul-Sabatier. 8. Unité CNRS/Cnes/Institut Carnot/Univ. Aix-Marseille. 9. Unité CNRS/institut Pierre-Simon-Laplace/Univ. Versailles – Saint-Quentin/Sorbonne Université. 10. Unité CNRS/Observatoire de Paris/Univ. Paris-Diderot/Sorbonne Université.



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

ce qui était alors impossible. » Avec sa résolution meilleure que celle de l'instrument de Messenger, le spectromètre ionique MSA³, développé au Laboratoire de physique des plasmas (LPP)⁴ en collaboration avec des équipes japonaises et allemandes, distingue des atomes lourds séparés de seulement une unité de masse atomique, comme le potassium et le calcium.

« Ces mesures vont nous permettre de caractériser les émissions de matériau planétaire », souligne Dominique Delcourt. *Sous l'effet du bombardement météoritique ou du vent solaire, de la matière est éjectée de la surface de Mercure. Elle peut ensuite être ionisée par le rayonnement ultraviolet du Soleil, puis transportée et accélérée autour de la planète.* » L'étude de ces ions permet de connaître la composition de la surface, sans avoir à s'y poser.

Confirmer la présence d'oxygène

Le champ magnétique de Mercure constitue aussi un modèle générique intéressant. L'observation d'une magnétosphère plus petite que la nôtre devrait améliorer la compréhension du comportement de la matière, neutre et ionisée, dans l'Espace. À une distance aussi réduite du Soleil, la densité du vent solaire augmente son impact sur la planète. Autre condition intéressante, l'orbite très elliptique de Mercure impose des variations cycliques importantes de cette exposition.

Six des instruments ont été conçus avec la participation de huit laboratoires du CNRS. En plus du LPC2E, nous retrouvons l'Institut d'astrophysique spatiale⁵, l'Institut de physique du globe de Paris⁶, l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie⁷, le Laboratoire d'astrophysique de Marseille⁸, le Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos)⁹, le Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique¹⁰ et le LPP.

Au sein du Latmos, Éric Quemerais est responsable scientifique du spectromètre ultraviolet Phebus qui va permettre de mieux connaître la composition de l'exosphère herméenne. « L'exosphère donne une idée de la composition de la surface et des premières couches internes de Mercure, poursuit-il. On sait par exemple que l'on détectera du calcium et du sodium, mais on s'attend aussi à observer du magnésium, du potassium et de l'oxygène, dont la présence n'a pas encore été systématiquement confirmée. »

Autre avantage des ultraviolets, ils se réfléchissent différemment sur la glace. Phebus sera donc en mesure d'en détecter la présence. « Cette technique a déjà été employée sur la Lune, soutient Éric Quemerais. Nous allons utiliser ces changements de quantité de lumière réfléchie pour cartographier les deux pôles de Mercure. » Avec une orbite particulière, choisie pour une étude focalisée sur le pôle Nord, Messenger n'avait pu cartographier que la moitié de la planète. II

En bref

Des récompenses européennes pour le quantique

Le 29 octobre, l'Union européenne a dévoilé les 20 premiers projets lauréats du FET Flagship Quantum Technologies, programme de recherche bénéficiant d'une dotation d'un milliard d'euros sur dix ans. Treize laboratoires rattachés au CNRS sont impliqués dans les projets retenus. L'objectif est de développer les applications des technologies quantiques dans les domaines de la mesure, du calcul, de la simulation ainsi que du traitement et de la communication de l'information, en renforçant les partenariats entre recherche et industrie.



>> <https://qt.eu>

Inauguration d'une UMI en Corée du Sud

Le 5 octobre à Séoul, le CNRS et Sorbonne Université, avec l'Université féminine Ewha et l'Université de Yonsei, leurs deux partenaires sud-coréens, ont inauguré 2BFuel, unité mixte internationale (UMI) en chimie des matériaux et électronique organique. Le projet vise à développer les briques élémentaires de l'électronique du futur, pouvant conduire à de nouveaux systèmes d'électronique organique imprimable en 3D dont les chercheurs de l'UMI testeront les propriétés. Côté français, l'Institut parisien de chimie moléculaire¹ constitue le site miroir de l'UMI.

Un satellite franco-chinois pour les océans

Le satellite franco-chinois CFOSat (China-France Oceanography Satellite) a été placé en orbite le 29 octobre, après un lancement effectué depuis la base chinoise de Jiuquan, en Mongolie-Intérieure. Cette mission est la première réalisation concrète née de la coopération spatiale franco-chinoise. Développé conjointement par le Centre national d'études spatiales et la China National Space Administration, agence spatiale chinoise, le satellite a deux instruments radar à son bord : Swim (Surface Waves Investigation and Monitoring), développé par la France et à l'origine duquel se trouvent deux laboratoires rattachés au CNRS, et SCAT, sous responsabilité chinoise. Le premier surveillera la longueur, la hauteur et la direction des vagues, tandis que le second mesurera l'intensité et la direction des vents. Les données doivent permettre de caractériser plus précisément la dynamique des vagues et leurs interactions avec les vents de surface.

Une nouvelle plateforme RH

Le 22 octobre, le CNRS a lancé Ariane, sa nouvelle plateforme de services et d'échanges RH sur tout le territoire. Point de rencontre privilégié entre les personnels et leur gestionnaire RH, Ariane permet de déposer une quinzaine de demandes en ligne (télétravail, formation, remboursement des frais de transport...).



>> https://intranet.cnrs.fr/Cnrs_pratique/recruter/Pages/Ariane.aspx

1. Unité CNRS/Sorbonne Université.



France, terre de dinosaures

TERRE

VIVANT

Paléontologie. C'est à Angeac, près de Cognac, qu'on a trouvé les ossements de l'un des plus grands dinosaures au monde. De la Charente au Languedoc, du Jura à la Provence, les paléontologues ont déjà identifié os, œufs ou empreintes fossiles d'une vingtaine d'espèces de ces « terribles reptiles ».

PAR LAURE CAILLOCE

En cette fin juin 2018, la réserve géologique de la Sainte-Victoire, derrière Aix-en-Provence, est en ébullition : il ne reste que quelques jours avant l'arrêt de la campagne annuelle de fouilles organisée au pied du célèbre massif peint par Cézanne. Le talus d'argile rouge sondé par les paléontologues s'est révélé une vraie mine d'or depuis le début des fouilles, en 2010. En plus des centaines d'œufs de dinosaures exhumés – une spécialité de la région, surnommée « Eggs en Provence » par les chercheurs étrangers ! –, le site vieux de 74 millions d'années a livré plusieurs dizaines d'os de rhabdodon,

un dinosaure herbivore de 3 à 4 mètres de long très répandu à la fin du Crétacé et représenté ici par 8 individus : la « vache du Crétacé » vivait alors en paisibles troupeaux dans les plaines de ce qui est aujourd'hui le Sud de la France.

Si la zone d'Aix-en-Provence a déjà livré plusieurs milliers d'œufs fossilisés (mais aucun embryon, au grand dam des paléontologues qui aimeraient en savoir plus sur les cycles de croissance des espèces provençales) et de beaux spécimens de dinosaures du Crétacé comme le pyroraptor, une espèce de petit carnivore bipède trouvée suite à un feu de forêt, la Provence n'est pas la seule

région de France à avoir été foulée par les « terribles reptiles » (du grec *deinos*, « terriblement grand », et *sauros*, « reptile »), tant s'en faut.

Près de 1 000 sites découverts

« Le grand public l'ignore, et les paléontologues français eux-mêmes ont mis du temps à s'y intéresser, mais la France est l'un des pays les plus riches en dinosaures d'Europe, voire du monde », s'enthousiasme Éric Buffetaut, paléontologue au Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure¹. Depuis que Cuvier a mis la main sur les premiers fossiles, au début du XIX^e siècle (sans le savoir, puisque les dinosaures n'ont été nommés et identifiés comme un groupe à part entière qu'à partir de 1842), près de 1 000 sites à dinosaures ont été découverts dans l'Hexagone, en Normandie, en Lorraine, en Provence, dans le Jura, dans le Languedoc-Roussillon... « La majorité des sites n'ont livré que quelques ossements à peine, d'autres – dont la plupart ont été fouillés ces vingt dernières années –,

1. Unité CNRS/ENS Paris. 2. Centre de recherche sur la paléobiodiversité et les paléoenvironnements (CNRS/MNHN/EPHE/Sorbonne Université). 3. Jean-Michel Mazin se consacre à un autre site d'empreintes, « la plage aux ptérosaures », à Crayssac dans le Lot (écouter notre reportage audio sur <https://lejournel.cnrs.fr/audios/dans-le-lot-des-empreintes-de-150-millions-dannees>).

► Cruzy, dans l'Hérault, il y a 72 millions d'années. On aperçoit des titanosaures (au fond à gauche), un ankylosaure (devant, à gauche), un groupe de rhabdodons, un couple de Variraptor.

jusqu'à plusieurs milliers de fossiles », raconte le scientifique.

On dénombre aujourd'hui une demi-douzaine de chantiers de fouilles actifs dans l'Hexagone. Parmi eux, Angeac, entre Angoulême et Cognac, est LA surprise de la dernière décennie : c'est là qu'ont été exhumés, dans une carrière de sable et de gravier en exploitation, les os du plus gros dinosaure jamais trouvé en France (et parmi les plus grands du monde), une belle bête de plus de 35 mètres de long, dont le fémur à lui seul mesure... 2,20 mètres.

Ce gros sauropode (l'une des sept familles de dinosaures) qui vivait au tout début du Crétacé, il y a 140 millions d'années, était plus imposant que dangereux : c'était en effet un herbivore inoffensif. Il n'était pas seul à parcourir le territoire d'Angeac : en huit années de fouilles, près de 8 000 ossements fossiles ont été retrouvés au fond de la carrière, dans la couche géologique située directement sous le sable et le gravier.

« On a mis au jour tout un écosystème de type semi-tropical, raconte Ronan Allain, paléontologue au Muséum national d'histoire naturelle (au CR2P²) qui dirige les fouilles d'Angeac. En plus des dinosaures, on a des tortues, des crocodiles, des mammifères..., mais aussi les plantes qui vont avec, puisqu'on a retrouvé des fougères et un tronc de conifère fossilisé de 10 mètres de long. On est juste avant l'apparition des plantes à fleurs, dans une zone marécageuse où ont été piégés les cadavres des animaux morts, ce qui a facilité leur processus de fossilisation. » Pour qu'un squelette soit fossilisé, il faut en effet qu'il soit protégé des agents destructeurs que sont l'air, le soleil, le vent...

Quatre sauropodes ont déjà été identifiés à Angeac, dont l'espèce doit encore être caractérisée, et près de 50 spécimens d'ornithomimosaures, des « dinosaures au-truches », jusqu'alors inconnus des

paléontologues. Ces carnivores bipèdes de 3 mètres de long environ, dont 1,50 mètre de queue, étaient dotés d'un bec et totalement édentés. Ils appartiennent à la grande famille des théropodes (comme le redoutable tyrannosaure d'Amérique du Nord), une famille de dinosaures que l'on pensait exclusivement carnivores, mais dont les chercheurs soupçonnent aujourd'hui que certains ont pu devenir omnivores au fil de l'évolution.

Des empreintes qui en disent long

« En France, on a la chance d'avoir des fossiles de dinosaures sur toute la période où ce groupe a existé, soit 150 millions d'années », souligne Jean le Loeuff, paléontologue et conservateur du Musée des dinosaures d'Esperaza, dans l'Aude.

n'existaient évidemment pas, poursuit Jean le Loeuff. Les premiers dinosaures du Trias vivaient sur la Pangée, unique continent de la Terre à cette période. À partir du Jurassique supérieur, ces animaux terrestres ont évolué dans une Europe archipelisée, et la France elle-même était séparée en plusieurs îles. » L'une d'elles regroupait le Massif armoricain et le Massif central, tandis que la Normandie, le Bassin parisien, le Bassin aquitain et le Jura ont passé une bonne partie du Jurassique et du Crétacé sous la mer, avec quelques brèves périodes d'émersion.

C'est d'ailleurs au bord de ce qui était à l'époque une lagune qu'a été retrouvée la plus longue piste de sauropodes au monde. À Plagne, dans le Jura, cette piste de 155 mètres a pu être retracée sur un vaste plateau



► Ponte de dinosaure découverte en 2000 dans le centre-ville d'Aix-en-Provence.

Les plus anciens datent du Trias et ont 220 millions d'années – ce sont des platéosaures, les ancêtres des sauropodes, trouvés dans le Jura notamment. Les plus récents ont vécu il y a 66 millions d'années, avant l'extinction massive qui marque la fin du Crétacé et celle des dinosaures (à l'exception des oiseaux qui sont arrivés jusqu'à nous !).

« La France et l'Europe telles que nous les connaissons aujourd'hui

calcaire, et aligne 110 empreintes d'un mètre chacune. « Les empreintes ont été laissées dans la vase à la toute fin du Jurassique, il y a 150 millions d'années, par un sauropode de 35 à 40 mètres de long. Elles ont séché au soleil, avant d'être recouvertes à nouveau par la mer, ce qui a favorisé leur minéralisation », raconte Jean-Michel Mazin³, le paléontologue qui a cosigné l'article publié en novembre 2017 par la revue *Geobios*. ...

▲ Plusieurs squelettes d'ampélosaures ou « dinosaures des vignes » ont été retrouvés à Campagne-sur-Aude.



© J. LE LOUEFF/MUSÉE DES DINOSAURES D'ESPERAZA

... Longtemps vues comme un amusement d'amateurs, les empreintes sont désormais considérées comme des données scientifiques à part entière. *« Si l'étude des os et des dents permet de déterminer l'anatomie de l'individu, son âge, son type d'alimentation..., les empreintes fossiles nous éclairent sur son mode de locomotion – à quelle vitesse et comment se déplaçait-il – mais aussi sur son comportement social – solitaire ou grégaire –, raconte le chercheur. Dans le cas d'un animal social, on retrouvera plusieurs pistes entrecroisées. »*

“La France possède des fossiles sur les 150 millions d'années où les dinosaures ont existé.”

Ossements, empreintes ou œufs... Les nombreux fossiles trouvés dans l'Hexagone témoignent de l'incroyable diversité des dinosaures. *« À la fin du Crétacé, on trouve aussi bien des géants de 20 mètres de long que de tout petits spécimens de la taille d'un gros poulet »,* remarque Éric Buffetaut. Ils sont bipèdes ou quadrupèdes, avec ou sans dents, exhibent de longs cous, des collets, des cuirasses...

Comme tous les dinosaures, les spécimens de l'Hexagone ont le sang chaud, et des membres verticaux placés sous le corps qui leur permettent de se déplacer en soulevant celui-ci – une locomotion très différente des reptiles actuels. En revanche, les paléontologues français n'ont à ce jour retrouvé aucune trace des plumes dont étaient dotés certains petits dinosaures carnivores ailleurs sur la planète. *« Ce n'est probablement qu'une question de temps »,* espère Ronan Allain.

Car la France est loin d'avoir percé tous les secrets de ses dinosaures. *« Chaque fois qu'on fouille sérieusement quelque part, on a du boulot pour des dizaines d'années ! »,* raconte Jean le Loeff. Le paléontologue sait de quoi il parle : cela fait vingt-cinq ans maintenant qu'il explore Campagne-sur-Aude, un site de la fin du Crétacé âgé de 70 millions d'années, où l'on a notamment trouvé l'ampélosaure ou « dinosaure des vignes », un gros herbivore d'une quinzaine de mètres de long. *« J'étais juste venu faire un petit sondage, suite à la découverte fortuite d'un ossement par un chasseur... Aujourd'hui, je comptabilise plus de 7 000 fossiles déterrés ! »*

Même chose dans l'Hérault, où la grosse pierre avec laquelle un viticulteur calait son tracteur s'est révélée être un bout de... fémur de dinosaure. *« Depuis le début des fouilles, en 2008, on a trouvé toute une faune vieille de 72 millions d'années, indique*

Éric Buffetaut, qui dirige les fouilles. *Des titanosaures (sauropodes porteurs de grosses plaques osseuses), des rhabdodons, des ankylosaures (dinosaures cuirassés), des oiseaux, déjà ! mais aussi des tortues, des crocodiles, des lézards... »*

Une vingtaine d'espèces décrites

Seul regret des paléontologues : le sous-sol français a livré peu de squelettes complets. *« C'est lié au mode de conservation des ossements retrouvés, dont la plupart sont tombés dans le lit de rivières ou ont été entraînés au fond de la mer, d'où une inévitable dispersion »,* pointe Jean-Michel Mazin.

À ce jour, une vingtaine d'espèces de dinosaures ont été caractérisées dans l'Hexagone, et autant attendent d'être décrites (et nommées) pour rejoindre le millier d'espèces de dinosaures déjà recensées dans le monde. *« Les spécialistes des dinosaures manquent en France pour exploiter le matériel fossile accumulé »,* regrette la poignée de « dinosaurologues » de l'Hexagone, qui regardent avec envie vers la Chine où les grands moyens sont déployés depuis quelques années – avoir des dinosaures, c'est aussi un enjeu de puissance !

« Les dinosaures sont pourtant de formidables ambassadeurs de la science, plaide Jean le Loeff. Ce sont les plus grands animaux terrestres qui aient jamais existé sur la Terre et ils sont les témoins de 150 millions d'années d'histoire de notre planète, soit une bonne partie de l'ère secondaire. » Contrairement à l'image d'animaux mal adaptés – parce que trop gros – qu'ils ont longtemps véhiculée, leur belle longévité prouve qu'ils avaient en réalité de remarquables capacités d'adaptation. ||



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

LES IDÉES



*Où l'on s'interroge sur les illusions
du transhumanisme,
la dépendance aux Smartphones
et l'intelligence des abeilles.*

ILLUSTRATION : OMARAQIL/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

L'impossible modélisation de la société

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



Épistémologie. Dans son dernier ouvrage, *Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en équations*, le physicien Pablo Jensen partage ses réflexions sur une question à la fois scientifique et politique : les phénomènes sociaux peuvent-ils être régis et décrits par les lois mathématiques ?



© C. CHAUDAGNE

PROPOS RECUEILLIS PAR MATHIEU GROUSSON

Mettre la société en équations : il y a derrière cette ambition l'idée que le social, comme la nature, serait régi par des lois. En utilisant les techniques de modélisation mathématique et de simulation informatique élaborées pour les sciences naturelles, il serait donc possible de les découvrir, de même que les physiciens ont découvert les lois qui gouvernent le comportement des atomes ou des planètes ?

Pablo Jensen¹ : En effet. Si ce n'est que je m'inscris en faux contre cette vision classique mais naïve de la découverte des supposées lois de la nature. Elle néglige complètement le processus complexe de transformation au terme duquel la nature, domptée au sein du laboratoire, se laisse observer et caractériser par les outils conceptuels et techniques de la science. J'aime la métaphore du tigre qui, une fois au cirque, demeure certes un tigre, mais n'a plus grand-chose d'un animal sauvage. Sous cet angle, la science ne découvre les lois de la nature qu'après avoir profondément transformé cette dernière. Concernant le social, la question fondamentale est : que signifierait transformer les humains, ou les dompter, pour que la mise en équations de la société soit possible ?

Ainsi, vous êtes essentiellement critique envers les modèles qui se proposent de décrire et prédire nos comportements sociaux et économiques.

P. J. : À l'évidence ! Considérons par exemple les modèles utilisés par les économistes pour faire des prédictions de croissance. Une analyse rétrospective a montré qu'ils



Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en équations, Pablo Jensen, Seuil, coll. « Science ouverte », mars 2018, 336 p., 22 €.

sont à peine plus fiables qu'une prédiction plutôt triviale : la croissance de l'année à venir sera... la même que celle de l'année écoulée ! On peut également citer cette étude qui a comparé les résultats d'algorithmes complexes à ceux produits par des opérateurs humains, à partir des mêmes données, pour essayer de prédire le risque de récidive. Résultat : les algorithmes ne font pas mieux que l'intuition humaine, elle-même à peine au-dessus du hasard !

Pour quelles raisons ?

P. J. : En science de la nature, la force de la modélisation repose sur le fait qu'il existe des relations stables. Par exemple, en chimie, au-delà de la complexité de toutes les réactions possibles, il y a la conservation de la nature chimique des atomes. Cela découle d'un découplage fort entre l'énergie mise en jeu lors d'une réaction chimique, qui n'implique que les électrons, et l'énergie de cohésion des noyaux atomiques, bien plus importante. On dit qu'il y a séparation des échelles. À l'inverse, il n'existe pas de tels îlots de stabilité en sciences sociales, dont le comportement serait parfaitement prévisible. Pour le dire vite, une personne peut faire quelque chose un jour, et



© ALPHASPIRIT/ADOBESTOCK.COM

1. Pablo Jensen est directeur de recherche au CNRS, membre du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Lyon (CNRS/Université Claude-Bernard/ENS Lyon).



l'inverse le lendemain. Pourquoi ? Parce qu'il n'y a pas de séparation nette entre nos actions et ce qui serait censé nous caractériser profondément (le « noyau »). À l'inverse des atomes, nous sommes faits de nos rencontres.

Quel est alors le bon usage des modèles en sciences sociales ?

P. J. : D'abord, reconnaître que les modèles qui se prétendent réalistes ne sont pas fiables. En revanche, certains modèles simples nous aident à mieux penser, en montrant les erreurs de nos raisonnements implicites. Ainsi, le modèle de ségrégation de Schelling montre qu'il n'est pas correct de déduire, de l'observation de la ségrégation urbaine, le racisme des habitants.

Votre critique porte donc plus sur l'utilisation qui est faite des modèles et des indicateurs ?

P. J. : En ce qui concerne les indicateurs quantitatifs, la bonne question à se poser est : prétendent-ils remplacer toute l'évaluation, ou bien visent-ils à l'enrichir, à rendre

“La question fondamentale est : que signifierait transformer les humains, ou les dompter, pour que la mise en équations de la société soit possible ?”

la discussion entre humains plus argumentée ? Si l'on considère par exemple que la croissance du PIB doit constituer l'alpha et l'oméga de toute politique économique, on opère une réduction du réel qui interdit d'imaginer certains futurs. À l'inverse, lorsque l'économiste Thomas Piketty essaie d'homogénéiser des données pour comparer la manière dont on vit aujourd'hui et au XIX^e siècle, parvenant à la conclusion que nous nous dirigeons de plus en plus vers une société de rentiers, il capture du réel quelque chose d'intéressant.

Les chiffres et les indicateurs ont même selon vous une fonction démocratique positive ?

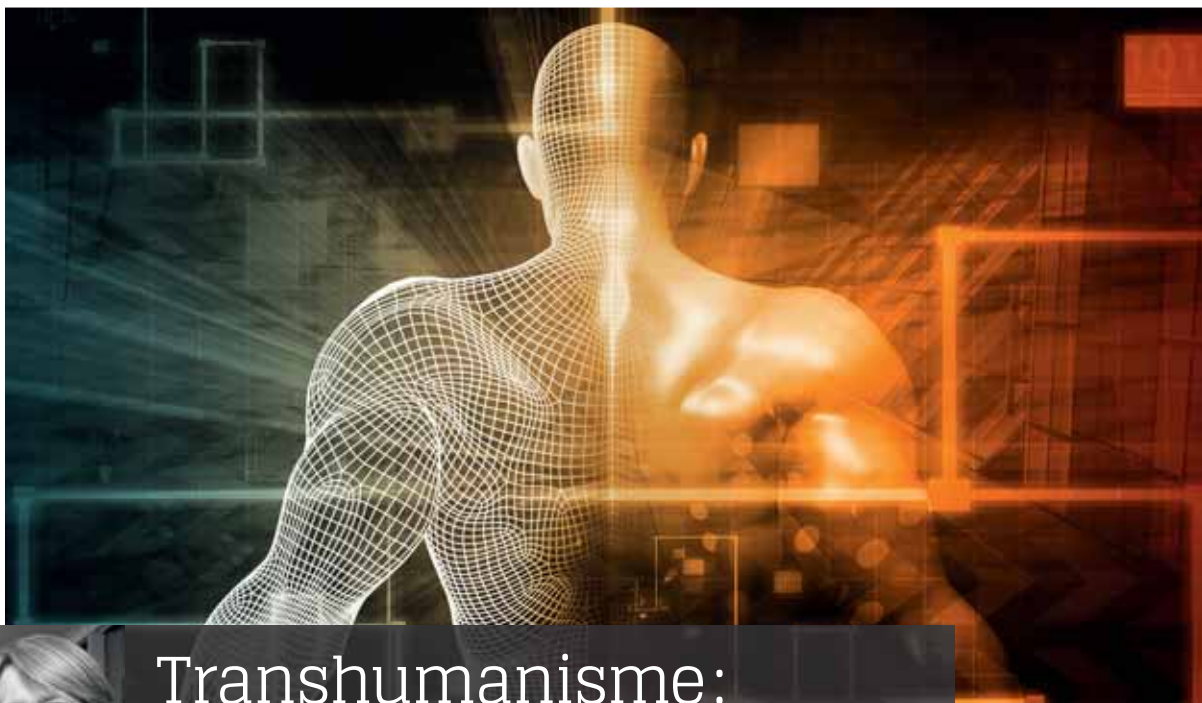
P. J. : On a souvent l'impression que plus de chiffres, plus d'indicateurs... est une façon d'instituer une confiscation du débat par les experts, conduisant à plus de contrôle. Et ce risque existe. En même temps, il est intéressant de noter avec l'historien des sciences Theodore Porter que l'introduction d'indicateurs, historiquement, apparaît lorsque la société ne fait plus confiance aux experts. Sans indicateurs chiffrés, les experts peuvent décider de tout, sans contre-expertise possible. De ce point de vue, les indicateurs, en objectivant une partie du réel, sont un gage de plus grande transparence.

Le cas du projet d'aéroport à Notre-Dame-des-Landes est intéressant à cet égard. Le bureau d'études qui a estimé le gain issu de la construction à 900 millions d'euros l'a fait sur des données très contestables. Mais elles étaient explicites et publiques, permettant une contre-expertise et un débat.

La question de la modélisation en sciences sociales n'est donc pas que scientifique, mais également éminemment politique ?

P. J. : Les modèles formels adoptent le point de vue d'un centre de pouvoir, qui a besoin d'entités simples pour orienter ses actions. Mais les comportements humains restent pour le moment largement variables.

On pourrait obtenir des modèles plus pertinents en nous rendant plus prévisibles, suivant la logique des physiciens qui ont purifié la matière pour la comprendre. On y parviendra peut-être avec le système chinois de crédit social qui récompense les « bons comportements » et punit les « mauvais », via un système de points. Mais voulons-nous d'une telle société ? ! Finalement, on en revient à la métaphore du tigre. Et pour ma part, je ne suis pas certain de vouloir contribuer au domptage du tigre humain. En tout cas, pas sans son consentement. II



© KENTON/STOCKADOBÉ.COM



PHOTOS : DR

Transhumanisme : de l'illusion à l'imposture

Jean Mariani et Danièle Tritsch

Neuroscientifiques¹

Le transhumanisme est un mouvement qui, en s'appuyant sur les progrès de la biologie et de l'intelligence artificielle, défend l'idée de transformer ou de dépasser l'homme pour créer un transhumain ou un posthumain aux capacités supérieures à celles des êtres actuels. Le but ? Fusionner l'homme et l'ordinateur après l'avoir soustrait au vieillissement et à la mort. Illusions, fantasmes, escroquerie ou imposture ?

Les avancées de la recherche en biologie et en médecine, en particulier dans le domaine du vieillissement, sont réelles, mais encore insuffisantes pour nous faire vivre 300 ans, comme l'annoncent certains. Le vieillissement est donc inéluctable. Et si les progrès des cinquante dernières années permettent de mieux connaître le cerveau, ils ne permettent pas de guérir des maladies neurodégénératives, car ils n'ont entraîné que peu de retombées thérapeutiques. Quant à l'intelligence artificielle (IA), elle permet

certes d'énormes avancées technologiques dans de nombreux domaines du quotidien, de la santé, du transport... et rivalise avec l'être humain dans la réalisation de certaines tâches (n'a-t-elle pas battu le champion du monde au jeu de go ? !), mais elle ne peut encore « émuler » un outil aussi compliqué, performant et changeant que le cerveau humain, à supposer qu'elle puisse le faire un jour.

L'intelligence est pluridimensionnelle

Le plus grand obstacle n'est pas dans les progrès de l'IA, mais dans les limites des connaissances biologiques. Le cerveau de chaque individu est unique, et la biologie n'a actuellement rien à dire sur le processus d'individuation du cerveau définissant notre « soi » (le *self*). Transférer l'esprit, les émotions, le sens critique, l'humour ou l'analyse de la pensée d'autrui depuis le cerveau vers une puce afin d'aboutir à une vie éternelle débarrassée d'un

cerveau vieillissant, est un fantasme de quelques mégalomanes.

Mais ce ne sont pas là les seuls freins. L'un des arguments contre le transhumanisme consiste à dire que seuls les plus riches auront accès aux technologies augmentatives (implants neurologiques, prothèses bioniques voire modifications génétiques), leur conférant un avantage indéniable. Certes, les NBIC sur lesquelles se fondent les transhumanistes, progressent à un rythme qui devrait conduire à une baisse significative de leur coût (le séquençage de l'ADN en est un exemple). Mais il reste difficile de ne pas voir apparaître deux catégories d'humains : êtres augmentés ou non ; malades ou en pleine forme, immortels ou simples mortels !

Une économie des promesses

La tentation eugéniste est forte ! L'eugénisme de l'intelligence humaine considère le quotient intellectuel, le

NBIC

Les NBIC désignent un champ scientifique multidisciplinaire, au carrefour des nanotechnologies (N), des biotechnologies (B), des technologies de l'information (I) et des sciences cognitives (C).

1. Jean Mariani, professeur émérite, dirige l'institut de la longévité à Sorbonne Université. Danièle Tritsch, ancienne professeure, a codirigé un laboratoire de neurosciences à l'université Pierre-et-Marie-Curie. 2. Yves Frégnac dirige l'Unité de neurosciences, information et complexité du CNRS. 3. « Big data and the industrialization of neuroscience: A safe roadmap for understanding the brain? », Y. Frégnac, *Science*, 2017, Vol. 358, 470.



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

fameux QI, comme un indicateur fiable de l'intelligence et en infère des prédictions très incertaines sur l'hérédité de celle-ci. Or, l'intelligence est difficile à définir en tant que telle. Elle est pluridimensionnelle et non linéaire, chaque type de cognition répondant à un besoin spécifique lié à l'adaptation d'un système biologique à son environnement et à une fonction physiologique. La question du support (corps biologique versus puces en silicium) conditionne et « donne un sens » à la nature profonde d'une intelligence. Les applications dérivées du *machine learning*, « apprentissage automatique », seront utilisées par l'intelligence humaine, mais ne resteront que des outils mis à notre disposition.

Enfin, derrière le mythe transhumaniste se dessinent des intérêts économiques. Les transhumanistes sont le pur produit d'une société où les puissances de l'argent, banques, multinationales industrielles et politiques, règnent en maîtres. Ils créent une « économie des promesses » que décrit notamment Yves Frégnac² dans un article paru dans la revue *Science*³. Néanmoins, depuis peu, certains intérêts privés (Google, Facebook, Microsoft, IBM, Amazon) essaient de définir « les bonnes pratiques », notamment sur les questions éthiques.

Face à ces allégations, il faut prendre un certain recul épistémologique et être conscients de nos biais culturels si nous voulons faire le tri entre les effets d'annonces, les promesses démiurgiques et la réalité des avancées scientifiques. Il ne s'agit pas de refuser d'emblée les implants intracérébraux, la thérapie génique, les prothèses bioniques ou la sélection des cellules souches, mais de rester vigilants quant au rôle systémique des usages qui en sera fait. II



Ça va pas la tête !
Cerveau, immortalité et intelligence artificielle, l'imposture du transhumanisme,
Danièle Tritsch et
Jean Mariani, Belin,
mars 2018, 240 p., 19 €.

À lire



VIVANT

Comment un moine cultivant des petits pois a-t-il donné naissance à la génétique ? Le biologiste Éric Karsenti passe en revue des siècles de recherche, rendant hommage aux scientifiques et aux progrès techniques qui ont permis d'apporter des réponses à des questions telles que : Comment la vie est-elle apparue ? Comment une seule cellule peut-elle générer un être aussi complexe que l'humain ? En ponctuant son récit d'anecdotes et d'intuitions personnelles, le créateur de l'expédition Tara Oceans ne manque pas de rappeler combien ce programme scientifique a contribué à cette quête. Un voyage dans l'univers de la vie qui n'oublie pas d'anticiper les défis et les responsabilités que l'humain doit affronter.

Aux sources de la vie, Éric Karsenti, éditions Flammarion, octobre 2018, 304 p., 21,90 €.

IDÉES REÇUES

L'homme descend du singe. Nous n'utilisons que 10 % de notre cerveau. Les dinosaures ont disparu. Voici trois des 25 idées reçues pour lesquelles cet ouvrage propose de démêler le vrai du faux. Offert en librairie lors de la dernière fête de la Science (pour l'achat d'un livre scientifique), ce livre accessible et ludique est disponible en ligne. Congu par le groupe Science pour tous du Syndicat national de l'édition (SNE), avec le soutien des ministères de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et de la Culture, il invite le lecteur à se faire une opinion éclairée tout en lui suggérant de nombreuses ressources pour aller plus loin.

25 vraies fausses idées en sciences, édité par le SNE, accessible sur <https://bit.ly/2zYh96h>



NEUROSCIENCES

« Dans cet ouvrage, j'ai voulu rassembler une bonne partie des connaissances dans le domaine des neurosciences du langage, en les abordant sous l'angle des maladies de la parole. » Un siècle et demi après que Broca et Wernicke ont mis en évidence le lien spécifique entre certaines aphasies et la destruction de régions particulières du cortex, Anne-Lise Giraud nous éclaire sur cette faculté de langage qui nous distingue des autres animaux mais qui parfois déraile. Dyslexie, bégaiement, surdité, schizophrénie et autres aphasies sont ainsi expliquées à la lumière des dernières découvertes des neurosciences.

Le Cerveau et les Maux de la parole, Anne-Lise Giraud, Odile Jacob, coll. « Sciences », septembre 2018, 224 p., 22,9 €.

MATIÈRE

Nom : carbone. Adresse : la sixième case du tableau périodique des éléments chimiques. Ses affinités avec l'oxygène conduisent à la formation du dioxyde de carbone impliqué dans le réchauffement climatique. Le carbone est aussi à la base de toutes les formes de vie connues. Et on le retrouve dans la structure du graphite, du diamant et du graphène, nouveau matériau ultramince. Ces caractéristiques ont poussé deux philosophes à écrire sa biographie qui, au-delà des propriétés chimiques, retrace les découvertes liées au carbone : de l'étude de l'air par Lavoisier aux nanomatériaux en passant par le marché carbone instauré en 2015 pour lutter contre l'effet de serre.

Carbone. Ses vies, ses œuvres, Bernadette Bensaude-Vincent et Sacha Loeve, éditions du Seuil, coll. « Science ouverte », octobre 2018, 344 p., 24 €.



Le Smartphone entre poison et remède



Technologies. Dans son essai *Le Troisième Cerveau*, Pierre-Marc de Biasi, directeur de recherche émérite au CNRS, alerte sur la relation de dépendance que nous entretenons avec le Smartphone, outil « *intrusif, injonctif et addictif* ». Explications.

PROPOS RECUEILLIS PAR FABIEN TRÉCOURT

Vous avez dirigé l'Institut des textes et manuscrits modernes¹. Comment un spécialiste comme vous en vient-il à travailler sur les Smartphones ?

Pierre-Marc de Biasi : En étudiant les archives de la création, on s'intéresse aussi aux supports de la communication et aux conditions concrètes de la transmission, aux interrelations entre technique et culture. Comment alors se désintéresser d'un médium qui véhicule l'essentiel de ces interactions ? Neuf utilisateurs sur dix ne sortent jamais sans leur Smartphone et le consultent près de 100 fois par jour ; un tiers admet être en situation de dépendance. Plus nous déléguons de tâches à cet outil, plus il devient compétent pour satisfaire et anticiper nos désirs, et plus nous devenons dépendants de lui. J'ai eu envie d'approfondir cette réflexion en me donnant l'espace d'un essai. Il n'y avait pas de livre sur le sujet.

Quelles utilisations pourraient nous asservir ?

P.-M. de B. : Demandez-vous simplement : dans cinq ans qui sera encore capable de lire une carte ou de s'orienter sans la géolocalisation de son Smartphone ? Avec les applications sur Smartphone, ce sont, l'une après l'autre, toutes nos facultés cognitives que nous sommes invités à déléguer. Mais ce n'est pas tout. Les rafales de notifications et d'informations qui se succèdent pour solliciter en permanence notre attention, nous rendent incapables de fixer notre pensée plus de quinze secondes sur le même objet. Et le plus troublant, c'est que nous aimons ça, car à chaque fois que je clique, je suis « récompensé » : chaque nouvelle interaction provoque la production d'une dose de dopamine, molécule du plaisir, liée à la surprise et à l'inattendu. Voilà pourquoi nous restons connectés. L'Organisation mondiale de la santé a répertorié certains jeux sur Smartphone comme pathologie addictive.

N'est-ce pas ce que l'on entend à chaque fois qu'une nouvelle technologie est adoptée ?

P.-M. de B. : C'est l'objection classique : chaque grande invention – le manuscrit, l'imprimerie, la télévision,

l'informatique, Internet – suscite d'abord le rejet et les évaluations négatives. C'est exact, mais ce n'est pas mon sujet. Je ne critique ni l'informatique ni Internet qui sont les révolutions de notre temps. Je cherche à comprendre le Smartphone qui n'en est qu'un médium. Tout est fait pour nous « divertir », sans laisser de place à l'ennui. Or l'ennui est un moteur essentiel de la créativité. Si vous êtes constamment en train de cliquer, textoter, liker, consulter ou jouer, vous n'aurez jamais une minute pour vous retrouver face à vous-même ou à vos rêves. En revanche ça aidera votre Smartphone à parfaire votre algorithme, c'est-à-dire votre vrai profil : celui d'un consommateur à qui il s'agit de vendre le plus possible de marchandises et de services.

Pourquoi évoquez-vous un changement dans nos représentations et notre appréhension du monde ?

P.-M. de B. : Le Smartphone vous permet d'établir, où que vous soyez, un lien immédiat avec l'ensemble de la planète, et on peut y voir une formidable promesse de conscience collective nouvelle. Il n'y aurait sans doute pas eu de printemps arabe sans les applications de messagerie. Le Smartphone peut servir à développer des initiatives de démocratie directe, des projets associatifs, à lancer des alertes, à mieux consommer et à réduire notre empreinte écologique. Tout cela est enthousiasmant, mais revient aussi à faire dépendre notre liberté de l'outil qui lui permet de s'exercer. Et on sait qu'il y a un danger à faire passer son pouvoir de décision et d'action par un objet technologique : c'est s'en remettre à ses développeurs.

Vous êtes d'ailleurs particulièrement soucieux en matière de vie privée et de libertés individuelles...

P.-M. de B. : Il est déraisonnable d'échanger ses données personnelles et son profil contre des applications gratuites, même excellentes. Si vous vous vendez, on vous revendra. L'objectif reste de vous manipuler, de vous imposer des produits et, le cas échéant, de vous faire voter pour un candidat plutôt qu'un autre, comme l'ont prouvé



© G. HERSHORN/GETTY IMAGES

► Neuf utilisateurs sur dix ne sortent jamais sans leur Smartphone et le consultent près de 100 fois par jour.



Le Troisième Cerveau, petite phénoménologie du smartphone,
Pierre-Marc de Biasi,
CNRS Éditions,
septembre 2018,
268 p. 19 €.

1. Unité CNRS/École normale supérieure, Paris/PSL Université Paris/BNF/Institut mémoires de l'édition contemporaine.



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

plusieurs scandales récents. Nous pourrions toujours tenter d'y opposer une posture de maîtrise – par exemple, en diminuant notre temps passé sur écran –, il reste que les algorithmes sauront de mieux en mieux capter notre attention au bon endroit, au bon moment et avec des arguments sur mesure. La seule résistance serait l'émergence d'un mouvement *low-tech*, diminuant radicalement la part du technologique dans nos vies. J'en doute, car tout concourt à ce que le Smartphone devienne un outil universel du quotidien dont l'usage relèvera de la prescription : pour payer ses achats, ses impôts, prendre rendez-vous, voyager... Comment s'en passer ? On ne vous le permettra pas.

Vous évoquez le paradoxe du « pharmakon » : le Smartphone serait à la fois un poison et un remède. Mais vous semblez plus inquiet qu'enthousiaste...

P.-M. de B. : Mon but n'était pas de faire le procès du Smartphone qui, en tant qu'objet technique – pharmakon – est capable du pire comme du meilleur ; mais une

fois que vous avez fait le tour des pouvoirs qu'il vous octroie, il est difficile d'imaginer l'utopie positive qui en ferait un outil inoffensif. Pour l'heure, il est au service d'un capitalisme de la surveillance qui ne voit dans l'individu qu'un consommateur réductible à un algorithme. Si je formule une sorte de mise en garde c'est parce que ces menaces restent largement invisibles : la baisse tendancielle du désir d'apprendre, avec l'illusion que les savoirs seraient à portée de la main ; le désapprentissage des fonctions cognitives de base ; une délégation généralisée des fonctions mémorielles... On mesure très mal l'ampleur des déficits qui se creusent, et nous n'avons pas une vision claire des capacités nouvelles qui pourraient les compenser. Il y a sans doute de formidables opportunités à saisir et à créer, à condition de prendre conscience des risques qui les accompagnent, notamment du côté des moyens de contrôle et de manipulation, collectifs et individuels : une menace redoutable à un moment où s'édifie une alliance décisive entre le Smartphone et l'intelligence artificielle. ■



Les prochains défis de la mécanique

Éric Arquis, président de l'Association française de mécanique et enseignant-chercheur à l'Institut de mécanique et d'ingénierie¹, à Bordeaux.

Robotique, aéronautique, modélisation du corps humain... autant de domaines qui seraient en panne sans les apports de la mécanique². Et d'un point de vue économique, le secteur industriel couvert par la discipline est l'un des plus importants en France et en Europe tant par le chiffre d'affaires et les effectifs que par la quantité de brevets et de start-up.

Les exemples en aéronautique sont sans doute les plus évidents pour saisir l'importance de la discipline : un avion ne volerait pas sans des structures robustes et néanmoins légères réalisées grâce aux compétences mécaniciennes. Mais il existe d'autres secteurs où l'apport de la mécanique est tout aussi important.

Peut-être moins attendu, le secteur de la santé n'y échappe pas. Face aux détériorations de la posture, aux

modifications des propriétés mécaniques des tissus ou aux altérations du contrôle moteur, le concept de prise en charge personnalisée s'impose de plus en plus. En la matière, la modélisation biomécanique personnalisée du corps humain est l'une des pistes pour concevoir des dispositifs médicaux (prothèses, implants osseux, etc.) adaptés à la géométrie propre du patient et aux efforts internes liés à ses activités physiques.

L'alliée de la transition énergétique

Du côté de l'exploration spatiale, la mécanique est également présente comme dans la mission Hera, test grandeur nature, qui consiste à dévier un astéroïde par l'impact d'un projectile artificiel, afin de vérifier notre aptitude à éloigner de la Terre des cailloux de 100 à 200 mètres de

diamètre, potentiellement dangereux. Dans le domaine de l'énergie, les enjeux climatiques nécessitent une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre dues à l'activité humaine. La transition énergétique impactera les technologies de production d'énergie et ses modes de consommation pour les différents usages (bâtiment, transport, industrie, agriculture et technologies de l'information et de la communication). Pour cela, l'émergence de technologies de rupture s'impose, par exemple pour la capture, le stockage et le recyclage du CO₂.

La « mécaniscience » se nourrit de sciences connexes comme l'informatique, les mathématiques appliquées, l'optique et la mécatronique. La place scientifique et industrielle de la France est liée au dynamisme de cette communauté qui s'est notamment manifesté le 20 septembre lors de la Journée annuelle de l'Association française de mécanique³, journée qui marquait également les 20 ans de l'Association. ■

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

1. Unité CNRS/INP Bordeaux Aquitaine/Arts et Métiers ParisTech/Inra/Institut Carnot. 2. Il est ici question de mécanique classique et non de mécanique relativiste ou quantique. 3. <http://afm.asso.fr>

Les abeilles sont-elles aussi victimes de leur intelligence ?

Amélie Cabirol, Center for Mind/Brain Sciences¹,
Jean-Marc Devaud, Simon Klein, Mathieu Lihoreau,
 Centre de recherches sur la cognition animale².

Depuis le 1^{er} septembre 2018, les agriculteurs français ne sont plus autorisés à utiliser les principaux néonicotinoïdes dans leurs cultures. Une bonne nouvelle pour les abeilles mais aussi pour tous les pollinisateurs, sauvages et domestiques, de France et de Navarre, car ces pesticides ont été incriminés dans la crise mondiale que ces insectes subissent depuis des dizaines d'années.

Malgré ce pas en avant, la survie des différentes espèces d'abeilles (on en connaît 20 000, dont *Apis mellifera*, l'abeille domestique) est loin d'être assurée. D'une part parce que de nouvelles générations de pesticides³, qui remplacent déjà les néonicotinoïdes dans plusieurs pays du monde, semblent produire des dommages similaires. D'autre part, parce qu'il est scientifiquement établi que ce sont les combinaisons de plusieurs facteurs de stress qui menacent les abeilles : les pesticides, la raréfaction des fleurs sauvages, certains polluants, l'émergence de nouveaux parasites et pathogènes, l'introduction de prédateurs exotiques, la destruction des habitats, etc.

Mais pourquoi les abeilles sont-elles en danger ? Et comment les aider ? En analysant leur comportement, on se rend compte que leur style de vie requiert une intelligence très développée, mais fragile, source majeure de leur vulnérabilité face aux facteurs de stress environnementaux. Ces derniers agissent sur le développement et le fonctionnement de leur cerveau, altérant leurs capacités à résoudre des tâches cognitives essentielles au butinage, et donc, à leur survie.

En butinant de fleur en fleur pour récolter pollen et nectar, les abeilles participent à la reproduction des plantes qui produisent les fruits et légumes que nous

consommons. Cette longue coévolution entre plantes et insectes a contraint les abeilles à suivre un style de vie particulier, reposant sur une très bonne connaissance de leur environnement. Les butineuses exploitent des ressources fragmentées parfois dispersées sur plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres, autour du nid (la ruche dans le cas des abeilles domestiques).

Contrairement à certaines espèces animales qui n'ont pas de nid fixe ou s'approvisionnent sur des ressources localement abondantes (comme les sauterelles), les abeilles dépendent de facultés cognitives élaborées qui leur permettent de trouver des plantes à fleurs autour de

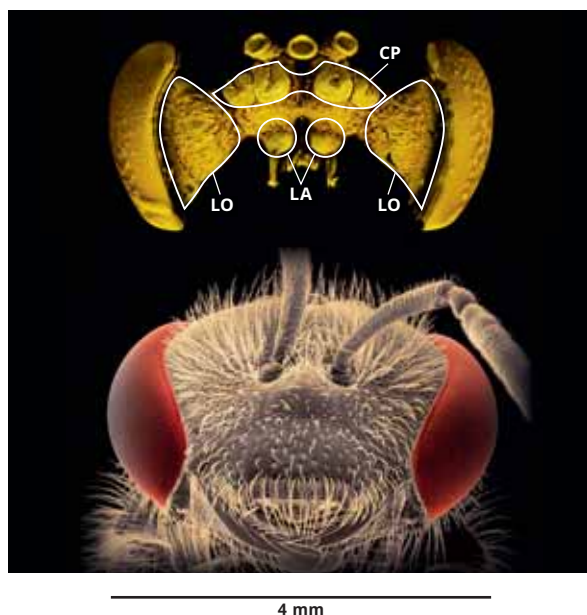
leur nid et de rapporter la nourriture collectée à la colonie.

Le cerveau, une cible de choix

Ces aptitudes sont d'autant plus impressionnantes lorsque l'on considère la petite taille de leur cerveau (une tête d'épingle d'un million de neurones contre 100 milliards chez l'homme !). Pour butiner efficacement, les abeilles doivent tout d'abord être capables d'acquérir une connaissance visuelle de leur environnement et des mémoires spatiales afin de s'orienter correctement et retrouver leur nid. Elles doivent ensuite apprendre et mémoriser la forme, la couleur, l'odeur, la texture, voire la signature électromagnétique des fleurs qui produisent du nectar. Plus intrigant encore, ces insectes sont capables de développer des routes pour relier les sites de nourriture et le nid en utilisant le trajet le plus court.

Enfin, rappelons la célèbre danse par laquelle les abeilles domestiques communiquent la qualité et l'emplacement des ressources florales à leurs congénères. Toutes ces facultés reposent sur des processus neuronaux aussi élaborés que fragiles, dont le bon fonctionnement permet aux butineuses de remplir leur mission et d'assurer la survie de la colonie ou, dans le cas des espèces solitaires, le devenir de leur progéniture.

Différents facteurs responsables du déclin des abeilles ont récemment été pointés du doigt pour leurs effets directs sur le cerveau et le comportement des abeilles. C'est le cas des parasites tels que l'acarien *varroa* ou le champignon *Nosema* qui agissent en modifiant l'expression de certains gènes dans le cerveau. Les pesticides et les métaux lourds (issus de la pollution industrielle) affectent la communication entre les neurones et leur niveau d'activité. Dans la mesure où le cerveau ne peut fonctionner efficacement que grâce au maintien d'un certain niveau d'activité, le lien entre ces effets cellulaires et une perturbation du butinage est inévitable.



► Pour trouver de quoi butiner, l'abeille a besoin de toutes ses fonctions cognitives : les informations olfactives des lobes antennaires (LA) et visuelles des lobes optiques (LO) intégrées par les corps pédonculés (CP), lui permettent d'apprendre et de mémoriser son environnement.

1. University of Trento, Rovereto, Italy. 2. Unité CNRS/Centre de biologie intégrative/Université Toulouse-III Paul-Sabatier. 3. « A new pesticide may be as harmful to bees as the old one », www.sciencemag.org.

“Parasites, malnutrition, virus, pesticides... altèrent le fonctionnement du cerveau des abeilles.”

Les abeilles peuvent également souffrir de carences alimentaires lorsqu'elles évoluent dans des milieux où la diversité florale est appauvrie, comme dans les grandes zones de monocultures. Le cerveau d'une larve d'abeille carencée ne se développe pas de manière optimale, ce qui plus tard réduit son efficacité de butinage. Chez l'adulte, un déficit en acides gras essentiels (comme les oméga-3) empêche tout apprentissage olfactif essentiel à la discrimination des espèces de plantes. Un tel effet peut engendrer, par réaction en chaîne, un manque de nourriture pour toute la colonie, pouvant conduire à son effondrement.

Données scientifiques et actions citoyennes

La recherche publique, en rassemblant des preuves de leur toxicité, a contribué à l'exclusion des néonicotinoïdes du marché, vingt-cinq ans après les premières alertes des apiculteurs. Notre devoir, en

tant que spécialistes du comportement des insectes, est d'identifier les autres sources de stress et leurs effets combinés sur le cerveau et la cognition des différentes espèces d'abeilles, c'est-à-dire les abeilles sauvages vitales à la pollinisation des plantes locales.

Une approche comparative est nécessaire pour distinguer les espèces les plus exposées et les plus sensibles aux facteurs de stress. De telles études devraient permettre de définir des niveaux de tolérance pour des combinaisons de facteurs de stress, et pourquoi pas de trouver des stratégies de protection – par exemple, l'utilisation de compléments alimentaires ou de combinaisons bien identifiées de fleurs assurant une nutrition équilibrée.

Que faire d'ores et déjà ? Élément central pour les écosystèmes agricoles, les abeilles sont essentielles. Une agriculture rentable et plus respectueuse des pollinisateurs est à mettre en place, grâce à des approches alternatives aux pratiques intensives, préconisées à partir de données scientifiques comme le fait, en France, l'Institut national de la recherche agricole. C'est aussi en tant que citoyens que nous pouvons agir, par exemple en augmentant l'offre alimentaire avec des fleurs mellifères sur nos balcons et dans nos jardins, et en privilégiant une consommation modérée, locale et respectueuse de l'environnement. L'écho qu'ont rencontré, au niveau des instances européennes, les initiatives issues de la société civile pour une régulation plus stricte des néonicotinoïdes montre qu'une mobilisation citoyenne importante, fondée sur des arguments scientifiques forts, peut porter ses fruits. **II**

À lire



SCIENCES COGNITIVES

L'être humain est peut-être un animal doué de raison, mais même s'il en est très fier, dans la vraie vie,

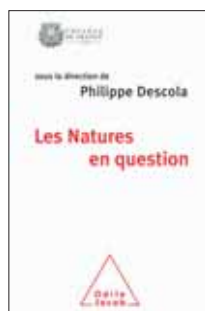
il ne recourt que très épisodiquement à ce don. Pourquoi, en dépit de statistiques très favorables aux transports aériens, avons-nous davantage peur de mourir en avion qu'en traversant la rue ? Pourquoi les fumeurs craignent-ils la pollution tout en continuant de fumer ? Partant d'exemples tirés de l'actualité ou de notre quotidien, cet ouvrage passe en revue ces biais cognitifs et autres erreurs qui trahissent notre rationalité limitée. Il montre également comment essayer d'y remédier en en prenant conscience, afin de ne pas être manipulés par ceux qui savent tirer profit de nos carences de raisonnement.

L'Erreur est humaine, Vincent Berthet, CNRS Éditions, septembre 2018, 224 p., 22 €.

BIOMIMÉTISME

Imitation des fleurs de bardane hérissées de crochets, le Velcro fait partie des exemples emblématiques du biomimétisme. Mais saviez-vous que le ver de terre sert de modèle à des robots qui doivent ramper dans les canalisations de centrales atomiques ? Ou qu'un procédé de lutte contre les faux billets de banque s'inspire de l'iridescence des ailes de papillon ? Du pouvoir d'adhésion des pattes du gecko à la colle des moules, cet ouvrage fourmille d'exemples, parfois illustrés de photos et de schémas, pour comprendre comment les chercheurs s'inspirent de la nature pour innover.

Biomimétisme : on n'a rien inventé ! Alain Thiéry et Cécile Breton, Éditions Le Cavalier bleu, octobre 2018, 134 p., 18 €.



ANTHROPOLOGIE

Si elle a longtemps été définie, du moins dans la pensée européenne, par son opposition à la culture, à l'esprit, à l'art ou à l'histoire, « la nature n'est plus ce qu'elle était ». Issu d'un colloque organisé au Collège de France en 2017, ce livre se fait l'écho de nombreuses études démontrant un effritement des frontières entre déterminations naturelles et déterminations humaines, et propose une réflexion interdisciplinaire sur les questions soulevées par ce déplacement des limites de la nature.

Les Natures en question, Philippe Descola (dir.), Odile Jacob, octobre 2018, 336 p., 26,90 €.





Myriam Lajaunie, doctorante à l'Institut de physique du globe de Strasbourg¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ROMAIN HECQUET

...de cette journée passée dans les Vosges au printemps 2017 à réaliser des mesures électromagnétiques pour le programme CRITEX. Il vise à identifier les réponses du milieu aux perturbations naturelles et anthropiques (dûes aux humains). L'objectif était d'étudier les structures composant le bassin-versant du Strengbach, rivière du Haut-Rhin, et leur implication dans l'hydrologie du site. La boîte blanche à mes côtés génère un courant alternatif dans le sol, créant un signal électromagnétique que j'utilise comme signal source. C'est la réponse du milieu à ce signal qui me permet de connaître les variations de résistivité électrique (capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique, NDLR) dans le milieu que j'étudie. Je peux ensuite en déduire les structures et leur contenu en eau. Une étape importante est d'assurer le contact entre nos instruments de mesure et le milieu. C'est le rôle de la tige en métal, une électrode, que j'enfonce dans le sol. Scrutant un géant calme et silencieux, nos instruments interrogent alors les profondeurs du sous-sol dans une langue que seuls les électrons et les protons comprennent. Nous cherchons à la traduire avec précision et assurance.

PHOTO : HUBERT RAGUET/LHYGES/IPGS/OHGE / CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Unité CNRS / Université de Strasbourg.



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

La com', toute une histoire...

Depuis quelque temps, la recherche en général et le CNRS en particulier souffrent d'une maladie grave : la communication. Chers lecteurs, il est déjà trop tard pour vous : en parcourant *CNRS Le Journal*, vous avez été contaminés. Le virus s'est immiscé et, bientôt, vous allez ressentir vous aussi l'envie coupable de « faire de la com' », en trahissant cette science si belle et si pure que des générations de savants ont établie avec patience et sérieux. La pente fatale...

Le goût de la culture scientifique

La communication est en effet assimilée à une dérive récente, en science comme ailleurs. Retranchés dans leurs laboratoires comme dans une tour d'ivoire, nos devanciers ne se seraient souciés que du progrès des connaissances, et de leur diffusion auprès d'un cénacle d'esprits éclairés. Une image d'Épinal qui omet cependant les efforts de ces mêmes devanciers pour promouvoir leurs travaux : comment oublier les expériences publiques du comte de Buffon, de l'abbé Nollet ou de Benjamin Franklin, pour ne citer qu'eux, sous les Lumières ? Ou, au siècle suivant, les initiatives de François Arago, l'auteur de *L'Astronomie populaire*,

le savant qui a ouvert les portes de l'Académie à la presse ? Et, en 1881, Louis Pasteur n'est-il pas à l'origine de l'un des coups de com' les plus éclatants de l'histoire des sciences, avec sa vaccination spectaculaire à Pouilly-le-Fort ?

La même préoccupation marque, plus près de nous, les origines du CNRS. En même temps qu'il œuvrait à l'organisation de la recherche, Jean Perrin s'est employé à sensibiliser le public. Notre père fondateur est ainsi à l'origine, en 1937, du palais de la Découverte, un lieu dans lequel il plaçait de grands espoirs : « *Nous voulions familiariser nos visiteurs avec les recherches fondamentales [...] sans en abaisser le niveau, mais de façon accessible à un très grand nombre d'esprits. Et nous voulions par-là répandre dans le public le goût de la culture scientifique, en même temps que les qualités de précision, de probité critique et de liberté de jugement que développe*

cette culture et qui sont utiles et précieuses à tout homme, quelle que soit sa carrière... »

Une nécessité pour le bien public

Si l'on ne parle pas encore de « communication », mais de « popularisation » ou de « vulgarisation », l'ambition est présente dès la genèse du CNRS. Après Jean Perrin, les responsables de l'établissement ont encouragé leurs collègues à aller au contact du public, à l'instar de Frédéric Joliot-Curie qui s'est révélé un communicant hors pair. Chemin faisant, des initiatives durables ont vu le jour. En 1971, à l'initiative du directeur général Hubert Curien, paraît le premier numéro du *Courrier du CNRS*, ancêtre de votre *Journal*. Le futur ministre de la Recherche prévient alors : « *Il ne suffit plus que les scientifiques soient convaincus, il faut aussi qu'ils soient convaincants.* » En 1982, alors que « la diffusion des connaissances scientifiques » est inscrite parmi les objectifs des organismes d'État, une direction de l'information scientifique voit le jour, avec un secteur dédié à la communication. En 1989, ce dernier devient une direction à part entière, la « dircom », sous l'impulsion de François Kourilsky, tandis que les départements, les délégations et les laboratoires du CNRS sont incités à se doter de correspondants, un dispositif qui s'est ensuite étoffé avec les nouveaux moyens de communication.

Une belle success story qui va continuer à s'écrire ? Sans doute, mais à condition de ne jamais oublier que la communication, contrairement au rôle qu'on lui attribue parfois, est moins un cache-misère qu'un montre-succès : de même qu'un gouvernement ne ferait pas longtemps illusion s'il dissimulait son manque d'initiatives et de résultats derrière un nuage de communication, le CNRS ne tromperait personne si sa propre com' ne s'appuyait pas sur une recherche d'excellence. Jean Perrin l'avait bien compris, qui annonçait encore, peu après l'inauguration du palais de la Découverte et à la veille de la naissance du CNRS : « *Nous voulions faire comprendre aux masses et aux classes dirigeantes que favoriser la recherche est de première nécessité pour le bien public* », et qu'elle « *doit être poursuivie, sans préoccupation pratique, précisément si l'on veut en tirer de grands résultats* ». Des mots qui demeurent d'une grande actualité alors que notre établissement s'apprête à célébrer, en 2019, son 80^e anniversaire ! ■

“*L'ambition de « populariser » la science est présente dès la genèse du CNRS.*”

EN 2019, LE CNRS RECRUTE DES CHERCHEUSES ET CHERCHEURS

Dans tous les domaines scientifiques

Sciences biologiques, chimie,
sciences de l'environnement et
écologie, sciences humaines et sociales,
sciences de l'information,
sciences de l'ingénierie
et des systèmes,
mathématiques, physique,
physique nucléaire et
physique des particules,
sciences de
la planète et
de l'Univers.



Les personnes en situation de handicap peuvent
également être recrutées par voie contractuelle.



www.cnrs.fr

Inscription en ligne sur [carrieres.cnrs.fr](https://www.carrieres.cnrs.fr)
du 4 décembre 2018 au 8 janvier 2019

PUITS
DE SCIENCE

La nouvelle série du CNRS
sur  YouTube

des interventions de scientifiques
des épisodes plus longs
des thématiques larges
une présentation originale
et toujours aussi décalée !

Retrouvez *Puits de Science*
sur la chaîne  !

www.youtube.com/ZestedeScience

Abonne-toi !



CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #5

Entrez dans les coulisses
de la recherche

#5 actuellement
en vente
en librairie et Relay

200 pages / **12,50 €**



www.carnetsdescience-larevue.fr



CNRS EDITIONS