



**Contre le VIH,**  
la recherche  
sur tous  
les fronts

**Alain Brillet et  
Thibault Damour,**  
médailles d'or  
du CNRS

**Reportage  
en Guyane  
sur les traces des  
tortues luths**

**CASSINI**  
les leçons  
d'une épopée  
spatiale

### PRIX COUPS D'ÉLAN POUR LA RECHERCHE FRANÇAISE

Quatre laboratoires du CNRS et de l'Inserm renoués et/ou équipés.



■ VALERIE CASTELLANI

Étude des signaux topographiques dans le développement physiologique et pathologique du système nerveux  
INSTITUT NEUROMYOGÈNE - LYON



■ AXEL INNIS

L'inhibition de la traduction bactérienne par les peptides naissants ou antimicrobiens  
INSTITUT EUROPÉEN DE CHIMIE ET BIOLOGIE - PESSAC



■ MARCELO NOLLMANN

Épigénomique et architecture chromatinienne - une cellule à la fois  
CENTRE DE BIOCHIMIE STRUCTURALE MONTPELLIER



■ TERENCE STRICK

Voir la réparation de l'ADN, molécule par molécule  
INSTITUT DE BIOLOGIE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE PARIS

## 5 SCIENTIFIQUES ET LEURS ÉQUIPES DE RECHERCHE RÉCOMPENSÉS

### PROGRAMME ATIP-AVENIR

Une nouvelle équipe de recherche créée au sein d'un laboratoire de recherche français.



■ EMMANUEL PERISSE

Comment les expériences passées façonnent les décisions futures  
INSTITUT DE GÉNOMIQUE FONCTIONNELLE - MONTPELLIER



FONDATION BETTENCOURT SCHUELLER

La Fondation Bettencourt Schueller s'est fixé pour objectif d'agir durablement sur l'écosystème de la recherche dans les sciences de la vie en travaillant sur trois leviers indissociables :

- accentuer le rayonnement de la recherche biomédicale française,
- accélérer le processus d'innovation,
- améliorer les conditions de travail des chercheurs.

Depuis 1990, elle a déjà attribué 391 prix et encouragé plus de 5 000 chercheurs.

Plus d'informations sur la Fondation Bettencourt Schueller : [www.fondationbs.org](http://www.fondationbs.org)

théra - Photo : @CAPA

# LE CNRS FAIT SON LIVE

Chaque mois sur Facebook, le CNRS vous emmène au cœur de la recherche, dans des laboratoires et lieux insolites des sciences. Découvrez les coulisses de la recherche, posez vos questions et assistez à des expériences en direct.



Seulement sur [facebook.com/cnrs.fr](https://facebook.com/cnrs.fr)



**Rédaction :**

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

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

Anne Peyroche

**Directrice de la rédaction :**

Brigitte Perucca

**Directeur adjoint de la rédaction :**

Fabrice Impériali

**Rédacteur en chef :**

Matthieu Ravaud

**Chef de rubrique :**

Charline Zeitoun

**Rédacteurs :**

Anne-Sophie Boutaud, Laure Cailloce, Yaroslav Pigenet

**Assistante de la rédaction et fabrication :**

Laurence Winter

**Ont participé à ce numéro :**

Stéphanie Bélaud, Audrey Diguët, Grégory Fléchet, Cyril Frésillon, Mathieu Grousson, Denis Guthleben, Louise Lis, Carina Louart, Fui Lee Luk, Émilie Silvoz, Vahé Ter Minassian, Catherine Véglio

**Secrétaires de rédaction :**

Isabelle Grandrieux, Sandrine Hagège

**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](mailto:phototheque@cnrs.fr) ;  
<http://phototheque.cnrs.fr>La reproduction intégrale ou partielle  
des textes et des illustrations  
doit faire obligatoirement l'objet d'une  
demande auprès de la rédaction.En couverture : une tortue luth  
venue pondre sur la plage de  
Yalimapo, dans l'ouest de la Guyane.

PHOTO : LAURE CAILLOCE

**L**a Guyane, département et région française d'outre-mer, constitue un territoire d'une richesse inestimable pour les scientifiques. De l'ingénierie à la médecine tropicale, en passant par la foresterie, la chimie, l'ethnographie et l'écologie évolutive, nombreux sont les domaines qui apportent des résultats exceptionnels au bénéfice de tous.

Le CNRS est aujourd'hui l'organisme le plus fortement implanté en Guyane avec 8 chercheurs permanents, 16 ingénieurs et techniciens, 10 doctorants et 6 post-doctorants... auxquels il faut ajouter les très nombreux scientifiques, français ou étrangers, accueillis temporairement dans les laboratoires ou les stations de recherche. Parmi les sujets prioritaires : la biodiversité terrestre, les écosystèmes littoraux, les interactions entre les sociétés humaines et leurs milieux, la chimie des substances naturelles, la valorisation des bio-ressources et, bien sûr, les changements globaux.

La Guyane française est la plus grande forêt tropicale de l'Europe. La Station d'écologie des Nouragues, qui occupe 9 000 hectares dans la réserve naturelle du même nom, permet d'en prendre le pouls. Depuis 2014, le Copas, un dispositif unique au monde qui offre un accès permanent à la canopée, conforte la visibilité internationale de la station et ouvre de

nouveaux champs de recherche. Les Nouragues servent même de site de référence pour la calibration des stocks de carbone dans les forêts tropicales. Par ailleurs, pour évaluer les quantités de carbone se trouvant dans les mangroves, le CNRS a monté un « mésocosme », un site de test en grandeur réelle, dans les parcelles des rizières de Mana.

Pilotée par la Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS, la Pépinière interdisciplinaire de Guyane (PIG) s'intéresse aux études sur le littoral sous influence amazonienne et à la dynamique des populations de tortues marines. À la clef, ce sont dix ans de suivi de trois espèces de tortues menacées : les tortues luths, vertes et olivâtres.

De son côté, l'Observatoire hommes-milieu Oyapock étudie l'impact social, économique et environnemental de la construction du pont sur l'Oyapock entre le Brésil et la France en mobilisant différentes disciplines scientifiques. Une preuve supplémentaire de la diversité des travaux menés en Guyane, dont ce numéro de *CNRS Le journal* vous invite à découvrir quelques illustrations.

*“La Guyane,  
un territoire d'une  
richesse inestimable  
pour les scientifiques.”*

*Stéphanie Thiébault,*  
directrice de l'Institut écologie et  
environnement (Inee) du CNRS



© CNRS DÉLÉGATION PMA



© C. FRÉLILLON/CEFE/CNRS PHOTOTHÈQUE

# GRAND FORMAT

15

Guyane, terre de sciences .....	16
Les globicéphales ont-ils du nez ? .....	28
Contre le VIH, la recherche sur tous les fronts .....	34



© F. PLASCENIS PHOTOTHÈQUE / F. PLASCENIS PHOTOTHÈQUE

6

Un duo en or  
pour les ondes gravitationnelles

## EN PERSONNE 5

Nominations et récompenses .....	11 et 14
Un jour avec Bernard Oriola, spécialiste de l'interaction homme-machine .....	12



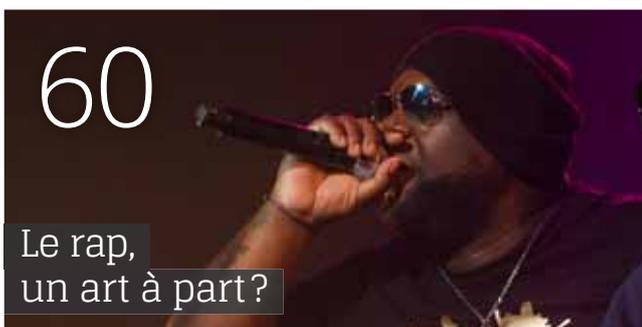
© J. MORGAN/PANOS-REA

54

Quand les  
écosystèmes saturent

## EN ACTION 43

Mission Cassini : bilan d'une odyssée extraordinaire .....	44
Anne Peyroche : « <i>L'attractivité du CNRS est exceptionnelle</i> » .....	48
Les chercheurs étrangers en danger ont besoin de Pause .....	50
Comment les dinosaures couvaient-ils leurs œufs ? .....	51
Et le chat conquiert le monde .....	52
Quand les écosystèmes saturent .....	54
L'Encyclopédie à portée de clic .....	56



© CHON/DALLE

60

Le rap,  
un art à part ?

## LES IDÉES 57

Ce qu'il leur reste à découvrir .....	58
Une sélection d'ouvrages à lire .....	61
Les « jardins suspendus » de la physique .....	63

### CARNET DE BORD

Joël Savarino nous raconte un souvenir de recherche ..... 64

### LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Cinquante (et quelques) années de valorisation... 66

# EN PERSONNE



*Où l'on rencontre deux pionniers  
des ondes gravitationnelles et  
un expert des interfaces pour les  
personnes en situation de handicap.*

ILLUSTRATION : MATHIEU CLAUSS/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL



# Un duo en or pour les ondes gravitationnelles

PAR MATHIEU GROUSSON

**Événement.** Le 14 décembre 2017, Alain Brillet et Thibault Damour recevront la médaille d'or du CNRS, plus haute récompense scientifique française, lors d'une cérémonie au Collège de France. Alain Brillet, spécialiste des lasers et expérimentateur hors pair, est l'un des pères de l'interféromètre géant Virgo. Théoricien de la relativité générale d'Einstein, Thibault Damour a été le premier à prédire la forme du signal émis par la fusion de deux trous noirs. Ensemble, les deux scientifiques ont contribué de façon déterminante à la découverte des ondes gravitationnelles, mises en évidence par la collaboration LIGO-Virgo en 2015. Nous les avons rencontrés en octobre, quelques jours après l'annonce de cette distinction.

## Alain Brillet, expérimentateur de génie

Son plus beau souvenir professionnel ? Assis dans le salon de sa maison, sur les hauteurs de Nice, Alain Brillet<sup>1</sup> ne réfléchit pas longtemps : 1992, lorsque Hubert Curien, alors ministre de la Recherche et de la Technologie, a approuvé le financement de Virgo, son projet d'interféromètre. À l'époque, 23 ans séparent encore les physiciens de la collaboration LIGO-Virgo de la première observation des ondes gravitationnelles – sortes de tremblements de l'espace-temps – engendrées par la fusion de deux trous noirs. Mais à l'en croire, le plus dur était fait : persuader du bien-fondé de sa démarche quand lui, dont le regard appuyé traduit la ténacité, paraît n'en avoir jamais douté.

Pourtant, au départ, rien ne destine Alain Brillet, 70 ans cette année, à cette aventure. Étudiant à l'ESPCI<sup>2</sup>, il s'ennuie pendant les cours et les après-midi de labo de chimie. D'où son choix de se tourner vers la physique, « *un peu par défaut au début* », admet-il.

Diplômé en 1970, il entre au CNRS comme ingénieur de recherche, à la condition de pouvoir préparer un doctorat, selon ses *desiderata*. Au Laboratoire de l'horloge atomique où il est nommé, on lui propose de réaliser des lasers stabilisés en fréquence dont John Hall, prix Nobel de physique 2005, vient de démontrer la faisabilité outre-Atlantique. « *On m'a dit, voilà ton sujet, on n'y connaît rien, fais ce que tu veux, se souvient Alain Brillet. Ça tombait bien, je n'ai jamais aimé qu'on me dise quoi faire.* »

### Un maître de la précision

Pendant six ans, l'apprenti physicien fraise, soude, souffle du verre, aligne des lentilles... À la clé, un dispositif présentant des variations de fréquences comparables à celles des horloges atomiques les plus stables, avec des possibilités d'amélioration ! À l'interlocuteur lui faisant remarquer que, avec lui, tout semble facile, Alain Brillet balaie d'un revers de main : « *D'une façon générale, j'ai surtout su identifier les problèmes.* »

Manifestement, aucun ne lui semble insurmontable. En 1979, en post-doc chez John Hall, à Boulder, dans le Colorado, il met au point une version améliorée de la célèbre expérience de Michelson-Morley visant à tester l'isotropie de la vitesse de la lumière, avec des lasers ultra-stabilisés. Sa précision demeure inégalée pendant plus de 25 ans ! Ce faisant, celui qui se définit comme un instrumentiste découvre les concepts einsteiniens de l'espace et du temps, la relativité générale et les ondes gravitationnelles. ...



© F. PLASCONS PHOTO THÈQUE

“Ma plus grande joie,  
c'est l'instrument.”

Alain Brillet

1. Alain Brillet est actuellement directeur de recherche émérite au CNRS, affecté au laboratoire Artemis (CNRS/Université Nice Sophia-Antipolis/Observatoire de la Côte d'Azur). 2. École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris.

## Une nouvelle astronomie est née

Depuis le 1<sup>er</sup> août 2017, l'interféromètre Virgo a pris du service aux côtés de ses deux alter ego états-uniens de LIGO. Avec déjà deux belles prises à son actif.

Ainsi, le 14 août, ses deux bras lumineux de 3 kilomètres ont enregistré leur premier passage d'une onde gravitationnelle, marquant la première observation conjointe pour LIGO et Virgo. Résultat: la mise en évidence de la fusion de deux trous noirs – qui s'ajoute aux trois détections semblables réalisées par LIGO depuis 2015 – de 30 et 25 masses solaires, situés à 1,8 milliard d'années-lumière de la Terre. « *C'est extraordinaire de voir un premier signal dans notre détecteur* », témoigne Alain Brillet.

Trois jours plus tard, les trois détecteurs de la collaboration LIGO-Virgo ont à nouveau enregistré une infime

déformation de l'espace. Précisément celle engendrée par la fusion de deux étoiles à neutrons, deux astres ultra-denses de la masse d'une étoile pour un rayon de 10 à 15 kilomètres et exclusivement composés de neutrons, l'un des constituants des noyaux atomiques. Une première! « *C'est le signe que l'interférométrie est réellement en train d'ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'univers* », s'enthousiasme l'expérimentateur. Car « *à travers les ondes gravitationnelles, précise Thibault Damour, nous allons pouvoir sonder les propriétés fines de cette matière si exotique qui compose les étoiles à neutrons.* »

Mieux, grâce à la combinaison des signaux captés par les trois instruments, la source de l'émission gravitationnelle a pu être localisée avec une précision suffisante pour que

plusieurs observatoires scrutent le ciel dans la même direction, et ce dans toutes les longueurs d'onde de la lumière. À la clé, la résolution de plusieurs énigmes, dont l'origine des sursauts gamma courts, d'intenses bouffées de photons ultra-énergétiques détectées périodiquement depuis les années 1960, associés donc

désormais à la coalescence de deux étoiles à neutrons. De même, l'observation de l'éjecta de matière engendré par la collision a confirmé que ce phénomène extrême est bien à l'origine de la synthèse des éléments plus lourds que le fer... tel l'or. Une pluie de résultats qui signe bel et bien l'acte de naissance d'une nouvelle astronomie!

► **Vue d'artiste d'une kilonova, produite par la fusion de deux étoiles à neutrons, événement exceptionnel observé le 17 août 2017.**



© ESO/L. CALÇADAM, KORNMESSER

... À son retour en France, Thibault Damour et Philippe Tourrenc l'encouragent à se tourner vers la détection de ces dernières, une gageure. « *Rainer Weiss avait calculé qu'un interféromètre de plusieurs kilomètres serait nécessaire pour les mettre en évidence. Il en avait bien étudié les principales spécifications, mais il fallait gagner cinq ordres de grandeur en stabilité des lasers, au moins deux fois plus en stabilité sismique, et la puissance des lasers de même que la qualité des composants optiques n'y étaient pas du tout* », résume Alain Brillet.

Qu'importe, pour ce spécialiste des lasers, la quête des ondes prédites par Einstein en 1916 constitue le plus beau défi possible. En 1982, nommé directeur de recherche au CNRS, il se lance avec une minuscule équipe, comme plusieurs groupes de par le monde.

### De l'improbable au tangible

Trois ans plus tard, la rencontre avec le spécialiste de l'atténuation sismique Adalberto Giazotto est déterminante. « *Lors d'un congrès organisé à Rome, nous avons réalisé la complémentarité de nos approches, se souvient le directeur de recherche émérite. Nous avons alors imaginé Virgo, initialement le Very Improbable Radio-Gravitational Observatory!* »

Au fil des années, le projet devient de plus en plus tangible. Ainsi, en 1989, l'équipe d'Alain Brillet est la première à démontrer la possibilité d'intensifier la puissance d'un laser par de multiples allers-retours du faisceau, sur une idée du physicien écossais Ron Drever.

Pour autant, à la fin des années 1980, le risque de voir Virgo rester dans les cartons est sérieux. En 1989, les deux promoteurs de Virgo déposent leur projet au CNRS. « *Plus tard, Patrick Fleury<sup>3</sup> m'a avoué avoir accepté de présider l'expertise, persuadé que deux semaines suffiraient pour conclure à l'impossibilité de réaliser Virgo!* » raconte Alain Brillet. Résultat : un rapport positif et, trois ans plus tard, la ratification ministérielle, deux avancées qui, de l'avis de tous, tiennent tout autant à la force de conviction de l'ancien directeur du consortium Virgo qu'à sa maestria expérimentale incontestée.

Ainsi, c'est lui qui convainc – y compris les promoteurs de LIGO –, d'opter pour des lasers infrarouges, plus stables. Encore lui et son équipe qui montrent qu'un programme de simulation est nécessaire pour spécifier les optiques des interféromètres, programme qui sera transmis aux Américains en 1990. Ou qui porte à bout de bras le projet permettant d'obtenir de la silice à faible absorption, indispensable pour les miroirs et les lentilles des instruments. Enfin, c'est lui qui décide le CNRS à se donner les moyens d'un laboratoire – dirigé par

3. Le physicien des hautes énergies Patrick Fleury présidait en 1989 le comité d'évaluation du projet Virgo.

Jean-Marie Mackowski – afin de réaliser des optiques présentant la réflectivité nécessaire pour Virgo et LIGO.

### La détection des premières ondes

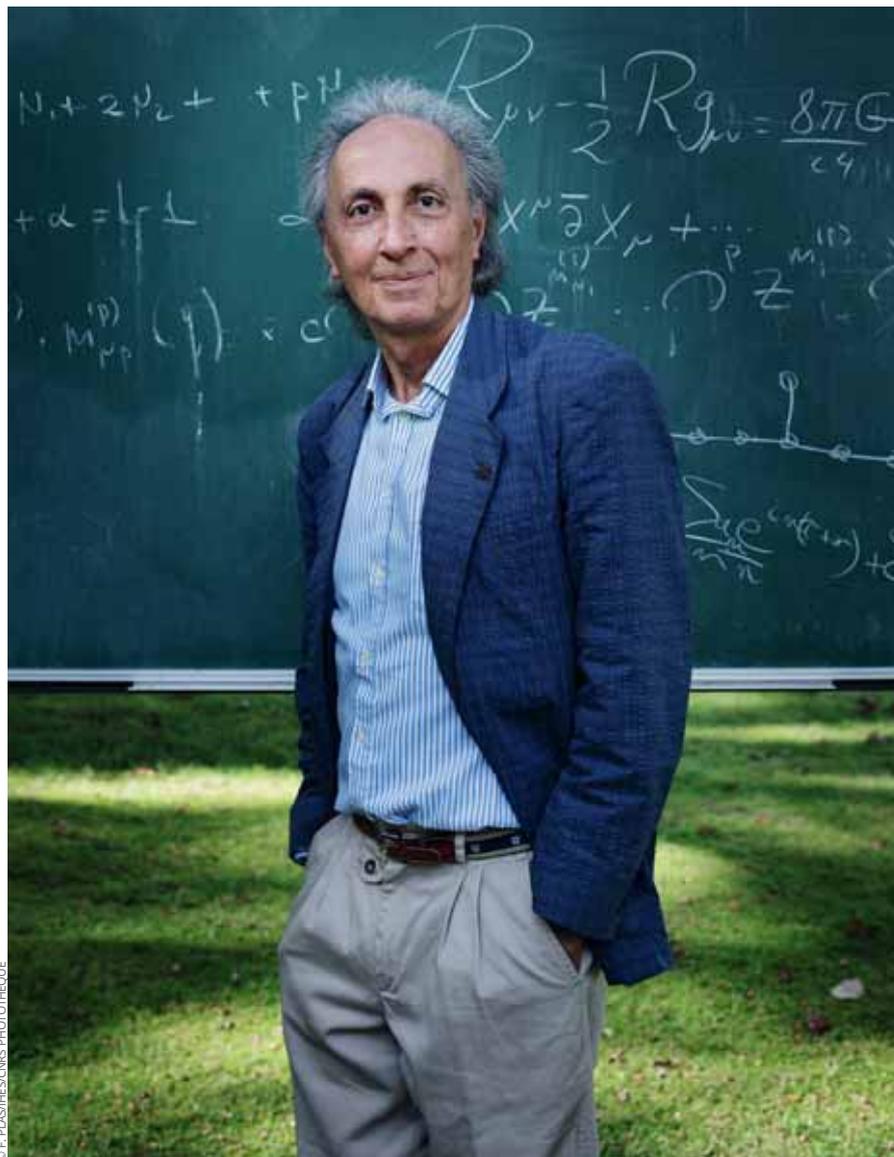
En 2000, la construction de l'infrastructure de Virgo est achevée à Cascina, près de Pise. Puis en 2005, l'instrument est assemblé. Néanmoins, la sensibilité initiale ne suffit pas et les détecteurs restent muets. En 2011, il est donc démantelé au profit d'un nouvel interféromètre dix fois plus performant. En août 2017, il détecte ses premières ondes gravitationnelles.

Entre-temps, le détecteur de seconde génération de LIGO est entré en service avec deux ans d'avance sur son alter ego européen. Et détecte ses premières « vagues d'espace-temps » en septembre 2015. Certes, LIGO et Virgo partagent les données et signent conjointement toutes les publications. Il n'empêche, certains membres de Virgo ne cachent pas leur amertume. « *On n'a pas à se plaindre* », lâche simplement le lauréat 2016 du grand prix Ampère de l'Académie des sciences qui, depuis trois ans, a arrêté la physique pour raison de santé. Et d'ajouter : « *Ma plus grande joie, c'est l'instrument. Lorsqu'il a fonctionné pour la première fois, je me suis dit qu'on n'avait pas travaillé pour rien.* » Au vu des résultats, c'est peu dire : rien moins que la preuve que les ondes imaginées par le père de la relativité il y a un siècle sont une réalité, et, ce faisant, l'ouverture d'une nouvelle fenêtre sur l'Univers. Bien plus qu'un beau souvenir !

## Thibault Damour, théoricien de l'espace-temps

Des bibliothèques jusqu'au plafond, des montagnes de papiers, un tableau recouvert d'équations... Dans le vaste bureau où Thibault Damour reçoit ses visiteurs, à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES), l'image du théoricien évoluant loin du monde, dans un univers exclusivement peuplé d'abstractions mathématiques, est parfaite. Si ce n'était cette photo d'Albert Einstein, surmontée d'une montre molle à la Dali. « *Je suis un physicien au sens vrai, l'observation toujours à l'esprit* », confirme le spécialiste de la relativité générale.

Et de fait, Thibault Damour amorce la conversation en présentant un exemplaire du dossier déposé au CNRS par Alain Brillet en 1982 pour appuyer son projet de détecteur d'ondes gravitationnelles. Ces infimes déformations de l'espace-temps observées pour la première fois en 2015 que, par ses travaux théoriques, il a contribué à découvrir, et pour lesquelles il vient de recevoir la médaille d'or du CNRS. Point d'orgue d'une existence tout entière vouée à l'étude de la théorie einsteinienne de la gravitation.



© F. PLAS/HEC/SCINIS PHOTO THÉO

### Une erreur d'Einstein repérée... à 14 ans

La formule n'a rien d'une licence. Benjamin d'une famille de neuf enfants, Thibault Damour dévore, petit, les livres de physique de son aîné de sept ans. À 14 ans, il a digéré le fameux cours de physique de Landau, absorbé Bourbaki pour les maths, et déniché une « erreur » dans un article d'Einstein ! « *J'étais passionné par le problème de l'attraction entre deux corps en relativité générale, qui permet de s'interroger sur les fondements de la gravitation et donc de l'espace et du temps* », évoque le physicien âgé de 66 ans.

Après des études à l'École normale supérieure et une thèse très technique, « *sur des problèmes qui avaient l'air sans intérêt* », il séjourne à Princeton entre 1974 et ...



Retrouvez notre dossier sur les ondes gravitationnelles sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

... 1976, où il travaille sur la physique des trous noirs. « Ces deux années ont été déterminantes. Au près de scientifiques tels Remo Ruffini et John Wheeler, j'ai réalisé l'importance de l'intuition en physique », explique-t-il.

### Premières intuitions sur les ondes

C'est également au cours de cette parenthèse américaine que Thibault Damour apprend la découverte du premier pulsar binaire, un système stellaire double composé d'un pulsar et d'une étoile à neutron, par Joseph Taylor : « J'ai tout de suite compris que je tenais là une réalisation du problème théorique qui m'occupait depuis que j'étais gamin. »

Précisément, dès 1918, le père de la relativité note que la période orbitale de ce type de systèmes doit diminuer au cours du temps par perte d'énergie gravitationnelle. Mais aucune démonstration rigoureuse n'étaye la prédiction. Avec Nathalie Deruelle, Thibault Damour se lance et démontre que le phénomène est lié à l'émission d'ondes gravitationnelles. « Ce problème très difficile, survolé par de nombreux contributeurs, a nécessité trois années de travail, en particulier rendues possibles par le cadre au long cours offert par le CNRS où j'ai exercé à partir de 1977 », tient à rappeler celui qui, en 1989, devient professeur permanent à l'IHES. Confirmée par Joseph Taylor, l'évolution de la période du pulsar binaire constitue donc la première preuve de la réalité des ondes gravitationnelles. Avec, à la clé, le prix Nobel 1993 pour l'astrophysicien américain et son étudiant, Russell Hulse.

*“Les meilleures idées viennent souvent de cerveaux complémentaires, comme deux silex qui se cognent.”*

*Thibault Damour*

Thibault Damour et Joseph Taylor collaborent quelques années, réalisant plusieurs tests de la relativité générale, l'une des périodes marquantes de la carrière du physicien français. « Je me souviens de notre collaboration ici, à l'Institut, en 1991. J'ai dit à Joe que j'avais une nouvelle prédiction, il a immédiatement sorti ses données et nous avons ensemble contemplé le résultat sur l'écran de l'ordinateur ! », évoque le lauréat 1996 de la médaille Einstein, de l'Albert Einstein Gesellschaft.

Ce dernier n'omet d'ailleurs jamais de citer le nom d'un collaborateur, insistant sur l'importance du *brainstorming* à deux au tableau et des discussions à bâtons rompus lors

de longues promenades en forêt : « Les meilleures idées viennent souvent de cerveaux complémentaires, comme deux silex qui se cognent », assure-t-il.

### Des prédictions inédites sur la forme des signaux

En 1982, celui de Thibault Damour fait « tilt » lors d'une session de l'École de physique des Houches<sup>1</sup> où, depuis 1951, les physiciens se retrouvent pour discuter des avancées de leur science (*lire aussi page 63*). Les expérimentateurs commencent à parler de détecteurs d'ondes gravitationnelles, et il devient clair pour l'académicien qu'une théorie permettant de prédire la forme de l'émission de sources quelconques est une nécessité. Il développe ainsi plusieurs approches en ce sens, dont la méthode dite EOB (*Effective-one-body*). Au début des années 2000, celle-ci permet de décrire pour la première fois la forme précise des signaux émis lors de la fusion de deux trous noirs orbitant l'un autour de l'autre. Signaux que capteront les interféromètres LIGO quinze ans plus tard. Elle constitue le reste l'un des piliers de l'analyse des données du réseau d'interféromètres LIGO-Virgo. « J'ai été très chanceux que la nature offre ainsi la possibilité de tester ces prédictions », commente le lauréat 2016 du Special Breakthrough Prize In Fundamental Physics.

Ainsi, Thibault Damour s'est autorisé ces dernières années à travailler sur des sujets plus spéculatifs. En particulier la question de l'avant-big bang, qu'il aborde dans le cadre de la théorie des cordes, qui vise à réconcilier formellement relativité générale et mécanique quantique. « C'est la seule partie de mes travaux sans rapport avec le monde réel », confesse-t-il. Et encore en a-t-il tiré des prédictions de la théorie des cordes sur d'éventuelles violations du principe d'équivalence, selon lequel tous les corps tombent à la même accélération, aujourd'hui à portée d'expérience.

Comme le confie le théoricien, « c'est cet Univers mystérieux dans lequel nous évoluons qui m'intéresse ». Féru de philosophie et de métaphysique, pianiste confirmé, il sait que la science n'épuise pas le vertige. « Mais je la prends très au sérieux, dans la mesure où, avec Einstein, je considère que ce sont les théories qui font la réalité », analyse-t-il. D'où sans doute une certaine gravité lorsqu'il évoque sa responsabilité de physicien : « Lorsqu'on a la possibilité, comme c'est mon cas, de faire la recherche que l'on souhaite, on est dans l'obligation d'essayer d'apporter une contribution à des questions profondes. » Et aussi de transmettre, selon cet auteur de plusieurs livres à destination du grand public : « Je me souviens de moi adolescent lisant Einstein ; il est de mon devoir de communiquer cet amour. » Une relation quasi sensible à la science, bien au-delà des équations qui recouvrent les murs du vaste bureau. ■

## Anne Peyroche présidente du CNRS par intérim



© CNRS/DÉLÉGATION PMA

Le 24 octobre 2017, Anne Peyroche a été nommée présidente du CNRS par intérim. Elle remplace Alain Fuchs, à la tête de l'organisme depuis 2010, qui devient président de Paris Sciences & Lettres à compter de cette même date. Depuis janvier 2016, elle occupe la fonction de directrice générale déléguée à la science du CNRS.

Ancienne élève de l'École normale supérieure de Cachan, Anne Peyroche est reçue major de l'agrégation de biochimie et génie biologique en

1994 ; elle obtient un DEA de biologie cellulaire et moléculaire en 1995 puis soutient une thèse à l'université Pierre-et-Marie-Curie en 1999. Chercheuse au CEA, elle mène des recherches sur le trafic intracellulaire des protéines, puis sur les réponses aux dommages de l'ADN et enfin sur l'assemblage du protéasome.

En 2013, elle devient directrice adjointe du laboratoire Génétique moléculaire et destin cellulaire<sup>1</sup>. Membre du Comité national de la recherche scientifique de 2012 à 2014, elle est nommée, en mai 2014, conseillère en charge de la recherche au secrétariat d'État à l'Enseignement supérieur et à la Recherche. Elle devient directrice adjointe de cabinet en charge de la recherche de ce même secrétariat d'État en octobre 2015, avant de rejoindre le CNRS en tant que directrice générale déléguée à la science.

Chevalier de l'ordre national du Mérite, elle a reçu le prix Victor Noury Thorlet, Henri Becquerel, Jules et Augusta Lazare de l'Académie des Sciences en 2009 ainsi que le prix Irène Joliot-Curie de la « jeune femme scientifique de l'année » en 2010.



Lire aussi notre **entretien**  
avec **Anne Peyroche** p. 48

1. CNRS/CEA/Université Paris-Sud.

## La Fondation Bettencourt Schueller remet ses prix

Les prix scientifiques de la Fondation Bettencourt Schueller – dont les prix Coups d'élan pour la recherche française et le programme ATIP-Avenir – ont été décernés début novembre. Spécialiste des liens entre l'épigénétique et la reproduction, **Déborah Bourc'h**is du laboratoire Génétique et biologie du développement<sup>1</sup> a ainsi reçu le Prix Liliane Bettencourt pour les sciences du vivant. Plusieurs chercheurs travaillant dans des laboratoires liés au CNRS figurent parmi les 20 lauréats de ces différents prix.

+ » [www.fondationbs.org](http://www.fondationbs.org)

## Nomination à la fonction de déontologue du CNRS

**Joël Moret-Bailly**, chercheur au Centre de recherches critiques sur le droit (Cercrid)<sup>2</sup> et professeur de droit privé et sciences criminelles, est chargé depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2017 d'une mission de préfiguration de la fonction de référent déontologue au CNRS.



© M. HOJET/UNIVERSITE DE LIEGE

### LA FINALE INTERNATIONALE DE MT180

Le 28 septembre 2017 s'est tenue à Liège, en Belgique, la finale internationale du concours « Ma thèse en 180 secondes ». Vingt candidats (dont quinze candidates), lauréats des finales nationales, ont présenté leur recherche en trois minutes chrono. Et c'est la candidate béninoise, **Marielle Yasmine Agbahoungbata** (au centre de la photo), qui a remporté cette 4<sup>e</sup> édition, grâce à la présentation de son travail sur l'élimination de micropolluants dans l'eau. **Sabrina Fadloun**, lauréate de la finale française (à droite de la gagnante), a quant à elle été récompensée par le prix du public.

1. Unité CNRS/Institut Curie/Inserm/UPMC.

2. Unité CNRS/Univ. Jean-Monnet/Univ. Lumière Lyon 2.



© PHOTOS : F. MAILIGNE

## UN JOUR AVEC

# Bernard Oriola spécialiste de l'interaction homme-machine

PAR CARINA LOUART

## ➤ 9 HEURES RÉUNION DE L'ÉQUIPE « DÉFICIENTS VISUELS »

Au deuxième étage de l'Institut de recherche en Informatique de Toulouse (Irit)<sup>1</sup> se trouvent les bureaux d'« Éclipse », une équipe interdisciplinaire regroupant une vingtaine de chercheurs spécialisés dans l'interaction homme-machine. Arrivé à 8 h 30, Bernard Oriola pianote sur les touches de son ordinateur équipé d'un afficheur en braille et d'une synthèse vocale. Veille scientifique, supervision des travaux de recherche, réponse aux appels d'offres... « *La loi sur le handicap de 2005 commence enfin à mobiliser ! De plus en plus d'entreprises nous sollicitent pour les aider à se mettre en conformité avec la législation et développer des produits adaptés aux déficients visuels* », se réjouit-il. La création en 2012 du laboratoire commun « Cherchons pour voir »<sup>2</sup>, qui réunit l'Irit et l'Institut des jeunes aveugles (IJA) de Toulouse et auquel il a largement contribué,

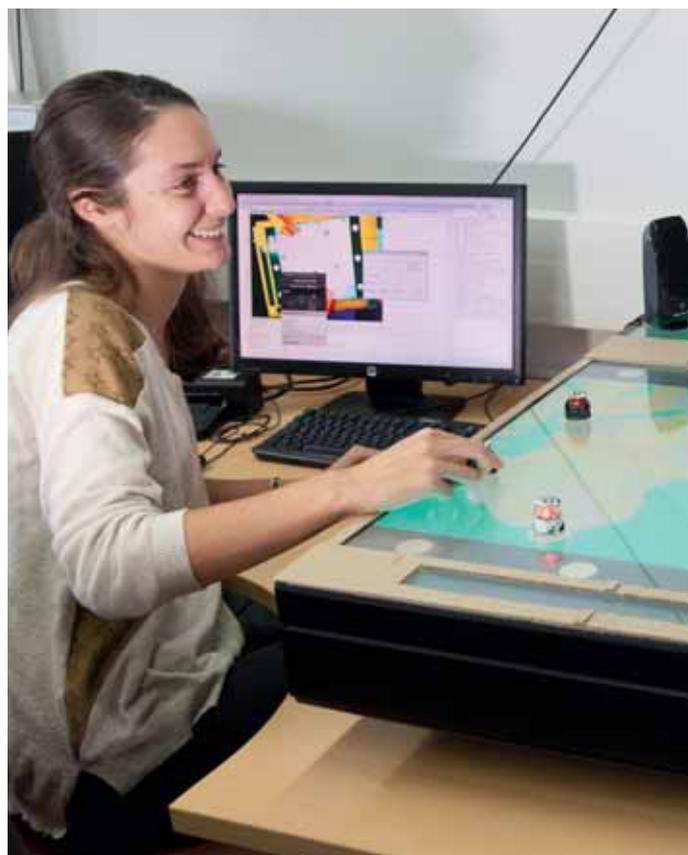
n'est pas étrangère à ce succès. « *En associant les usagers aux recherches, nous avons indéniablement gagné en crédibilité* », estime-t-il.

Pour l'heure, il est attendu. Ses collègues chercheurs et doctorants en informatique, en design ou en psychologie expérimentale ou cognitive se dirigent vers la salle de réunion. Christophe Jouffrais, chercheur en neurosciences et directeur de « Cherchons pour voir », apparaît en visioconférence. Chacun expose l'avancée de ses travaux. Bernard Oriola prend des notes sur son portable, suggère des contacts, des solutions techniques, propose de se prêter aux premiers tests, organise le planning.

## ➤ 11 H 30 BILAN DU PROJET ACCESSIMAP

Grégoire Denis, responsable des projets innovants de l'IJA, l'attend dans son bureau. Ils ont rendez-vous à la mairie de Ramonville pour un premier bilan de l'expérimentation menée dans le cadre d'un festival de rue. « *Il s'agit d'une table d'orientation interactive destinée à aider les déficients visuels à localiser les spectacles et à s'orienter sur les différentes scènes*, explique Bernard Oriola, directeur technique du projet baptisé « Accessimap ». *Ce dispositif est composé de deux parties : un écran tactile intégrant un logiciel spécifique et une carte en papier figurant en relief les principaux sites*

*du festival, à partir desquels l'utilisateur peut, par un double-clic, obtenir des informations audio sur la localisation et la programmation des spectacles. En trois jours d'expérimentation, les premiers retours sont plutôt bons et il n'y a pas eu de plantage.* » Le prototype a été acheté par la mairie, le laboratoire s'engageant à fournir des cartes en relief répondant à d'autres besoins.



### Sa mission

ingénieur de recherche au CNRS, Bernard Oriola œuvre à la conception de nouveaux dispositifs technologiques d'aide aux personnes malvoyantes et non voyantes. Il a reçu la médaille de cristal du CNRS en 2017.

1. Unité CNRS/Université Toulouse 1/Université Toulouse Jean-Jaurès/Université Paul-Sabatier/INP Toulouse. 2. <http://cherchonspourvoir.org/fr>  
3. Laboratoire Cognition langues, langage, ergonomie (CNRS/Université Toulouse Jean-Jaurès/Université Bordeaux-Montaigne).

## > 13 HEURES FILAGE DE THÈSE ET PRÉPARATION ÉDITORIALE

À peine le temps d'écouter sa messagerie, Bernard Oriola rejoint Julie Ducasse, l'une des doctorantes qu'il encadre, et Marc Macé, le codirecteur de thèse. C'est la troisième et dernière répétition avant la soutenance. Julie Ducasse déroule sa présentation. Elle a travaillé sur « *la conception et l'évaluation d'interfaces tangibles et spatiales pour les déficients visuels* » et mis au point un dispositif permettant de construire et d'explorer une carte géographique de façon dynamique, grâce notamment à de

▲ Bernard Oriola et ses collègues (ici, avec Marc Macé) testent le fonctionnement d'un plateau de jeu interactif tangible créé par une étudiante en Master 2, Audrey Cabrolier.



petits pions interactifs (des robots qui se déplacent) guidés par les instructions audio de l'utilisateur. Ce nouveau procédé a donné lieu à une proposition d'article pour la revue *Tochi* (*Transactions on Computer-Human Interaction*). Ils ont reçu les premiers retours de l'éditeur et doivent s'atteler aux révisions demandées.

## > 15 H 30 CONSEIL EN MÉTHODOLOGIE

Audrey Cabrolier, stagiaire en Master 2 à l'École normale supérieure de Lyon, passe une tête dans le bureau de l'ingénieur. Elle a achevé le prototype de son plateau de jeu de société avec l'aide d'un informaticien de l'Irit et d'une doctorante pour la partie interactive (caméras et retour audio placés sous le plateau). Avant de débiter les premières évaluations, elle souhaite lui soumettre

sa méthodologie. « *Bernard m'a beaucoup aidé, notamment pour la conception de mes dispositifs tactiles et la formulation des consignes audio du jeu* », précise-elle. Finalement, ils optent pour une expérimentation en trois étapes : d'abord un questionnaire téléphonique, puis un focus groupe (voyants, non-voyants, malvoyants), suivi de tests utilisateurs réalisés dans le laboratoire expérimental de l'IJA ou d'Élipse.

## > 17 HEURES RÉUNION AUTOUR DU PROJET ACCESS-MAN

La journée n'est pas finie... L'ingénieur a rendez-vous avec Julie Lemarié, enseignante-chercheuse au CLLE<sup>3</sup>, et une doctorante en charge d'« Access-Man », un nouveau projet destiné à améliorer l'accessibilité des documents pédagogiques pour les élèves déficients visuels scolarisés en milieu ordinaire. Il s'agit de finaliser le document à destination de la Fondation internationale de la recherche appliquée sur le handicap (Firah) pour l'associer au projet et bénéficier de son financement... Le courrier partira demain. ||



▼ Julie Ducasse, doctorante dans l'équipe Élipse, fait tester par Bernard Oriola son dispositif de cartes interactives.





## Jean-Marie Tarascon reçoit le Samson Award 2017

Après avoir été distingué cette année par la médaille de l'innovation du CNRS, Jean-Marie Tarascon s'est vu remettre le Samson Award 2017, le plus important prix israélien dédié à l'innovation. Professeur au Collège de France et directeur du laboratoire Chimie du solide et de l'énergie<sup>1</sup>, il est récompensé pour ses travaux sur le stockage de l'énergie qui font référence dans le monde. Il dirige par ailleurs le réseau pour le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), qui réunit dix-sept laboratoires académiques, trois centres de recherche en technologies industrielles et de nombreux industriels. Le Samson Award a été également remis au Danois Jens Nielsen, spécialiste des biocarburants.



Lire « Médaille de l'innovation : le palmarès 2017 » sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

## LES PRIX DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE

Le 2 octobre 2017 ont été remis à Paris les prix Diderot, avec lesquels l'Amcsti<sup>2</sup> distingue des projets et acteurs engagés dans le partage des cultures scientifique, technique et industrielle. La biologiste Évelyne Heyer, commissaire scientifique de l'exposition « Nous et les Autres, des préjugés au racisme » au musée de l'Homme, est la lauréate des prix Diderot-Curien 2017. Autres projets primés: Sciencetips, qui partage des anecdotes scientifiques *via* une *newsletter*, et « La statistique expliquée à mon chat », une chaîne YouTube belge.



» [amcsti.fr/fr/actions/prix-diderot-2017](http://amcsti.fr/fr/actions/prix-diderot-2017)

Une nouvelle directrice pour Fist SA

**Johanna Michielin** est la nouvelle directrice générale de la

filiale nationale de valorisation du CNRS, Fist SA (France innovation scientifique et transfert SA), dont la mission principale est le transfert vers l'industrie des technologies innovantes du CNRS. Johanna Michielin était précédemment responsable de pôle à la direction des affaires juridiques du CNRS.



OR

### NOMINATION

Le 4 octobre 2017, **Marion Blin** a été nommée déléguée régionale par intérim du CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes, en remplacement d'Éric Buffenoir.



OR

1. Unité CNRS/Collège de France/UPMC. 2. L'Association des musées et centres pour le développement de la culture scientifique, technique et industrielle.

## Des palmes pour les films de CNRS Images

Récemment, trois films produits ou coproduits par CNRS Images ont été récompensés par des jurys internationaux de festivals de films : *L'Œil et la Pierre* de Marcel Dalaise, réalisateur de CNRS Images, et Muriel Labonnelie, archéologue spécialiste de la médecine gréco-romaine, au Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale ; *Inner Mapping* d'Emad Ahmad et Stéphanie Latte Abdallah, chargée de recherche au Centre de recherches internationales (CNRS/Sciences Po Paris) et *Antarctica, sur les traces de l'empereur*, réalisé par Jérôme Bouvier. Depuis le début de l'année 2017, ce sont ainsi 24 prix qui ont été décernés aux films produits ou coproduits par CNRS Images.



© CNRS IMAGES

► Image extraite du film *L'œil et la Pierre*, produit par CNRS Images et primé cette année.



» [www.cnrs.fr/cnrs-images](http://www.cnrs.fr/cnrs-images)

## Bourses ERC « Starting Grant » : le CNRS en tête

En septembre, le Conseil européen de la recherche (ERC) a publié les résultats de l'appel « ERC Starting Grant 2017 » destiné à des scientifiques ayant entre deux et sept ans d'expérience après l'obtention de leur thèse. Au total, 406 projets ont été sélectionnés, parmi lesquels 53 projets hébergés par la France. Avec 27 scientifiques sélectionnés, le CNRS arrive en tête de cet appel.

Par ailleurs, 4 chercheurs français figurent parmi les 51 lauréats de l'appel « Proof of Concept ». Cet appel s'adresse à des lauréats qui souhaitent valoriser les résultats obtenus au cours de leur projet ERC.



» [erc.cnrs.fr/tous-les-laureats](http://erc.cnrs.fr/tous-les-laureats)

## Les bourses L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science

En octobre, la Fondation L'Oréal a remis à 30 jeunes chercheuses (doctorantes ou post-doctorantes) une bourse afin de soutenir leur carrière scientifique. Parmi les lauréates, 23 préparent leur thèse dans des unités CNRS.

# GRAND FORMAT



*Cap sur la Guyane et son littoral  
surprenant, rendez-vous avec des  
dauphins en Méditerranée puis retour  
dans les labos pour lutter contre le VIH.*

ILLUSTRATION : MATHIEU CLAUSS/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

# Guyane, terre de sciences

TERRE ● VIVANT ●

Ils sont spécialistes des tortues marines pour les uns, fins connaisseurs du littoral guyanais pour les autres. Ils nous ont donné rendez-vous dans la réserve de l'Amana, au cœur de l'estuaire du Maroni.

UN DOSSIER RÉALISÉ PAR LAURE CAILLOCE, ENVOYÉE SPÉCIALE À YALIMAPO





Le village amérindien de Yalimapo est bordé par la plage des Hattes, où viennent pondre les tortues luths. Au fond, un banc de vase colonisé par la mangrove s'est accolé à la plage.

# Sur la piste des tortues luths



La plage de Yalimapo, dans l'ouest de la Guyane, est l'un des principaux sites mondiaux de ponte de la tortue luth – la plus grosse des tortues marines. Chaque nuit, d'avril à juillet, les femelles se hissent sur le sable où elles déposent leurs œufs. Une occasion unique pour les scientifiques d'en savoir plus sur ces animaux gravement menacés par les activités humaines.

Une tortue luth venue pondre en plein jour : un fait rare qui permet d'admirer cette géante de 1,60 mètre de long !

Il est 21 heures sur la plage des Hattes, tout près du village amérindien de Yalimapo. La voûte étoilée scintille au-dessus de nos têtes et les alizés soufflent avec régularité depuis le large. Un tableau quasi idyllique, n'était la moiteur ambiante : il fait 28 degrés en ce début de nuit et l'humidité de l'air avoisine les 90 %... Bienvenue en Guyane ! Pour ne rien arranger, nous sommes harnachés comme pour un trek en haute montagne, avec chaussures montantes, pantalon long, guêtres, chemise épaisse à manches longues, gants, casquette... La panoplie de combat pour notre première « nuit tortues », censée nous protéger des assauts des moustiques particulièrement virulents sous ces latitudes, et des minuscules vers qui pullulent dans le sable et creusent des tunnels sous la peau.

« On va y aller doucement », nous rassure Damien Chevallier<sup>1</sup>, responsable du programme de recherche sur les tortues marines en Guyane depuis 2012. Et le biologiste de démarrer au pas de charge – la force de l'habitude ! Inquiets, on se dit qu'il va falloir tenir la distance : une « nuit tortues », ça dure généralement jusqu'aux premières lueurs du jour, vers 5-6 heures le matin. Le protocole est le même durant toute la saison de ponte, d'avril à juillet : nuit après nuit, il faut arpenter la plage d'une extrémité à l'autre, afin de recenser dans l'obscurité les tortues qui se hissent sur le sable – elles profitent

généralement de la marée montante – et compter les œufs que chacune pond. À ce petit jeu, on a vite fait de parcourir trente à quarante kilomètres par nuit !

Le village de Yalimapo, dans l'ouest de la Guyane, n'a pas été choisi au hasard. Sa plage, située au cœur de la réserve naturelle régionale de l'Amana, est l'un des principaux sites mondiaux de ponte de la tortue luth – la plus grosse des tortues marines avec ses 1,60 mètre de longueur et ses 400 kilogrammes en moyenne. Jusqu'au début des années 1990, près de la moitié de la population de femelles luths venaient y déposer leurs œufs dans le sable, et l'on a enregistré jusqu'à 50 000 pontes en une saison ! « Certaines nuits, on a dénombré jusqu'à mille tortues sur la plage – c'est à peine si elles ne montaient pas les unes sur les autres », rapporte Damien Chevallier. Aujourd'hui, on compte à peine une vingtaine de luths par nuit... » Mais la plage accueille aussi plusieurs centaines de tortues vertes chaque année et, plus rarement, des tortues olivâtres, la plus petite des tortues marines avec ses 40 centimètres à peine.

## Suivi GPS

Depuis quarante ans, le site de Yalimapo fait l'objet de campagnes de comptage suivies, assurées d'abord par Greenpeace et le WWF, puis aujourd'hui par les équipes du CNRS. Les puces électroniques ont remplacé les

## La tortue marine, cette inconnue

Il existe sept espèces de tortues marines dans le monde : tortues luths, tortues caouannes, tortues vertes, tortues imbriquées, tortues de Kemp, tortues olivâtres, tortues à dos plat. Toutes sont ectothermes, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de système de régulation de leur température corporelle, à l'exception de la tortue luth qui est à la fois ectotherme et

endotherme : en cas de besoin, elle est capable de générer sa propre chaleur pour résister aux températures plus froides. Les tortues marines passent l'intégralité de leur existence en mer – seules les femelles reviennent régulièrement à terre pour pondre. Pour cette raison, elles restent en grande partie un mystère pour les scientifiques, qui en

sont toujours réduits à formuler des hypothèses quant à l'âge de leur maturité sexuelle ou leur espérance de vie, notamment. Les équipements installés depuis quelques années sur le dos des tortues – GPS, accéléromètres, capteurs de pression... – devraient permettre d'en savoir plus sur leur comportement en mer et contribuer à leur sauvegarde.

Les luths qui arrivent à Yalimapo sont systématiquement identifiées, grâce à la puce électronique glissée sous leur peau.



© CNRS - IPHC. DONNÉES CARTO. © 2017, GOOGLE, INEGI, ORIONHE



Le suivi par GPS de dix tortues luths en 2015-2016 a permis d'établir qu'après la ponte, elles pouvaient parcourir jusqu'à 6 000 kilomètres pour s'alimenter.

bagues et facilitent l'identification des tortues qui reviennent pondre en moyenne quatre fois dans une saison et fréquentent généralement le même site de ponte tout au long de leur vie. En cette mi-juin, le programme est cependant un peu plus chargé qu'à l'habitude pour Damien Chevallier et son équipe. Car en plus des opérations de comptage, indispensables pour suivre l'évolution démographique des populations de tortues – cinq des sept espèces de tortues marines dans le monde sont aujourd'hui classées « menacées » ou « en voie de disparition » –, le biologiste a décidé d'équiper les tortues luths de « loggers », des boîtiers enregistreurs permettant le suivi en mer des animaux grâce à leur balise GPS et à leur accéléromètre, notamment.

« On connaît très mal le comportement en mer des tortues en général, et des luths en particulier, rapporte Damien Chevallier. Grâce à ces instruments miniaturisés, il est possible d'en savoir plus sur leurs déplacements, les zones où elles s'alimentent ou encore sur leur

comportement de chasse... » Ainsi, on disposait de très peu d'informations sur la migration des luths de Guyane : puisque celles-ci reviennent pondre tous les deux à trois ans seulement, où vont-elles le reste du temps ? Une étude menée en 2015 par le biologiste a permis d'équiper dix luths de balises Argos et a révélé la grande plasticité de leurs comportements : si une partie des luths s'est déplacée vers les côtes de Floride pour faire son festin de méduses, son mets de prédilection, les autres ont parcouru plus de 6 000 kilomètres pour rejoindre les côtes du Labrador, à l'endroit où se rencontrent le courant chaud du Gulf Stream et le courant froid du Labrador.

### De sacrées nageuses

« Elles sont arrivées juste au moment du bloom (floraison) du phytoplancton, à la base de toute la chaîne alimentaire océanique, puis ont suivi le front thermique (zone à la limite des courants chaud et froid) à mesure qu'il descendait vers le sud », raconte Damien Chevallier, pas mécontent d'avoir au passage brisé le mythe selon lequel les tortues se déplaçaient exclusivement en suivant les courants. « Les luths sont en réalité de sacrées ...

1. Chercheur à l'Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien (CNRS/Université de Strasbourg).

Les tortues luths sont équipées par les chercheurs de boîtiers enregistreurs avec GPS, capteur de pression et accéléromètre, qui permettront d'en savoir plus sur leur comportement entre deux pontes.



À l'arrière de la tortue, les œufs sont comptés un à un par les équipiers amérindiens formés par Damien Chevallier.



... nageuses, qui peuvent progresser à contre-courant et plonger jusqu'à 800 mètres de profondeur – on a même enregistré des records à 1 300 mètres ! »

Cette fois, c'est à un autre mystère que s'attaque le biologiste : que font les tortues luths de Guyane pendant la dizaine de jours qui sépare deux pontes ? « On sait par exemple que les tortues vertes, qui sont herbivores, ne s'alimentent pas durant l'interponte. Elles consacrent toute leur énergie à la reproduction et partent à dix kilomètres à peine de la plage, où elles plongent à deux mètres environ – trop peu pour pouvoir brouter les herbiers sous-marins, raconte Damien Chevallier. Les tortues luths ont-elles la même stratégie, ou continuent-elles à s'alimenter ? » Les fameux loggers devraient permettre d'en savoir plus : le GPS donnera la position

de la tortue au large, tandis que le capteur de pression et de la température indiquera la profondeur à laquelle se trouve l'animal. L'accéléromètre devrait, lui, permettre de caractériser le comportement de la tortue en mer : est-elle au repos ou en train de chasser ?

Mais une autre question taraude le biologiste : pourquoi les premiers enregistreurs posés plus tôt dans la saison lui reviennent-ils presque tous écrasés ? Damien Chevallier a déjà sa petite idée sur la question : et si la structure métallique du logger avait été compressée lors de l'accouplement avec un mâle – certains pouvant tout de même peser

jusqu'à 900 kilogrammes –, au large des côtes guyanaises ? « Jusqu'à présent, on pensait que la femelle était fécondée une seule fois, au début de la saison de ponte, et que c'est le sperme stocké dans la spermathèque qui pourvoyait aux pontes successives, explique le biologiste. Mais ce que j'observe me laisse dubitatif... J'espère pouvoir poser des caméras sur le dos des luths l'an prochain pour vérifier mon hypothèse des accouplements multiples. »

### Les scientifiques passent à l'action

Il est 22 h 30 à Yalimapo et après plus d'une heure de marche rapide, nous commençons à suer à grosses gouttes sous nos chemises épaisses. « Il y a une tortue luth de l'autre côté ! » s'exclame tout à coup Damien.

*“Une fois qu’elle a commencé à pondre, plus rien ne peut détourner la tortue de son objectif.”*

Enfin de l’action et l’occasion de souffler un peu. Mais l’animal ne trouve pas le site à son goût et après plusieurs hésitations, retourne aussi sec à la mer. Dix minutes plus tard, nouvelle alerte : une deuxième luth vient à peine d’arriver sur la plage. La montée sur le sable de cette géante qui semble tout droit sortie du Crétacé est impressionnante : la progression est lente et ponctuée par les inspirations rauques de la tortue. « À terre, les poumons sont littéralement écrasés sous le poids de l’animal », explique Damien Chevallier. Les yeux de la luth larmoient pour excréter le sel accumulé dans l’eau de mer. Arrivée en haut de la plage, elle s’arrête et se met à creuser le sable avec ses nageoires arrière – l’une après l’autre, avec une précision que ne laissait pas présager la gaucherie de sa marche.

Une demi-heure plus tard, alors que le nid atteint 80 centimètres de profondeur, elle commence à pondre. Ses œufs luisants à la coquille molle tombent sans bruit au fond de la cavité. À l’arrière de l’animal, Lesley Blaise et Refino Mariwajoe, les deux équipiers amérindiens formés par Damien Chevallier pour assurer le suivi des tortues en son absence, comptent les œufs. C’est le moment pour les scientifiques d’entrer en action : une fois qu’elle a commencé à pondre, plus rien ne peut détourner la tortue de son objectif – pas même le mètre de couturier que Marc Bonola, biologiste marin, lui passe autour de la carapace pour mesurer sa circonférence, puis sa largeur et sa longueur ! Le *logger* est posé au niveau de la carène centrale de la tortue – cette crête si particulière visible sur toute la longueur de la carapace. Damien profite des derniers instants de la ponte, qui totalisera 92 œufs, pour effectuer une prise de sang qui lui permettra de repérer la présence de mercure dans le corps de l’animal.

### Les ravages du braconnage

« La présence de mercure – pour l’instant, on ne sait pas s’il est d’origine naturelle ou lié aux activités d’orpillage très nombreuses le long des fleuves Maroni et Mana – pourrait être l’une des explications du déclin des populations de luths dans l’ouest de la Guyane, avance Damien Chevallier. Il se retrouve en effet dans les œufs et peut impacter le développement embryonnaire et provoquer des lésions neurologiques chez les juvéniles. » Malheureusement, ce n’est pas la seule menace qui pèse sur les tortues luths, une espèce protégée comme les six autres espèces de tortues marines dans le monde. En plus de la destruction des nids par les chiens errants en quête de nourriture, le braconnage des œufs fait des ravages sur les populations de tortues : ceux-ci, traditionnellement consommés bouillis ou en omelette lors de repas festifs par les Amérindiens, se vendent jusqu’à 2 euros pièce au Suriname voisin. ...



On dénombre une centaine d’œufs par ponte. C’est la température du sable dans les premiers jours qui déterminera le sexe des petites tortues.

## Le réchauffement climatique, fatal pour les tortues ?

Apparues sur Terre il y a plus de 100 millions d’années, les tortues ont déjà survécu à cinq extinctions massives – peut-être parce qu’elles sont capables d’une incroyable variété de comportements, entre espèces mais aussi entre individus d’une même espèce. Mais les activités humaines, au premier rang desquelles les captures de pêche accidentelles, pourraient bien avoir raison de l’exceptionnelle longévité des tortues marines. Le réchauffement de l’atmosphère présente aussi un vrai danger pour la survie de ces espèces, puisque c’est la température dans le sable durant les premiers jours de l’incubation qui détermine le sexe des individus – mâle au-dessous de 29 °C, femelle au-delà. Avec la hausse des températures, le risque est grand qu’il ne naisse plus, un jour, qu’une majorité de tortues femelles et plus assez de mâles pour les féconder.

Les tortues pondent quatre fois par saison. Puis repartent pour deux à trois ans dans le vaste Atlantique.



© PHOTOS: L. CALLOCE

... Les sacs en plastique que les tortues avalent en les prenant pour des méduses, mais aussi la pêche illégale, trois fois plus importante que la pêche légale en Guyane, portent également une lourde responsabilité. « Les pêcheurs venus du Brésil et du Suriname pour pêcher dans les eaux guyanaises utilisent des filets de plusieurs kilomètres de long et capturent accidentellement lamantins, dauphins et tortues », raconte Damien Chevallier. Prises au piège, les luths n'ont aucune chance de s'en sortir. « Les pêcheurs sont également pénalisés, car les tortues cassent

leurs filets et les en dégager peut prendre plusieurs heures », signale le biologiste.

#### Définir les zones à protéger

Au vu de l'urgence, ses travaux se placent clairement dans un objectif de conservation. « Ce que je veux, c'est être capable de définir l'habitat optimal des tortues marines et d'établir une carte des zones maritimes à protéger en fonction de la période de l'année », détaille Damien Chevallier. La tâche est vaste, mais l'homme a de l'énergie à revendre et une sacrée capacité de résistance : il y a quelques années de cela, c'est d'ailleurs lui qui assurait l'intégralité des patrouilles nocturnes à Yalimapo de février à juillet, en plus de ses autres activités de recherche !

Sur la plage des Hattes, l'activité ne faiblit pas : une troisième tortue luth a fait son apparition. Inconnue au bataillon, celle-ci doit d'abord être marquée avec une petite puce insérée sous la peau, avant d'entamer le protocole d'usage. Alors que la luth tout juste équipée par les scientifiques commence à recouvrir son nid avec de grands battements de nageoires, une exclamation fuse dans la nuit : « Regardez, une émergence ! » À deux mètres de nous, des dizaines de minuscules tortues se bousculent sur le sable. « Des tortues vertes », nous précise Damien Chevallier. Tout juste sorties du nid, les tortues miniatures se précipitent en direction de la mer, attirées par le miroitement des étoiles à la surface de l'eau. C'est le début d'une longue et dangereuse aventure océanique : une tortue sur mille seulement arrive à l'âge adulte et reviendra pondre sur la plage qui l'a vue naître. ||

# Un littoral si mouvant

Impressionnante vue du ciel, cette vaste mangrove s'est installée le long du village amérindien d'Awala (en haut à droite).

C'est un phénomène unique au monde : sur le littoral de Guyane, des bancs de vase de dizaines de kilomètres de long recouverts de mangrove circulent le long de la côte et bloquent régulièrement les accès à la mer de la population. Ou comment un paysage de mer peut soudain se transformer en paysage... de forêt !

L'hydravion vient de décoller de la rivière Mana, à quelques kilomètres de l'embouchure du Maroni. L'air s'engouffre joyeusement dans le cockpit et pour cause : le pilote a enlevé les portes de l'ULM pour qu'on y voie mieux. Après un rapide survol de l'estuaire, l'appareil fait un virage à droite sur l'aile et se met à longer la côte. Tout à coup, la voilée qui apparaît, d'abord précédée de quelques points verts – des arbres encore isolés – puis de plus en plus dense. Quand on l'aperçoit du ciel, on comprend mieux le découragement des pêcheurs du bourg d'Awala tout proche. Ce village amérindien qui, il y a quelques années encore, faisait face à la mer, voit son horizon désormais bouché par une épaisse mangrove, de belle taille qui plus est : la bande verte s'étire sur quelque quinze kilomètres le long de ce qui était auparavant une plage, et enfle vers le large sur près de trois kilomètres.

Cette mangrove n'est pas apparue là par hasard : elle a colonisé l'un des six à huit bancs de vase migrants qui transitent en continu le long des côtes guyanaises. Un phénomène unique au monde, qui s'observe sur près de 1 700 kilomètres, entre le delta de l'Amazone, au nord du Brésil, et celui de l'Orénoque, au Venezuela. Et fait des côtes guyanaises l'un des littoraux les

plus changeants au monde. « Ces bancs de vase sont formés par les sédiments arrachés des Andes et charriés par l'Amazone. Et pas en petites quantités. On parle ici de 750 millions à 1 milliard de tonnes de sédiments libérés dans l'océan chaque année ! nous explique

Antoine Gardel, géomorphologue au Laboratoire écologie, évolution, interactions des systèmes amazoniens (Leeisa)<sup>1</sup>. Bloqués au niveau des caps situés tout au nord du Brésil, les sédiments s'accumulent et forment des bancs de vase de près de 60 kilomètres de long qui se détachent sous l'assaut de la mer et sont entraînés vers la Guyane par la dérive littorale, un courant côtier généré par la houle. »

Si le phénomène existe depuis des milliers d'années, il reste bien des mystères à élucider pour les chercheurs.

« Jusqu'à dans les années 1980-1990, on s'est surtout intéressé à la description de ces bancs de vase migrants, sans véritablement chercher à comprendre les mécanismes en jeu », relate Antoine Gardel. Avec les scientifiques du groupement de recherche LiGA ...

“Ces bancs de vase sont formés par les sédiments arrachés des Andes et charriés par l'Amazone.”

1. Unité CNRS/Ifremer/Université de Guyane.

“Du fait de leur mobilité, ces mangroves sont préservées de l’activité humaine.”



La mangrove abrite une incroyable biodiversité : poissons, crevettes et crabes notamment.

La vase découverte à marée basse offre aux oiseaux en migration la nourriture dont ils ont besoin pour reprendre des forces.

le jeu des marées, et commence à se craqueler, explique Antoine Gardel. Apportées par la mer, les graines de palétuviers (les arbres caractéristiques de la mangrove, NDLR) se retrouvent piégées dans ces fentes de dessiccation et peuvent s’y développer. »

### Une nurserie pour les poissons

Ce sont les palétuviers de l’espèce *Avicennia germinans*, l’une des quatre espèces de palétuviers présentes en Guyane, qui colonisent le banc de vase en premier, et ce grâce à une exceptionnelle précocité sexuelle : les plantules sont en effet fécondes au bout de trois mois, alors qu’elles mesurent quelques centimètres à peine, et peuvent pousser de trois mètres en une année ! En prenant racine, elles stabilisent la vasière et permettent aux autres espèces de palétuviers de se développer à leur tour. Du fait de leur mobilité, ces mangroves sont préservées de l’exploitation humaine et recèlent une exceptionnelle biodiversité, que les biologistes commencent à peine à étudier : à la fois nourrices et nurseries pour les poissons et les crevettes, elles accueillent aussi plusieurs espèces de crabes qui contribuent en creusant la vase à l’oxygénation du milieu.

Mais le plus étrange pour les chercheurs reste la façon dont les bancs de vase se déplacent. « On a d’abord travaillé avec les images satellitaires stockées depuis quarante ans dans les archives du Centre national d’études spatiales. Grâce à ces séries, on a pu mieux décrire la formation des bancs et leur évolution », raconte Antoine Gardel. Puis l’utilisation des satellites couleur de l’eau est apparue dans les années 2008-2009. « Grâce à la mesure in situ des



... (Littoral de Guyane sous influence amazonienne), et grâce aux progrès de la télédétection et des instruments de mesure, il cherche à comprendre comment les bancs se forment et sont colonisés par la mangrove, pourquoi ils se déplacent... ou encore, quel est le fonctionnement de cet écosystème très particulier.

En théorie, une vasière n’a aucune chance de se former sur un front de mer directement exposé à l’influence du large – il faut pour cela un endroit abrité. Mais ici, les quantités de sédiments en suspension dans l’eau sont telles qu’ils finissent par s’agglomérer malgré tout. « Quand la vasière atteint 2,60 mètres de hauteur par rapport au niveau de la mer (le zéro hydrographique), elle se retrouve alors régulièrement exposée à l’air par

propriétés optiques de l’eau de mer, corrélée aux prélèvements de matière en suspension, on peut déduire de la couleur de l’eau observée depuis le satellite les quantités de sédiments présents dans la mer tout au long des 1 700 kilomètres de côte. Cela permet une observation à grande échelle de la migration des bancs. »

### Un phénomène qui s’accélère

Le mécanisme que les scientifiques commencent à mettre au jour est pour le moins étonnant : attaqués par la houle sur leur flanc arrière, les bancs de vase se délitent progressivement et voient leurs sédiments entraînés vers l’avant du banc sous l’effet de la dérive littorale. La « proue » du banc de vase se consolide peu à peu et



▶ Visionner les vidéos « Une nuit avec les tortues luths » et « Guyane, un littoral si mouvant » sur [lejournald.cnr.fr](http://lejournald.cnr.fr)

est à son tour colonisée par la mangrove, tandis que les palétuviers situés à l'arrière du banc tombent et disparaissent en quelques semaines à peine. Variable selon les bancs, la vitesse de ce déplacement s'est nettement accélérée depuis trente ans : « Dans les années 1980 à 1990, on était sur un kilomètre par an, signale Antoine Gardel. Aujourd'hui, c'est plus de l'ordre de deux ou trois kilomètres par an en moyenne. Résultat : alors qu'il y avait un nouveau banc de vase devant Cayenne tous les quinze à vingt ans, on est désormais sur une rotation de dix à quinze ans. »

Si les causes de cette accélération restent encore incertaines – la multiplication des cyclones et tempêtes tropicales dans l'Atlantique, vraisemblablement liée au changement climatique, est aujourd'hui privilégiée –, les conséquences sur l'économie guyanaise sont, elles, bien réelles. Principaux points d'entrée des marchandises en Guyane, les ports de Cayenne et de Kourou dépensent entre 5 et 6 millions d'euros par an pour les opérations de dragage. « Quand le banc de vase est présent, il faut draguer 24 heures sur 24 », détaille Antoine Gardel, dont les études sur le littoral sont en partie financées par ces opérateurs. À Kourou, ville nouvelle construite directement sur le front de mer dans les années 1970, un quartier entier est aujourd'hui menacé de submersion. La côte y subit en effet une forte érosion.

« C'est tout le problème de construire en dur sur le front de mer dans une région comme la Guyane », commente Marianne Palisse, anthropologue à l'université de Guyane, qui pilote depuis un an une étude sur la perception de ce littoral en perpétuel mouvement<sup>2</sup> par les Guyanais eux-mêmes. Avant, les populations amérindiennes étaient semi-nomades et changeaient d'habitat avec facilité. Les créoles eux aussi pouvaient déplacer facilement leurs maisons en bois et s'adaptaient aux changements environnementaux. C'est plus compliqué avec une villa en béton... »

Dans ce département en pleine explosion démographique – la population guyanaise, de 250 000 personnes actuellement, devrait doubler d'ici à 2030 selon l'Insee –, la forêt occupe 95 % du territoire et l'étroite bande côtière accueille la majeure partie des habitants. Comment et où construire face à cette pression démographique ? « Les élus rechignent à accepter la réalité du phénomène des bancs de vase migrants, témoigne Marianne Palisse. À Cayenne, ils veulent construire une digue en béton pour leur barrer la route, sans se demander quelles conséquences cela pourrait avoir sur le milieu. » II

2. Projet Dyalog (Dynamiques, adaptabilité et vulnérabilité des sociétés du littoral de l'Ouest guyanais face au changement côtier) mené dans le cadre du Leeisa.

## Modéliser la côte guyanaise, un défi pour les chercheurs

Le prochain objectif des scientifiques est de construire un modèle dynamique de l'ensemble de la côte guyanaise et des principaux estuaires, afin de mieux prévoir le déplacement des bancs de vase. Pour ce faire, plusieurs outils sont à leur disposition.



La cartographie dévoile à Yalimapo un littoral aux eaux très peu profondes.

La bathymétrie, en cartographiant les fonds marins grâce à l'utilisation de sondes acoustiques, permet de mieux comprendre ce qu'il se passe au niveau de la partie immergée du banc de vase. Grâce à ces mesures de profondeur, effectuées deux à trois fois par an, les scientifiques peuvent dresser une cartographie des côtes guyanaises et voir leur évolution au fil du temps.

Utilisée depuis peu, la photogrammétrie permet de constituer des modèles 3D d'une plage et de son estran – la partie découverte régulièrement par la marée. Ces prises de vue multiples, effectuées depuis des drones ou des avions, permettent de mieux comprendre l'interaction entre les bancs de vase et les plages auxquelles ils s'accolent.



© L. CAILLOCE

Mille clichés ont été pris par la doctorante Morgane Jolivet (ici, fixant l'appareil photo sous l'aile de l'avion) pour réaliser le profil 3D de la plage de Yalimapo.



© PHOTOS : © PIERRE DE PARSCAUCENOS IMAGES, 2017

# La Guyane, poumon vert

Située dans le bassin amazonien et couverte à 95 % par la forêt tropicale, la Guyane offre une fenêtre d'observation unique sur cet écosystème tropical. La station des Nouragues, pilotée par le CNRS, accueille ainsi chaque année près de 200 scientifiques du monde entier. Programme de recherche phare, le laboratoire d'excellence CEBA fédère quant à lui un réseau de douze équipes françaises internationalement reconnues, étudiant la biodiversité en Amazonie. Voici cinq domaines d'études parmi les principaux mobilisant les chercheurs en Guyane.

## LE PHOSPHORE, CLEF DES ÉCOSYSTÈMES

Élément chimique indispensable à la vie, le phosphore entretient un rapport étroit avec le carbone et l'azote. Or, si les stocks de phosphore sont limités à l'échelle mondiale, les quantités de carbone et d'azote sont en augmentation continue et rapide dans la plupart des pays du globe. Déployé dans quatre régions du monde (Belgique, Catalogne, Islande et Guyane), le programme européen Imbalance-P étudie comment le déséquilibre entre ces trois éléments va affecter les différents types d'écosystèmes : tempéré, méditerranéen, boréal et tropical.

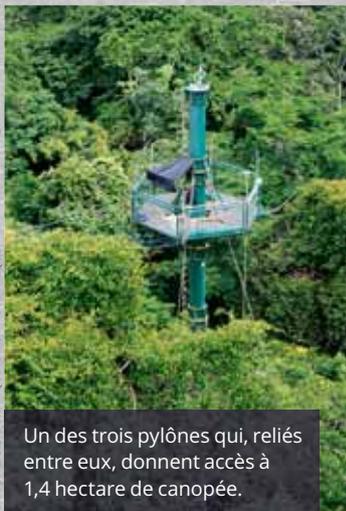


Récupération d'eau de pluie en vue d'analyser la teneur en phosphore et en azote de l'eau.

© L. VERRICOT

## UNE CANOPÉE À EXPLORER

Avec ses trois tours de 45 mètres de haut reliées entre elles par un système de câbles, le Copas (Canopy operating permanent access system) permet aux scientifiques d'étudier un écosystème jusqu'ici méconnu, car difficile d'accès : la cime des arbres, où niche une biodiversité unique. Posée sur le Copas, la tour à flux de carbone « Nouraflex » mesure les échanges de gaz à effet de serre entre la forêt tropicale et l'atmosphère. L'objectif : mieux comprendre le rôle des forêts dans le changement climatique et comment elles s'adaptent – ou pas – au réchauffement rapide de l'atmosphère.



Un des trois pylônes qui, reliés entre eux, donnent accès à 1,4 hectare de canopée.

© P. CHARLES-DOMINIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

# de la recherche

**NOTRE DOSSIER**

## UN LITTORAL À PRÉSERVER

Site de ponte de trois espèces emblématiques de tortues marines (luth, verte et olivâtre), le littoral guyanais offre également des dizaines de kilomètres d'une mangrove en bonne santé, car toujours en mouvement... Une future station de recherche littorale pourrait bientôt voir le jour au cœur de la réserve naturelle de l'Amana.

La réserve naturelle de l'Amana, qui couvre 15 000 hectares.



© P. GOMBAULD

IRACOUBO  
SINNAMARY  
KOUROU

CAYENNE

## LE BOIS DANS TOUS SES ÉTATS

La forêt guyanaise abrite plus de 600 essences d'arbres (contre 30 en France métropolitaine) que l'on commence à peine à caractériser. Les chercheurs du laboratoire Écofog étudient leurs propriétés mécaniques, mais aussi les centaines de molécules chimiques que les arbres produisent pour mieux se défendre, notamment contre les insectes et les champignons. Des substances qui pourraient avoir des applications en santé humaine et fournir des alternatives « vertes » aux produits phytosanitaires, notamment.

Ces jauges permettent de mesurer l'état de tension du bois.



© B. CLAIR

RESERVE DES NOURAGUES

Approuague

SAINT-GEORGES

BRÉSIL

## DES HOMMES ET LEURS MILIEUX

L'Observatoire hommes-milieus Oyapock étudie le bassin de vie sur les deux rives du fleuve Oyapock,

frontière entre la France et le Brésil, et les effets sociaux, économiques, environnementaux des changements rapides qui s'y produisent. Très peu peuplé et jusqu'ici accessible uniquement par bateau, ce territoire a en effet vu la construction récente de deux routes parvenant jusqu'au fleuve et l'ouverture au printemps 2017 d'un pont fluvial transfrontalier reliant Saint-Georges de l'Oyapock et Oiapoque au Brésil.

© H. THIERY/CREDACIVIS PHOTOTHÈQUE



Pont international sur le fleuve Oyapock, frontière de 700 km entre la France et le Brésil.

© GOOGLE EARTH; M. SCHMELING/FOTOLIA



# Les globicéphales ont-ils du nez ?

VIVANT 

**Éthologie.** Comme toutes les espèces de dauphins, les globicéphales ont un sens acoustique très développé. Mais qu'en est-il de leur sens du goût et de l'odorat ? Perçoivent-ils les odeurs, les saveurs ? Quels organes sont impliqués ? À bord de l'*Else*, le bateau de l'Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE), une équipe de chercheurs du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive<sup>1</sup> (Cefe) est allée à la rencontre des globicéphales en mer Méditerranée, au large de Carthagène (Espagne), pour tenter de répondre à ces questions.

**TEXTE** CYRIL FRÉSILLON ET AUDREY DIGUET

**PHOTOS** 1, 2, 3, 5, 6 : CYRIL FRÉSILLON/CEFE/CNRS PHOTOTHÈQUE ; 4 : CEFE/CNRS PHOTOTHÈQUE ; 7 : BERTRAND BOUCHARD/CEFE/CNRS PHOTOTHÈQUE

<sup>1</sup>. Unité CNRS/Univ. Montpellier/Univ. Paul-Valéry/EPHE/IRD/Montpellier SupAgro/Inra.



1. Jusqu'ici, l'organisation particulière du « nez » (évent) des globicéphales laissait penser qu'ils avaient perdu le sens de l'olfaction au cours de leur évolution. Mais de récentes observations montrent qu'ils répondraient en fait à des *stimuli* chimiques. Ils auraient développé un système olfactif original par rapport aux autres mammifères.

2



2. La météo et l'état de la mer peuvent rendre difficilement repérables les globicéphales, d'autant qu'ils évoluent en eaux profondes pour trouver leur nourriture. Ils peuvent plonger en apnée plusieurs minutes, jusqu'à mille mètres de profondeur.

3. Une fois les cétacés repérés, des expériences olfactives sont menées pour observer leur comportement en réponse à certaines odeurs, ici celle du diméthylsulfure, diffusée grâce à une bouée. Sous la planche, un hydrophone et des caméras sous-marines enregistrent leurs attitudes.



3

4



4. Parce qu'elle est habituellement associée à des zones riches en nourriture, cette odeur diffusée dans l'air pourrait les attirer. Elle serait perçue par les globicéphales lorsqu'ils viennent respirer à la surface, grâce à leurs récepteurs olfactifs situés au niveau de l'évent.



5

5. Un autre test est effectué avec un hydrolysât de calmar, leur nourriture favorite. L'odeur de cette poudre se diffuse à la fois dans l'eau et dans l'air. Pour la percevoir, les globicéphales utiliseraient leur sens du goût, impliquant des papilles gustatives.



6. Pendant les expériences, un drone survole le dispositif en stationnaire et le photographie toutes les deux secondes. Les chercheurs estimeront ainsi, dans un rayon de 500 mètres, la distance des individus par rapport à la zone de test, leur nombre, leur orientation, leur trajectoire et leur comportement.



6

7. Grâce aux multiples données recueillies, les chercheurs espèrent identifier des substances répulsives pour les cétacés et ainsi mieux les protéger. De telles substances permettraient par exemple de les tenir éloignés de certains endroits dangereux tels que les zones de pêche ou de trafic maritime intense et les ports.



7

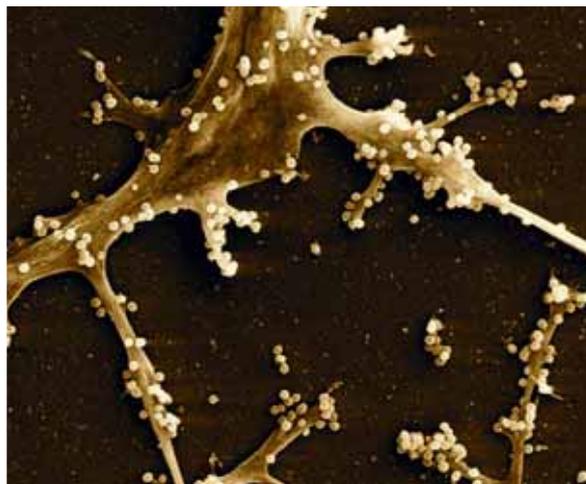
Les chercheurs multiplient les angles d'attaque pour venir à bout du virus en raison de sa grande capacité à muter.



# *Contre le VIH, la recherche sur tous les fronts*

Depuis la découverte du VIH (virus de l'immunodéficience humaine) en 1983, le statut de la maladie a considérablement évolué. Maladie mortelle dans les années 1980, le sida (syndrome d'immunodéficience acquise) est devenu, avec la mise sur le marché des trithérapies en 1996, une maladie chronique pour les personnes pouvant accéder au traitement – soit près de la moitié des 37 millions de personnes séropositives dans le monde. Cette combinaison d'au moins trois molécules antirétrovirales a permis de lutter efficacement contre le virus, en contrôlant l'une de ses principales caractéristiques : son extrême mutabilité. Mieux, les trithérapies évitent que les personnes séropositives ne transmettent le VIH et constituent de ce fait un outil de prévention à part entière.

Le VIH est un rétrovirus<sup>1</sup> qui infecte certaines cellules du système immunitaire de l'organisme hôte, majoritairement les lymphocytes T CD4+, qu'il utilise pour se multiplier et se propager. Au bout de plusieurs



Le VIH est un rétrovirus qui infecte certaines cellules du système immunitaire. On le voit ici bourgeonner dans les moindres recoins des prolongements cellulaires.

© P. ROINGEARD/BERNI

années (jusqu'à dix ans parfois), la charge virale (le nombre de copies de virus dans le sang) explose et les lymphocytes T qui protègent l'organisme des agressions extérieures sont massivement détruits. D'où une forte sensibilité à certains cancers et aux infections opportunistes (tuberculose, maladie de Kaposi, etc.) d'ordinaire contrôlées par le système immunitaire.

Vingt ans après l'apparition des trithérapies, l'arsenal des traitements antirétroviraux disponibles (25 à 30 molécules), l'amélioration de leur efficacité et la réduction de

leurs effets secondaires permettent à la majorité des patients traités de vivre normalement. Grâce aux anti-rétroviraux, la réplication du virus est bloquée et la charge virale maintenue au-dessous de 200 copies par millilitre de sang. Sous ce seuil, le risque de maladies associées et de transmission du virus est infime. Résultat : les patients précocement diagnostiqués et qui suivent le traitement – un comprimé par jour, à vie – ont aujourd'hui une espérance de vie équivalente à celle de la population générale.

### La traque des réservoirs viraux

Pour autant, ces avancées notables ne concernent que les traitements existants. L'objectif numéro un des scientifiques est désormais l'éradication complète du virus chez les personnes séropositives. Pour ce faire, ils s'intéressent à un processus spécifique du VIH : sa mise en dormance, dès les premières heures de l'infection, dans certaines cellules du système immunitaire, appelées alors « réservoirs ». Ce véritable archivage du virus, tandis qu'il continue de se répliquer, c'est la spécificité du VIH et ce qui le rend si difficile à combattre. « Guérir du sida ne sera possible que si nous parvenons à maîtriser ces réservoirs viraux, soit en les éliminant, soit en les empêchant d'exprimer le virus », explique Moncef Benkirane, directeur de l'Institut de génétique humaine<sup>2</sup> à Montpellier.

Lorsque la personne séropositive est mise sous traitement antirétroviral, le virus n'est en effet plus détecté dans le sang, mais reste présent dans ces réservoirs sous une forme précurseur (provirus) indétectable par le système immunitaire et insensible au traitement. C'est ce qui explique le rebond de la charge virale observé en cas d'arrêt du traitement et l'obligation pour les patients de s'y tenir quotidiennement et à vie. ...

VIVANT SOCIÉTÉS

La guérison définitive des malades du sida, c'est l'objectif numéro un des chercheurs qui traquent les « cellules réservoirs » du virus, plongent au cœur des mécanismes moléculaires et se mobilisent pour élaborer un vaccin préventif. À l'occasion de la journée mondiale contre le sida, le 1<sup>er</sup> décembre, CNRS Le journal fait le point sur ces recherches en cours.

PAR STÉPHANIE BELAUD ET LAURE CAILLOCE

1. Un rétrovirus possède une enzyme qui lui permet de transformer son ARN en ADN et de s'insérer ainsi dans l'ADN des cellules qu'il infecte. 2. Unité CNRS/Univ. de Montpellier.



“Le développement d’un vaccin antisida impose de trouver des stratégies inédites.”

... Plusieurs stratégies sont aujourd’hui à l’étude pour venir à bout des réservoirs. L’une d’elle consiste à réactiver le virus « caché » pour lui redonner sa forme visible par le système immunitaire qui pourrait alors mieux le contrôler – une piste qui impose au préalable de comprendre les mécanismes moléculaires qui régulent la mise en sommeil du virus et sa réactivation. Car si la connaissance de ces processus a beaucoup progressé ces dernières années, les essais thérapeutiques qui en ont découlé n’ont pas été concluants.

Autre stratégie envisagée, plus futuriste : retirer l’ADN viral intégré dans l’ADN des cellules réservoirs par thérapie génique, notamment à l’aide des nouveaux outils de type CRISPR, ces « ciseaux moléculaires »

capables de découper sélectivement des séquences du génome.

Une troisième piste vise, elle, à tuer les cellules réservoirs, mais cela nécessite de pouvoir les différencier des cellules immunitaires saines. C’est dans ce domaine, investi par de nombreuses équipes au niveau mondial, que Monsef Benkirane et ses collègues de l’Institut de génétique humaine ont franchi une étape décisive<sup>3</sup> au printemps 2017, en identifiant le premier marqueur de surface spécifique des réservoirs. Un résultat qui laisse entrevoir la possibilité

d’isoler directement les cellules réservoirs chez les patients et, au-delà, de déployer de nouvelles stratégies thérapeutiques.

**Vaccin : des pistes prometteuses**

Guérir définitivement du sida est un objectif, ne pas le contracter en est un autre. Après des années de recherche et de fausses annonces, la mise au point d’un vaccin préventif continue de mobiliser les chercheurs. « Le principe de la vaccination classique, qui repose sur l’injection d’une forme atténuée du virus pour stimuler la réponse immunitaire, est inefficace dans le cas du VIH en raison de sa grande capacité à muter (le virus est présent en de multiples versions), explique Vincent Vieillard, chercheur au Centre



Cet instrument permet aux chercheurs de l’Institut de génétique humaine de repérer un marqueur caractéristique des « cellules réservoirs » du virus.

© C. HARGOUËS/IGH/CNRS PHOTOTHÈQUE

d'immunologie et des maladies infectieuses<sup>4</sup> à Paris. *Le développement d'un vaccin antisida impose de trouver des stratégies inédites.* »

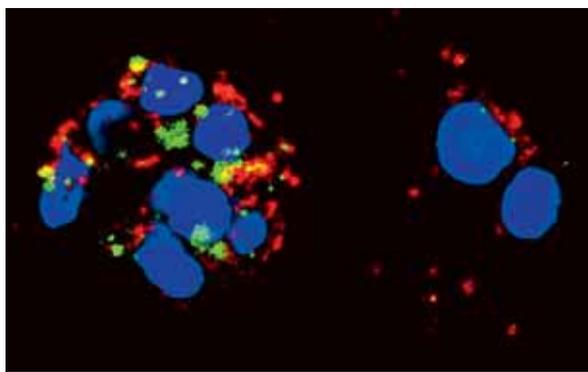
Si un essai clinique sur près de 6 000 personnes est en cours en Afrique du Sud, il ne concerne que certaines formes du virus présentes exclusivement en Afrique australe et ne garantirait qu'une efficacité limitée (taux espéré de 50 %). Mais d'autres pistes sont porteuses d'espoir, comme celle des anticorps dits neutralisants retrouvés chez un petit nombre de patients et qui sont capables de contrôler simultanément de nombreuses versions du virus. Aux États-Unis, des essais d'injection directe de ces anticorps ont conduit à de bons résultats chez le singe et l'humain.

« *L'enjeu aujourd'hui est de parvenir à générer ce type d'anticorps chez des personnes saines pour les prémunir de l'infection* », indique Arnaud Moris, chercheur au Centre d'immunologie et des maladies infectieuses. Pour ce faire, les scientifiques étudient les interactions entre ces anticorps et l'enveloppe du virus afin de concevoir des immunogènes – des molécules qui simulent des protéines de l'enveloppe virale et qui, identifiées comme éléments étrangers par l'organisme, déclenchent une réponse immunitaire et la production d'anticorps. Certains de ces anticorps sont en cours d'essais cliniques.

La stratégie de vaccination est aussi évaluée en association au traitement antirétroviral pour renforcer le système immunitaire de patients infectés : cette vaccination dite thérapeutique pourrait pallier la moindre efficacité des traitements observée chez une petite fraction de patients.

Enfin, toujours dans le domaine vaccinal, une autre population de patients hors normes interpelle les

chercheurs : les « elite controller » ou « contrôleurs d'élite », qui représentent moins de 1 % des patients. Infectés et non traités, ils contrôlent naturellement l'infection et maintiennent une charge virale durablement indétectable. De nombreuses études cherchent à expliquer les mécanismes spécifiques de cette exceptionnelle immunité, qui pourraient, à terme, fournir de nouveaux outils pour la vaccination.



Une piste suivie par Jean-Philippe Herbeuval et son équipe consiste à bloquer par intermittence la production d'interférons (en vert sur cette microscopie).

### Au cœur des molécules

Pour venir à bout du VIH, les scientifiques s'attachent également à mieux comprendre les interactions du virus avec la cellule qu'il infecte ou avec le système immunitaire. Le but est double : améliorer la connaissance fondamentale des processus biologiques à l'échelle moléculaire et définir de nouvelles cibles thérapeutiques. « *Si, globalement, les essais cliniques actuels visant à réactiver le virus caché piétinent, c'est parce que nous avons atteint une limite, analyse Stéphane Emiliani, chercheur à l'Institut Cochin. Nous sommes confrontés à un manque flagrant de connaissances sur les mécanismes moléculaires du virus et en particulier ceux qui régissent son intégration, sa mise en dormance et son*

*expression.* » Un vrai défi si l'on considère l'hétérogénéité des modes d'intégration et d'expression que le virus est capable de développer au gré de ses mutations.

Avec son équipe, Stéphane Emiliani étudie différentes étapes du cycle de réplication du virus, notamment l'insertion du génome viral dans l'ADN cellulaire et son expression. Les chercheurs ont ainsi identifié la protéine de la cellule hôte qui interagit avec l'enzyme du virus (l'intégrase) permettant cette insertion. Ces travaux brevetés sont à l'origine du développement, par une société de biotechnologie, de nouvelles molécules bloquant l'interaction entre l'intégrase et cette protéine cellulaire. En cours d'étude préclinique, cette stratégie offrirait une alternative aux molécules anti-rétrovirales existantes qui, elles, bloquent l'activité de l'enzyme, et constituerait ainsi une parade face aux problèmes de résistance dus à la mutabilité du virus.

Sur le front du système immunitaire, des chercheurs s'intéressent de près à des molécules naturellement produites pour combattre le VIH : les interférons, de puissants antiviraux. Problème : produits sur une longue durée, comme c'est le cas dans les maladies chroniques auto-immunes et le sida, ces agents protecteurs finissent par détruire les autres cellules du système immunitaire (lymphocytes, etc.).

D'où l'idée, qui gagne du terrain chez les chercheurs, d'interrompre leur production. « *Traiter des patients en phase chronique du sida à l'aide d'anti-interférons devient une réelle stratégie thérapeutique* », commente Jean-Philippe Herbeuval, chercheur au Laboratoire de chimie et biochimie pharmacologiques et toxicologiques<sup>4</sup>. Avec son équipe, il vient d'obtenir des résultats très prometteurs<sup>5</sup> en ...

3. « CD32a is a marker of CD4 T cell HIV reservoir harboring replication-competent provirus », Benjamin Descours et al., *Nature*, publié en ligne le 15 mars 2017. 4. Unité CNRS/Université Paris-Descartes. 5. Travaux publiés en ligne dans la revue *Nature Communication* le 9 février 2017 et le 31 mai 2017.



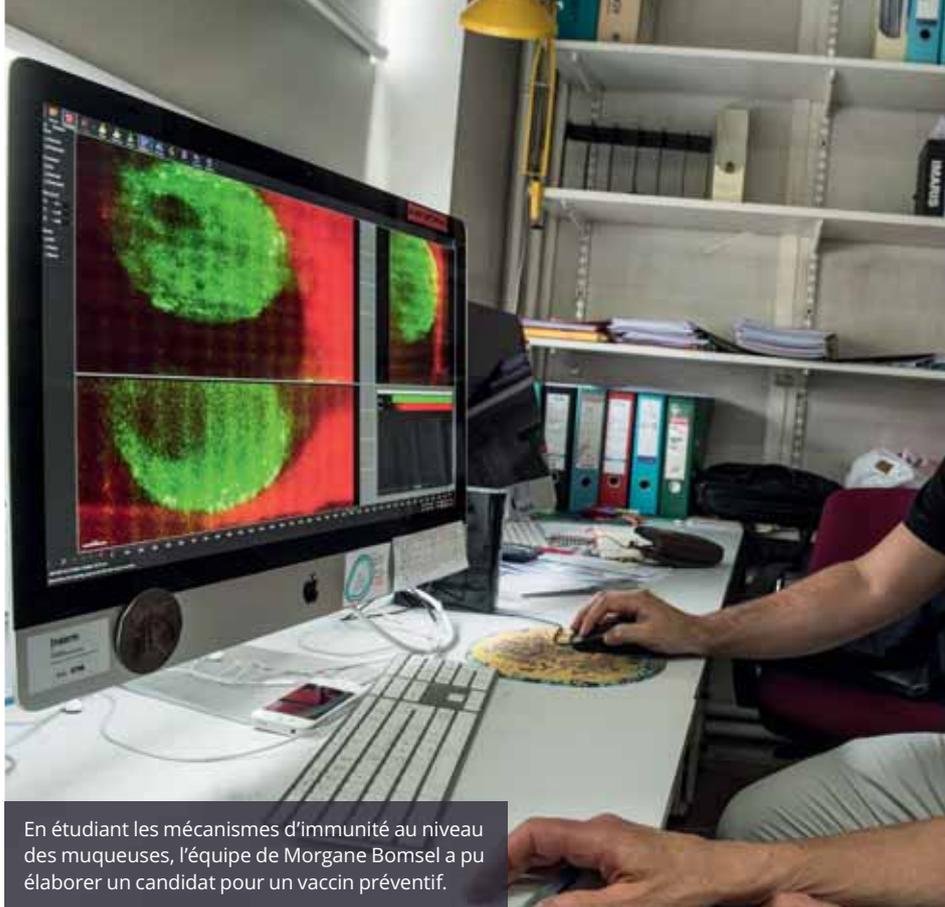
“La complexité du VIH pousse toujours plus loin l’exploration des mécanismes fondamentaux du système immunitaire.”

... testant des molécules – des monoamines du type histamine – capables d’inhiber partiellement des cellules spécialisées dans la synthèse des interférons. Combiner les trithérapies actuelles avec un blocage intermittent des interférons permettrait de réduire les traitements antirétroviraux et de limiter leurs effets secondaires, mais aussi de lutter contre les problèmes de résistance du virus et de renforcer le contrôle des maladies opportunistes.

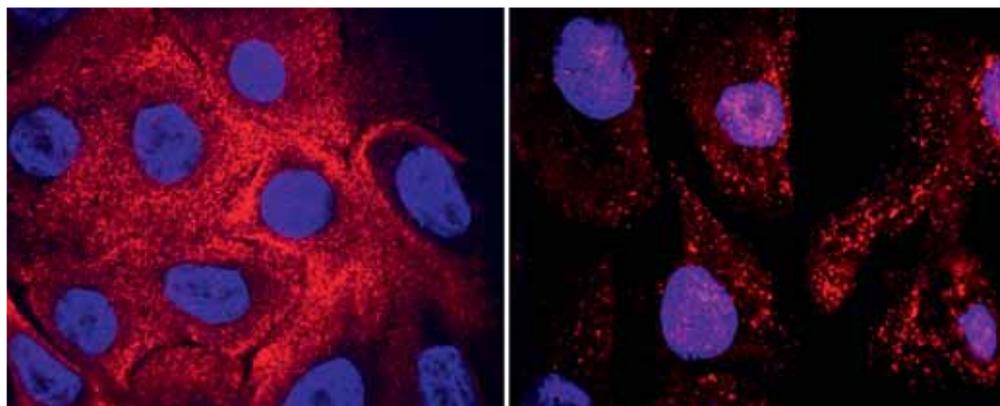
#### La cible des muqueuses

Les recherches sur la transmission du VIH se poursuivent également. Transporté par le lait maternel, le sang et les sécrétions génitales, le virus est présent dans ces fluides soit sous forme libre, soit intégré dans des cellules qu’il a infectées. De nombreuses études se focalisent notamment sur la formation de la synapse virale, ce contact étroit qui se crée entre la cellule infectée et la surface de la muqueuse génitale et assure une rapide internalisation du virus vers les couches intérieures de la muqueuse. L’enjeu : élucider le fonctionnement de cette synapse afin d’envisager des stratégies locales pour bloquer le virus dès sa porte d’entrée dans l’organisme.

Par ailleurs, les chercheurs tentent d’en savoir plus sur les mécanismes d’immunité au niveau de la muqueuse, notamment à travers le cas particulier de personnes régulièrement en contact avec le virus (personnes prostituées, notamment) qui restent pourtant séronégatives. « Nous ne savons pas expliquer



En étudiant les mécanismes d’immunité au niveau des muqueuses, l’équipe de Morgane Bomsel a pu élaborer un candidat pour un vaccin préventif.



Les chercheurs étudient la façon dont les cellules infectées par le VIH (noyaux en bleu) pénètrent dans les muqueuses, afin de bloquer le virus dès son entrée dans l’organisme.

complètement ce phénomène, commente Morgane Bomsel, chercheuse à l’Institut Cochin. *On peut penser que le fluide est peu infectieux lors des premiers contacts et que ces personnes s’immunisent au fur et à mesure des contacts. Cette question montre tout l’intérêt d’étudier la réponse immunitaire localement et pas seulement au niveau de l’ensemble de l’organisme ».*

C’est ainsi qu’en étudiant les anticorps (immunoglobulines A) spécifiques du VIH qui sont présents au niveau de la muqueuse vaginale,

l’équipe de Morgane Bomsel est parvenue à élaborer un candidat pour un vaccin préventif. Administré par voie muqueuse intranasale, il induit une réponse immune protectrice au niveau des muqueuses vaginale et rectale (ce que ne fait pas la vaccination traditionnelle intradermique) ET au niveau sanguin. Fondé sur cette stratégie originale, le vaccin vient de passer avec succès les essais cliniques de phase 1<sup>6</sup>...

Le virus du sida est loin d’avoir révélé tous ses secrets. Mais les experts sont unanimes sur un point :

6. Les essais cliniques de phase 1 visent principalement à évaluer l’innocuité et la tolérance du vaccin chez l’humain.



© H. PAGUET/INSTITUT COCHIN CNRS PHOTOHEQUE

outre les bénéfiques déjà obtenus pour lutter contre la maladie, les avancées réalisées sur le VIH ont déjà révolutionné bon nombre de connaissances fondamentales en biologie, en immunologie comme en virologie. En témoigne, par exemple, la découverte il y a une dizaine d'années seulement d'une immunité intracellulaire, établissant que chaque cellule de l'organisme est intrinsèquement équipée pour résister aux infections et faciliter la réponse du système immunitaire. « *La complexité du VIH, son exceptionnelle capacité à s'adapter et à mettre constamment en place des subterfuges pour contourner les défenses de l'organisme pousse toujours plus loin l'exploration des mécanismes fondamentaux du système immunitaire* », constate Arnaud Moris. **II S. B.**



▶ Regarder la présentation vidéo des travaux de Jamal Tazi, médaille de l'innovation 2017 du CNRS, à l'origine d'un candidat médicament contre le virus du sida sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

## Plus de 100 brevets CNRS sur la thérapie du VIH

### 3 questions à Sylvie Cantet-Seguin

Fist SA, la société de valorisation du CNRS, aide les chercheurs à transférer leurs découvertes vers l'industrie. Sylvie Cantet-Seguin, responsable du pôle sciences de la vie au département « Transfert et licensing », nous en dit plus.

#### Combien de brevets sur la thérapie du VIH le CNRS détient-il à ce jour ?

**Sylvie Cantet-Seguin :** Depuis 2000, 113 familles de brevets ont été déposées sur la thérapie du VIH – une famille de brevets rassemblant tous les brevets liés à une même invention : brevet prioritaire, extension dans différents pays... Il faut savoir que le brevet protège une découverte scientifique pour vingt années et permet à l'industriel qui signe un contrat de licence de l'exploiter à titre exclusif ou non exclusif, selon les termes du contrat signé.

#### Dans quels domaines trouve-t-on le plus de brevets ?

**S. C.-S. :** Les brevets en lien avec la vaccination contre le VIH représentent une part importante du portefeuille, avec 22 brevets déposés par le CNRS depuis 2000. Un autre domaine « chaud » concerne les fameuses « cellules réservoirs » dans lesquelles le virus est à l'état latent et peut se réactiver sous certaines conditions. Six brevets ont déjà été publiés sur cette question, ce qui positionne le CNRS à la cinquième place dans le monde. Fist suit de près l'évolution des recherches menées au CNRS mais aussi au niveau international, car la levée de ce verrou technologique aura des retentissements économiques et sociétaux majeurs.

#### Toutes les découvertes donnent-elles lieu à un dépôt de brevet ?

**S. C.-S. :** Non, certaines inventions non protégées par un brevet sont transférables (le savoir-faire, par exemple), mais cela représente une part minoritaire des accords que nous négocions avec les industriels. La majorité des 70 à 100 accords d'exploitation que nous négocions par an pour le compte du CNRS, sur l'ensemble de son portefeuille de brevets (santé, matériaux, chimie, optique, électronique, etc.), portent sur des technologies brevetées. Déposer un brevet est néanmoins loin d'être gratuit : il en coûte 6 000 à 8 000 euros pour un premier dépôt en France, une somme qui peut monter jusqu'à 150 000 euros si le brevet est étendu, en Europe et aux États-Unis notamment. Le rôle de Fist est d'évaluer l'opportunité de se lancer dans un dépôt, à travers différents critères : l'avancée technique du projet, les brevets et publications existants dans ce domaine, le marché en fonction des applications potentielles, les acteurs en présence, la concurrence, etc. Nous intervenons également auprès des industriels pour promouvoir les offres de technologie du CNRS et mettre en valeur les compétences des laboratoires. **II**



En 2016, près de 2 millions de personnes dans le monde ont été infectées par le VIH. En attendant le vaccin espéré, de nouveaux outils de prévention pourraient changer radicalement la donne.

# Prévention: le nouvel arsenal anti-VIH

C'est un espoir qui tient en quelques lettres – Prep, pour Prophylaxie pré-exposition – et qui pourrait bien révolutionner la prévention contre le VIH. « La Prep est un traitement préventif qui permet de protéger contre le VIH les personnes séronégatives, précise Bruno Spire, directeur de recherche à l'Inserm et président d'honneur de l'association Aides. Il s'adresse tout particulièrement aux personnes à risque fortement exposées au VIH. » Validée par les autorités mondiales de santé fin 2015, la Prep est déjà disponible en France, en Belgique, aux États-Unis... et devrait faire prochainement l'objet d'études de faisabilité dans quatre pays d'Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Togo et Mali). « Il ne faut pas commettre la même

erreur que pour la thérapie antirétrovirale, qui a mis plus de dix ans à atteindre le continent africain », insiste Bruno Spire. D'autant que le médicament utilisé – le Truvada, une bithérapie déjà prescrite avec d'autres antirétroviraux — existe déjà sous la forme générique.



La Prep est un traitement préventif destiné aux personnes séronégatives à risque.



Test de dépistage du VIH dans une plantation sud-africaine. Pour éradiquer le virus, l'Onusida a fixé un objectif de 90 % de personnes séropositives diagnostiquées.

## Une stratégie de diversification

Concrètement, la Prep se prend de deux façons distinctes : soit en traitement continu, à raison d'un comprimé par jour, soit de façon ponctuelle avant et après une exposition prévisible au VIH. Avec une réduction de 44 à 86 % du risque de contamination (selon les études et les populations concernées), la Prep est le premier outil de prévention biomédicale qui s'adresse directement aux personnes non infectées. Il pourrait contribuer à enrayer la progression de l'épidémie dans les groupes où la prévalence du VIH est particulièrement forte. Soit, selon les régions du monde : les hommes homosexuels, les travailleurs/euses du sexe, ou encore les usagers de drogue par injection.

« Sans les remplacer, la Prep vient compléter les outils déjà

1. En 2016, l'Institut national de veille sanitaire (InVS), l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes) et l'Établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires (Eprus) se sont regroupés dans cette nouvelle agence nationale de santé publique.



disponibles, dans une stratégie dite de "prévention diversifiée" promue au niveau mondial par l'Onusida : les outils comportementaux, comme l'utilisation du préservatif, mais aussi la mise sous traitement immédiate des personnes dont on découvre la séropositivité, partie intégrante de la stratégie appelée Tasp (Treatment as prevention, ou prévention par le traitement, NDLR) », explique Florence Lot, médecin épidémiologue à Santé publique France<sup>1</sup>. Le Tasp, l'autre pierre angulaire de l'arsenal de prévention, considère désormais la trithérapie comme un outil de prévention à part entière, puisqu'elle protège de l'infection les partenaires des personnes séropositives sous traitement : avec les traitements actuels, le VIH devient en effet indétectable dans le sang au bout de quelques mois à peine et le risque de transmission est réduit d'au moins 96 %. « Le Tasp est tout particulièrement ...

*“Il ne faut pas commettre avec la Prep la même erreur qu'avec la thérapie antirétrovirale, qui a mis plus de dix ans à atteindre le continent africain.”*

## L'épidémie en chiffres

Si le bilan s'améliore – le nombre annuel de morts liées au sida a été divisé par deux en quinze ans et s'établit à 1 million selon les dernières statistiques de l'Onusida –, l'épidémie de VIH est loin d'être vaincue. Aujourd'hui, 37 millions de personnes dans le monde sont séropositives ; parmi elles, 17 millions ne bénéficient d'aucun traitement et 11 millions ignorent leur séropositivité.

Les situations varient néanmoins selon les régions. Deux tiers des personnes séropositives se trouvent en Afrique subsaharienne, avec un pic de prévalence en Afrique du Sud où l'on estime le nombre de personnes séropositives à 20 % de la population totale. Autre foyer particulièrement préoccupant : l'Asie centrale, avec une épidémie très importante chez les usagers de drogue par injection. « Les pays comme l'Azerbaïdjan notamment appliquent la "ligne Poutine", explique Bruno Spire. Ce qui veut dire : pas de distribution de matériel pour éviter les partages de seringues, pas de mise à disposition de produits de substitution (méthadone ou subutex), et pas de trithérapies pour ces personnes considérées dans leur pays comme de véritables criminels. »

En France, on estime à plus de 150 000 le nombre de personnes infectées par le VIH, dont 25 000 ignorent leur séropositivité. « Ce petit groupe de population non diagnostiquée serait à l'origine de la majorité des nouvelles contaminations », indique Nathalie Lydié, de Santé publique France. Si le nombre d'infections est en baisse constante depuis 2003, 6 000 nouveaux cas sont encore découverts chaque année, principalement parmi les hommes homosexuels (43 % des découvertes de séropositivité) et les personnes nées à l'étranger (38 %), dont les trois quarts sont originaires d'Afrique subsaharienne.

À noter que tous les groupes connaissent une diminution, à l'exception des hommes homosexuels chez qui le nombre d'infections a continué d'augmenter depuis 2003. « La peur du sida dans les années noires avait diminué les rencontres sexuelles et mobilisé autour de l'utilisation du préservatif, explique Bruno Spire. Depuis les années 2000, il y a une reprise de l'activité sexuelle plus importante chez les gays, avec une multiplication du nombre de partenaires, ainsi qu'une érosion du taux d'utilisation du préservatif. Certains le déplorent, d'autres travaillent à faire connaître les stratégies de prévention comme le Tasp et la Prep. » ■ L. C.



“Avec le Tasp, on considère désormais la trithérapie comme un outil de prévention à part entière.”

... indiqué dans le cas des personnes formant un couple stable, dont l'une est séropositive et l'autre séronégative », commente Nathalie Lydié, en charge de l'unité Santé sexuelle à Santé publique France.

#### Améliorer l'accès aux soins

Mais pour mettre rapidement sous traitement les personnes infectées et limiter les nouvelles contaminations, encore faut-il que celles-ci aient connaissance de leur séropositivité. Or c'est loin d'être toujours le cas : dans le monde, la moitié des personnes séropositives ignorent leur état. Éradiquer le virus demande donc de dépister mieux et plus tôt.

C'est la stratégie poussée aujourd'hui par l'Onusida, qui a fixé l'objectif des « 3 X 90 » à l'horizon 2020 : 90 % de personnes séropositives

diagnostiquées, 90 % des personnes diagnostiquées mises sous traitement, 90 % des personnes sous traitement avec une charge virale contrôlée.

« En France, c'est clairement sur l'étape du dépistage que nous devons faire porter nos efforts, puisque nous ne sommes aujourd'hui qu'à 84 % de personnes diagnostiquées », indique Florence Lot. Le fait que la Prep doive être renouvelée par un médecin tous les trois mois (après test) devrait néanmoins permettre un meilleur suivi médical des populations à risque et la détection de l'infection dès les premières semaines. L'arrivée fin 2015 des premiers autotests à utiliser chez soi – une simple goutte de sang prélevée au bout du doigt suffit – pourrait aussi permettre de faciliter les diagnostics, même si ces produits restent encore peu utilisés dans l'Hexagone : il s'en vendrait 2 000 par semaine dans les pharmacies<sup>2</sup>.

Mais généraliser le dépistage et la mise sous traitement ne dépend

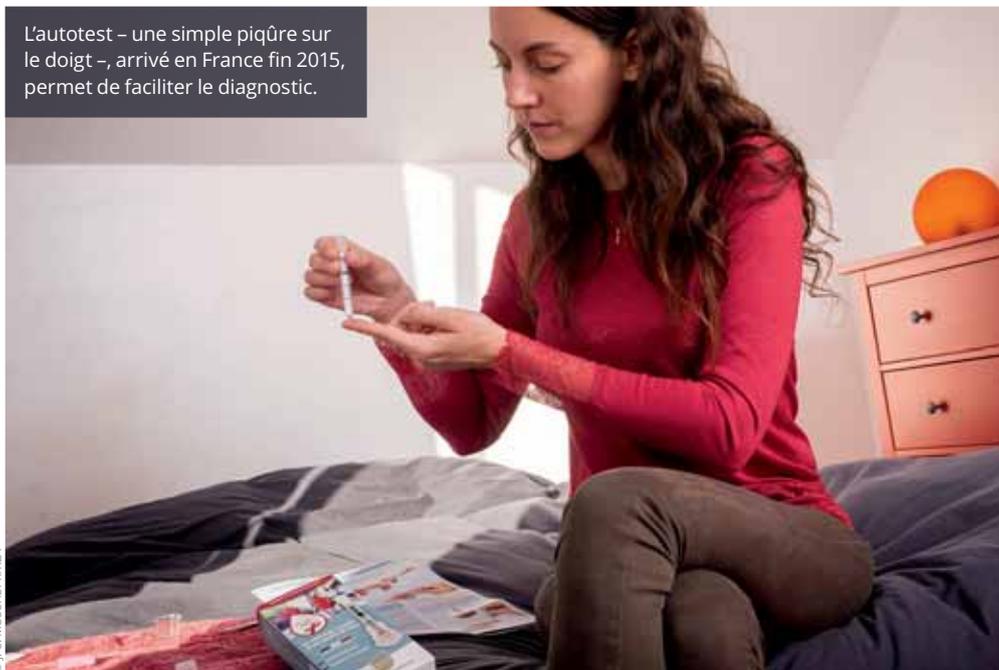


La campagne de prévention #FaisonslAmour, à destination des Parisiens, en juin 2017.

pas des seuls progrès médicaux. « L'accès aux traitements dans les pays du Sud dépend essentiellement du Fonds mondial de lutte contre le sida, la tuberculose et le paludisme et du Pefpar, le fonds contre le sida créé par le président des États-Unis au début des années 2000. Or ces fonds ont davantage tendance à réduire leurs subventions qu'à les augmenter, ce qui risque d'être un vrai frein à la généralisation des trithérapies », rappelle Bruno Spire.

Surtout, pour que les personnes accèdent facilement aux tests et aux traitements, encore faut-il que la société dans laquelle elles évoluent ne porte pas de jugements moraux sur leur condition – ce qui est loin d'être le cas si l'on considère les pays où l'homosexualité ou l'usage de la drogue sont aujourd'hui encore criminalisés. Mais les clichés ont aussi la vie dure en Europe occidentale. Une étude de l'association Aides menée auprès de dentistes et de gynécologues et publiée par *The Lancet* en avril 2016 est à ce sujet édifiante : sollicités par téléphone pour un détartrage ou un frottis vaginal par des personnes séropositives, 30 % des dentistes et 17 % des gynécologues ont refusé de les recevoir. ■ L. C.

L'autotest – une simple piqûre sur le doigt –, arrivé en France fin 2015, permet de faciliter le diagnostic.



2. L'étude « Prévenir » de l'Agence nationale de recherche sur le sida et les hépatites virales (ANRS), lancée en mai 2017, évaluera sur trois ans l'impact de l'association de la Prep, du dépistage répété et du Tasp sur les infections en Île-de-France.

# EN ACTION



*Traversez le système solaire, enquêtez sur les algues vertes qui prolifèrent sur la planète, et découvrez l'Encyclopédie sous un nouveau jour.*

ILLUSTRATION : MATHIEU CLAUSS/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL



# Mission Cassini Bilan d'une odyssée extraordinaire

UNIVERS

**Astronautique.** Vingt ans après avoir quitté la Terre pour Saturne, la mission Cassini-Huygens, qui s'est achevée en septembre, aura permis de précieuses découvertes, bouleversant notre vision du système solaire. Retour sur cette odyssée extraordinaire, fruit d'une vaste collaboration entre les États-Unis et l'Europe.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

Elle a révolutionné les connaissances sur Saturne. Suscité de nouvelles interrogations sur le système solaire. La mission Cassini-Huygens de la Nasa, de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'Agence spatiale italienne (ASI), s'est achevée le 15 septembre 2017, après un voyage de vingt ans. Ce jour-là, la sonde Cassini a pénétré dans les hautes couches de l'atmosphère saturnienne. Durant les une à deux minutes d'une chute vertigineuse de 420 kilomètres, elle a envoyé d'ultimes informations sur la composition des gaz et des plasmas, les

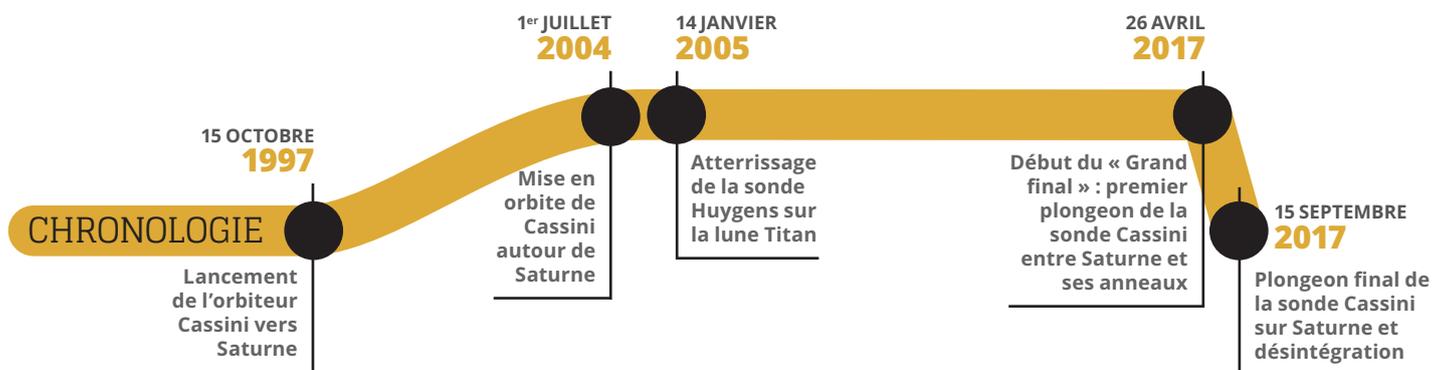
températures et le champ magnétique des milieux rencontrés. Avant de cesser brusquement d'émettre et de se désintégrer sous l'effet combiné des fortes turbulences et de la formidable chaleur produite par sa traversée de l'air à 111 000 kilomètres à l'heure.

Nul doute qu'à cet instant, les astronomes du monde entier ont eu un pincement au cœur tant fut extraordinaire l'aventure que leur a permis de vivre cette machine envoyée à 1,43 milliard de kilomètres de notre planète.

► [Vue d'artiste de la sonde Cassini en orbite autour de la planète Saturne.](#)

© NASA/JPL-CALTECH

1. Parmi les nombreux laboratoires ayant participé à la mission, on trouve le Lisa, le LPGN, le Lesia, le LPC2E, le Latmos, l'Irap, le Lerma, l'IAS, le LPP et l'IMCCE. Par ailleurs, trois chercheurs du CNRS ont été nommés « scientifiques interdisciplinaires » (IDS) – Daniel Gautier, François Raulin et Michel Blanc –, deux autres « principaux chercheurs » (PI) – Guy Israël et Marcello Fulchignoni pour les instruments ACP et HASI de Huygens – et une bonne douzaine d'autres « co-chercheurs » (co-Is). 2. Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (CNRS/Observatoire de Paris/UPMC/Université Paris-Diderot). Athéna Coustenis est associée aux instruments HASI et DISR de la sonde Huygens et CIRS et VIMS de la sonde Cassini. 3. Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (CNRS/Université Paris-Est Créteil/Université Paris-Diderot). François Raulin est associé aux instruments ACP et GCMS de Huygens et CIRS de Cassini.



### Une prouesse technique et humaine

Une aventure extraordinaire tout d'abord par sa durée. Imaginée en 1982, lancée en 1997, la sonde arrive dans la région de Saturne en 2004, après un long périple à travers le système solaire. Sa mission, prévue au départ pour quatre ans, en durera finalement treize. Elle permettra aux scientifiques d'observer la planète géante et sa lune Titan pendant deux saisons entières de l'année saturnienne – qui dure 29 années terrestres.

Ensuite, sur le plan technologique et humain. Pour économiser le carburant des sondes, Cassini-Huygens a expérimenté une méthode qui n'avait jusqu'ici été testée que pour la sonde Galileo, lancée par la Nasa autour de Jupiter. Il s'agissait de se servir de l'attraction gravitationnelle de Titan pour les changements d'orbite. En modifiant sa vitesse à chacun de ses 127 survols de la lune, la sonde a pu naviguer à travers le système de Saturne beaucoup plus longtemps que prévu.

On lui doit également l'atterrissage le plus lointain jamais réalisé à ce jour : emportée à bord de l'orbiteur Cassini, la sonde Huygens, développée par les chercheurs européens de l'ESA, s'est en effet posée le 14 janvier 2005 sur le sol de Titan. Une prouesse scientifique qui a permis aux astronomes de recueillir pour la première fois des images de la surface du plus grand satellite de Saturne.

La collaboration internationale autour de cette mission aura été exceptionnelle, puisqu'elle réunit trois agences spatiales représentant 19 pays, avec à son bord 18 instruments scientifiques – 12 sur Cassini et 6 sur Huygens. La construction de ces instruments a impliqué des dizaines d'équipes, dont nombre du CNRS<sup>1</sup>, qui s'est distingué par des responsabilités importantes tout au long de la mission.

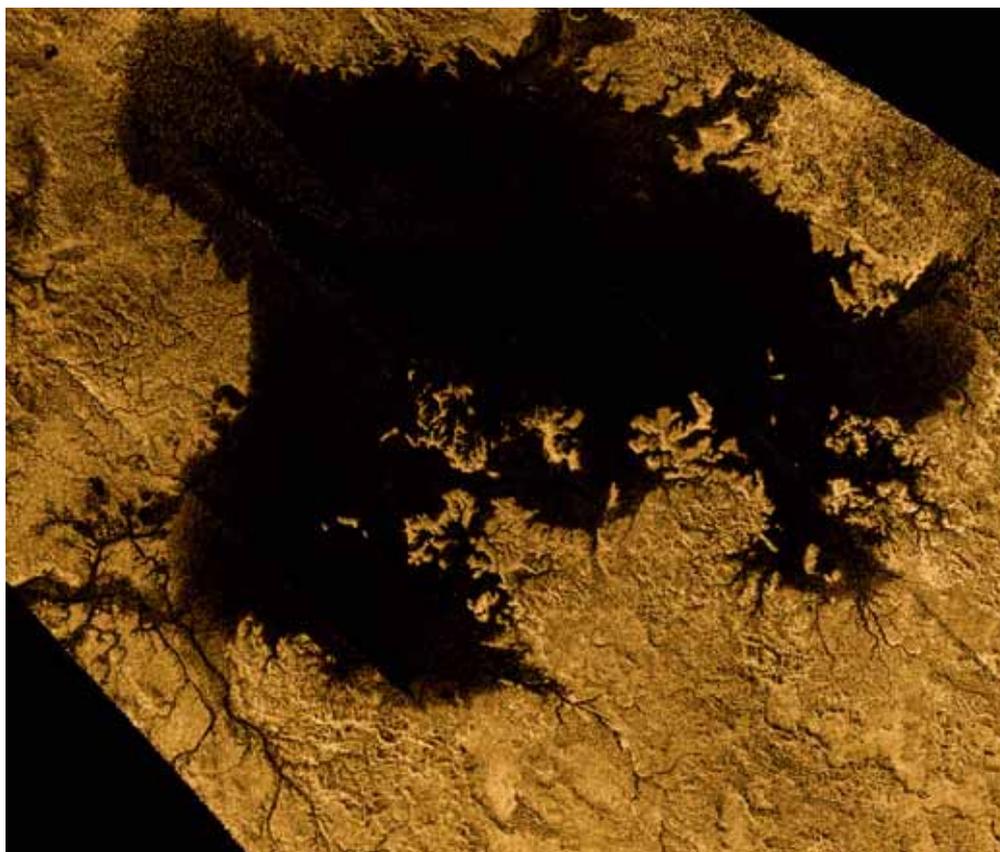
La mission Cassini-Huygens occupera une place à part dans l'histoire de la conquête spatiale en raison de ses découvertes. Elle a donné

lieu à plus de 3 900 publications scientifiques, qui ont contribué non seulement à bouleverser les connaissances sur Saturne et ses 62 satellites (dont 6 ont été mis au jour par Cassini), « *mais aussi*, estime Athéna Coustenis, directrice de recherche CNRS au Lesia<sup>2</sup> et engagée dans la mission depuis le début, à *changer radicalement l'idée que se faisaient les astronomes du système solaire en général* ».

### Titan, si proche de la Terre

« *Jusqu'en 2004, les spécialistes savaient peu de chose sur Titan, le plus gros des satellites de Saturne – 5 100 km de diamètre – qui n'avait été vraiment survolé qu'une seule fois, en 1980, par la sonde Voyager 1* », raconte François Raulin, chercheur au Lisa<sup>3</sup> et scientifique interdisciplinaire (IDS) en charge de l'exobiologie pour la mission Cassini-Huygens. La nature de la surface de Titan, ...

▲ La Ligeia Mare, sur la lune Titan, est une vaste étendue liquide constituée en majeure partie d'éthane et de méthane (photographie noir et blanc colorisée).



© NASA/JPL CALTECH/ASTOR CORNELL

... cachée sous les brumes opaques de couleur orangée qui l'enveloppent, était un mystère. Au point que les ingénieurs redoutaient que Huygens finisse noyée ou engloutie dans un océan ou des marécages une fois arrivée au sol. On connaît désormais la composition de ses aérosols ainsi que la température et les constituants de son atmosphère – dominée comme celle de la Terre par de l'azote (96 %), mais aussi riche en méthane et dans laquelle les chercheurs ont eu la surprise de détecter la présence d'ions organiques dans sa partie ionosphérique, à mille kilomètres d'altitude. « Une grande partie de sa surface a été décrite, poursuit François Raulin, mettant en évidence une diversité insoupçonnée » : des montagnes, des cratères, des champs de dunes de nature encore inconnue, mais aussi 200 lacs et une mer alimentés par des réseaux fluviaux où se répandent du méthane et de l'éthane à l'état liquide.

de diamètre seulement, était jusque-là considérée comme un astre mort. Mais, en 2005, la sonde Cassini observe d'énormes panaches de plusieurs centaines de kilomètres de haut, constitués de vapeur d'eau et de grains de glace : ces derniers correspondent vraisemblablement à des remontées de liquides d'un océan sous-glaciaire. Il s'agit là d'une énorme surprise, car jusqu'alors, le seul corps du système solaire connu pour posséder une « mer intérieure » était le satellite Europe de Jupiter (qui est plus près du Soleil). Les astronomes ayant démontré en 2012 que Titan cachait aussi dans son sous-sol un compartiment de ce type, cela a bouleversé la notion même de « zone d'habitabilité » – la zone où de l'eau à l'état liquide peut subsister.

Cette odyssée aura également permis d'en apprendre un peu plus sur les fameux anneaux de Saturne : constitués d'une multitude de « particules » de glace d'une taille

comprise entre le millimètre et le décimètre, ils seraient faits à 99 % d'eau, même si certains astronomes contestent ce chiffre et avancent l'idée qu'ils cachent des quantités importantes de silicate, de fer ou de molécules organiques.

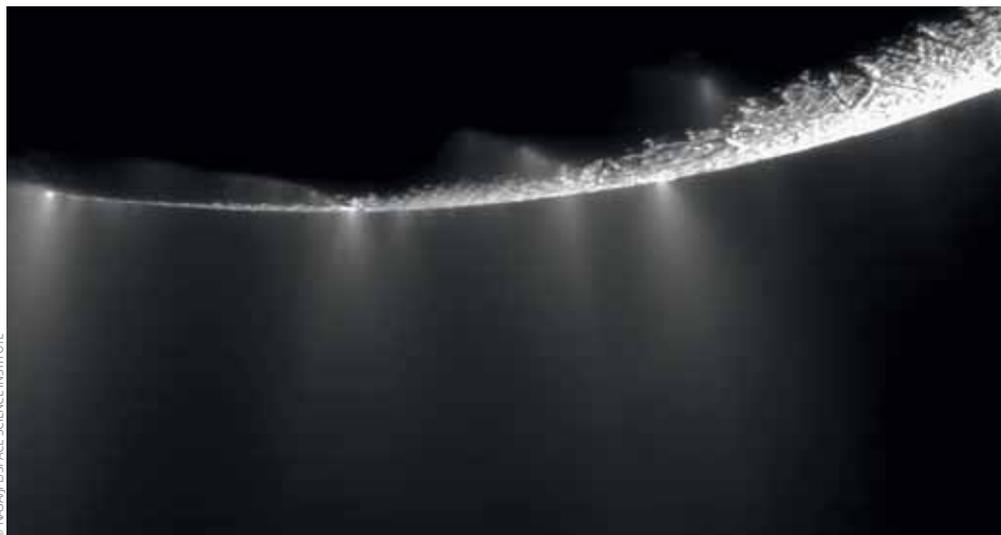
Un grand apport de Cassini est d'avoir démontré le rôle joué par les satellites de Saturne dans la composition et la dynamique de ces structures. La sonde a prouvé que la glace larguée dans l'espace par les jets d'Encelade avait fini avec le temps par créer l'anneau E extérieur. Et que le déplacement de la lune Prométhée sur son orbite expliquait les ondulations qui parcourent la surface de l'anneau F. En scrutant le disque

dans des parties plus internes, elle a aussi démontré que certaines « lacunes » étaient dues à la présence de petites lunes comme Pan, dont les déplacements creusent des sillons dans la surface glacée. L'épaisseur de cette dernière est variable. Dans les régions A et B, elle peut atteindre plusieurs milliers de mètres. L'équivalent de la taille d'une montagne !

### Révélation à venir

D'autres découvertes sont encore attendues après le « grand final » entamé le 22 avril 2017 et qui s'est achevé le 15 septembre.

« D'ores et déjà », constate Jean-Pierre Bibring, astrophysicien à l'IAS<sup>5</sup> qui a contribué au développement de l'instrument VIMS, le système saturnien, avec sa planète



© NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Les jets de particules glacées émis depuis la surface d'Encelade ont révélé la présence d'un océan intérieur.

Les données récoltées durant deux saisons entières de la lune ont permis de voir sa couverture nuageuse évoluer. Un cycle du méthane y façonne des « paysages » et y régit le climat, comme le cycle de l'eau le fait sur notre planète, donnant de Titan l'image d'un astre aux propriétés géophysiques proches de la Terre. Et, remarque Stéphane Le Mouélic, ingénieur de recherche au LPG<sup>4</sup> de Nantes, collaborateur de l'instrument VIMS de Cassini, « tout comme la Terre, Titan possède des étendues liquides directement exposées à une atmosphère ». Un cas unique dans le système solaire !

### Encelade, une lune habitable ?

Encelade est l'autre grande révélation de Cassini-Huygens. Cette petite lune de Saturne, de 500 kilomètres

4. Laboratoire de planétologie et géodynamique (CNRS/Université de Nantes/Université d'Angers). 5. Institut d'astrophysique spatiale (CNRS/Université Paris-Sud).

## En bref

*géante, ses satellites qui interagissent avec les anneaux, les alimentent en matériel et les perturbent, est devenu pour les astronomes un laboratoire pour l'étude de certains phénomènes dynamiques clés se manifestant à plus grande échelle. Notamment, ceux qui conduisent à la formation et à l'évolution des systèmes stellaires, dans leur diversité. »*

Enfin, grâce à une partie des 453 048 images et 635 gigaoctets de données glanées par Cassini-Huygens, Saturne est elle-même mieux connue. Placée aux premières loges durant treize ans, la sonde a décrit comment le climat de la planète géante change en fonction des saisons. Elle a assisté en direct au développement et à la fin d'une énorme tempête lors de l'équinoxe. Des clichés inédits ont été réalisés du fameux motif nuageux hexagonal qui occupe en permanence, au nord, les hautes latitudes.

L'ultime phase de la mission apportera pour la première fois des informations *in situ* sur la composition de l'atmosphère saturnienne. Elle permettra

par ailleurs de cartographier avec précision son champ de gravité, afin d'en déduire la taille de son éventuel noyau ou de déterminer si les structures en « bandes » et en « ceintures », visibles à sa surface, se développent en grande profondeur. Elle pourrait enfin contribuer à expliquer pourquoi Saturne est la seule planète du système solaire à posséder un champ magnétique aligné avec son axe de rotation. Ce curieux phénomène est probablement à l'origine de la difficulté qu'ont les astronomes à préciser la durée des journées saturniennes, dont les longueurs semblent fluctuer dans les enregistrements de plus ou moins 1 h 45. En mesurant très précisément le champ magnétique de Saturne et son rayonnement radio, l'engin spatial devrait, là encore, apporter des réponses... Fin de la mission ou pas, les astronomes sont encore loin d'en avoir terminé avec Cassini-Huygens. **II**

### Le système saturnien est devenu un laboratoire pour les astronomes.



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

### PHILOSOPHIE

Le 25 septembre, le CNRS, l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et la Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität de Bonn ont officiellement créé le Centre de recherches sur les nouveaux réalismes. Les recherches en philosophie fondamentale menées dans ce laboratoire international associé porteront notamment sur la question du rapport entre normes et réalité.

### MOBILITÉ

Le Groupe PSA et le CNRS viennent de signer un nouvel accord-cadre de collaboration d'une durée de cinq ans. Visant à relever les défis de la mobilité de demain, cet accord vient prolonger un partenariat construit depuis plus de vingt ans autour de collaborations impliquant une quarantaine de laboratoires du CNRS.

### FESTIVAL

Organisée tous les deux ans par le CNRS et l'université de Lorraine, la compétition de films « Sciences en Lumière » (ex-Festival du film de chercheur) est de retour en 2018. L'occasion de faire découvrir au grand public des travaux scientifiques, au travers de films dont l'écriture ou la réalisation ont impliqué des acteurs de la recherche. L'appel à films est ouvert jusqu'au 31 décembre.



>> [www.sciencesenlumiere.fr](http://www.sciencesenlumiere.fr)

### OPTIQUE

Le CNRS et le groupe Thales se sont associés pour créer le laboratoire commun Systèmes optiques et instrumentation embarquée. L'objectif des recherches qui seront menées chez l'industriel et au Laboratoire d'astrophysique de Marseille est de développer des technologies pour de futurs instruments d'astronomie spatiale, de surveillance de l'espace, de défense et de sécurité.

### INSTRUMENT

Le 1<sup>er</sup> septembre, le laser à électrons libres European XFEL a été inauguré près de Hambourg, en Allemagne. En produisant des flashes de rayons X ultra-lumineux, deux cents fois plus nombreux par seconde que les meilleurs lasers à électrons libres, cet instrument européen permettra de cartographier les détails atomiques des virus, de déchiffrer la composition moléculaire des cellules, de réaliser des images tridimensionnelles du nanomonde ou encore de filmer des réactions chimiques. Onze pays ont participé à sa construction, pour un budget total de 1,2 milliard d'euros. En France, le CEA et le CNRS ont joué un rôle de premier plan dans la conception et la construction de l'accélérateur supraconducteur à électrons.



© DÉLÉGATION PMA

# « L'attractivité du CNRS »

**Entretien.** Présidente par intérim du CNRS, Anne Peyroche fait le point sur l'appel à projets Momentum et sur l'initiative « Make our planet great again », deux programmes qui rencontrent un grand succès auprès des scientifiques.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOUISE LIS

**Vous venez d'être nommée présidente par intérim du CNRS (lire page 11). Quel est votre sentiment après presque deux ans d'exercice à la direction scientifique de l'organisme ?**

**Anne Peyroche :** Le CNRS est une magnifique maison où se conjuguent créativité, liberté, diversité, esprit collectif et engagement à long terme, et qui produit une science remarquable. Son attractivité nationale et internationale est exceptionnelle. Je n'en suis pas surprise mais je le mesure davantage après ces 21 mois d'exercice à la tête de la direction scientifique. Cette visibilité tient à la place et au rôle qu'il a acquis dans les très grands projets scientifiques – les découvertes successives liées aux ondes gravitationnelles viennent de nous en fournir un exemple –, mais aussi à sa capacité d'accompagner des recherches risquées et originales d'équipes plus modestes en taille. Ces réussites reposent avant tout sur la qualité et l'engagement des femmes et des hommes qui travaillent au CNRS. Je suis très fière et heureuse de pouvoir contribuer à ces belles aventures.

Le CNRS représente également, comme l'a souvent souligné Alain Fuchs, « un point de stabilité », un repère, dans un paysage mouvant. Il suit une trajectoire dynamique tout en évitant les mouvements chaotiques. La recherche fondamentale a besoin de temps, de stabilité mais également d'un flux de nouveauté, d'énergies nouvelles, ce qui rend si important le recrutement de nouveaux chercheur.e.s, ingénieur.e.s et technicien.ne.s.

**Vous êtes à l'origine d'un appel à projets scientifiques inédit pour le CNRS, baptisé Momentum. Pourquoi un tel programme et quels en sont les premiers résultats ?**

**A. P. :** Momentum a été mis en œuvre suite aux recommandations du comité de visite international chargé d'évaluer le CNRS en 2016. Le comité incitait fortement l'organisme à mettre en place, pour l'ensemble des disciplines, un programme d'accompagnement de jeunes chercheur.e.s afin qu'ils et elles puissent développer des projets ambitieux, à l'instar du programme ATIP-Avenir pour les sciences de la vie<sup>1</sup>. Nous avons donc créé le

programme CNRS-Momentum qui s'adresse à de jeunes chercheur.e.s, chargé.e.s de recherche au CNRS ou non-statutaires qui veulent développer un projet original s'inscrivant dans l'une des treize thématiques prioritaires proposées<sup>2</sup>.

Les premiers résultats sont très positifs, avec des dossiers de très grande qualité. Nous avons reçu 430 dossiers de candidature éligibles et en avons retenu 32 pour l'audition. À l'issue des auditions des 19 et 26 octobre, une vingtaine de lauréats seront sélectionnés.

Nous avons eu à choisir parmi des projets très originaux, enthousiasmants, certains faisant même l'objet de véritables coups de cœur.

Si, parmi l'ensemble des candidat.e.s, figuraient seulement 28 % de chargé.e.s de recherche, au final, ceux-ci représentent 65 % des candidats sélectionnés pour l'audition, preuve, s'il en faut, de la qualité de nos jeunes chercheur.e.s et une réelle satisfaction pour nous.



1. Piloté par le CNRS et l'Inserm 2. En 2017, le programme Momentum soutient des projets dans treize domaines émergents et transdisciplinaires allant de l'étude des cycles du carbone aux calculs et simulations quantiques.

3. Troisième vague du programme des investissements d'avenir (PIA) qui a débuté en février 2017.

# est exceptionnelle »

## Autant de projets de recherche qui échappent aux agences de financement ?

**A. P. :** Le succès de Momentum montre que nous avons répondu à un besoin, sinon une attente. Chacun sait que les programmes des agences aujourd'hui sont très cadrés. Ils ne valorisent en général ni l'émergence, ni le risque, ni l'interdisciplinarité, autant de caractéristiques que nous voulons soutenir à travers le programme CNRS-Momentum.

Notre sélection s'est opérée dans un esprit d'ouverture totale entre les disciplines. Je constate avec satisfaction que plus de la moitié des dossiers sélectionnés pour l'audition ont été soutenus par plusieurs instituts. De nombreuses études montrent à quel point les projets de recherche pluri ou interdisciplinaires passent à travers les mailles des agences.

Nous sommes donc complémentaires et non concurrents par rapport à d'autres appels. C'est pourquoi il est à mon sens indispensable que ce type de programme s'inscrive dans une certaine continuité.

*“La recherche a besoin de temps, de stabilité mais aussi d'énergies nouvelles.”*

## Le CNRS s'est également vu confier l'appel à candidatures « Make our planet great again » du président Macron, ouvert aux scientifiques du monde entier. Quels enseignements en tirez-vous ?

**A. P. :** Le CNRS est chargé du pilotage scientifique de ce programme, que nous opérons pour l'ensemble de la communauté de l'enseignement supérieur et de la recherche. Dans un premier temps, nous avons défini les champs scientifiques concernés en nous appuyant sur l'expertise du CNRS, qui couvre un très large spectre de disciplines. Sur des enjeux planétaires tels que les changements globaux, c'est bien l'ensemble des sciences qu'il faut mobiliser.

Le CNRS a ensuite assuré la sélection des candidats sur la base de leur CV et de leur parcours académique. Ceux-ci ont alors été invités à soumettre un projet à développer dans un laboratoire français. Le CNRS a accompagné les candidats dans le choix du laboratoire d'accueil. La sélection des projets sera effectuée par un jury international, la partie opérationnelle de cette phase étant assurée par l'Agence nationale de la recherche.

Enfin, le CNRS a également la charge de l'animation scientifique du programme. Celle-ci se fera conjointement avec l'Allemagne qui a lancé parallèlement à l'appel français un appel similaire.

En confiant le pilotage scientifique de cet appel au CNRS, c'est son expertise scientifique et sa connaissance du paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche en France qui sont reconnues.

## Cet appel a reçu un accueil particulièrement favorable...

**A. P. :** Avec 255 dossiers de candidature complets déposés, je crois que l'on peut parler d'un grand succès. 90 candidats ont franchi la première étape de sélection, dont une cinquantaine de chercheur.e.s seniors et une quarantaine de juniors (moins de 12 ans après la thèse).

Parmi eux, 42 % sont des citoyens américains et la majorité (62 %) sont des scientifiques qui exercent actuellement aux États-Unis. Le deuxième pays d'origine étant le Royaume-Uni, on ne peut que faire le lien avec le Brexit qui fragilise nos collègues exerçant dans ce pays.

Reste désormais aux 90 candidats à proposer un projet qui sera mené dans un laboratoire français pour une durée de 3 à 5 ans. La première session s'est close le 31 octobre. Une deuxième session aura lieu en janvier ; les candidats non retenus lors de la première session pourront représenter leur dossier en tenant compte des observations qui leur auront été faites par le jury international.

Les projets seront soutenus par le PIA3<sup>3</sup> à hauteur de 500 000 euros maximum pour les projets menés par ...



... un candidat junior et 750 000 euros maximum pour les projets menés par des candidats seniors. L'enveloppe globale de dotation s'élève à 30 millions d'euros. Les institutions d'accueil s'engagent à abonder le projet à hauteur équivalente du PIA (sous forme de salaire, de mise à disposition d'équipements ou de plateformes, etc.). Le coût complet des projets se situera donc entre 1 et 1,5 million d'euros, ce qui est loin d'être négligeable.

#### Avez-vous été surpris par ce succès ?

**A. P. :** Nous avons été surpris par la qualité des candidat.e.s : des profils de haut niveau entendent saisir cette opportunité pour rejoindre un pays scientifiquement attractif. Attractif dans sa dynamique de recherche mais attractif aussi pour ses valeurs, comme l'attachement à la liberté de la recherche, souvent mise en avant dans les dossiers de candidature. On lit bien sûr en contrepoint la crainte de ne plus pouvoir exercer librement leur métier, soit de ne plus l'exercer du tout, en raison de coupes budgétaires réelles ou anticipées.

#### D'aucuns s'inquiètent de l'idée que ces programmes puissent grever les capacités de recrutement du CNRS...

**A. P. :** Cette inquiétude n'a pas lieu d'être. Parmi les chercheurs sélectionnés, certains repartiront au bout de 3 à 5 ans. Ceux qui veulent rester en France candidateront pour être recrutés au CNRS ou par d'autres institutions, selon les procédures habituelles. Je rappelle que nous recrutons plus d'un tiers d'étrangers chaque année au CNRS.

#### Vous souhaitez redéfinir le périmètre de la Mission pour l'interdisciplinarité (MI) en vous inspirant de ces appels à projets ?

**A. P. :** Momentum comme l'appel « Make our planet great again » ont en commun d'être des programmes transversaux portés ou pilotés par la direction de l'organisme. Ces initiatives transversales qui s'adressent, dans un cadre défini, à un large périmètre de champs disciplinaires sont très positives et stimulantes pour le CNRS. Elles permettent le dialogue entre les disciplines qui est la grande force de notre organisme. Par ailleurs, même si l'interdisciplinarité se décline naturellement dans chaque institut, dans les commissions interdisciplinaires du Comité national et à travers la mobilité des chercheurs, nous disposons aussi d'une mission qui a en charge de mettre en place des appels à projets et des animations scientifiques interdisciplinaires. C'est pourquoi j'ai fait évoluer la MI pour disposer à la fois de projets interdisciplinaires et d'actions communes à plusieurs domaines scientifiques, avec l'objectif qu'elle devienne le bras armé de la stratégie scientifique du CNRS. ||



© ADRIAN FRUITOS POUR CNRS LE JOURNAL

## Les chercheurs étrangers en danger ont besoin de Pause

« Quand la guerre a éclaté en Syrie, je travaillais au musée de Damas et j'ai poursuivi mes recherches sur le terrain, raconte Selim<sup>1</sup>, archéologue. Puis la situation est devenue de plus en plus difficile, ma vie était en danger. La seule solution était de quitter mon pays. »

Là où sévissent guerres et régimes autoritaires, des scientifiques sont ainsi menacés, privés de leurs libertés, parfois exécutés. Seul demeure l'espoir de trouver une terre d'accueil pour exercer leur métier. Pour Selim, ce sera la France. Ce chercheur figure parmi les soixante-trois premiers bénéficiaires de Pause, le Programme national d'aide à l'accueil en urgence des scientifiques en exil, lancé en janvier 2017 à l'initiative de l'État et piloté par le Collège de France et dont les premières « Rencontres internationales » se sont tenues le 9 novembre à Paris.

« La France a une tradition d'accueil des scientifiques étrangers, rappelle Thierry Mandon, alors secrétaire d'État chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Par devoir de solidarité et d'humanité, créer un dispositif national s'imposait pour aider ces chercheurs en danger. »

« La mise en place de Pause a été très rapide et la réactivité des établissements d'enseignement supérieur, des organismes de recherche et des partenaires, très grande », souligne la généticienne Edith Heard, professeure au Collège de France, qui coprésède avec Alain Prochiantz le comité de parrainage du programme.

« Les établissements d'enseignement supérieur et les organismes de recherche – cinquante à ce jour – s'engagent à recruter les scientifiques en danger et à les accompagner dans leur insertion professionnelle et sociale, explique Laura Lohéac, directrice exécutive de Pause. Notre ambition est d'accueillir cent chercheurs par an issus de toutes les disciplines scientifiques et origines géographiques. » Financé en 2017 par l'État à hauteur de 2 millions d'euros, mais aussi par le CNRS, le Collège de France, la Chancellerie des universités de Paris, la mairie de Paris et des entreprises mécènes, Pause fait également appel à la générosité publique sous l'égide de la Fondation de France. « Sauver une vie, sauver des idées est le slogan de Pause, rappelle Edith Heard. Accueillir tous ces talents est une richesse pour l'ensemble de la société en termes de connaissance et de savoir. » ||

CATHERINE VÉGLIO

Lire l'intégralité de l'article sur <http://cnrsinfo.cnrs.fr>

Le site du programme Pause

>> [www.college-de-france.fr/site/programme-pause/index.htm](http://www.college-de-france.fr/site/programme-pause/index.htm)

1. Le prénom a été modifié.

# Comment les dinosaures couvaient-ils leurs œufs ?

PAR FUI LEE LUK

VIVANT  TERRE 

**Paléontologie.** Une équipe franco-chinoise a mis au point une méthode inédite pour éclairer les pratiques de couvain de certains dinosaures. Elle démontre que les oviraptorosaures, longtemps pris pour des voleurs d'œufs, étaient en réalité des parents poules.

Leur mauvaise réputation remonte aux années 1920, lors de la découverte d'ossements de dinosaures au-dessus d'un nid rempli d'œufs, en Mongolie. Les chercheurs pensaient alors que les œufs appartenaient à des protocératops et les ossements à une autre espèce qu'on supposait voleuse d'œufs : l'oviraptorosaure. Or, dans les années 1990, une autre expédition en Mongolie révéla que les embryons contenus dans les œufs d'un autre nid couvert par des ossements d'oviraptorosaures étaient en fait des embryons de la même espèce. L'image du voleur prédateur laissait place à celle d'un parent couvant ses petits. Une image qui se confirme aujourd'hui grâce au procédé géochimique conçu par une équipe franco-chinoise pour déterminer la méthode d'incubation des oviraptorosaures<sup>1</sup>.

## La température d'incubation

Depuis longtemps, les scientifiques s'interrogent sur la façon dont les dinosaures couvaient leurs œufs. Les enterraient-ils comme les tortues ? Les enterraient-ils sous un monticule de plantes comme certains crocodiles ? Les couvaient-ils comme des oiseaux ? Jusqu'ici, les chercheurs s'appuyaient sur des indices indirects : disposition des œufs dans les nids, morphologie des coquilles. Chercheur au Laboratoire de géologie de Lyon<sup>2</sup>, Romain Amiot, coordinateur de l'équipe de paléontologues, géochimistes et biologistes français et chinois<sup>3</sup>, a développé une

technique pour déterminer la source de chaleur utilisée par certains dinosaures pour incuber les œufs, basée sur le calcul de la température d'incubation elle-même.

Celle-ci, explique-t-il, peut être calculée grâce à la relation existant entre les compositions isotopiques de l'oxygène contenu dans les os de l'embryon et les fluides de l'œuf à partir desquels ces os se sont formés. Il a ainsi eu l'idée de mesurer la composition isotopique de l'oxygène de l'os de l'embryon et de calculer celle du liquide contenu dans l'œuf.

L'équipe a analysé au spectromètre de masse les os d'embryons préservés dans sept œufs d'oviraptorosaures provenant de la province de Jiangxi (Chine), datés d'environ 70 millions d'années. Le liquide contenu dans les œufs ayant disparu depuis longtemps, les chercheurs ont analysé les fragments de coquille. Une transposition possible, précise Romain Amiot, parce que « le liquide contenu dans l'œuf produit par la mère avait également servi à former la coquille ». Une fois dressées les compositions isotopiques, il restait à trouver la variable manquante : la fameuse température d'incubation.

## Des dinosaures aux oiseaux

Établie par l'équipe entre 35 et 40 °C, cette température, bien plus élevée que les températures ambiantes, ne pouvait être maintenue que par la couvain des parents. On ne trouve de tels niveaux « que chez les

oiseaux qui couvent leurs œufs », note Romain Amiot, révélant le rôle clé des oviraptorosaures dans la transition entre les dinosaures et les oiseaux.

Le chercheur souhaite étendre cette méthode aux autres vertébrés pondreurs d'œufs, en particulier aux sauropodomorphes, dont le fameux *Diplodocus* d'Amérique du Nord. « Si nous parvenons à trouver des échantillons de ses œufs avec l'embryon préservé à l'intérieur, alors nous pourrions définir sa température d'incubation et en savoir plus sur les stratégies de reproduction de cet animal extraordinaire sur lequel nous savons si peu de chose. »

▲ Fossile d'oviraptorosaure avec ses œufs, conservé au Muséum américain d'histoire naturelle, à New York.



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



1. «  $\delta^{18}\text{O}$ -derived incubation temperatures of oviraptorosaur eggs », Romain Amiot et al., *Palaeontology*, 2017, vol. 60 (5) : 633 – 647. 2. Laboratoire de géologie de Lyon : terre, planètes, environnement (CNRS/ENS/Univ. Lyon 1). 3. Représentant, pour la France, le laboratoire Biométrie et biologie évolutive (CNRS/Univ. Lyon 1/ VetAgro Sup/Hospices civils de Lyon/Inria), le Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (CNRS/Univ. Lyon 1/ENTPE/Inra) et, pour la Chine, l'Académie des sciences chinoise, l'Université normale de la capitale (Pékin), le Natural History Museum of Guangxi et le Geological Museum of China.

# Et le chat conquiert le monde

SOCIÉTÉS



VIVANT



**Zoologie.** Le chat domestique actuel est un lointain descendant du chat sauvage présent au Proche-Orient au début du Néolithique. Des chercheurs ont retracé pour la première fois le parcours du félin, qui a suivi des groupes d'agriculteurs depuis le Croissant fertile jusqu'à l'Europe.

PAR LAURE CAILLOCE

Le chat a décidément la cote auprès des humains : avec près de 13 millions de chats domestiques en France, la population féline ne cesse d'augmenter et dépasse largement celle des chiens dans l'Hexagone. Mais combien de maîtres savent que leur ronronnant compagnon ne descend pas des chats sauvages européens (*Felis silvestris silvestris*), mais vient d'horizons bien plus lointains : le Proche-Orient, berceau de l'agriculture dix millénaires avant notre ère ? « *Le chat s'est rapproché de l'homme pour des raisons évidentes d'intérêts convergents : il a été attiré dans les villages par l'afflux de rongeurs que les stocks de grains d'orge et de blé ne manquaient pas de provoquer* », racontent Eva-Maria Geigl et Thierry Grange, spécialistes de paléogénétique à l'Institut Jacques-Monod<sup>1</sup>, qui ont cosigné, en juin 2017 dans *Nature Ecology and Evolution*, la première étude retraçant la trajectoire du chat depuis qu'il a été apprivoisé.

L'être humain lui-même n'y aurait trouvé que des avantages : non seulement il était débarrassé des rats, mais aussi des serpents et d'autres espèces venimeuses que *Felis silvestris lybica*, le chat sauvage d'une vaste zone allant de l'Afrique du Nord au sud de l'Anatolie, mettait également à son menu.

Les indices historiques et archéologiques accréditent depuis longtemps cette hypothèse du rapprochement entre le chat et l'homme dès les débuts de l'agriculture. « *Un squelette de chat a été trouvé à Chypre dans une tombe d'enfant datant de 7 500 avant notre ère*, détaillent les chercheurs. *Une tombe contenant exclusivement les ossements de plusieurs chats non apparentés a été mise au jour dans un cimetière égyptien remontant à 4 500 ans environ avant notre ère. Après l'avoir défié et en avoir fait un auxiliaire de Râ, le dieu du soleil, l'iconographie égyptienne fait figurer le félin dans des scènes de chasse dès le deuxième millénaire avant notre ère, puis on le voit*



© M. RAUCH - A. IMAPART-RENOUËR/BIOSPHOTO

*apparaître dans la maison, sous la chaise de l'homme ou de la femme, parfois même équipé d'un collier.* »

Autant de signes qui semblent attester que l'homme a très tôt adopté le félin. Les études de génome conduites sur des chats modernes – chats domestiques (*Felis catus*), chats sauvages européens (*Felis silvestris silvestris*) et moyen-orientaux (*Felis silvestris lybica*) – confirmaient de leur côté la proximité génétique entre le chat domestique actuel et *lybica*. Mais quel était le scénario du déplacement du chat ? Le mystère restait entier.

## 230 individus anciens analysés

Une lacune que l'étude publiée par les chercheurs comble enfin, grâce à une vaste enquête de paléogénétique menée sur plus de 230 individus anciens, sur une période s'échelonnant entre 10 000 ans avant le présent et la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. « *On a des spécimens de chats européens vieux de 9 000 ans, des chats des Balkans remontant à 6 000 ans, des individus d'Anatolie compris entre 6 000 ans avant le présent et la fin de l'Empire ottoman...* », énumèrent Eva-Maria Geigl et Thierry Grange, qui ont également analysé des dizaines de chats momifiés en Égypte à l'époque ptolémaïque (du III<sup>e</sup> au I<sup>er</sup> siècle avant notre ère). « *Mais seules six de ces momies ont donné des résultats. L'ADN des autres était trop fortement dégradé du fait des mauvaises conditions de conservation dans ces régions chaudes et arides.* »

Plus précisément, les chercheurs se sont focalisés sur l'ADN mitochondrial<sup>2</sup> des individus. « *Le gros avantage*

1. Unité CNRS/Université Paris-Diderot. 2. À la différence de l'ADN nucléaire qui se trouve dans le noyau de la cellule, l'ADN mitochondrial code pour les protéines et les ARN spécifiques au fonctionnement des mitochondries, ces éléments de la cellule responsables de la production énergétique cellulaire.



► Le chat domestique ne descend pas du chat sauvage européen (à gauche), mais du chat sauvage moyen-oriental (à droite), apprivoisé dès les débuts de l'agriculture.

de ce marqueur génétique est qu'il est transmis exclusivement par la mère et permet de tracer la lignée maternelle, expliquent conjointement Eva-Maria Geigl et Thierry Grange. C'est donc un excellent indicateur de suivi des populations. »

### Deux vagues de domestication

Leurs résultats sont sans appel : c'est bien *lybica* qui est l'ancêtre des chats domestiques actuels. Mais à leur grande surprise, ce n'est pas une, mais deux vagues de domestication que les chercheurs ont pu mettre au jour : « La première vague arrive au moment de la néolithisation de l'Europe, il y a 5 000-6 000 ans.

On voit se généraliser à tout le continent la signature génétique de la variante anatolienne de *lybica*. » Le chat a-t-il suivi les populations d'agriculteurs originaires du Croissant fertile, ou est-ce les humains qui l'ont emmené avec eux ? « Difficile à dire, répondent les chercheurs. Les deux, très probablement ! »

La deuxième vague suit à partir de l'Antiquité classique : « On voit naître un formidable engouement pour le chat égyptien, la variante locale de *lybica*, que l'historien grec Hérodote (V<sup>e</sup> siècle avant notre ère) a d'ailleurs mentionné dans ses écrits », soulignent les chercheurs. La



© W. FORMAN ARCHIVE/BRIDGEMAN IMAGES

► L'iconographie égyptienne fait figurer le chat dans des scènes de chasse dès le deuxième millénaire avant notre ère.

mode du chat égyptien gagne rapidement le monde grec et romain, et bien au-delà, puisqu'on le retrouve jusque dans les ports vikings de la Baltique, entre 500 et 800 de notre ère ! Sa diffusion emprunte notamment les voies maritimes, de commerce mais aussi de guerre. « On sait par exemple que les navires de guerre romains embarquaient des chats afin de lutter contre les rongeurs qui détruisaient leurs réserves et leurs équipements. » Mais toutes les modes passent... Après un pic au début de l'Empire ottoman, on voit ensuite régresser la signature génétique du chat égyptien dans la population de chats domestiques, au profit de sa variante anatolienne.

Si les généticiens ont pu écrire le scénario du déplacement du chat, il leur est plus difficile d'affirmer avec certitude le moment où la domestication s'est réellement opérée. « Contrairement à d'autres espèces qui ont été profondément modifiées par les êtres humains – le chien par exemple –, le chat domestique reste génétiquement assez proche du chat sauvage », notent Eva-Maria Geigl et Thierry Grange. C'est que les services qu'il a rendus aux humains – notamment l'éloignement des rongeurs

– ne demandaient pas de pression de sélection particulière...

Les chercheurs se sont néanmoins penchés sur l'un des rares marqueurs génétiques de la domestication chez le chat : la couleur du pelage. « Le gène qui code pour les taches, ou marbrures, n'existe que chez le chat domestique, le pelage du chat sauvage étant, lui, exclusivement tigré. »

Surprise : les taches apparaissent entre 500 et 1 300 de notre ère, et deviennent plus fréquentes après 1 300 aussi bien dans l'Empire ottoman qu'en Europe. « C'est très tardif par rapport à d'autres espèces. Mais si c'est une preuve irréfutable de sélection exercée par l'homme, cela ne marque en rien le début du compagnonnage

du chat et de l'être humain, qui est bien plus ancien. »

Et d'ajouter, dans un sourire : « D'ailleurs, est-ce qu'on peut vraiment parler de domestication du chat, encore aujourd'hui ? » La boutade n'en est pas seulement une : il arrive régulièrement que des chats domestiques redeviennent sauvages... On retrouve ainsi d'infimes traces de *lybica* dans le génome du chat sauvage européen actuel. Sacrés félins. ▮

# Quand les écosystèmes saturent

PAR GRÉGORY FLÉCHET

**Environnement.** La prolifération des algues vertes sur certaines plages bretonnes témoigne d'un phénomène de pollution en pleine recrudescence sur la planète : l'eutrophisation. Une expertise scientifique vient de faire la lumière sur les origines et les conséquences de ce syndrome d'indigestion des milieux naturels.

Le trou dans la couche d'ozone et le dérèglement climatique sont deux illustrations de la capacité de notre espèce à modifier sensiblement le fonctionnement du système Terre. L'eutrophisation des écosystèmes en est une troisième. Encore peu familier du grand public, ce phénomène lié au rejet dans les cours d'eau et nappes phréatiques d'importantes quantités de nitrates et de phosphates, n'en est pas moins redoutable pour l'environnement.

« Ce syndrome peut être assimilé à l'indigestion d'un écosystème ayant emmagasiné tellement de nutriments qu'il n'est plus en mesure de les décomposer par lui-même », résume Gilles Pinay, directeur de l'Observatoire des sciences de l'Univers de Rennes<sup>1</sup> et rapporteur de l'expertise collective Eutrophisation pour le compte du CNRS. Commandée par les ministères de l'Agriculture et de l'Écologie, menée par 45 chercheurs, elle a été rendue publique le 19 septembre 2017 par le CNRS, l'Inra<sup>2</sup>, l'Ifremer<sup>3</sup> et l'Irstea<sup>4</sup>. Ses conclusions s'appuient sur l'analyse de plus de 4 000 publications scientifiques dans des domaines allant de l'écologie à la biogéochimie en passant par l'hydrologie, le droit et l'économie.

## Un phénomène mondial

Décrit depuis l'Antiquité, ce phénomène prend une dimension planétaire à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'essor des grandes agglomérations et des zones industrielles. Directement liée aux rejets des eaux usées dans les

### EUTROPHISATION

Perturbation d'un écosystème aquatique due à un apport excessif de nutriments.

fleuves, cette pollution sera jugulée lorsque les villes s'équiperont de stations d'épuration. « La première crise moderne associée à l'eutrophisation remonte aux années 1970, lorsque des milieux naturels emblématiques tels que les Grands Lacs d'Amérique du Nord ou le lac Léman ont vu leur concentration en oxygène diminuer de manière drastique », complète le biogéochimiste. La réduction puis l'interdiction des phosphates dans les lessives va à son tour permettre d'enrayer cette première alerte.

Le répit sera de courte durée. Depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle se répand une vague d'eutrophisation plus insidieuse : proliférations végétales parfois toxiques, perte de

biodiversité, baisse de la concentration d'oxygène pouvant causer la mort massive d'organismes aquatiques. Le milieu marin semble particulièrement affecté : en quarante ans, le nombre et l'emprise des zones hypoxiques (à faible concentration d'oxygène) et anoxiques (sans oxygène) y ont en effet triplé à l'échelle du globe.

On constate par ailleurs une extension des effets de l'eutrophisation à des zones jusqu'ici épargnées, comme certains grands lacs d'Afrique de l'Est ou les lagunes méditerranéennes. En France, les proliférations d'algues vertes en Bretagne sont un problème récurrent depuis les années 1970. « Bien que des scientifiques spécialistes des milieux côtiers et les



© J. MORGAN/PANOS/REA

1. Unité CNRS/Université de Rennes 1 et 2, associé à l'Inra et Agrocampus Ouest. 2. Institut national de la recherche agronomique. 3. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer. 4. Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. 5. Unité CNRS/Inra/Esiee Paris/Université Paris Est Marne-la-Vallée. 6. M. Sebilo et al., « Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils », *PNAS*, 2013, vol. 110 (45): 18185-18189.



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

associations environnementalistes alertent sur la question (...), il faudra attendre le milieu des années 2000 et le basculement du traitement médiatique vers les dangers sanitaires associés aux marées vertes (les émanations de sulfure d'hydrogène ont provoqué plusieurs décès, NDLR) pour que la sensibilité sociale au problème s'accroisse considérablement », souligne Alix Levain, du Laboratoire interdisciplinaire sciences innovations sociétés<sup>5</sup>.

### L'agriculture intensive visée

En raison des engrais chimiques qu'il utilise en abondance pour fertiliser les cultures et des grands volumes d'effluents issus des élevages industriels, le modèle agricole intensif est régulièrement pointé du doigt. Le problème a toutefois des origines anciennes : « Nous avons un legs de près d'un siècle de relargage d'azote et de phosphore dans l'environnement, que les écosystèmes aquatiques ne sont toujours pas parvenus à épurer », note Gilles Pinay.

Les mesures européennes prises ces dernières années pour réduire l'impact de l'eutrophisation (limitation des épandages de lisier en plein champ, réduction de l'érosion des sols via la plantation de cultures hivernales, promotion de pratiques agricoles moins gourmandes en engrais chimiques), ont eu des bénéfices limités. « En tenant compte de ces différentes mesures, nous avons prédit que les relargages d'azote dans l'environnement diminueraient de manière drastique à partir de 2012, témoigne Gilles Pinay. Or, on sait aujourd'hui que le temps de résidence de cet élément chimique dans certains milieux comme les petits cours d'eau avait été largement sous-estimé par les études scientifiques. » Un travail expérimental au long cours auquel a contribué le biogéochimiste a depuis démontré que les sols mettaient non pas trois ou quatre ans pour digérer l'azote issu des engrais agricoles, comme on le supposait, mais plusieurs décennies<sup>6</sup>.

### Identifier les zones sensibles

La sensibilité à l'eutrophisation varie selon les écosystèmes. Les torrents sont par exemple peu perméables au phénomène, à la différence des lacs situés en aval, où le temps de séjour des eaux est parfois très long. La nature des sols et leurs usages, la structure géographique et géologique d'un bassin-versant qui alimente un fleuve entrent aussi en compte. Et la présence de tourbillons au large de certaines côtes y favorise l'accumulation des nutriments. En Bretagne, cela explique notamment pourquoi les marées vertes se manifestent toujours dans les mêmes baies d'une année sur l'autre.

Une analyse au cas par cas est souvent nécessaire pour définir à partir de quel niveau de concentration un



© P. GLEIZES/REA

Les algues vertes se sont mises à proliférer dans la Loire, bloquant ici l'écluse du port de Roanne.

écosystème a de fortes chances d'être affecté. « La réglementation européenne, qui définit les niveaux maximaux de nitrate et de phosphore autorisés dans l'eau potable, n'est pas pertinente lorsqu'il s'agit de faire face au problème de l'eutrophisation, certains biotopes subissant les effets négatifs du phénomène pour des concentrations qui peuvent être dix fois inférieures à ces seuils réglementaires », précise Gilles Pinay.

Identifier les zones les plus sensibles est primordial dans le contexte du changement climatique. L'élévation progressive des températures, en stimulant la production de biomasse végétale tout en diminuant la concentration d'oxygène dissous dans l'eau, risque d'amplifier les symptômes de l'eutrophisation. En raison d'épisodes pluvieux dont l'intensité devrait aller crescendo, une plus grande prévalence des crues et donc des phénomènes d'érosion risque aussi d'accroître l'exportation de nutriments vers ces mêmes écosystèmes. De récentes modélisations montrent d'ailleurs que les quantités parvenant jusqu'aux océans ont déjà presque doublé au cours du XX<sup>e</sup> siècle, passant de 34 à 64 millions de tonnes par an pour l'azote et de 5 à 9 millions pour le phosphore. Or, l'agriculture contribue désormais à plus de la moitié de ces flux de matières nutritives. « L'enjeu est désormais de quantifier le temps de réponse des écosystèmes aux apports d'azote et de phosphore afin de mieux déterminer des objectifs réalistes de reconquête de la qualité de l'eau, explique Gilles Pinay. Pour cela il va nous falloir intensifier fortement le suivi de la qualité de l'eau pour en décrypter les variations. » ||

Certains grands lacs d'Afrique de l'Est, jusqu'ici épargnés, pâtissent de plus en plus des effets de l'eutrophisation. Le lac Victoria, le plus grand lac d'Afrique, voit son écosystème se dégrader en raison de la pollution aux algues vertes.

# L'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert à portée de clic

PAR LAURE CAILLOCE

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE

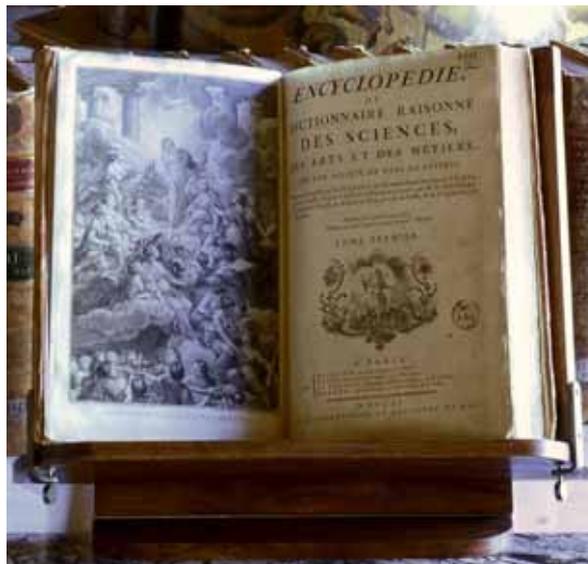


**Patrimoine.** Les 28 volumes du *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* sont désormais en ligne sur le site de l'Académie des sciences. L'occasion de se plonger dans la plus incroyable entreprise éditoriale du XVIII<sup>e</sup> siècle, par deux fois interdite.

À l'occasion du tricentenaire de la naissance de d'Alembert, la célèbre *Encyclopédie* de Diderot, d'Alembert et Jaucourt (le troisième éditeur de l'ouvrage, qu'on oublie toujours de citer !) est désormais accessible en ligne sur le site de l'Académie des sciences dans la première édition critique jamais réalisée. C'est le résultat d'un chantier presque aussi titanesque que celui de la publication, entre 1751 et 1772, des 28 volumes de l'*Encyclopédie* : il aura en effet fallu plus de six ans à l'équipe du projet Enccre (édition numérique, collaborative et critique de l'*Encyclopédie*) pour aboutir à cette édition numérique.

« L'*Encyclopédie* est l'œuvre des plus grands esprits du XVIII<sup>e</sup> siècle. Près de 150 savants y ont contribué, parmi lesquels Voltaire pour la grammaire et la littérature, Rousseau pour la musique, Daubenton pour l'histoire naturelle... », raconte l'historien des sciences Alexandre Guilbaud<sup>1</sup>, qui a piloté le projet Enccre<sup>2</sup>. Elle se distingue par sa farouche volonté critique : critique des savoirs réservés à quelques-uns, critique des autorités politique et religieuse, dénonciation de l'obscurantisme, de l'esclavage, ce qui lui vaut d'être deux fois interdite : en 1752, dès la parution du deuxième volume, puis en 1759 à la fois par le roi Louis XV et par le pape qui en proscriit la lecture sous peine d'excommunication. » Ce qui n'a pas empêché son énorme succès : on estime qu'il s'en est vendu à l'époque 20 000 exemplaires, si l'on compte les rééditions et les copies pirates.

À la différence des versions numérisées actuelles, le projet Enccre n'offre pas une simple « photographie » de l'ouvrage, mais une véritable interface numérique qui permet de naviguer facilement au sein des 28 volumes (17 de texte et 11 de planches illustrées). Le texte original et sa transcription sont juxtaposés



▼ Exemple de la bibliothèque Mazarine sur lequel s'est appuyée l'édition numérique.

et des onglets permettent de faire des recherches par mot, par domaine, ou encore par auteur. « Nous nous sommes appuyés sur un premier tirage de la première édition de l'*Encyclopédie*, dont la bibliothèque Mazarine conserve deux exemplaires, précise Alexandre Guilbaud. Ce n'est pas le cas des autres versions numérisées qui sont souvent incomplètes et mélangent des volumes issus de différentes éditions – plus ou moins amendées. »

Le projet Enccre constitue par ailleurs un vrai travail d'édition critique, avec des notes et commentaires venant remettre dans leur contexte les articles de l'*Encyclopédie*. Une large documentation sur l'ouvrage est déjà en ligne et 300 articles sont commentés, grâce à la collaboration d'une centaine d'historiens spécialistes des domaines abordés. Mais le travail est loin d'être terminé. Car si l'intégralité du *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, avec ses 74 000 articles, est consultable depuis le 18 octobre 2017, l'ajout des notes et commentaires destinés à en éclairer la lecture n'en est qu'à ses débuts.

Pourquoi lire l'*Encyclopédie* aujourd'hui ? « Parce que c'est une œuvre majeure du siècle des Lumières, qui par sa volonté critique a contribué à modifier le cours de l'histoire de notre pays – elle se termine vingt ans à peine avant la Révolution, explique Alexandre Guilbaud. Mais aussi parce qu'elle est d'une troublante actualité et que nombre de ses articles, sur l'intolérance, le fanatisme..., font écho à ce que nous vivons aujourd'hui. »

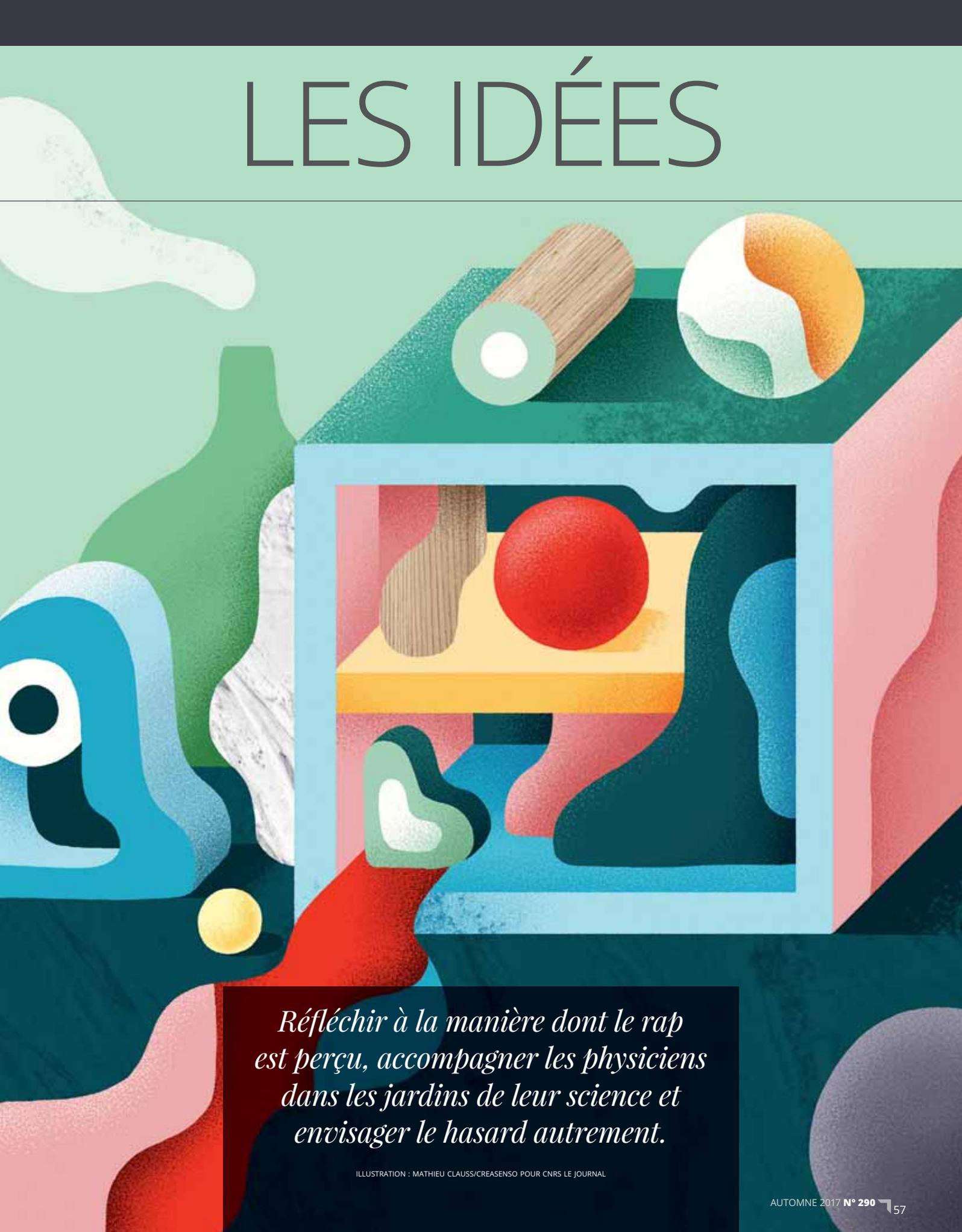


Lire l'entretien avec Alexandre Guilbaud sur [lejournaldes.academie-sciences.fr](http://lejournaldes.academie-sciences.fr)

Le site de l'*Encyclopédie* :  
 >> [enccre.academie-sciences.fr](http://enccre.academie-sciences.fr)

1. Maître de conférences à l'université Pierre-et-Marie-Curie et membre du projet « Histoire des sciences mathématiques » de l'Institut de mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche (CNRS/Université Pierre-et-Marie-Curie/Université Paris-Diderot). 2. Avec la collaboration de Marie Leca-Tsiomis, Irène Passeron et Alain Cernuschi.

# LES IDÉES



*Réfléchir à la manière dont le rap  
est perçu, accompagner les physiciens  
dans les jardins de leur science et  
envisager le hasard autrement.*

ILLUSTRATION : MATHIEU CLAUSS/CREASENSO POUR CNRS LE JOURNAL

# Ce qu'il leur reste à découvrir

Événement. Les 25 et 26 novembre, la Cité internationale universitaire de Paris accueille la cinquième édition du forum du CNRS « Que reste-t-il à découvrir ? ». De la quête de la matière noire aux origines de l'humain, de la conquête de l'espace à nos relations avec les animaux, une centaine de scientifiques partageront avec le grand public leurs découvertes et leurs espoirs. Cinq d'entre eux nous parlent en quelques mots de ce qui les fait avancer.

Entrée libre sur inscription sur [leforum.cnrs.fr](http://leforum.cnrs.fr)

## *Cerner le hasard*

Par Alexia Auffèves, de l'Institut Neel<sup>1</sup>

*Le hasard en physique classique surgit lorsque le résultat d'une expérience ne peut être prédit avec certitude : sur quelle face tombera le dé ? Le hasard rend compte du fait que nous ne disposons pas de toute l'information sur une situation complexe, et nous permet de conserver une capacité prédictive (ce dé a une chance sur six de tomber sur le « 1 »).*

*Le hasard est d'une tout autre nature en mécanique quantique, qui vise à étudier à l'aide d'appareils de mesure macroscopiques des objets invisibles à l'œil nu, comme des photons. Du fait de leur petite taille, ces objets se trouvent dans des états très fragiles, qui sont violemment perturbés par l'appareil de mesure. Le hasard vient donc ici de l'opération de mesure même. Les lois qui régissent ces deux types de hasard sont très différentes.*

*Un photon peut par exemple être simultanément dans deux états A et B, et non être soit dans un état A soit dans un état B. Ce phénomène de « superposition quantique » et d'autres spécificités de la mécanique quantique pourraient révolutionner les technologies de l'information en permettant d'effectuer des calculs plus efficaces, et en rendant plus sûre la communication de données.*

## *Réparer le corps humain*

Par Pascal Sommer, de l'Institut des sciences du mouvement<sup>2</sup>

*Réussirons-nous un jour à pallier le vieillissement et l'altération des fonctions de notre corps ? Si les humains n'ont pas la même aptitude à se régénérer que la salamandre ou les végétaux, un potentiel existe... incarné principalement par les cellules souches. Celles-ci interviennent déjà dans le processus de cicatrisation, mais dans ce dernier, la régénération est partielle et laisse une trace. Il faut donc orienter les cellules souches pour dépasser cette limite. La bio-ingénierie, qui associe des disciplines extrêmement variées, laisse entrevoir de nouveaux espoirs pour régénérer les tissus*

*voire, à terme, les organes. Les scientifiques travaillent par exemple sur des prothèses de nouvelle génération, dites en « impression 4D » (le paramètre « temps » est prépondérant), qui remplacent l'organe lésé en le reproduisant de façon personnalisée. Cette prothèse, évidemment biocompatible, doit orienter la propre machinerie du corps pour générer une dynamique tissulaire complète de reconstitution. Il reste beaucoup à faire dans cet objectif de réparer le corps humain, mais ce qui était inenvisageable il y a quelques décennies est désormais une ambition réaliste.*

1. Unité CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble-Alpes. 2. Unité CNRS/Université Aix-Marseille. 3. Unité CNRS/Université de Lille 1. 4. Unité CNRS/Université de Montpellier/ENSC Montpellier. 5. Unité CNRS/Univ. Claude-Bernard/Univ. Jean-Monnet/Inserm.

## Retracer la vie des œuvres d'art

Caroline Tokarski, du laboratoire Miniaturisation pour la synthèse, l'analyse et la protéomique<sup>3</sup>

Au début des années 2000, grâce aux progrès de l'instrumentation en spectrométrie de masse et des données issues du séquençage génomique, nous avons pu développer des techniques d'analyse des protéines et des lipides pour l'étude des peintures historiques et des échantillons archéologiques. Elles donnent maintenant accès aux matières premières utilisées par l'artiste, ses recettes et techniques... Il est aussi possible d'étudier ces molécules dans

leurs transformations avec le temps et comment elles participent au vieillissement de l'œuvre. Élargies récemment aux sucres naturels présents dans les échantillons anciens, ces techniques sont utilisées par des musées tels que le Metropolitan Museum of Art de New York. Nous continuons à les affiner pour permettre aux musées de proposer des solutions de restauration et de conservation toujours plus adaptées.

## Sculpter l'or nanométrique

Par Hazar Guesmi, de l'Institut Charles-Gerhardt Montpellier<sup>4</sup>

Depuis des millénaires, l'or n'a cessé de fasciner l'homme. Mais depuis peu, il démontre aussi sa valeur... à l'échelle du nanomètre. Par exemple, l'interaction très particulière des nanograins d'or avec la lumière leur confère des couleurs variées : des sphères d'or de 20 nanomètres de diamètre sont rouge rubis tandis que des nano-bâtonnets prennent une teinte bleutée ou violette. C'est passionnant car cela permet de « sculpter » des ondes lumineuses sur des distances bien plus

petites que la longueur d'onde de la lumière, ce qui semblait une gageure il y a peu. Nous apprenons à jouer avec les formes (sphères, triangles, nano-étoiles, nano-oursins...), chacune ayant une couleur différente. Ce domaine, la plasmonique, trouve des ramifications en optique et dans le domaine médical. Mais les nanoparticules sont aussi porteuses de promesses pour l'électronique et la chimie. Bref, la ruée vers l'or est loin d'être achevée dans les laboratoires.

## Percer les mystères de l'odorat

Par Jean-Pierre Royet, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon<sup>5</sup>

Tout le monde peut voir en pensée sa voiture ou chanter un air connu dans sa tête. Mais peut-on imaginer l'odeur du café au point de la sentir ? L'imagerie mentale olfactive est un exercice bien plus difficile que celle de la vue ou de l'audition. D'ailleurs, la plupart d'entre nous disent ne pas posséder cette capacité... à l'exception des parfumeurs. Des expériences révèlent que chez ces experts, les mêmes aires cérébrales sont activées que les odeurs soient imaginées ou réellement présentes. De plus, le volume de matière grise de ces aires est plus grand chez eux que chez les sujets dits « naïfs ». Bref, les parfumeurs réorganisent et surdéveloppent les aires cérébrales spécifiques à leur expertise. Une faculté que l'on observe aussi chez les musiciens et les sportifs. Si l'organisation neuronale des processus olfactifs est loin d'avoir livré tous ses secrets, l'imagerie cérébrale nous aide, pas après pas, à la comprendre un peu mieux.



Retrouvez les billets des chercheurs sur [cnrslejournal.fr](http://cnrslejournal.fr) et [theconversation.com](http://theconversation.com)

Entrée libre  
sur inscription  
[leforum.cnrs.fr](http://leforum.cnrs.fr)

[f](#) [t](#) [i](#) [y](#) [p](#)

#ForumCNRS

CITÉ INTERNATIONALE  
UNIVERSITAIRE  
**PARIS**

Que  
reste-t-il à  
découvrir ?

**25-26  
NOV. 2017**  
10H / 18H













# Le rap, un art à part ?

**Karim Hammou**  
sociologue au Cresppa<sup>1</sup>

**On tient généralement pour évident ce qui relève de l'art ou ce qui n'en relève pas.** Contre ce présupposé, la sociologie de la culture a démontré que la distinction sociale attachée à la singularité artistique n'est pas intrinsèque à certaines œuvres et certaines pratiques plutôt que d'autres, mais le fruit d'efforts pour transformer les façons de faire et de percevoir certaines œuvres, certaines pratiques. Le caractère esthétique d'une chose dépend d'activités collectives qui font qu'on la reconnaît comme telle. Mais on peut en dire autant de la situation inverse : le fait que certaines pratiques et certaines œuvres soient traitées comme ne relevant pas de l'esthétique, autrement dit qu'elles soient « vulgaires » ou « prosaïques », est tout autant le fruit d'activités collectives.

L'histoire du rap en France illustre ces remarques. La réception académique du rap dans les années 1990, similaire à un mouvement plus vaste de définition publique et médiatique du rap comme expression des banlieues, a longtemps freiné toute prise au sérieux du rap comme pratique artistique et donc, a fortiori, toute analyse poétique ou musicologique sérieuse des œuvres du genre. Je reviens sur cette question dans un article écrit avec Emmanuelle Carinos, dont la suite de ce texte est extrait<sup>2</sup>.

## Une médiatisation du genre

Dans les années 1980, en France, le rap est une pratique artistique confidentielle, à l'exception de quelques tubes éphémères. Principalement popularisé par les industries du divertissement (radio, télévision, discothèques...) ou par des réseaux d'amateurs aux goûts francs-tireurs notamment liés à la diaspora afro-antillaise, le rap reste hors des radars des sciences sociales.



▼ **Calbo et Lino, du groupe Arsenik, en concert pendant la tournée «L'âge d'or du rap français», à Lyon, le 14 mars 2017.**

Avec l'année 1990, le rap connaît une médiatisation sans précédent. Ses acteurs tentent alors d'imposer une conception de leur pratique comme musique, art, culture. Aux prises avec des définitions exotisantes du rap, ils obtiennent au mieux, dans les espaces publics médiatiques dominants, une concession consistant à traiter leur musique comme *une* culture.

Mobilisant la polysémie du terme « culture », la définition publique majoritaire du rap en France privilégie implicitement une conception du rap comme « *style de vie fonctionnel* » plutôt que comme un « *corpus d'œuvres valorisées* »<sup>3</sup>, dans un double mouvement de particularisation (non pas de la culture, mais une culture), et d'altérisation (non pas notre culture, mais leur culture). Ce double mouvement justifiait de ne pas traiter le rap comme forme esthétique, ou de ne l'examiner ainsi qu'avec suspicion.

Parallèlement, des universitaires se penchent sur ce qu'ils saisissent, à la suite de la presse et des télévisions généralistes, comme un mouvement social et/ou une expression de banlieues désormais réifiées. Pendant la majeure partie des années 1990, dans les espaces médiatiques comme dans les mondes académiques, l'intérêt esthétique pour le rap est quasi absent. Les propos d'un polémiste médiatique et les écrits d'un sociolinguiste de renom l'illustrent de façon assez similaire : « *Si vous dites de l'art, c'est tout à fait élémentaire. On voit des gens qui n'ont pas tellement appris la musique et font des choses très simples pour dire des choses simples.* »<sup>4</sup>

« *Le rap, du point de vue musical, est assez limité : une base rythmique, un texte psalmodié, un phrasé imité des Noirs américains – il n'y a pas là de quoi bouleverser le monde de la musique. C'est pourquoi les braves un peu démagogiques d'une partie de la classe politique*

1. Centre de recherches sociologiques et politiques de Paris (CNRS/Univ. Vincennes-Saint-Denis/Univ. Paris-Nanterre). 2. L'intégralité de cette réflexion est publiée dans l'article d'E. Carinos et K. Hammou, « Approches du rap en français comme forme poétique », in S. Hirschi et al. (dir.), *La poésie délivrée*, Presses universitaires de Paris Nanterre, octobre 2017. 3. Jean-Claude Passeron, *Le Raisonnement sociologique*, Albin Michel, 2006, p.493. 4. Gérard Zwang, sur le plateau de « Ciel, mon mardi ! », TF1, 5 février 1991. 5. Louis-Jean Calvet, *Les voix de la ville. Introduction à la sociolinguistique urbaine*, Payot et Rivages, 1994. 6. Louis Pinto, « R. Shusterman, L'art à l'état vif. La pensée pragmatiste et l'esthétique populaire », *Politix*, 1992, vol. 5 (20) : 171. 7. Richard Shusterman, « Légitimer la légitimation de l'art populaire », *Politix*, 1993, vol. 6 (24).

et des intellectuels devant ces productions approximatives font penser à l'émoi des grands-parents devant le dernier-né de leurs petits-enfants : "Qu'il est beau, qu'il est mignon, fais areu areu..." »<sup>5</sup>

La formule polémique des « bravos démagogiques » renvoie en premier lieu au philosophe états-unien Richard Shusterman, dont Louis-Jean Calvet se garde de discuter précisément les thèses. Une telle discussion a néanmoins lieu, en France, et nous intéresse d'autant plus qu'elle engage les relations entre esthétique et sociologie.

### Grand art et art populaire

En 1992, les Éditions de Minuit publient une traduction du livre *Pragmatist Aesthetics : Living beauty, Rethinking Art* de Shusterman, sous le titre *L'Art à l'état vivant*. Louis Pinto en offre un compte rendu bienveillant mais sceptique : « Ce qui est dit du rap pourrait bien refléter moins la pratique indigène des producteurs (disc-jockeys, etc.) que le rapport à cette pratique d'un professeur d'esthétique bien disposé envers celle-ci. »<sup>6</sup>

Détailler les implications épistémologiques et méthodologiques de ce débat nous conduirait trop loin. Nous nous bornerons donc à souligner quelques arguments clefs, formulés par Shusterman en réponse à la réception française de son livre, et qui posent des jalons pour toute approche esthétique du rap. Le premier a trait à cette essentialisation de la différence culturelle au sein des sociétés (post) industrielles et médiatiques : « Il faut remettre en question la dichotomie présumée entre l'intellectuel et le populaire, dichotomie qui exclut l'authenticité de toute appréciation intellectuelle de l'art populaire et refuse le fait évident que de nombreux intellectuels professionnels sont des consommateurs enthousiastes d'art populaire. »<sup>7</sup> En France, cette dichotomie a pu conduire à insulariser le rap, et à en faire une parole des marges destinée aux marges, jusqu'à parfois produire d'absurdes tautologies.

Reste la tentation de la hiérarchie entre les modalités de consommation des intellectuels et celles d'autres

## 2500 blogs sur Hypothèses

Ce billet a été publié sur le blog de Karim Hammou, « Sur un son rap », de la plateforme [Hypotheses.org](http://Hypotheses.org), la plus grande plateforme de blogging scientifique du monde. Celle-ci est d'ailleurs sur le point de passer le cap des 2500 carnets de recherche en sciences humaines et sociales. Les textes publiés sur Hypothèses sont librement accessibles et s'adressent aux spécialistes comme au grand public. Hypothèses fait partie du portail OpenEdition, infrastructure complète d'édition électronique au service de la diffusion des publications en SHS, avec notamment une plateforme de revues ([Revue.org](http://Revue.org)), une plateforme de livres ([OpenEdition Books](http://OpenEdition Books)) et un calendrier en ligne sur des milliers d'événements académiques ([Calenda](http://Calenda)). OpenEdition est proposé par le Centre pour l'édition électronique ouverte (Cléo), une infrastructure nationale de recherche soutenue par de grandes institutions, parmi lesquelles le CNRS, et dont la principale mission est la promotion de l'édition électronique en libre accès.



» [www.hypotheses.org](http://www.hypotheses.org)

consommateurs. Shusterman engage à s'en méfier, et reconnaît « les réels dangers de l'impérialisme intellectualiste ». Cette objection conduit à un second argument clef : « La compréhension intellectuelle de l'art populaire ne signifie pas que des expériences moins cérébrales soient illégitimes. » Non sans ironie, c'est le philosophe qui rappelle ici le sociologue à l'histoire, « la ligne qui sépare [grand art et art populaire] n'étant pas intrinsèque, mais flexible et historique ». II

### À lire

#### MARIE CURIE

Il y a 150 ans, le 7 novembre 1867, naissait Marie Curie, scientifique de génie qui obtiendra deux prix Nobel, en physique et en chimie. L'exposition « Marie Curie, une femme au Panthéon » lui rend hommage en permettant de découvrir sa vie et les coulisses de ses travaux. Carnets de laboratoire, photographies, lettres, objets personnels, instruments scientifiques, films de famille sont à découvrir dans cette exposition inédite, produite par le Centre des monuments nationaux et dont le musée Curie (unité mixte de service CNRS/Institut Curie) est commissaire.

« Marie Curie, une femme au Panthéon », exposition au Panthéon, à Paris, jusqu'au 4 mars 2018.



#### ÉCOLE NUMÉRIQUE

Depuis les années 1980, l'école s'est engouffrée dans l'informatique pour tous, devenant dans le même temps un immense marché de consommation des équipements informatiques. Quelles conséquences cela a-t-il sur l'apprentissage, sur la relation enseignant-élève ? Comment l'école s'est-elle organisée face aux géants de l'Internet ? La question de savoir si le numérique est facteur d'émancipation ou d'inégalité, de modernité ou de dépendance aux industries du numérique, fait controverse.

*Les élèves, entre cahiers et claviers*, Vincent Liquète et Benoît Le Blanc (coord.), *Hermès n° 78*, CNRS Éditions, septembre 2017, 275 p., 25 €

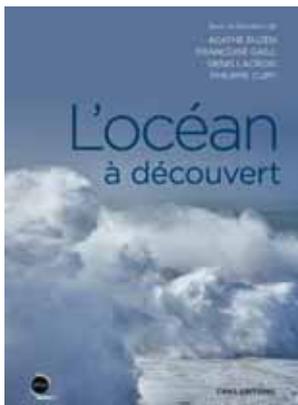
#### PORTRAITS

Dans ce dictionnaire biographique, deux universitaires, Christian Labrousse et Jean-Pierre Poirier, retracent près de mille ans d'histoire des sciences à travers des portraits, parfois surprenants, de 3 000 femmes et hommes, connus ou oubliés, qui ont contribué au progrès de la connaissance en France. On y trouve des chercheurs contemporains comme Serge Haroche ou Sylviane Muller, d'autres plus inattendus comme Rabelais, ou méconnus comme Anne-Marie Pierrette Paulze, collaboratrice de Lavoisier.

*La Science en France*, Christian Labrousse et Jean-Pierre Poirier, Éditions Jean-Cyrille Godefroy, octobre 2017, 1504 p., 55 €



## À lire



## ESPACES MARITIMES

Pourquoi connaissons-nous si mal les fonds marins ? Comment mieux préserver la biodiversité ? Mais surtout, qui gouverne les océans ? Élément essentiel du fonctionnement de la vie sur terre – il couvre 70 % de la surface du globe –, l'océan n'a pourtant jamais été autant sous pression : il subit de nombreuses illustrations en couleur, il dévoile les enjeux actuels liés à l'océan et propose des pistes en vue de sa préservation.

L'ouvrage *L'Océan à découvrir*, auquel ont

contribué pas moins de 160 chercheurs issus d'un large spectre de disciplines, explore au travers d'articles thématiques les espaces maritimes d'hier à aujourd'hui. Émaillé de nombreuses illustrations en couleur, il dévoile les enjeux actuels liés à l'océan et propose des pistes en vue de sa préservation.

*L'Océan à découvrir*, Agathe Euzen, Françoise Gaill, Denis Lacroix et Philippe Cury (dir.), CNRS Éditions, octobre 2017, 350 p., 39 €

## HISTOIRE DES FEMMES

De la révolutionnaire Olympe de Gouges à l'infirmière anglaise Florence Nightingale, de Coco Chanel à Simone de Beauvoir, sans oublier les figures féminines moins connues, cet ouvrage retrace à travers des extraits de textes (en version originale et dans leur traduction française) l'histoire des femmes en Europe du XVIII<sup>e</sup> siècle à nos jours. Et ce, dans tous les domaines : la politique, la guerre, la science, la

sexualité, l'éducation, l'art...

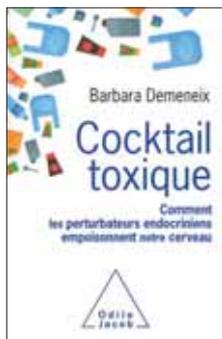
Chaque texte (fictions, chansons, essais, correspondances, etc.) est commenté par un chercheur qui en montre toute la portée.

*L'Europe des femmes. XVIII<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècle*, Julie Le Gac et Fabrice Virgili (coord.), Perrin, septembre 2017, 352 p., 23,50 €

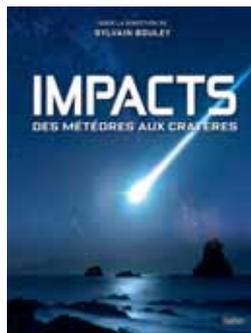


## PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Barbara Demeneix, spécialiste mondiale des perturbateurs endocriniens, tire à nouveau la sonnette d'alarme sur ces poisons présents partout dans notre environnement, des pesticides jusqu'aux retardateurs de flamme cachés dans notre mobilier. De l'inquiétante augmentation de l'autisme à la baisse du QI qui plane sur les générations futures, la chercheuse égrène résultats scientifiques accablants et interventions périlleuses aux réunions de l'OCDE et de l'OMS. Bilan riche et précis, *Cocktail toxique* propose dans son dernier chapitre des solutions simples pour agir au quotidien (choisir un matelas pure laine, éviter les écrans dans la chambre à coucher, etc.), voire s'engager au sein d'actions collectives et faire interdire certains produits chimiques d'une efficacité relative mais à la toxicité avérée.



*Cocktail toxique. Comment les perturbateurs endocriniens empoisonnent notre cerveau*, Barbara Demeneix, Odile Jacob, octobre 2017, 320 p., 24 €



## MÉTÉORES

Parmi les dizaines de milliers de tonnes de roches venues de l'espace qui pénètrent chaque année l'atmosphère de notre planète, seule une infime fraction d'entre elles ne se consomment pas complètement et percutent le sol sous forme de météorites. Ces étoiles filantes sont rarement aussi destructrices que celle soupçonnée d'avoir causé l'extinction des dinosaures il y a 66 millions d'années ; en revanche, elles sont toujours riches d'enseignement : elles apportent des échantillons du système solaire que les chercheurs peuvent analyser sans avoir à aller les chercher dans l'espace. Dans cet ouvrage, astronomes, géologues et planétologues proposent une synthèse inédite sur les météores – leur composition, leur histoire, leurs origines... – et les impacts qu'ils engendrent.

*Impacts. Des météores aux cratères*, Sylvain Bouley (dir.), Belin, octobre 2017, 192 p., 23 €

## MÉMOIRE

Bien plus que rire, parler ou utiliser des outils, savoir délocaliser sa mémoire et la pérenniser sur des supports indépendants de son cerveau est l'apanage de notre espèce. Des peintures rupestres au « cloud », en passant par les tablettes d'argile, le papier, les bandes magnétiques ou les mémoires flash, cet ouvrage propose une histoire des procédés d'enregistrements qui ont permis à *Homo sapiens* de stocker et d'accumuler ses connaissances, et qui permettent aujourd'hui à n'importe quel être humain d'avoir le savoir de l'Humanité dans la paume de sa main.

*L'invention de la mémoire. Écrire, enregistrer, numériser*, Michel Laguès, Denis Beaudouin et Georges Chapouthier, CNRS Éditions, septembre 2017, 384 p., 29 €





# Les «jardins suspendus» de la physique

**Bart van Tiggelen**

physicien théoricien, directeur de recherche au LPMMC<sup>1</sup>

En octobre 2010, un jeune physicien russo-britannique de haut vol, en tenue estivale, expose sa découverte d'un matériau exotique et révolutionnaire, le graphène, face à une foule de curieux rassemblés dans un pittoresque village corse. Si Konstantin Novoselov se trouve si loin de son laboratoire, une semaine après avoir reçu le prix Nobel de physique, c'est qu'il est venu travailler à l'Institut d'études scientifiques de Cargèse<sup>2</sup>. Il y a rejoint les plus grands spécialistes mondiaux de son domaine, venus s'isoler avec lui sur l'île de Beauté. Dans cette retraite volontaire au milieu d'un écrin naturel propice à la réflexion, ils construisent ensemble la physique de demain. Le village situé en contrebas bénéficie pleinement de la présence de ces chercheurs, prompts à partager leurs dernières avancées scientifiques. Le paradoxe d'un isolement, finalement bien plus ouvert qu'on ne le pense.

Ceux qui estiment que les grandes découvertes naissent forcément dans les laboratoires, au milieu d'instruments de pointe, ont peut-être tort. Nous autres, physiciens, sommes les premiers à l'admettre : ces découvertes tombent rarement du ciel. Elles sont le fruit d'une réflexion profonde, nourrie de multiples échanges et de durs labeurs. Or, celle-ci n'est pas toujours réalisable dans le rythme de la vie quotidienne, entre coups de téléphone et mails de collègues.

## Bouillonnement créatif

Il existe en France deux hauts lieux de la recherche scientifique, véritables « jardins suspendus », un peu hors du temps, où germe et pousse la physique du futur : l'Institut d'études scientifiques de Cargèse, sur la côte ouest de la Corse, et l'École de physique des Houches<sup>3</sup>, face au

massif du Mont-Blanc. Créés au début des années 1950, ces jardins de la connaissance répondaient à une grande ambition : porter au plus haut niveau la physique française et combler le retard accumulé à l'époque vis-à-vis de pays comme l'Allemagne ou les États-Unis, en matière de physique quantique et de théorie relativiste des champs. Il fallait pour cela rassembler largement, proposer aux jeunes générations de chercheurs des cours dispensés par les plus grands spécialistes du monde, sur des sujets émergents, afin de partager et de faire progresser les savoirs. Le succès de ces écoles a servi d'exemple ailleurs dans le monde et dans d'autres disciplines. Les fondateurs ont gagné leur pari, car les sujets abordés dans ce cadre, novateurs, ont plus que souvent été couronnés par la suite de découvertes importantes ou de prix prestigieux. Outre le graphène, c'est le cas du boson de Higgs, de la matière molle ou encore des atomes froids.



Une fois par mois, retrouvez sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr) les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

Certains célèbres physiciens français vont jusqu'à acquérir une petite maison à proximité de ces écoles, afin de profiter pleinement de leur bouillonnement créatif. Claude Cohen-Tannoudji, prix Nobel de physique en 1997, nous le dit lui-même : lorsqu'il était élève normalien, il a assisté à un cours de mécanique quantique dispensé par le père même de la discipline, Wolfgang Pauli, sur un tableau noir installé au milieu du jardin de l'École des Houches. Il y a aussi partagé le quotidien de Julian Schwinger, fondateur de



*Les Jardins de la physique*, Luc Allemand et Vincent Moncorgé, CNRS Éditions, juillet 2017, 160 p., 20 €.

l'électrodynamique quantique, venu passer un été entier avec son épouse pour enseigner... Trente ans plus tard, Claude Cohen-Tannoudji figure parmi les meilleurs physiciens du monde.

## Une condition de l'excellence

Le principe de ces écoles nous ramène à l'essence même de la recherche scientifique, appliquée ici à la physique : chercher à comprendre et à appliquer les lois de la nature, partager et transmettre les connaissances acquises à la jeune génération. Et l'arrivée du wi-fi à haut débit, la construction d'un amphithéâtre climatisé à Cargèse et d'une route d'accès goudronnée aux Houches, n'ont en rien altéré la bonne formule d'autrefois. Elle est fondée sur l'échange direct et les discussions continues dans une ambiance studieuse mais conviviale, où grands savants et jeunes physiciens partagent leur quotidien. Aux premiers, on demande d'être pédagogues et, malgré le caractère avant-gardiste et pointu de leurs cours, de demeurer accessibles aux jeunes participants en toutes circonstances, jusqu'aux repas communs ou aux promenades. On leur demande de rédiger les cours, compulsés en actes, afin de les rendre disponibles pour tous... et pour toujours. Les jeunes scientifiques, de leur côté, profitent pleinement de ces écoles. Ils y renforcent leurs connaissances, ouvrent leurs perspectives, confrontent leurs points de vue, développent leur réseau professionnel... et, souvent, y amorcent une carrière fulgurante à l'international.

Passer du temps à réfléchir et à discuter librement autour d'une question scientifique est favorable au croisement des idées et contribue à l'avancée de la recherche. Cela n'est en rien contradictoire avec la quête de l'excellence, bien au contraire, c'en est même l'une des conditions indispensables ! À l'heure où l'on presse les chercheurs de produire, il est toujours utile de le rappeler. II



Lire l'intégralité du billet sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

1. Laboratoire de physique et modélisation des milieux condensés (CNRS/Université Grenoble-Alpes). Il est aussi directeur adjoint scientifique à l'Institut de physique du CNRS. 2. Unité CNRS/Université de Corse Pasquale-Paoli/Université Nice Sophia-Antipolis. 3. Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes/ENS Lyon/CÉA/Grenoble INP.

*Joël Savarino*, directeur de recherche à l'Institut des géosciences de l'environnement<sup>1</sup>

# “Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

*... de ma mission, en 2015, à la station Concordia, base de recherche franco-italienne située en Antarctique. Loin du monde et pourtant relié à tout, l'Antarctique est un univers à part, entre isolement et conditions extrêmes. Brut, vierge, sauvage, hostile, ce continent glacé concentre les turpitudes du climat de la Terre. C'est aussi une terre de paix, de coopération internationale et de protection de l'environnement à nulle autre pareille. Ce ne sont pas plus de 5 000 techniciens, scientifiques ou aventuriers au pic de l'été austral qui résident sur une superficie équivalente à 28 fois la France. Et c'est là, au centre du plateau est de l'Antarctique, dans un tunnel sous la glace, qu'est entreposée une partie de la carotte de glace Epica<sup>2</sup>. Dans cette cave, 800 000 ans d'histoire du climat, en partie déjà déchiffrés par les scientifiques, sont stockés à -55 °C dans le congélateur le plus sûr du monde. Je tiens là, entre mes mains, dans cette glace extrêmement pure et aussi transparente qu'un cristal de verre, une partie de cette mémoire. L'Antarctique reste notre dernier laboratoire naturel, encore à l'abri des principales contaminations industrielles, où les mystères des climats passés sont précieusement archivés.”*

PHOTO : THIBAUT VERGOZ/IPEV/LGGE/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. CNRS/IRD/Univ/ Grenoble-Alpes/Grenoble INP.
2. European Project for Ice Coring in Antarctica.





de Denis Guthleben,  
historien au CNRS

# Cinquante (et quelques) années de valorisation...

Dans le merveilleux pays – si si ! – qui est le nôtre, s'il y a bien une idée reçue, c'est l'incapacité des travailleurs de la recherche publique à valoriser le fruit de leurs études. Malgré leurs qualités scientifiques indéniables, rien n'y ferait : non seulement ils ne sauraient pas s'y prendre, mais, pire, ils n'y songeraient même pas ! Une évidence, une certitude, une vérité historique, ressassée depuis une kyrielle de tribunes, avec un petit sourire en coin : en France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées... que d'autres appliquent. Ben voyons !

## Art, beauté et valorisation

Prenons un exemple : la valorisation de la recherche dans l'histoire du CNRS. Pour Jean Perrin, la fondation de l'organisme devait concourir à « *élargir l'esprit humain en créant une forme nouvelle d'Art et de Beauté* ». Et la « valo » dans tout ça, me direz-vous ? Il suffit d'y regarder de plus près. Un service de brevets est institué dès 1939. Et, dans son portefeuille vite garni, il y a du lourd, à l'image des « brevets Joliot », décrivant un « *dispositif de production d'énergie* » élaboré par Frédéric Joliot-Curie et ses collaborateurs. Protégés sous l'Occupation, ces documents, détaillant le principe de la réaction en chaîne, seront gracieusement offerts au CEA en 1945 – merci qui ?

Du côté des laboratoires, même constat : avant la guerre, en pleine mobilisation, pendant le conflit, face à l'obligation de trouver des « ersatz », ou après la Libération, devant la nécessité de reconstruire le pays, la préoccupation est bien là, et les liens avec les acteurs de l'économie ont été intenses. Certaines unités ont même vu naître des entreprises innovantes : à Grenoble, par exemple, dans le laboratoire du physicien – et futur prix Nobel – Louis Néel, une Société anonyme de machines électrostatiques, la Sames, est créée en 1946. Elle demeure toujours active de nos jours ! Bref, à l'époque, on ne parlait pas encore de valorisation, mais on savait bel et bien en faire...

## Un institut national pour la « valo »...

Et puis il y a cinquante ans, en 1967, le mot lui-même a fait son entrée au CNRS. Connaissez-vous notre premier institut national ? L'INSU ? L'IN2P3 ? Perdu : c'est l'Invar, dédié à « *la valorisation de la recherche* » en améliorant, selon son texte fondateur, « *le rendement économique des fonds publics qui y sont investis* ». L'appellation « Invar » – qui désigne aussi un alliage de fer et de nickel – a subi une petite retouche : plutôt qu'un institut, le ministre de l'Éducation nationale, Christian Fouchet, préférait inaugurer une « agence », un terme à ses yeux plus dynamique, plus... anglo-saxon. Même les gaullistes s'y laissent parfois prendre ! Mais c'est ainsi que l'Anvar a vu le jour au CNRS.

L'idée était bonne, comme le montre son succès auprès des laboratoires et des partenaires de l'établissement. Elle était même visionnaire : aux États-Unis, que l'on cite si volontiers en exemple, les questions relatives à la valorisation de la recherche publique n'ont été abordées que treize ans plus tard, à la faveur du Bayh-Dole Act, ou « University and Small Business Patent Procedures Act », en décembre 1980. Si bonne, si visionnaire que le ministère de l'Industrie l'a faite sienne après quelques années, en s'appropriant l'Anvar qui a poursuivi son chemin. Mais rares sont celles et ceux qui se souviennent aujourd'hui qu'elle a fait ses premiers pas au CNRS...

Création de « clubs de relations industrielles » et reconnaissance des « sciences de transfert » – les « sciences de l'ingénieur » –, comme un champ à part entière dans les années 1970, inauguration d'une direction de la valorisation pour « *contribuer à la compétitivité de l'industrie française* » après la loi d'orientation et de programmation de 1982... Il y aurait encore beaucoup à dire sur l'histoire de la valorisation au CNRS, jusqu'à la désignation récente d'un délégué général *ad hoc*. Près de quatre-vingt-dix ans après la naissance de l'organisme, et cinquante ans après celle de l'Anvar, cessons donc de dire que les scientifiques négligent la valorisation. Et faisons-leur confiance, car c'est bien connu : la « valo », une fois qu'on a appris à en faire, ça ne s'oublie plus... II

Cessons donc de dire que les scientifiques négligent la valorisation.

# Retrouvez l'exposition **Étonnant vivant**

Dès janvier dans le couloir de la **station Montparnasse** à Paris



www.cnrs.fr



## EN 2018, 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](http://carrieres.cnrs.fr)  
du 4 décembre 2017 au 8 janvier 2018

# CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #3

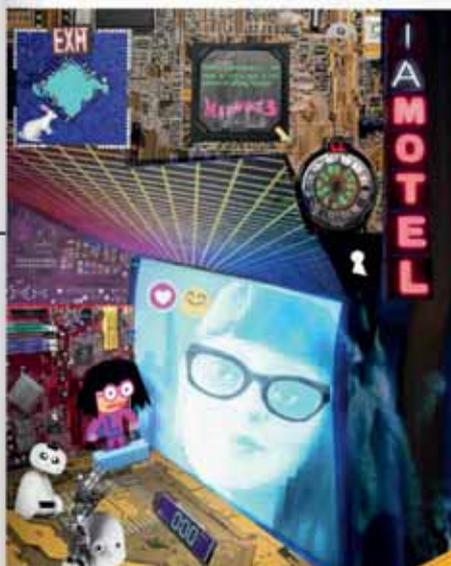


Entrez dans les coulisses  
de la recherche



200 pages / 12,50 €

CARNETS  
DE SCIENCE  
La revue du CNRS #3



Carnet de mission  
**La forteresse sans porte**  
Reportage  
**Dans les coulisses du Cern avec Fabiola Gianotti**  
Dossier  
**Comment l'intelligence artificielle va changer nos vies**

Entretien  
**Jean Jouzel, le justicier climatique**  
Biologie  
**Quoi de neuf sur les origines de la vie ?**  
Astronomie  
**Un ballon pour la Voie lactée**  
...



**#3**  
En vente  
en librairie  
et Relay



[www.carnetsdescience-larevue.fr](http://www.carnetsdescience-larevue.fr)



CNRS EDITIONS