



L'imaginaire
et la société,
par **Maurice
Godelier**

**SYSTÈME
SOLAIRE :**
l'exploration
continue

Les plasmas
froids
réchauffent
l'innovation

**La médiation
scientifique**
se réinvente
sur le Web

★ MUSÉE DU QUAI BRANLY
là où dialoguent les cultures

10
ans
2006-2016



PERSONA

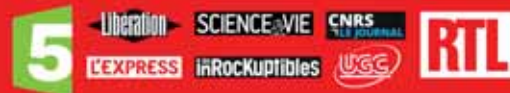
étrangement humain

#ExpoPersona

www.quaibrantly.fr



Exposition
jusqu'au 13/11/16



CNRS LE JOURNAL

Rédaction :

3, rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 53 88

E-mail : lejournal@cnrs.fr

Le site Internet : <https://lejournal.cnrs.fr>

Anciens numéros :

<https://lejournal.cnrs.fr/numeros-papiers>

Gérer son abonnement au journal (pour les agents du CNRS) :

<https://lejournal.cnrs.fr/abojournal>

Directeur de la publication :

Alain Fuchs

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,

Claire Debôves, Yaroslav Pigenet

Assistante de la rédaction et fabrication :

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :

Stéphanie Arc, Nicolas Baker,

Lydia Ben Ytzhak, Marie Chadefaux, Cyril

Frésillon, Léa Galanopoulo, Arby Gharibian,

Denis Guthleben, Martin Koppe, Louise Lis,

Véronique Meder, Saman Musacchio,

Vahé Ter Minassian

Secrétaire de rédaction :

Isabelle Grandrieux

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 0994-7647 AIP 0001583

Dépôt légal : à parution



Photos CNRS disponibles à :

phototheque@cnrs.fr ;

<http://phototheque.cnrs.fr>

La reproduction intégrale ou partielle

des textes et des illustrations

doit faire obligatoirement l'objet d'une

demande auprès de la rédaction.



En couverture : vue d'artiste
de la 9^e planète.

PHOTO : R. HURT (IPAC)/CALTECH

Après le succès retentissant de la mission Rosetta, on aurait pu s'attendre à ce qu'en 2016 l'exploration du système solaire marque le pas. Au contraire, elle va continuer à être riche en événements ! Cela a commencé dès décembre dernier avec la mise en orbite autour de Vénus de la mission japonaise Akatsuki, qui remplace la mission Venus Express de l'Agence spatiale européenne (ESA), perdue faute de carburant en 2014. On a enchaîné en mars avec le lancement réussi de la mission ExoMars 2016 et l'atterrissage prévu de son module Schiaparelli le 19 octobre prochain. Le robot Curiosity continuera sa progression vers le mont Sharp à la surface de Mars, tandis que l'orbiteur Maven observera l'érosion continue de l'atmosphère martienne vers le milieu interplanétaire.

Du côté des petits corps du système solaire, alors que la sonde Dawn de la Nasa observe actuellement la planète naine Cérès dans la ceinture principale d'astéroïdes, la sonde Hayabusa 2 de la Jaxa, l'Agence spatiale japonaise, atteindra en 2018 l'astéroïde Ryugu pour en ramener un échantillon sur Terre. Sans oublier le lancement, en septembre 2016, de la mission Osiris-Rex de la Nasa vers l'astéroïde Bennu.

Les géantes gazeuses ne seront pas en reste, avec la mise en orbite le 4 juillet prochain de la sonde Juno, dont le principal objectif est de caractériser la structure interne de Jupiter, en attendant la future mission Juice de l'ESA. Cassini entamera son dernier tour autour de Saturne avant de plonger dans l'atmosphère de la planète en 2017.

Plus loin, c'est la mission New Horizons qui continue sa trajectoire vers la ceinture de Kuiper. Enfin, la 9^e planète, dont l'existence a été suggérée récemment, sera l'objet de beaucoup d'attentions en 2016.

Au-delà de notre système solaire, en attendant le nouveau télescope spatial JWST, les missions comme Cheops ou Kepler, en synergie avec les instruments au sol VLT ou Alma, continueront de nous offrir des informations de plus en plus précises sur d'autres systèmes planétaires.

Les équipes du CNRS restent ainsi mobilisées au plus haut niveau tant dans la préparation technique que dans les opérations et l'exploitation scientifique des données. L'année 2016 promet d'être riche de nouvelles découvertes sur notre environnement proche, nos origines et l'origine de la vie dans l'Univers.

*“L'année 2016
promet d'être riche
de nouvelles découvertes
en astronomie.”*

Denis Mourard,
directeur adjoint scientifique
de l'Institut national des sciences
de l'Univers du CNRS (Insu)





© C. FRÉLILLON/LEGI/CNRS PHOTO THÉQUE

GRAND FORMAT

11

Système solaire : l'exploration continue	12
Érosion : quand la côte recule	22
Maurice Godelier : « <i>L'imaginaire, un élément fondamental de la vie sociale</i> »	28



Jean Pruvost,
le passeur de mots

9

© J. JACO

EN PERSONNE 5

Armelle Vardelle enflamme les plasmas	6
Les champions 2016 de l'innovation	8



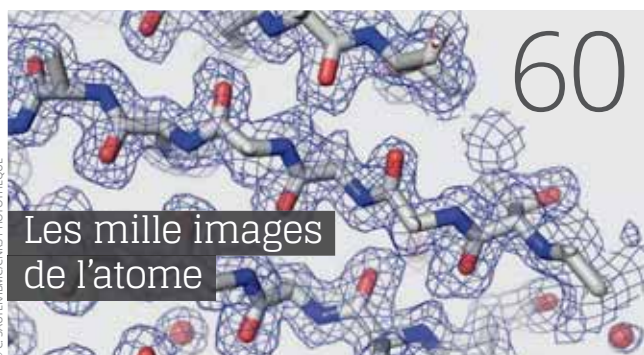
34

Un futur plus vert
pour le Sahel

© J.-L. PÉRY

EN ACTION 33

Quand les maths se mêlent de sport	37
Prométée, la plateforme de l'extrême	38
Le Marion Dufresne fait peau neuve	40
Les bonnes ondes de la valorisation	42
Amarna, la cité disparue d'Akhenaton	44
Les plasmas froids réchauffent l'innovation	46
Virus et malwares : les chercheurs contre-attaquent	48
Réinventer la médiation à l'heure du numérique	50
Plaidoyer pour une science ouverte	52
Les robots humanoïdes se mettent au travail	53



60

Les mille images
de l'atome

© C. SAUTER/BRICANCS PHOTO THÉQUE

LES IDÉES 55

Ils ont critiqué le progrès	56
Comment mieux prédire les épidémies	58
Imaginer une autre évolution de la vie	62

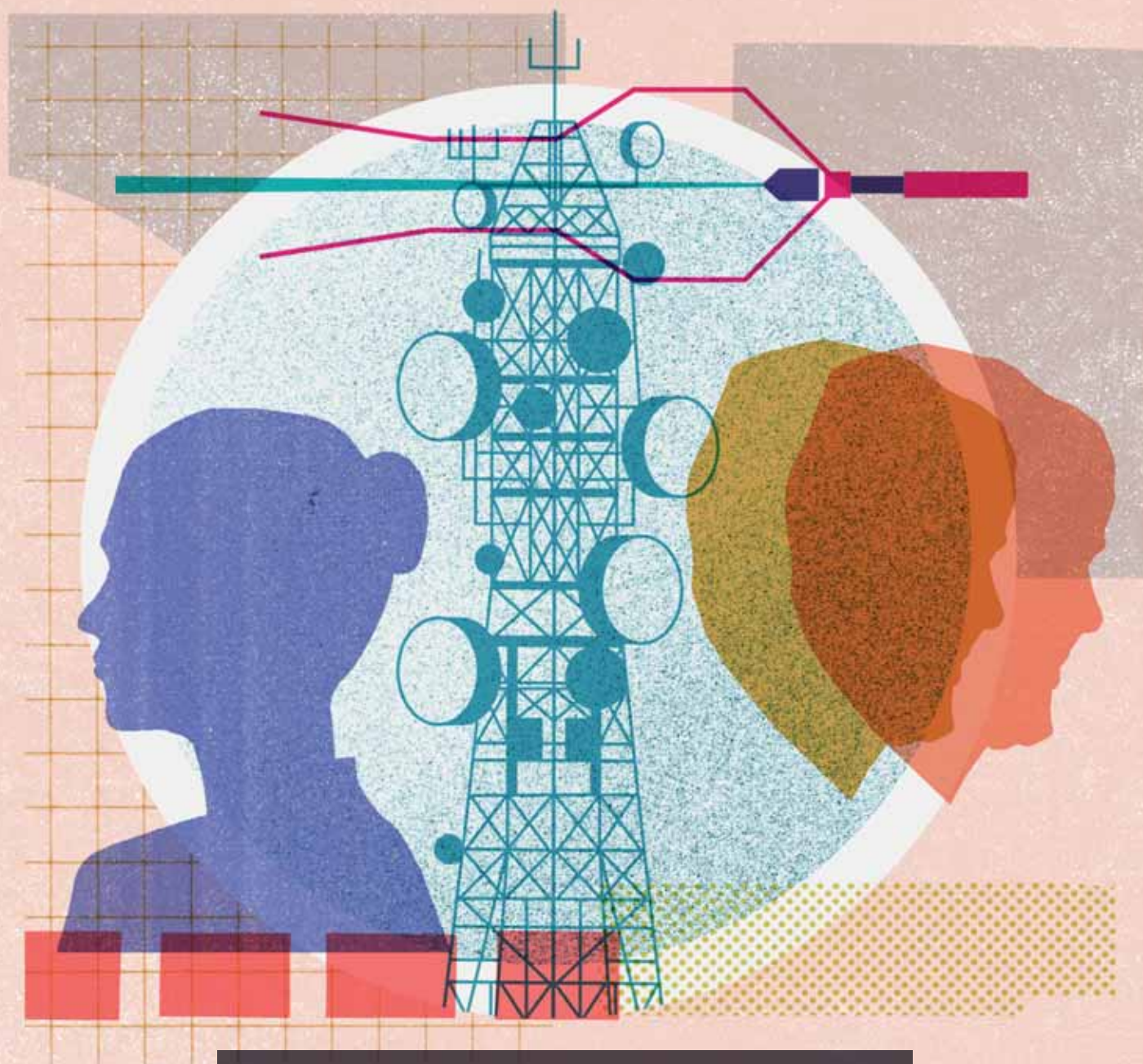
CARNET DE BORD

David Amouroux nous raconte un souvenir de recherche 64

LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

C'est l'histoire d'une académie... .. 66

EN PERSONNE



On rencontre une experte des plasmas et un amoureux des mots, et on découvre les champions de l'innovation en 2016.

ILLUSTRATION : MARCUS WALTERS/TALKIE WALKIE

Armelle Vardelle enflamme les plasmas

PAR LAURE CAILLOCE

MATIÈRE

Matériaux. Cette chercheuse vient d'être distinguée par la première association scientifique mondiale consacrée aux matériaux pour ses travaux sur la projection plasma.

Quand on la retrouve au laboratoire SPCTS¹, à Limoges, ce jeudi matin d'avril, elle débarque tout juste des États-Unis où elle « écrivait un papier avec un confrère américain ». Elle était à Rome une semaine plus tôt... Armelle Vardelle, enseignante-chercheuse de 63 ans, s'est taillé une renommée mondiale avec ses travaux sur la projection plasma – un procédé qui permet de recouvrir n'importe quelle surface d'un revêtement de quelques dizaines de microns à quelques millimètres d'épaisseur. En plus de ses interventions régulières à l'université de Columbia, à New York, où elle est chercheuse associée, elle ne compte plus les colloques, workshops et autres séminaires auxquels elle est invitée... Et peut désormais ajouter une bien jolie récompense à son palmarès : ce 11 mai, à Shanghai, la chercheuse devait être distinguée par la très sérieuse et très réputée ASM International – la

PLASMA

Un gaz devient un plasma lorsqu'on lui apporte une quantité d'énergie suffisante pour arracher les électrons de ses atomes et l'ioniser.

première association scientifique mondiale consacrée aux matériaux, forte de plus de 30 000 adhérents – qui, pour la première fois, fait entrer une femme au « Hall of Fame » (au « panthéon ») des chercheurs ayant apporté une contribution majeure à la projection thermique.

De la littérature à la physique

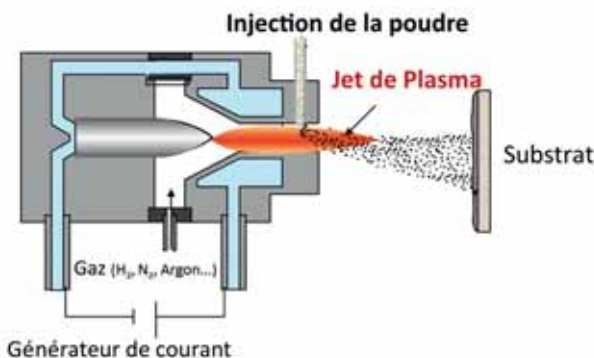
La projection plasma, c'est la passion d'une vie pour cette physicienne entrée en 1976 au Laboratoire de thermodynamique de Limoges (devenu SPCTS), quelques années à peine après sa création. « J'étais plutôt littéraire à l'origine et je suis allée en fac de physique avant tout pour suivre le garçon dont j'étais amoureuse. [sic !] J'étais jeune... Mais il m'a suffi de voir fonctionner pour la première fois une torche à plasma pour ne plus vouloir faire que cela ! Le bruit, l'arc électrique, la flamme... Tout m'a fasciné », raconte la chercheuse. Quatrième état de la matière, au même titre que les états solides, liquides et gazeux, les plasmas ou gaz ionisés constituent la plus grande part de l'Univers – les étoiles sont par exemple faites de plasmas. Si les fabriquer sur la Terre demande certes des températures moins élevées que celles des étoiles, il faut tout de même un courant électrique d'une sacrée intensité (plusieurs centaines d'ampères) pour alimenter la « torche à plasma d'arc » qui permet de les fabriquer et dont ils s'échappent en un « jet » pouvant atteindre une vitesse de 1 000 mètres/seconde et une température de plus de 10 000 °C !

L'intérêt de ces « jets » de plasmas thermiques : faire fondre n'importe quelle poudre – poudre de céramique, de plastique, de métal ou encore de matériau composite – et projeter les particules en fusion sur l'objet que l'on souhaite recouvrir, qu'il s'agisse d'une pièce de réacteur d'avion ou d'une prothèse de hanche. « Les industriels ont d'abord utilisé les plasmas pour faire des revêtements anti-usure et anti-corrosion. Mais on peut aussi faire des revêtements avec d'autres fonctionnalités : isoler de la chaleur, conduire le courant électrique, rendre des matériaux biocompatibles ou, plus futuriste, stocker de l'énergie... », détaille Armelle Vardelle. Les applications possibles sont quasi infinies. »

Problème, quand elle commence à s'intéresser à la discipline dans les années 1970, « les industriels faisaient du plasma comme M. Jourdain de la prose, sans bien savoir comment cela fonctionnait. Moi, j'ai voulu entrer dans le cœur du procédé : comprendre comment les particules de matière se comportaient dans le jet de plasma et à quelles température et vitesse elles étaient

LA PROJECTION PLASMA, C'EST QUOI ?

La torche à plasma (à gauche) génère l'arc électrique qui permet la transformation du gaz en plasma. La poudre du matériau qui va servir de revêtement fond au contact du jet de plasma chaud (10 000 °C en sortie de torche) et est projetée à grande vitesse contre la surface à recouvrir.



1. Science des procédés céramiques et de traitements de surface (CNRS/UL/ENSCI).



“Il m’a suffi de voir fonctionner pour la première fois une torche à plasma pour ne plus vouloir faire que cela.”

Si elle se dit volontiers « obsédée » par les plasmas, la scientifique n'en oublie pas sa vocation d'enseignante, « *largement aussi importante que mes travaux de recherche, car ce sont les ingénieurs et cadres de demain que nous formons* ». Chaque année, elle dispense 200 heures de cours à l'École nationale supérieure d'ingénieurs de Limoges, nichée, comme le SPCTS, au cœur de la technopole Ester. « *C'est la seule école d'ingénieurs en France à offrir une spécialisation complète en traitement et revêtement de surface. Certains de mes anciens élèves dirigent d'ailleurs des entreprises spécialisées dans les revêtements, ici même, en Limousin* », raconte-t-elle, pas peu fière. Malgré un emploi du temps un tantinet chargé, on s'étonnera

à peine d'apprendre qu'Armelle Vardelle trouve encore le temps d'assurer la rédaction en chef du *Journal of Thermal Spray Technology*, une publication scientifique à comité de lecture du groupe Springer. « *Je travaille jusqu'à minuit-une heure du matin tous les jours* », confie-t-elle. Pas au détriment de sa vie privée, manifestement. Cette passionnée de musique – elle est allée voir quatre opéras lors de son dernier séjour à New York –, a élevé avec son mari trois enfants, tous adultes aujourd'hui. « *Le temps passe tellement vite* », soupire cette hyperactive. ||

Une enseignante enthousiaste

Parmi la dizaine de torches à plasma actuellement installées au SPCTS, certaines sont utilisées par les industriels – « *nous y testons pour eux de nouvelles poudres, mais aussi, et c'est nouveau, des solutions et des suspensions à base d'eau ou d'éthanol* » –, d'autres ont été fabriquées « maison » par les chercheurs. « *Il faut être bricoleur dans nos disciplines et ne pas hésiter à mettre la main dans la mécanique, l'électronique ou même l'optique* », raconte Armelle Vardelle. Formée aux enjeux de l'écologie industrielle dans les années 2000, elle a été la première à réaliser des analyses de cycle de vie des procédés de projection thermique – une démarche que les industriels commencent désormais à adopter. « *On regarde les process étape après étape, et on choisit les options les moins nocives pour l'environnement* », indique-t-elle.

Son parcours en 5 dates

- 1979** Soutient sa thèse sur la projection plasma
- 1982** Est recrutée au Laboratoire de thermodynamique de Limoges (aujourd'hui SPCTS)
- 1994** Devient chercheuse associée à l'université de Columbia
- 2007** Entre au comité de rédaction du *Journal of Thermal Spray Technology* (dont elle devient rédactrice en chef en janvier 2016)
- 2016** Est nommée au Hall of Fame de l'ASM International

Les champions 2016 de l'innovation

Événement. Le 14 juin, à Paris, Marin Dacos, Thierry Heidmann, Cathie Vix-Guterl et Ali Zolghadri recevront la médaille de l'innovation du CNRS. Celle-ci récompense des chercheurs dont les travaux sont remarquables sur les plans technologique, économique ou sociétal.

PAR VÉRONIQUE MEDER ET LA RÉDACTION

Thierry Heidmann

Spécialiste des rétrovirus endogènes et infectieux humains ou animaux, ce chercheur de 61 ans a longuement étudié leur propriété immunosuppressive et contribué à ouvrir de nouvelles stratégies thérapeutiques. Directeur de l'unité Physiologie et pathologie moléculaires des rétrovirus endogènes et infectieux¹ à l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif, il a fondé la start-up Viroxis en 2005 et il est l'inventeur de 6 brevets. Ses travaux sont à l'origine de nouveaux candidats vaccins ciblant ces agents pathogènes, dont celui contre le virus de la leucose féline, sur le marché depuis 2012.



© A. CHEROING, ROUSSY

Ali Zolghadri

À 53 ans, cet automaticien, membre du Laboratoire de l'intégration du matériau au système², est reconnu internationalement pour ses travaux sur la théorie des systèmes dynamiques complexes. Ses travaux lui ont permis de développer des méthodologies innovantes de diagnostic et de surveillance, notamment pour l'aéronautique et l'espace. Il est ainsi à l'origine de 14 brevets, dont l'un fait aujourd'hui l'objet d'un algorithme embarqué sur l'A350, opérationnel depuis janvier 2015.



DR

Marin Dacos

Cet informaticien de 44 ans, historien de formation, dirige le Centre pour l'édition électronique (Cléo)³. Pionnier de l'édition en ligne en accès ouvert, il est aujourd'hui l'un des hérauts des humanités numériques. Il a créé les plateformes Revues.org, qui rassemble plus de 400 revues, et Calenda, qui diffuse plus de 30 000 événements scientifiques. Il a fondé le Cléo, au sein duquel ont été créés Hypotheses, qui accueille plus de 1 500 blogs scientifiques, et OpenEdition Books, l'un des leaders dans la diffusion électronique d'ouvrages de recherche. Cet ensemble, OpenEdition, a reçu 64 millions de visites en 2015.



© L. DACOS/CC BY

Cathie Vix-Guterl

Âgée de 50 ans, cette chimiste est la directrice de l'Institut de science des matériaux de Mulhouse⁴ et de l'Institut Carnot Mica, qu'elle a tous deux contribué à créer et à implanter avec succès en Alsace. Manageuse hors pair de la recherche et de l'innovation, elle est également experte des matériaux carbonés, céramiques et hybrides. Ses travaux de recherche, aussi bien fondamentale qu'appliquée, portent sur la synthèse contrôlée de nouveaux matériaux, leur caractérisation multi-échelle et l'étude de leurs propriétés.



© CNRS

1. Unité CNRS/Univ. Paris Sud. 2. Unité CNRS/Univ. de Haute-Alsace. 3. Unité CNRS/Univ. de Bordeaux/Bordeaux INP Aquitaine. 4. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ./EHESS/Univ. d'Avignon et des Pays du Vaucluse.

T É L E X _ _ T É L E X _ _ T É L E X _ _ T É L E X _ _ T É L E X _ _ T É L E X _ _ T É L E X _ _

L'historien Pierre-Jean Luizard a reçu à l'Assemblée nationale le 1^{er} prix étudiant du livre politique-France Culture pour son ouvrage *Le Piège Daech*. _ Le prix de recherche 2015 de la Fondation Allianz-Institut de France a été remis à Michel Cogné, spécialiste d'immunologie. _ L'économiste François Bourguignon fait partie des lauréats du prix Dan David remis par la Fondation Dan David et l'université de Tel Aviv. _ Le mathématicien Jean-Pierre Demailly s'est vu attribuer le prestigieux prix Stefan Bergman 2015. _ L'historien Patrick Weil a reçu le prix Jean Zay de la laïcité pour l'ouvrage *Le Sens de la République*, coécrit avec Nicolas Truong. _

Jean Pruvost, le passeur de mots

SOCIÉTÉS

Lexicographie. Ce spécialiste des dictionnaires possède une collection qui regroupe pas moins de 10 000 ouvrages. Portrait d'un amoureux des mots.

PAR LYDIA BEN YTZHAK

© J. JAGO

Vous pouvez vous fier à l'air enjoué de Jean Pruvost¹ : sa générosité et son optimisme dépeussèrent définitivement l'idée que l'on se fait d'un dictionnaire chez les plus récalcitrants. Ce qu'il aime plus que tout : les mots et leur histoire, et l'histoire de leur histoire, et l'évolution de leur définition. Les spécialistes appellent cela la métalxicologie, un « gros » mot qu'il parvient presque à rendre alléchant ! Un goût qui lui vient de loin. Dès l'enfance, ses parents lui ont enseigné la sténographie et la dactylographie – ou l'art d'avoir lettres et mots au bout des doigts. Des parents également fervents partisans de l'espéranto, une langue qu'il a très tôt adoptée. Pour ce curieux de tout, « l'espéranto fonctionne comme une sorte de latin pratique pour parler avec toute personne dont on ne connaît pas la langue... Ce qui n'empêche pas d'apprendre avec plaisir et utilité les langues étrangères. Les langues ne fonctionnent pas à l'économie de moyens, l'orthographe en est un exemple, il y a bien d'autres critères qui entrent en jeu, qu'ils

soient culturels, historiques ou affectifs... Le charme vient aussi de la complexité. Et c'est passionnant à décrypter. La langue française est un continent en permanente évolution à explorer, un voyage formidable et sans fin... Dans le fond, les dictionnaires en sont les carnets de voyage ». En tant qu'observateur de la vie des langues, le chercheur sait combien leur tissu est épais et fascinant.

Un infatigable collectionneur de dictionnaires

Cette passion des dictionnaires, Jean Pruvost la contracte durant ses études où il fait une rencontre décisive avec un professeur qui deviendra un ami : Bernard Quemada, qui dirige alors Le Trésor de la langue française, le dictionnaire en 16 volumes du CNRS, publié entre 1971 et 1994. Inutile de chercher une contrepèterie dans l'intitulé de la thèse que Jean Pruvost soutient en 1981, le sujet en est très sérieux : « Recherches sur les dictionnaires onomasiologiques : les dictionnaires analogiques de langue française (XIX^e-XX^e siècles) ». Lire Apollinaire et Victor Hugo le conduit à fouiner dans les dictionnaires qu'il déniche chaque dimanche dans les brocantes ou chez les antiquaires.

Le joyau de sa prodigieuse collection de dictionnaires, qui compte aujourd'hui une dizaine de milliers d'ouvrages, est sans conteste l'essai d'un dictionnaire universel de 1685 par Furetière, adressé à Louis XIV pour justifier l'ouvrage à venir, distinct du Dictionnaire de l'Académie. Le dictionnaire de Furetière parut de fait en 1690, mais la mort le rattrapa avant. La collection complète des Petit Larousse illustré, de 1905 à nos jours, est une autre fierté de Jean Pruvost : ...

“Ce que j'aime, c'est à la fois l'alcôve et l'agora. D'un côté, le travail solitaire, de l'autre, sa diffusion la plus large possible.”

1. Professeur des universités et directeur à l'université de Cergy-Pontoise du laboratoire Lexiques, dictionnaires, informatique (CNRS/Univ. de Cergy-Pontoise/Univ. Paris-XIII), Jean Pruvost y a dirigé le master Sciences du langage.



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



© J. JACO

Son parcours en 5 dates

1993	Lance Les Journées des dictionnaires	2008	Commence sa chronique « Mot pour mot » sur Canal Académie
1994	Devient professeur à l'université de Cergy-Pontoise	2010	Crée les collections Champion Les Mots et Champion Les Dictionnaires
2006	Obtient le Prix de l'Académie française		

... elle permet de savoir à quel moment chaque nouveau mot entre dans le dictionnaire, et donc dans notre patrimoine commun. À force de fréquenter par la pensée Pierre Larousse, Paul Robert et Émile Littré, ce qui devait arriver arriva : Jean Pruvost finit par publier nombre d'ouvrages sur les mots, un *Dico des dictionnaires* aux éditions JC Lattès et un *Journal d'un amoureux des mots* chez Larousse.

« Lorsque je préparais ma maîtrise dans les années 1970, il existait encore des cartes perforées pour pouvoir traiter des millions d'informations avant de passer sur bandes magnétiques », se souvient-il avec amusement, mais sans nostalgie : que les technologies modernes nous permettent déjà de chercher un mot par simple commande vocale le réjouit. Et si certains esprits chagrins déplorent la prolifération des SMS, des émoticônes et l'omniprésence d'une prose informatique de plus en plus expéditive lorsqu'elle n'est pas truffée de fautes, cet esprit ouvert y déchiffre bien l'esquisse des langages de demain, et même un rapport à l'écrit bien plus présent et quotidien qu'auparavant. Son regard d'historien y scrute les différentes évolutions, comme autant de promesses de nouvelles tendances.

Partager le plaisir des mots

Jean Pruvost va encore plus loin : « À quoi sert de connaître 60 000 mots si on ne peut les partager qu'avec quelques érudits ? » Son désir est clair : inoculer sa « dicopathie » à tous. Pour cela, outre ses cours magistraux de linguistique à l'université de Cergy-Pontoise, il poursuit une activité d'éditeur et d'auteur. Son but avoué est d'accrocher la partie du public la plus éloignée des jargons d'érudits. Séduit autant par la langue parlée que par la langue écrite, il jongle aussi avec la sonorité des mots pour la radio où il tient des chroniques sur RCF, la radio chrétienne francophone, et sur le Mouv'. Chaque matin, il y délivre sa petite pépite quotidienne qui le conduit à se lever avant le jour pour aller fouiner dans ses chers dictionnaires telle nuance historique, telle parenté inattendue de vocabulaire... Ces derniers jours, il évoquait l'entrée – ce qui reste assez rare – d'un verbe dans le

dictionnaire, le mot « zlataner »... « Ce que j'aime, c'est à la fois l'alcôve et l'agora, explique ce lettré. D'un côté, le travail solitaire, de l'autre, sa diffusion la plus large possible. Il ne s'agit pas de se contenter de jouer le savant dans sa tour d'ivoire, l'essentiel est de partager le plaisir de découvrir ce qui se cache derrière chaque mot... » Cette volonté constante de conciliation entre savants et grand public s'est trouvée mise à contribution lors des débats sur la récente réforme de l'orthographe, où il a fait œuvre de pédagogie : « L'Académie française n'a validé que les modifications réellement adoptées par l'usage commun, comme le mot "événement" avec un accent grave. "Réforme" n'est pas le bon mot puisqu'on ne décrète pas les formes du langage. »

Un directeur éditorial inspiré

Ce boulimique des mots a réussi à ajouter une corde à son arc : il est depuis quelques années directeur éditorial des éditions Honoré Champion et y a lancé la collection « Champion Les Mots », où il retrace l'histoire de certains mots. Ainsi, on apprend que « le chocolat favorise la paresse et dispose à ces voluptés qu'inspire une vie langoureuse », que le fromage « doit tout son mérite aux outrages du temps », et que la reine mère d'Angleterre s'est exclamée que le champagne évoquait une « pluie d'étoiles à l'envers ». « Ma recherche est analogique, explique Jean Pruvost. À partir de mots génériques, il s'agit de garder une cohérence tout en homogénéisant la longueur des définitions, contrainte qui n'existe pas dans un lexique classique. » Vin, loup, mère, bière, chat, élection, champagne... Il ne faut pas chercher de dimension psychanalytique dans le choix des thématiques de la collection. « Il s'agit souvent d'une rencontre avec un chercheur, d'un mot non encore exploré ou d'une idée qui "parle" à un grand public tout en restant très pointue », précise le lexicographe.

Enfin, et puisqu'il n'en a jamais assez, Jean Pruvost organise tous les ans à Paris les Journées des dictionnaires, un rendez-vous qui attire près de 500 linguistes et lexicologues. Le thème de l'édition 2016, organisée en mars dernier : « Corps et sports : de la tête aux pieds ! » Et comme chaque année, le chercheur a profité de l'événement pour taquiner sa guitare afin de mieux faire partager sa passion. ||

GRAND FORMAT



*Après des détours par Mars et Jupiter,
retour sur Terre pour lutter contre
l'érosion des côtes et réfléchir à la place
de l'imaginaire dans nos sociétés.*

ILLUSTRATION : MARCUS WALTERS/TALKIE WALKIE

Systeme



solaire

L'exploration continue

UNIVERS 

Astronomie. Après 2015 et son exceptionnelle moisson d'images sur les petits corps du système solaire, ce sont cette année les vraies planètes qui vont nous dévoiler leurs secrets, grâce aux missions ExoMars 2016 sur Mars et Juno sur Jupiter, voire leur existence dans le cas de la 9^e planète. *CNRS Le journal* fait le point sur les événements annoncés de cette nouvelle *annus mirabilis* de l'astronomie.

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR SAMAN MUSACCHIO, YAROSLAV PIGENET ET DENIS GUTHLEBEN



L'Europe remet le cap sur Mars

Le 14 mars, l'Europe a lancé la première de ses deux missions ExoMars. Franck Montmessin¹, qui assure des responsabilités scientifiques sur plusieurs instruments d'ExoMars, nous explique les enjeux de cette mission historique sur la planète rouge.

PROPOS RECUEILLIS PAR SAMAN MUSACCHIO

L'Europe a redécollé vers la planète rouge avec la mission ExoMars. Quel est son objectif ?

Franck Montmessin : ExoMars représente la seconde phase de l'exploration martienne par l'Agence spatiale européenne (ESA). Elle succède à Mars Express, qui orbite autour de Mars depuis 2003 et constitue un grand succès scientifique. Avec cette nouvelle expédition en deux parties, l'Europe veut cette fois se poser à la surface de Mars. La première mission, ExoMars 2016, lancée le 14 mars dernier depuis Baïkonour (Kazakhstan), doit permettre d'atteindre la planète rouge en octobre prochain. Elle se compose d'un orbiteur – le Trace Gas Orbiter ou TGO – et de la sonde Schiaparelli, qui va servir de démonstrateur quant aux capacités de l'ESA à se poser sur Mars. S'il n'y a pas de retard, la seconde partie, ExoMars 2018, doit être lancée dans deux ans. Elle constitue le volet le plus important de la mission et aura pour objectif de faire atterrir un

rover capable de percer la surface martienne jusqu'à deux mètres. L'idée est de chercher de la matière complexe, peut-être même organique, qui aurait échappé à l'environnement hostile de la surface. Les rovers envoyés jusqu'ici, comme Curiosity de la Nasa, ne peuvent creuser que jusqu'à 5 centimètres de profondeur.

Donc nous sommes toujours à la recherche de traces de vie sur Mars...

F.M. : Oui, cette quête – trouver des traces de vie passée –, reste le leitmotiv de toutes les missions sur Mars. La première étape est toujours de regarder d'en haut, depuis les orbiteurs, pour trouver des endroits où les roches ont été altérées par la présence d'eau liquide. Cet indice signifie que les conditions ont été propices sur une période assez longue pour accueillir de la vie. Ce sont ces endroits que nous voulons explorer plus en détail.

1. Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (CNRS/UPMC/UVSQ). 2. L'Agence spatiale russe est partenaire de cette mission.

En comptant Mars Express, il y a aujourd'hui cinq satellites en orbite autour de Mars. Qu'est-ce que le sixième, le TGO, va nous dire de nouveau ?

F. M. : Sa spécificité tient dans les instruments qui composent l'Atmospheric Chemistry Suite (ACS) et le Nadir and Occultation for Mars Discovery (Nomad) et qui vont pouvoir effectuer des mesures inédites. Ces données seront presque exclusivement dédiées à la caractérisation précise de la composition atmosphérique de Mars et à la recherche de traces de gaz, autrement dit les gaz que l'on trouve en toutes petites quantités. La technologie utilisée va nous offrir des données de 10 à 100 fois plus précises que les mesures actuelles. Nous employons aussi une méthode utilisée une seule fois auparavant, sur Mars Express : l'occultation solaire, qui permet d'analyser la composition de l'atmosphère lorsque le soleil se couche ou se lève. Lorsque les photons traversent l'atmosphère, certains d'entre eux sont en effet absorbés par des composants gazeux. Ceux-ci créent des signatures des différents gaz, presque aussi précises qu'un échantillon d'ADN pour faire une analogie. Cette méthode présente plusieurs avantages, notamment celui d'un calibrage très simple des instruments.

Que cherchez-vous en particulier ?

F. M. : La création du TGO a été motivée par la découverte inattendue – faite par plusieurs équipes – de la présence de méthane dans l'atmosphère martienne. Cela a servi d'étincelle... On entend toujours que Mars est une planète morte ; or la présence de méthane est le signe d'une sorte d'activité. Par exemple, on sait que la vie – les organismes et la matière vivante – est à l'origine de 80 % du méthane qu'on trouve sur Terre ! Une des premières hypothèses était que le méthane martien pourrait provenir de bactéries ou de microbes. Plus probablement, on pense aujourd'hui que ce méthane serait le résultat de processus photochimiques ou géochimiques. Cela pourrait vouloir dire par exemple qu'il y a un réseau aquifère souterrain, qui mettrait en contact des silices avec de l'eau assez chaude, ce qui pourrait créer du méthane. Mais cela signifierait qu'il y ait de l'eau sous la surface, et donc que Mars serait encore vivante, d'une certaine façon. Tout cela nous motive à chercher du méthane, mais aussi toutes sortes de gaz qui pourraient provenir de ce genre de processus. Notre but est donc d'établir un inventaire précis et complet de toutes les traces de gaz présentes dans l'atmosphère, en incluant celles que nous n'avions pas détectées jusqu'ici car présentes en trop faibles quantités.

Vous êtes non seulement le Deputy-PI de l'instrument russe ACS², mais aussi le directeur scientifique d'un des instruments de la mission qui devrait atterrir sur Mars en octobre prochain...

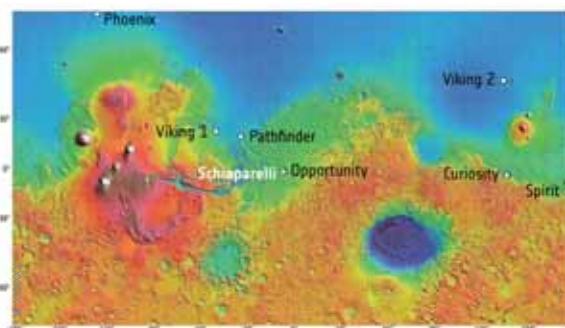
F. M. : Oui, cet instrument s'appelle Micro-Ares et se trouve sur Schiaparelli. Il est arrivé plus tard dans le planning, car

la mission première de Schiaparelli reste de démontrer qu'on peut atterrir sur Mars. Micro-Ares est un détecteur de champ électrique connecté à une suite d'instruments baptisée Dreams et conçue par des chercheurs italiens. Si Dreams s'occupe de mesurer toutes les conditions environnementales pendant la phase d'atterrissage, Micro-Ares a quant à lui pour mission d'explorer un domaine scientifique quasiment vierge : celui des champs magnétiques martiens. Il y a une très forte probabilité que ces champs existent à la surface de Mars et qu'ils jouent un rôle important sur la chimie et le climat de la planète. Notre capteur, installé à 30 centimètres environ au-dessus du lander, détectera l'activité électrostatique à la surface de Mars. Cette activité proviendrait notamment des poussières minérales présentes en grande quantité dans l'atmosphère : les collisions de telles particules créent en effet des champs électriques. On sait que cela existe sur Terre et que ces champs sont assez forts pour avoir un impact sur les processus mêmes par lesquels les particules de poussières se soulèvent à la surface de Mars. Or ce phénomène contrôle une grande partie du climat de la planète. Ceci est le premier objectif scientifique de Micro-Ares. Le second est de savoir si ces champs électriques peuvent amplifier la destruction du méthane dans l'atmosphère martienne. En effet, il a été observé que ce gaz pouvait apparaître et disparaître de façon intempestive... Certains ont proposé l'idée que les champs électriques pourraient être de puissants promoteurs de processus chimiques à l'origine de cette destruction.

Beaucoup de résultats sont espérés, mais la fenêtre sera courte pour échanger avec vos instruments...

F. M. : En effet ! En octobre prochain, quand l'atterrisseur Schiaparelli se posera à la surface de Mars, ses batteries lui conféreront une autonomie de deux à trois jours... Il faudra ensuite patienter jusqu'au second volet de la mission européenne, ExoMars 2018. ||

“Notre but est d'établir un inventaire complet de toutes les traces de gaz présentes dans l'atmosphère.”



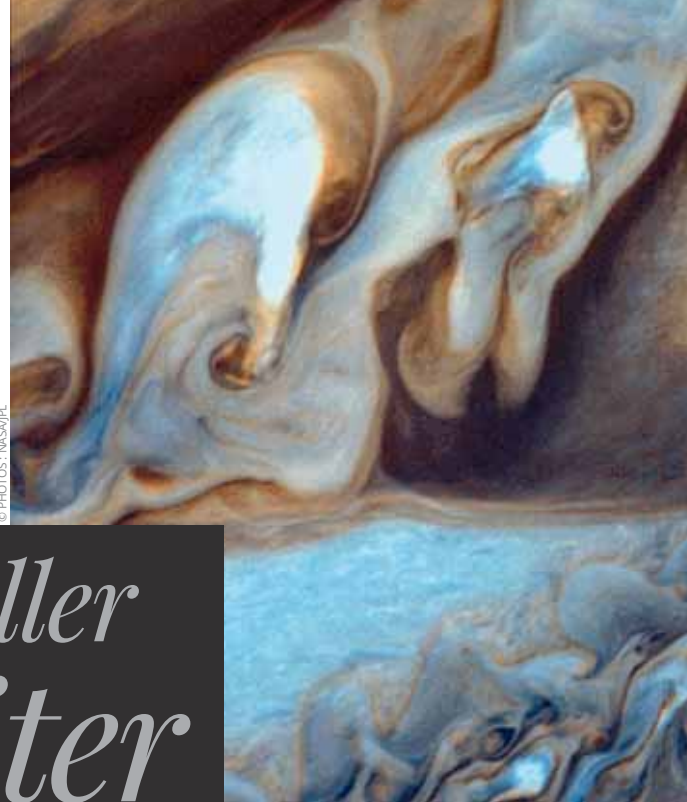
Sur cette carte figurent les sites d'atterrissage des sept rovers ayant déjà atteint Mars. La sonde Schiaparelli doit se poser dans la région appelée Meridiani.

© BACKGROUND IMAGE: MOJA SCIENCE TEAM; MAP: ESA

Plus de vingt ans après Galileo, nous avons à nouveau rendez-vous avec la plus grande planète du système solaire. Avec la mission Juno, ce ne sont plus seulement ses lunes, mais bien l'intérieur et l'atmosphère profonde de Jupiter qui promettent de livrer leurs secrets.

PAR YAROSLAV PIGENET

Juno prête à effeuiller Jupiter



© PHOTOS : NASA/JPL

Le 4 juillet prochain, après un voyage de presque cinq ans, la sonde Juno se placera en orbite autour de Jupiter. L'un des objectifs principaux de la mission, prévue pour durer dix-huit mois, sera de mieux comprendre de quoi se compose l'intérieur, jusqu'ici inaccessible à l'observation, de la plus grosse planète du système solaire. Juno va notamment cartographier les champs gravitationnels et magnétiques de la géante gazeuse afin de déterminer sa structure interne. Les instruments de l'orbiteur vont également mesurer l'émission radiométrique de l'atmosphère profonde de la planète, ceci afin de connaître sa composition, sa structure thermique et son environnement ionisé.

Les informations recueillies par Juno vont ainsi non seulement permettre aux chercheurs de mieux connaître Jupiter, mais aussi, et surtout, de disposer de nouveaux indices sur les conditions qui régnaient dans le système solaire primitif, lorsque la planète géante était en formation. De fait, en dépit des données accumulées lors des précédentes missions joviennes, la structure et la genèse de Jupiter demeurent assez mal connues. « Aujourd'hui, on ne sait pas si Jupiter possède ou non un noyau central, remarque Tristan Guillot, médaille de bronze du CNRS, directeur de recherche au Laboratoire J.-L. Lagrange¹ et à l'Observatoire de la Côte d'Azur, et co-investigateur de la mission, Juno va mieux contraindre nos hypothèses sur la structure et la dynamique internes de Jupiter grâce à des mesures 100 fois plus précises que celles dont nous disposions jusqu'ici. »

À la différence de la mission Galileo, qui était dédiée au système jovien dans son ensemble, Juno et ses neuf instruments s'intéresseront quasi exclusivement à la structure interne de Jupiter et sa magnétosphère. À partir de

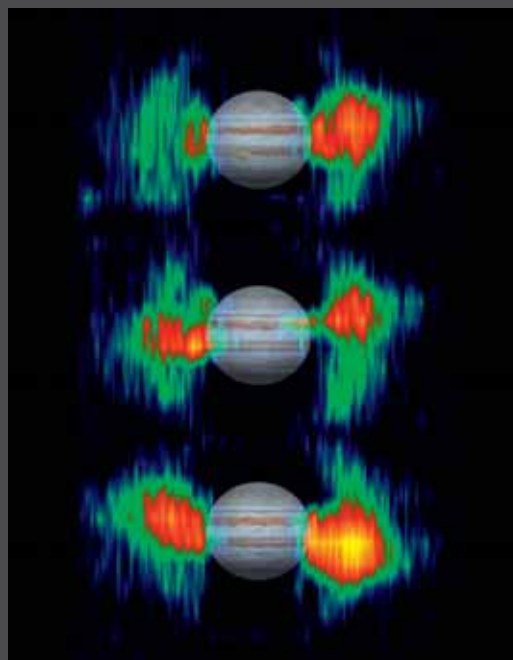
juillet 2016, la sonde commencera à orbiter autour de la planète. Ses deux premières révolutions dureront environ 54 jours, puis à partir d'octobre le vaisseau s'insérera sur une orbite frôlant successivement les deux pôles, mettant alors quatorze jours à effectuer une révolution complète. Jupiter tournant sur elle-même en un peu moins de dix heures, Juno passera au-dessus de régions différentes à chaque orbite, couvrant la totalité de la planète lorsqu'elle aura réalisé les 34 révolutions prévues pour la mission.

Une structure interne encore mystérieuse

« Plus que les instruments embarqués, c'est le choix de cette orbite polaire qui rend la mission exceptionnelle, insiste Philippe Zarka, directeur de recherche au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique² et co-investigateur sur Juno. Non seulement parce qu'elle balayera toute la surface de la planète, mais aussi parce qu'elle permettra, entre chaque survol des pôles, de passer sous les ceintures de radiation qui s'étendent de part et d'autre de l'équateur, le long des lignes du champ magnétique jovien. » On notera que c'est d'ailleurs la dégradation des instruments électroniques soumis à ces radiations intenses qui, malgré leur blindage, restreint à un an la durée de vie de la mission. « Jamais un vaisseau ne se sera approché aussi près de Jupiter : à peine 10 000 kilomètres au-dessus des pôles, 5 000 kilomètres au-dessus de l'équateur, poursuit le chercheur, si on réduisait la planète à la taille d'un ballon de basket, la sonde s'en approcherait à moins d'un centimètre ! »

Ne disposant jusqu'ici que d'informations très parcelaires sur l'intérieur de la 5^e planète, les chercheurs en étaient réduits à spéculer sur ce qui se trouve en dessous

1. Unité CNRS/OCA/UNS. 2. Unité CNRS/Observatoire de Paris/UPMC/Univ. Paris Diderot.



À gauche, zoom sur la grande tache rouge de Jupiter. L'image a été réalisée grâce aux clichés de la sonde Voyager 1.

Ci-contre, représentation des ceintures de radiation joviennes réalisées à partir des mesures effectuées par la sonde Cassini.

des couches les plus superficielles de l'atmosphère. Ils supposent ainsi que, lorsqu'on s'enfonce dans la planète, la pression et la température augmentant, le milieu, initialement gazeux et composé essentiellement d'hydrogène moléculaire et d'hélium, devient liquide. Lorsque la pression dépasse un million de fois la pression atmosphérique terrestre, les molécules sont cassées et l'hydrogène devient métallique. « On pense que c'est dans cet hydrogène métallique liquide, qui occupe 80 % du rayon et qui conduit l'électricité, que des courants électriques génèrent le puissant champ magnétique jovien », précise Tristan Guillot qui, au sein de la mission Juno, est chargé du calcul de modèles de structure interne de Jupiter fondés sur les mesures du champ gravitationnel. Enfin demeure la question du noyau, dont on ne connaît ni la composition, ni l'état solide ou liquide, mais dont on estime qu'il ne doit pas dépasser 15 masses terrestres.

Déterminer la quantité d'eau présente

« Les clichés et mesures déjà à notre disposition montrent que la haute atmosphère a une circulation très complexe, avec des mouvements de masse d'air différents selon la latitude – et qui donnent ces fameuses bandes colorées qui confèrent à Jupiter son apparence si particulière, explique Tristan Guillot. Mais on ne sait pas si cette structure de vents zonaux provient de l'intérieur de la planète ou bien s'il s'agit de phénomènes superficiels. » En cartographiant très précisément les variations des champs gravitationnel et magnétique joviens, Juno permettra d'en savoir plus sur la répartition des masses à l'intérieur de la planète.

Quant à sa composition, si on sait que Jupiter équivaut à 318 masses terrestres, et qu'elle contient environ 90 % d'hydrogène et d'hélium, auxquels s'ajoutent 10 % d'éléments « lourds » (oxygène, carbone, etc.), on n'a toujours pas pu établir avec précision les proportions de ces derniers ni quelle quantité d'eau la planète renferme. « Selon les hypothèses, la masse totale d'éléments lourds dans

Jupiter varie de 10 à 40 masses terrestres, explique Tristan Guillot. Le radiomètre à micro-ondes embarqué par Juno, capable de mesurer la présence d'eau jusque dans les couches profondes de l'atmosphère, va nous permettre de réduire l'incertitude actuelle sur la quantité totale d'eau et donc d'éléments lourds contenus dans Jupiter. Cette valeur est un paramètre crucial des modèles de formation du système solaire. » En effet, ces modèles postulent que le noyau primitif de la géante gazeuse s'est d'abord constitué par l'assemblage de blocs de glace d'eau présents en abondance dans la nébuleuse primitive qui entourait le jeune soleil. On suppose que ce noyau a crû rapidement jusqu'à atteindre 10 masses terrestres, générant dès lors une gravité suffisante pour permettre l'accrétion de l'hydrogène et l'hélium environnant.

Plus de vingt ans après les débuts de la mission Galileo, la communauté des astronomes et des planétologues espère que Juno va leur apporter la moisson de données qu'ils attendent pour affiner leurs modèles sur la structure de Jupiter en particulier et sur la genèse du système solaire en général. ▀

“Jamais un vaisseau ne se sera approché aussi près de Jupiter : à peine 5 000 kilomètres au-dessus de l'équateur.”

Sur la piste de la 9^e planète

Fin février, moins d'un mois après que des astronomes états-uniens ont postulé l'existence d'une 9^e planète, une équipe française a réduit de moitié l'incertitude sur sa position possible dans le système solaire. Entretien avec un des chercheurs à l'origine de cette prouesse.

PROPOS RECUEILLIS PAR YAROSLAV PIGENET

Fin février, à peine un mois après l'annonce de l'existence possible d'une nouvelle planète dans le système solaire, vous avez publié une estimation des positions possibles de cette planète. Ce délai est remarquable quand on connaît le processus de validation propre aux publications scientifiques. Étiez-vous déjà sur la piste d'une planète avant cette annonce ?

Jacques Laskar¹ : Oui, les astronomes soupçonnaient l'existence d'une planète supplémentaire de type « super-Terre » depuis 2014, quand l'objet 2012 VP113 a été découvert dans la ceinture de Kuiper. Les orbites atypiques de cette planète naine et d'une autre planète naine – déjà connue et baptisée Sedna – nécessitaient en effet de nouvelles hypothèses.

Nous avons donc déjà commencé avec ma collègue Agnès Fienga, du laboratoire GéoAzur², à voir comment nos éphémérides planétaires pouvaient contraindre la présence d'un objet supplémentaire dans le système solaire. Alors, quand le 20 janvier dernier, Konstantin Batygin et Mike Brown ont publié³ dans *Astronomical Journal* la nouvelle d'une possible 9^e planète de 10 masses terrestres, nous avons décidé de mettre le turbo ! Nous nous sommes concentrés sur l'orbite proposée par ces chercheurs pour aboutir à un résultat rapide permettant de décider si une telle planète était possible ou non. Nous avons pu ainsi soumettre

“Notre résultat le plus solide concerne les zones d'exclusion, celles où la présence de la planète 9 est impossible.”

Vue d'artiste de la supposée 9^e planète.

dès le 31 janvier nos résultats à la revue *Astronomy & Astrophysics*, qui a accepté notre article le 16 février⁴ : nous y confirmons non seulement la plausibilité de l'hypothèse avancée par les Américains, mais nous sommes en plus en mesure de réduire de moitié l'incertitude quant aux positions possibles d'une éventuelle planète.

Sur quelles observations nouvelles reposent votre affinement des résultats de Batygin et Brown ?

J. L. : En fait, notre méthode est complètement différente de celle utilisée par les chercheurs du Caltech. Elle repose aussi sur des données observationnelles différentes. Notre travail s'est appuyé sur un modèle baptisé INPOP, développé depuis 2003, qui intègre près de 150 000 observations des planètes et des astéroïdes du système solaire. Il nous permet d'établir des éphémérides prédisant à tout moment la position des corps du système solaire en tenant compte de leurs interactions gravitationnelles mutuelles. Ces éphémérides sont d'une précision telle qu'elles permettent par exemple de connaître à tout moment la distance entre Saturne et la Terre avec une marge d'erreur de

1. Directeur de recherche à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (CNRS/Observatoire de Paris/UPMC/Univ. Lille-I). 2. Unité CNRS/OCA/UPMC/UNS/IRD. 3. « Evidence for a distant giant planet in the solar system », K. Batygin et M. E. Brown, *The Astronomical Journal*, publié le 20 janv. 2016. 4. « Constraints on the location of a possible 9th planet derived from the Cassini data », A. Fienga et al., *Astronomy & Astrophysics*, publié le 23 fév. 2016.



© R. HUERT / IPAC/CALTECH

car l'écart entre les positions constatées de Saturne et celles calculées par INPOP serait trop important. L'étude de Batygin et Brown fournissait quelques contraintes quant à l'inclinaison de l'orbite de la planète 9 par rapport au plan de l'écliptique, mais aucune quant à sa position sur cette orbite, relativement aux autres planètes : les observateurs auraient donc dû scruter toutes les directions possibles sur 360° pour pouvoir l'observer. Grâce à nos calculs, nous avons pu ramener l'éventail des directions possibles à 180°. Et parmi ces directions, nous avons déterminé une zone d'une vingtaine de degrés où la présence de la planète est la plus probable. Il est toutefois utile de savoir qu'en rallongeant la série de données provenant de la sonde Cassini nous serions en mesure de réduire encore plus l'éventail des emplacements possibles de la planète 9 : par exemple en repoussant la fin de la mission, prévue en 2017, jusqu'en 2020, la fenêtre des observations serait ramenée de 180° à 120°. En outre, nous comptons également affiner nos estimations grâce aux données que va bientôt nous fournir la sonde Juno sur la position de Jupiter ; même si, en raison de sa taille et de son plus grand éloignement de la planète 9, Jupiter est moins sensible à ses perturbations gravitationnelles.

L'ÉCLIPTIQUE

Plan sur lequel orbitent les huit planètes connues du système solaire, ainsi que les astéroïdes de la ceinture principale.

Selon vous, dans quelle direction du ciel devraient regarder les astronomes amateurs qui chercheraient à découvrir la planète 9 ?

J. L. : A priori, avec une magnitude estimée à 23-24, les astronomes amateurs n'ont aucune chance d'observer la planète 9 ! La découverte, si elle a lieu un jour, ne sera possible qu'avec de grands télescopes à large champ, comme la caméra Megacam du CFH à Hawaï. **II**

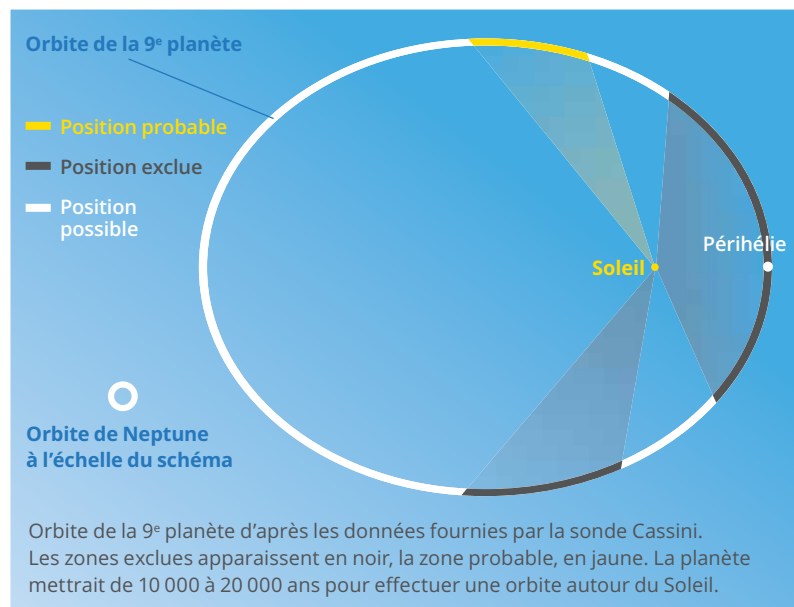
MAGNITUDE

Nombre par lequel on caractérise l'éclat apparent d'un astre.

75 mètres ! Pour tester la présence d'une neuvième planète d'une dizaine de masses terrestres, nous l'avons introduite dans le modèle dynamique INPOP en utilisant les paramètres, et les configurations possibles, suggérés par Batygin et Brown, puis nous avons recalculé les éphémérides obtenues pour Saturne dans chacune de ces configurations. En comparant ces éphémérides aux données recueillies sur la position de Saturne par la sonde Cassini depuis 2004, nous avons pu constater que certaines positions de la planète 9 augmentaient considérablement la marge d'erreur du modèle INPOP, tandis que d'autres la diminuaient. INPOP ayant démontré sa fiabilité, nous en avons déduit que la planète 9 ne peut pas se situer dans des positions augmentant significativement la marge d'erreur actuelle du modèle. Elle a en revanche une plus forte probabilité de se situer dans des zones où la présence d'une nouvelle planète diminue cette marge.

Vos résultats indiquent donc une zone où la présence de la planète est la plus probable. Par rapport aux hypothèses initiales, à quel point avez-vous réduit l'incertitude quant à la position d'une éventuelle planète 9 ?

J. L. : Notre résultat le plus solide concerne les zones d'exclusion, celles où la présence de la planète 9 est impossible



Le monde scientifique est en effervescence depuis l'annonce de l'existence possible d'une nouvelle planète dans notre système solaire. Attaché scientifique au Comité pour l'histoire du CNRS, Denis Guthleben revient sur cette annonce au regard de l'histoire de l'astronomie.

PAR DENIS GUTHLEBEN

La découverte de Neptune a suscité d'innombrables caricatures dans la presse. On voit ici l'astronome britannique J. C. Adams qui découvre l'existence de cette nouvelle planète dans le rapport de Le Verrier.

Quand la découverte précède l'observation

“ Les amateurs de frissons le savent – et les autres trouveront eux-mêmes la référence : « *Dans l'espace, personne ne vous entend crier.* » Pourtant, une nouvelle y fait en ce moment grand bruit : la découverte d'une planète. Et pas n'importe où ! Là, juste devant nous, au seuil de notre porte, dans le système solaire. C'est l'ébullition au sein de la communauté savante, l'effervescence parmi les passionnés, la frénésie dans le public, l'hystérie générale ! Et chacun de contempler avec ivresse ce firmament qui continue de ne livrer qu'au compte-gouttes ses insondables mystères...

Une deuxième... neuvième planète ?

Bien, et maintenant on se calme et on reprend au début. D'abord, « découverte » est un grand mot. Cette planète, personne ne l'a observée. Il s'agit, pour l'heure encore, d'une supposition découlant des calculs d'une équipe de chercheurs américains du Caltech, dont l'article est paru en janvier dans *The Astronomical Journal*. Une supposition appuyée un mois plus tard, cette fois par une équipe de chercheurs français (*lire pp. 18-19*). Car c'est bien cela, la science : elle ne pond pas des certitudes absolues tous les quatre matins, mais elle émet des hypothèses, les compare, les analyse, les vérifie, les valide ou les rejette. Ensuite, rappelons-le, on nous l'a déjà fait une fois, le coup de la neuvième planète ! Elle s'appelait Pluton et était entrée par la grande porte du système solaire en 1930. Aujourd'hui, elle s'appelle toujours Pluton, mais elle a gentiment été accompagnée sur le perron par une résolution de l'Union astronomique

internationale qui, en 2006, l'a reléguée au rang de « naine ». Alors, avant de scruter fébrilement le ciel, commençons par jeter un œil dans le rétroviseur...

Associer les planètes à des dieux : une habitude

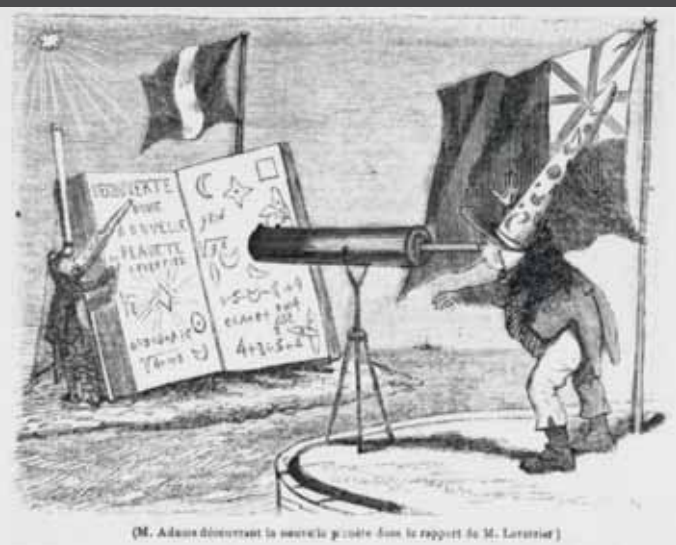
L'œil, justement. Il s'agit du premier instrument des astronomes. Il leur a permis d'apercevoir, depuis des temps lointains, cinq des planètes du système solaire : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Avec plus ou moins de facilité quand même : Jupiter, la plus grosse, est très brillante et aisément observable ; mais, pour voir à l'œil nu Mercure, c'est une autre paire de manches. Une précision, au passage, sur les noms forgés au cours de ces « temps lointains » : associer les planètes à des dieux est devenu très tôt une habitude. Or il va sans dire que les Mésopotamiens ne parlaient pas de « Jupiter » mais de « l'astre de Mardouk », la divinité tutélaire de Babylone ; que Vénus, pour eux, était « l'astre d'Ishtar », leur déesse de l'amour ; et ainsi de suite pour Mars (« Nergal »), Saturne (« Ninib ») et Mercure (« Nabû », à prononcer « Nabou » comme dans *Star Wars...* et tant pis pour ceux qui ne suivent déjà plus !). Idem pour les Grecs, avec dans le même ordre les astres de Zeus, d'Aphrodite, d'Arès, de Kronos et d'Hermès. Et donc idem aussi pour les Romains, qui nous ont laissé leurs appellations en héritage. Un legs que nous, insipides et misérables monothéistes en panne d'inspiration, n'avons pu qu'imiter à mesure de la découverte de nouvelles planètes...

Au XVIII^e siècle, le système solaire compte 7 planètes

En commençant par Uranus, la première nouvelle venue. L'astre est mis au jour par William Herschel, qui croit tout d'abord observer une comète, en 1781. Treize siècles après la décomposition de l'Empire romain... On comprend mieux pourquoi la découverte d'une nouvelle planète provoque toujours son petit effet : l'événement n'est pas très courant ! C'est qu'il a aussi fallu, chemin faisant, un petit coup de pouce de l'instrumentation : la lunette



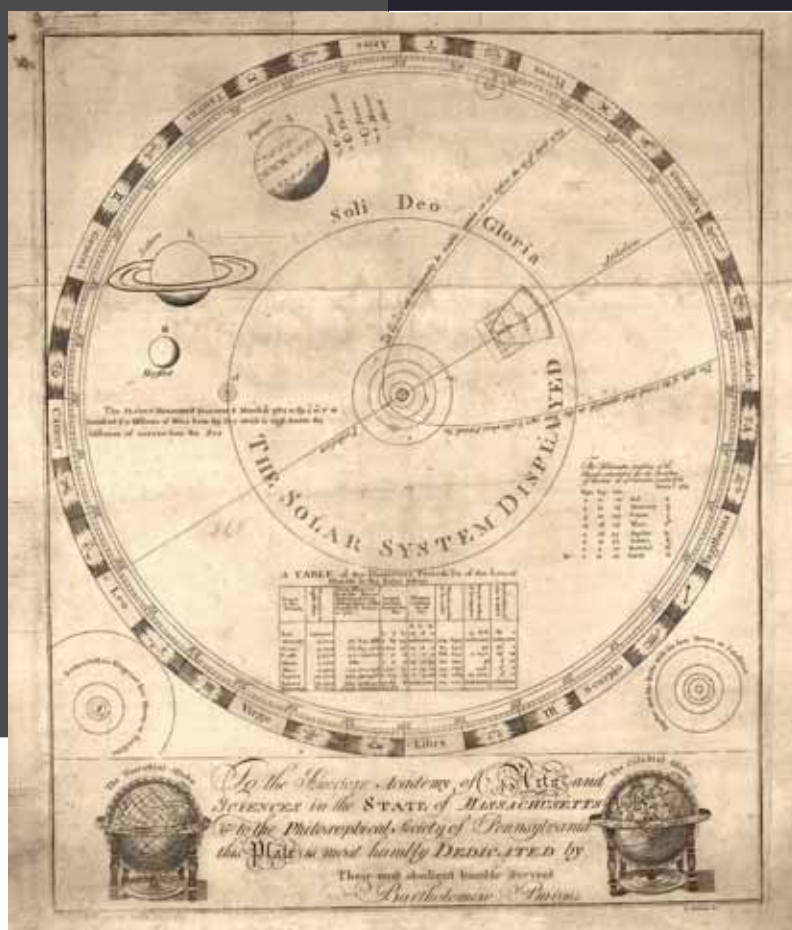
Urbain Le Verrier reçu par le roi Louis-Philippe après sa découverte de la planète Neptune en 1846.



(M. Adams déterminant la source géométrique dans le rapport de M. Lalande)

© OBSERVATOIRE DE PARIS

Sur cette représentation du système solaire datant du XVIII^e siècle figurent les orbites des planètes connues, une table de données planétaires, les signes du zodiaque ainsi qu'une note sur Uranus.



© LIBRARY OF CONGRESS, GEOGRAPHY AND MAP DIVISION/PSL

astronomique puis le télescope sont passés par là. Le rôle précurseur de Galilée nous incite à lui rendre hommage, surtout en cette année 2016 qui marque le 400^e anniversaire de son premier procès. Toujours est-il que, au soir des Lumières, le système solaire compte sept planètes, avec la nôtre, et voit ses dimensions étendues – l'orbite d'Uranus étant deux fois supérieure à celle de Saturne.

Une autre précision avant de poursuivre : on lit souvent que la découverte d'Uranus a été le fruit du « hasard ». Certes, Herschel ne cherchait pas cet objet au moment de son observation. Mais il ne faut pas pour autant y voir un imprévu furtif : le savant s'était lancé depuis plusieurs années dans une vaste entreprise de recension des objets célestes. Bref, ce hasard-là est tout de même né d'une inépuisable curiosité intellectuelle. C'est cela aussi, la science...

Uranus ne devrait pas se trouver là où elle est !

Et c'est un peu plus encore, car les développements qu'elle a connus – disons, pour simplifier, de Newton à Laplace – offrent des capacités de prédiction qui conduisent, 65 ans plus tard, à la découverte d'une nouvelle planète dans le système solaire : Neptune. Pour la première fois, cette découverte précède l'observation elle-même. Cela appelle quelques explications. Dans son *Traité de mécanique céleste*, Laplace livre l'expression mathématique des perturbations qu'exercent les planètes en raison de leur attraction gravitationnelle. De doctes calculs, réalisés par le Bureau des longitudes mis en place par la Convention, permettent ensuite d'établir leur position au cours du temps. À partir du début des années 1820, l'un des membres du Bureau, Alexis Bouvard, s'attelle aux tables de Jupiter, de Saturne et d'Uranus. Pour les deux premières, tout est pour le mieux dans le meilleur des univers. Pour la troisième, en revanche, rien ne va plus : Uranus ne devrait tout simplement pas se trouver là où elle est ! Mais allez donc faire comprendre à une planète géante qu'elle ne respecte pas les calculs des savants français...

Quand le sage montre la Lune...

« Si les faits ne correspondent pas à la théorie, changez les faits », conseillera Einstein un siècle plus tard. Sans l'attendre, les scientifiques s'y emploient. Le fait nouveau qui viendrait confirmer la théorie ne résiderait-il pas dans l'existence d'un corps inconnu perturbant le mouvement d'Uranus ? Un jeune astronome, Urbain Le Verrier, le démontre en 1846. En quelques mois, il parvient à calculer la masse et l'orbite de cette planète dite troublante. Dans la foulée, elle est observée à Berlin. Le directeur de l'Observatoire de Paris, François Arago, rend alors à l'Académie des sciences un bel hommage au découvreur : « M. Le Verrier a aperçu le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel ; il l'a vu au bout de sa plume. » On savait la plume plus forte que l'épée. Désormais, on la découvre meilleure que l'œil et le télescope réunis. Et, en attendant la confirmation de la réalité ou de l'inexistence de notre deuxième neuvième planète, on peut aussi nuancer un vieil adage : quand le sage montre la Lune, il n'est pas forcément idiot de regarder aussi son doigt... ||

En 1846, un jeune astronome, Urbain Le Verrier, calcule la masse et l'orbite de Neptune avant son observation.



1

Érosion : quand la côte recule

TERRE

Environnement. Le littoral aquitain avec ses 230 kilomètres de plages de sable est un environnement fragile en mutation constante. Une équipe du laboratoire Environnements et paléoenvironnements océaniques et continentaux (EpoC)¹ tente de mieux comprendre les évolutions du trait de côte de ce littoral et le phénomène d'érosion dont il est l'objet.

TEXTE CYRIL FRÉSILLON

PHOTOS CYRIL FRÉSILLON/EPOC/CNRS PHOTOTHÈQUE ;
CYRIL FRÉSILLON/LEGI/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Unité CNRS/Univ. de Bordeaux/EPHE/OASU.

1. Sur la plage sud de Biscarrosse, située à une dizaine de kilomètres de l'embouchure du bassin d'Arcachon, des enrochements ont été mis en place pour contenir l'érosion de la côte. Mais ce dispositif, qui ne couvre qu'une partie seulement de la plage, aurait pour effet d'aggraver l'érosion sur ses côtés.

2. À l'entrée de la plage, un panneau alerte sur le risque d'effondrement des dunes. Depuis 2007, les chercheurs tentent de quantifier les apports de sédiments qui fluctuent en fonction des saisons. Leur objectif est d'anticiper les évolutions sédimentaires des plages de la région pour protéger le littoral de l'érosion.



2

© PHOTOS : C. FRÉSILLON/EPOC/CNRS PHOTOTHÈQUE

3. En 2000, la municipalité de Biscarrosse a installé des sacs remplis de sable pour protéger la dune. Efficaces jusqu'à l'hiver 2014, ils ont été rendus inopérants par des tempêtes successives particulièrement violentes.

4. Au début du xx^e siècle déjà, des « piscines de protection » avaient été creusées au nord de Soulac-sur-Mer, une commune située à 20 kilomètres au sud de l'estuaire de la Gironde, pour retenir les sédiments.



5. Les habitants du Signal, immeuble emblématique de Soulac-sur-Mer, ont été expulsés par arrêté préfectoral en janvier 2014. En cause : l'avancée dangereuse de la mer qui menace l'édifice. Lors de sa construction, en 1967, l'immeuble se situait à 200 mètres de l'océan.

4



6. et 7. Tous les quinze jours, pendant la marée basse, Stéphane Bujan, du laboratoire Epoc, effectue un relevé GPS du bas de la plage de Truc-Vert jusqu'au trait de côte. Située loin de l'embouchure du bassin d'Arcachon et de l'estuaire de la Gironde, cette plage n'est touchée ni par leurs dépôts sédimentaires ni par les activités humaines. C'est

pourquoi, depuis 1995, les chercheurs mesurent régulièrement son altitude. Au sommet de la dune, une antenne GPS fixe sert de point de référence pour les mesures mobiles. Les informations récoltées alimentent la base de données du Service national d'observation de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS.



6

7



© PHOTOS : C. FRÉLILLON/EP0C/CNRS PHOTO THÉRIQUE

8. En collaboration avec le Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels², à Grenoble, les chercheurs utilisent un canal à houle de 36 mètres de long pour recréer artificiellement la morphologie d'une plage, le mouvement des vagues et des sédiments.

2. Unité CNRS/UGA/Grenoble INP.



9. Tous les paramètres de ce canal à houle peuvent être contrôlés. Un modèle de simulation numérique de l'érosion des plages est ainsi obtenu et comparé aux données acquises sur le terrain.

Grâce à l'expertise des chercheurs, les pouvoirs publics devraient être à même d'anticiper les évolutions sédimentaires des plages de sable et de prendre des mesures de protection du littoral contre l'érosion.



9

© PHOTOS : C. FRÉLILLON/LEGI/CNRS PHOTOTHÈQUE



Visionner l'intégralité du diaporama
sur lejournal.cnrs.fr



*“L’imaginaire,
un élément fondamental
de la vie sociale”*



SOCIÉTÉS

Entretien. Médaille d'or du CNRS en 2001, Maurice Godelier, 82 ans, est l'un des anthropologues les plus reconnus dans le monde. Rencontre avec un penseur passionné par l'humain, à l'occasion de la sortie de son dernier essai.

PROPOS RECUEILLIS PAR STÉPHANIE ARC

Au tout début de *L'Imaginé, l'Imaginaire et le Symbolique*¹, votre dernier essai, vous écrivez que « tout ce qui est imaginé n'est pas imaginaire ».

Faut-il voir là l'origine de votre réflexion ?

Maurice Godelier : Oui, c'est l'un des points de départ de mon analyse. Au cours de ma carrière d'anthropologue, j'ai fréquenté un grand nombre de sociétés différentes, tribales ou non, et j'ai pu constater que, partout, des mondes imaginaires tels que les mythes donnent naissance à des réalités sociales concrètes. Qu'ils soient au fondement des religions ou des systèmes politiques, ces mythes sont transformés par les hommes en monuments, en rites, en institutions, en rapports entre les individus... Autrement dit, les conséquences de ces représentations ne sont jamais imaginaires, ni seulement symboliques. Je pourrais l'illustrer dans toutes les sociétés. Dans les États islamiques (Iran, Arabie Saoudite, etc.), les lois sont fondées sur la charia, loi divine telle qu'on la lit dans le Coran et que l'on doit respecter avant même de l'interpréter ; les rois et chefs d'État ne gouvernent qu'en accord avec ces préceptes. Autre exemple, même phénomène : dans certaines tribus, comme chez les Baruya de Nouvelle-Guinée, la propriété par certains clans d'objets sacrés et de formules qui en mettent en œuvre les pouvoirs élèvent ces clans au-dessus des autres. L'imaginaire politico-religieux engendre, en se transformant, le cadre de la vie ordinaire des gens au sein de leur société. Pourtant, cette dimension (« tout ce qui est imaginé n'est pas imaginaire ») n'avait été, à ma connaissance, évoquée ni par les anthropologues ni par les philosophes. Si Sartre traite de l'imaginaire artistique dans son livre *L'Imaginaire* (1940), il ne fait étrangement aucune mention de l'imaginaire des religions et des systèmes politiques. Un imaginaire qui s'avère pourtant fondamental : parce que la religion donne des réponses globales à des questions existentielles (« D'où venons-nous ? », « Qui sommes-nous ? », « Où allons-nous ? »), elle est « contagieuse ». En tout cas plus que la science qui, elle, apporte des réponses partielles et formule de nouvelles questions à chaque nouvelle réponse...



L'Imaginé, l'Imaginaire et le Symbolique, Maurice Godelier, CNRS Éditions, novembre 2015, 286 p., 19 €

En lien avec l'imaginaire et l'imaginé, vous évoquez le symbolique. En quoi ce concept était-il important dans votre réflexion ?

M. G. : D'abord, j'en avais assez que cette notion soit utilisée à tort et à travers par les philosophes et les anthropologues. J'ai donc eu à cœur de redéfinir clairement pour moi-même cette fonction, qui est capitale : elle est en effet la source de toutes les formes possibles qui permettent aux humains de signifier ce qu'ils pensent et font, ou ce qu'ils ne pensent pas et ne font pas. Cette capacité par laquelle nous produisons et comprenons des signes qui font sens est d'ailleurs chez nous génétiquement programmée ; de même, la capacité d'apprendre un langage articulé est inscrite dans notre code génétique et dispose d'une base neuronale propre. Le symbolique est donc partout : dans le langage bien sûr, car les mots sont des symboles (ils renvoient à autre chose qu'eux-mêmes), mais aussi dans toute forme d'activité et de pensée humaine, bien que le contenu et le rôle des symboles diffèrent selon qu'il s'agisse des mathématiques, de l'art, de la religion... Ce qui est sûr, c'est qu'il ne peut exister de religion, de régime de pouvoir ou de rapports de parenté sans le support d'éléments symboliques. Pas de système politique sans palais ou grande case du chef, sans hymne national ou Constitution, pas de religion sans lieux de culte, sans prières ou invocations, sans icônes ou masques sacrés, destinés non pas à représenter les dieux ou les esprits, mais bien à les rendre présents, et donc réels. À ce titre, le symbolique est indissociable du réel, de l'imaginaire et de l'imaginé, et c'est pourquoi il est important de penser ces notions ensemble.

En cela, vous vous distinguez de la pensée de l'anthropologue Claude Lévi-Strauss², selon lequel « le réel, le symbolique et l'imaginaire » sont « trois ordres séparés » ?

M. G. : Précisément. J'ai tenu à montrer que, si ces composantes sont évidemment distinctes, elles sont bel et bien inséparables. J'ai également prolongé sa pensée en ...

1. *L'Imaginé, l'Imaginaire et le Symbolique*, CNRS Éditions, 2015. 2. Lévi-Strauss, Maurice Godelier, Seuil, 2013.

... montrant que tous les rapports sociaux contiennent des noyaux imaginaires. C'est ainsi le cas des rapports de parenté. Lévi-Strauss a permis un progrès considérable en découvrant les logiques universelles qui organisent la parenté : les principes de descendance (à qui appartiennent les enfants qui naissent des alliances ?), les règles de mariage (avec qui suis-je autorisé à me marier ?) et la prohibition de l'inceste. Mais il n'a pas commenté le fait que ces principes de descendance sont totalement contre-intuitifs : affirmer que les humains « descendent » les uns des autres par les hommes seulement (modes patrilineaires) ou par les femmes seulement (modes matrilineaires) est purement imaginaire. Or ces postulats sont fondamentaux en ce qu'ils créent et organisent des groupes et des rapports sociaux tels les clans, les lignages, etc. : ils déterminent par exemple l'appropriation des enfants qui naissent des unions, ou les droits et devoirs des parents selon qu'ils sont du côté du père ou de la mère.

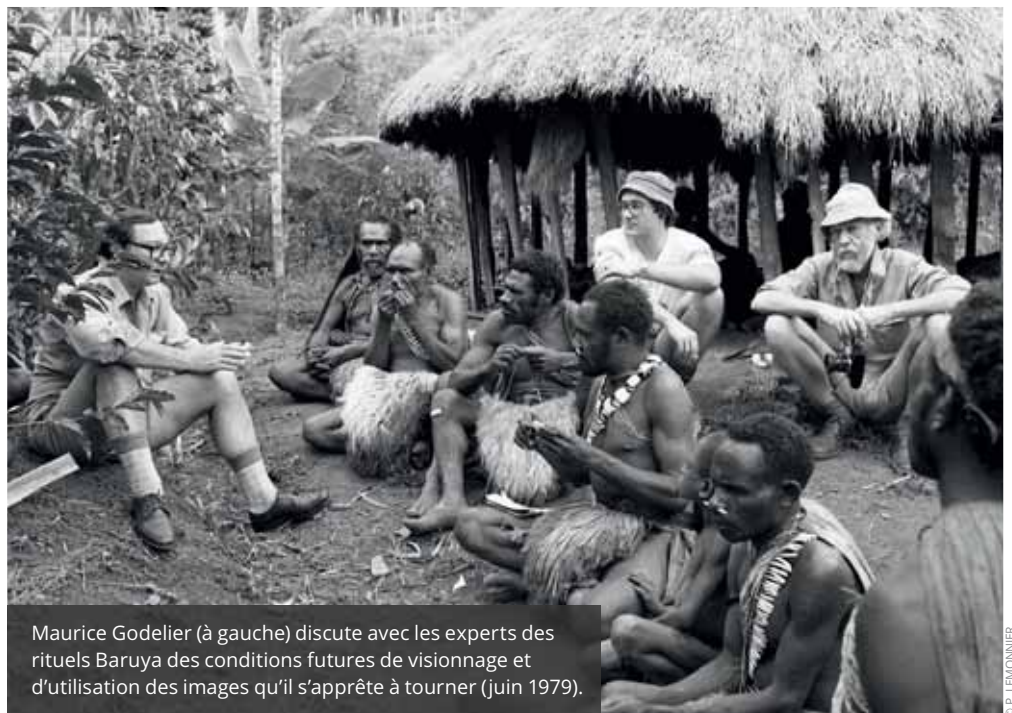
En révélant ces « noyaux imaginaires » au cœur des rapports sociaux, votre travail permet-il de dévoiler « l'origine de l'inégalité parmi les hommes » ?

M. G. : En quelque sorte, d'où l'intérêt d'examiner avec les archéologues et les historiens la naissance des premières formes d'État. D'abord, je pense qu'il n'y a pas de domination d'une minorité des individus sur les autres sans recours à la violence, même s'il ne s'agit que d'une menace potentielle. Ensuite, je formule l'hypothèse que cette violence, aussi importante soit-elle, a moins pesé que l'imaginaire collectif dans ces processus historiques qui ont pu susciter des raisons de consentir, d'accepter ces pouvoirs. Il faut en effet rappeler que, pendant des millénaires, de l'Orient à l'Occident, les formes de pouvoir politique étaient liées, voire fusionnées, à la religion, et elles le sont encore dans un grand nombre de pays. Ce sont les mythes et les croyances qui expliquaient et légitimaient l'autorité exercée par quelques hommes, descendants des dieux ou dieux eux-mêmes, sur les autres : dans le corps et la personne de certains humains se trouvaient présents des pouvoirs qui, du moins le croyait-on, étaient utiles aux intérêts de tous. Il est donc légitime de servir ceux

qui servent le reste des humains. Conclusion : il n'y a pas de rapports de domination sans une combinaison de violence et de consentement. Dans l'Égypte ancienne, par exemple, selon la philosophie pharaonique, le Pharaon, dieu parmi les hommes, dispensait le souffle vital, le Kha, aux êtres vivants, humains et animaux ; tous lui étaient donc en dette de leur vie et lui devaient obéissance totale, les produits de leur travail et leur vie même. En retour, le Pharaon était censé leur garantir prospérité, justice et victoire contre les ennemis. Ni plus ni moins que ce que promettent actuellement les discours de nos dirigeants politiques qui évoquent le plein-emploi, la justice sociale et la sécurité...

Vous montrez par ailleurs que deux logiques différentes, apparemment contradictoires, coexistent dans l'esprit humain...

M. G. : En effet, après avoir opéré une distinction entre l'imaginé qui est imaginaire et l'imaginé qui ne l'est pas, je souhaitais analyser comment et pourquoi dans certains domaines la pensée les produit. Autrement dit, comment fonctionnent ces deux logiques de l'esprit humain, qui sont des invariants fondamentaux : l'une qui distingue le possible de l'impossible et l'autre qui rend possible l'impossible, voire où l'impossible rend compte du possible. La première logique se manifeste dans deux types d'activités universelles : le jeu et l'art. Dès 2 ans, l'enfant se met à jouer en sachant qu'il joue : en imitant



Maurice Godelier (à gauche) discute avec les experts des rituels Baruya des conditions futures de visionnage et d'utilisation des images qu'il s'approprié à tourner (juin 1979).

3. *La Mort et ses Au-delà*, CNRS Éditions, 2014.
4. *Métamorphoses de la parenté*, Fayard, 2004.

des situations réelles, il invente un monde imaginaire auquel il « fait semblant » de croire. À tout âge, pour jouer (au poker, au tennis...), il faut inventer un contexte distinct du quotidien, un espace-temps « irréel », qui demeure encadré par le réel de la vie sociale : après la partie, chacun retourne à ses obligations. L'imaginé du jeu est ainsi confronté à une réalité qui n'est pas la sienne et qui détermine les frontières entre le possible et l'impossible. De la même façon, dans le domaine de l'art, qu'il s'agisse d'un roman ou d'un tableau, une œuvre offre un monde virtuel temporaire, qui est et ne peut être autre chose qu'irréel. Nul ne croit ainsi que *La Joconde* va descendre de son tableau... Toutefois, dans la seconde logique, celle des mythes fondateurs des systèmes religieux et politiques, ce qui est imaginé n'est jamais pensé ni vécu comme imaginaire par ceux qui y croient. Cet imaginé-là est même sur-réel : plus réel que les réalités quotidiennes. Et cela tient à la croyance. Croire, c'est poser une idée ou un jugement comme vrais, même si l'on a des preuves du contraire ou que l'on n'a aucune preuve...

L'imaginaire politico-religieux engendre le cadre de la vie ordinaire des gens au sein de leur société.

Ce vingt-deuxième ouvrage, qui évoque un certain nombre de conclusions de vos travaux précédents, s'apparente-t-il à une synthèse de votre œuvre ?

M. G. : Plus exactement, j'ai voulu faire le point pour moi-même sur les questions difficiles que nous avons mentionnées en mobilisant mes connaissances anthropologiques et historiques. J'ai ainsi renoué avec plaisir avec la philosophie, dont je suis agrégé, et avec la psychologie, des disciplines que j'ai longtemps laissées de côté car le travail d'anthropologue implique avant tout d'écouter les autres et de se décentrer de soi-même. Pour mettre en évidence l'imaginaire des religions, je me suis par exemple servi des conclusions de ma précédente étude sur les représentations de la mort³. À l'occasion de cette recherche, j'avais demandé à treize de mes collègues, historiens et anthropologues, d'évoquer la mort dans leur domaine de connaissance (à Rome et dans la Grèce antique, au Moyen Âge chrétien, dans la Chine et l'Inde contemporaines ou chez les aborigènes d'Australie), c'est-à-dire à plusieurs époques et dans différentes sociétés (société à État ou tribale, société antique/médiévale...). Et en comparant ces représentations, j'ai constaté que toutes les religions, qu'elles soient polythéistes ou monothéistes, considèrent qu'il y a une vie après la mort. J'en ai donc déduit que, dans toutes les religions, la mort ne s'oppose pas à la vie, mais bien qu'elle s'oppose à la



Maurice Godelier a côtoyé pendant sept ans les Baruya de Nouvelle-Guinée.

© ARCHIVES MAURICE GODELIER

naissance. La mort consiste en la disjonction des éléments, le corps et l'âme/l'esprit/les esprits, que la naissance a réunis. Outre cet invariant universel, j'ai isolé une distinction fondamentale entre les religions selon qu'elles postulent ou non l'existence d'un jugement des humains après leur mort. En effet, dans les sociétés tribales qui n'ont pas été christianisées ou islamisées, tous les humains jouissent après la mort de la même vie (sans travail, sans maladie...), quels que soient les actes qu'ils ont commis au cours de leur existence, tandis que, dans les religions monothéistes (christianisme, judaïsme, islam), ainsi que dans l'hindouisme et le bouddhisme, ils sont jugés après leur mort respectivement selon leurs vices et vertus ou selon leurs mérites et démérites. Une autre distinction intervient alors entre les religions monothéistes, selon lesquelles les êtres peuvent être sauvés du péché (religions du salut), et les religions dans lesquelles les êtres peuvent être délivrés des douleurs de la vie (religions de la délivrance), lorsqu'ils parviennent à sortir de la « roue des renaissances ». Dans l'hindouisme, l'individu devient alors un ancêtre et vit auprès des dieux, dans le bouddhisme, il disparaît, s'éteint dans le nirvana.

Vous êtes régulièrement sollicité par les médias pour vos travaux sur la parenté, notamment lorsqu'il est question du mariage pour tous ou d'homoparentalité... Quel éclairage l'anthropologie peut-elle apporter sur ces sujets ?

M. G. : En comparant un très grand nombre de données sur les systèmes de parenté⁴, j'ai pu démontrer une chose fondamentale : nulle part, la famille et les rapports de parenté ne constituent le fondement de la société. Et, contrairement à ce que pensait Lévi-Strauss, cela vaut aussi pour les sociétés dites primitives (parce que sans classes, sans État), où tous les groupes de parenté se plient à certains phénomènes collectifs, tels que les initiations. Mais parce que cet invariant contredit une pseudo-évidence scientifique qui conforte une croyance populaire, il a déplu à certains anthropologues, comme aux chantres de la famille « traditionnelle ». Mais alors qu'est-ce qui fait société, si ce n'est la parenté ? Ce sont les rapports politico-religieux, parce qu'ils établissent la souveraineté de groupes, castes ou autres, sur un territoire, sur ses ressources et sur ses ...



© F. PLASCHINS PHOTO THÉÂTRE

... habitants. Certes, la famille est bien le fondement de l'identité et de la formation premières des individus, il ne s'agit pas de le contester. Mais quelles sont les fonctions de la parentalité ? Donner un nom à l'enfant qui, sans cela, n'existe pas ; nourrir l'enfant pour qu'il survive, lui apprendre à marcher, à parler... ; lui apporter le *care* : protection, amour et soin. Et cela, tous les couples de parents, homos ou hétéros, non contents de pouvoir le faire, y sont obligés par la loi. De plus, lorsque l'on étudie l'évolution des formes de parenté contemporaines des sociétés occidentales, on confirme qu'il est absurde de se scandaliser : la famille change sans que la société ne disparaisse...

Dans *L'Énigme du don*⁵, vous avez attiré l'attention sur une catégorie d'objets qui avait échappé à Marcel Mauss et à Claude Lévi-Strauss...

M. G. : En effet, j'ai montré que l'on peut distinguer trois catégories d'objets dans toute société, et non deux seulement : les objets que l'on vend, qui se détachent complètement de leur vendeur, et sont donc aliénables et aliénés ; les objets que l'on donne, qui restent inaliénés dans la mesure où quelque chose de leur donateur reste attaché à eux, créant pour celui qui les reçoit l'obligation de donner en retour ; et, enfin, les objets que l'on ne peut ni vendre ni donner, mais que l'on doit conserver pour les transmettre. Cette dernière catégorie, qui n'avait pas été théorisée comme telle par les anthropologues, désigne les objets sacrés, qu'il s'agisse d'objets religieux ou bien de la Constitution des régimes démocratiques par exemple. Ces objets sont d'autant plus importants qu'ils constituent les supports du système social, et même des identités des individus qui en sont membres.

Synthèse de vos sept ans de terrain chez les Baruya, *La Production des grands hommes*⁶, récompensé par l'Académie française en 1982, déconstruit les mécanismes d'un système de domination masculine particulièrement affirmée. Pouvez-vous revenir sur cet apport majeur pour l'anthropologie ?

M. G. : En tout, je suis resté sept ans chez les Baruya, à partir de 1967, et j'ai pu faire un terrain dans une société où les structures sociales anciennes étaient encore en

La croyance est un phénomène difficile à déraciner, si ce n'est indéracinable.

place. Ce fut une immense chance ! Dans cette étude, j'ai montré que, même dans les sociétés sans castes et sans classes, il y a domination masculine. J'ai mis en évidence une série de représentations et de pratiques destinées à construire la domination des hommes sur les femmes et sur les jeunes, clé de l'organisation sociale. Certains rituels servent en effet à « empêcher » les femmes de « récupérer leurs pouvoirs premiers » car, selon les mythes des Baruya, elles étaient à l'origine plus puissantes que les hommes : outre le fait qu'elles ont la capacité d'enfanter, ce sont elles qui ont inventé les arcs, les vêtements, les flûtes... – nous dirions la « culture » ; les hommes leur ont donc « volé leurs pouvoirs » et font en sorte de les conserver... Ils affirment ainsi que l'utérus n'est qu'un sac où l'homme dépose son sperme et conçoit les enfants avec l'aide du soleil. Les initiations masculines sont destinées à « réenfanter » les garçons, mais hors du ventre de leur mère. De jeunes hommes supposés

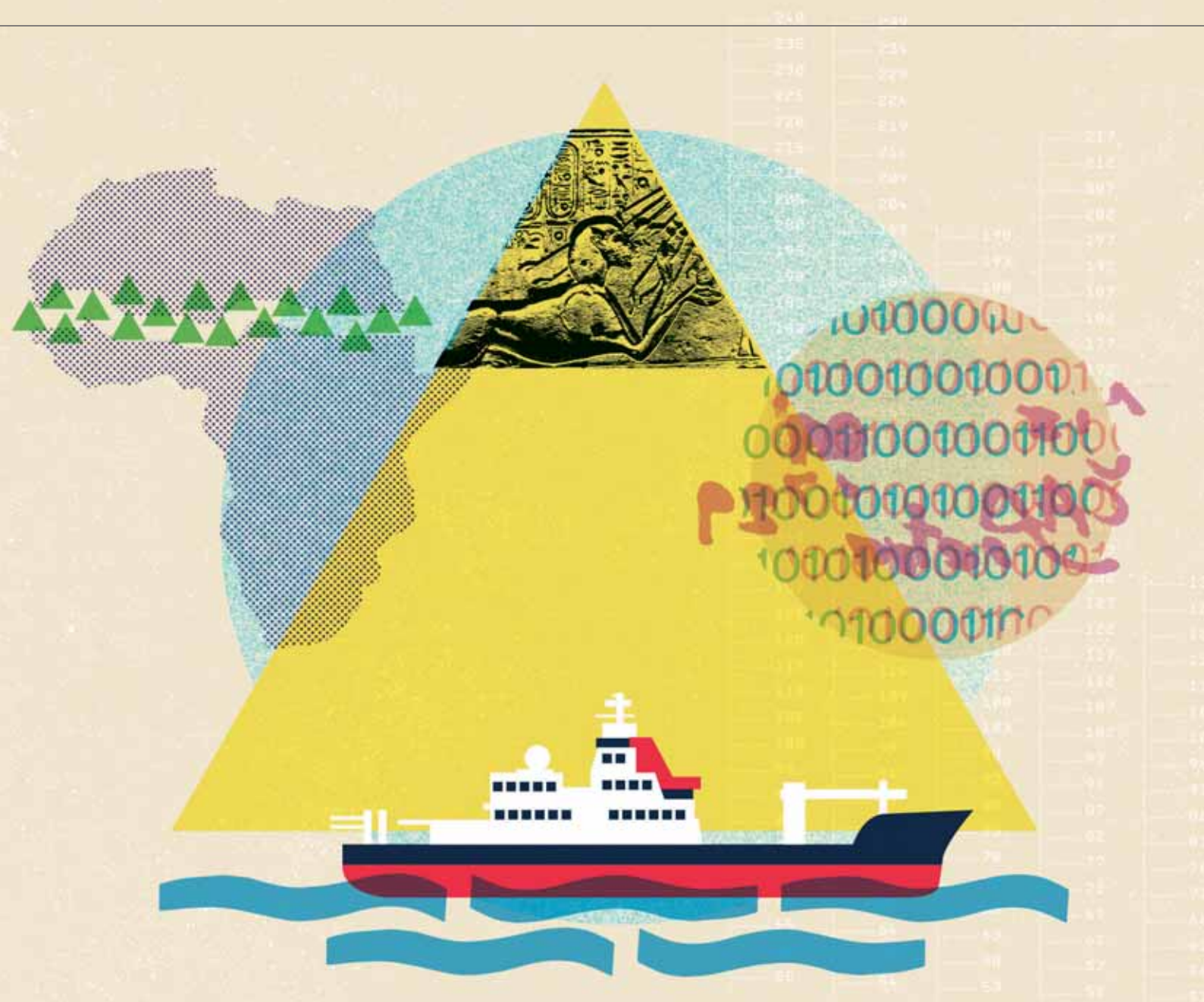
vierges de tout rapport sexuel avec une femme inséminant par fellation les initiés. Dans une telle société, dite patrilinéaire, les femmes n'héritent pas de la terre et ne peuvent pas porter les armes, instruments nécessaires du pouvoir. Ce sont là les véritables enjeux et ils ne sont pas imaginaires.

« L'humanité pourra-t-elle un jour cesser d'inventer des mondes qui n'existent pas pour créer des mondes où elle continuera d'exister ? », vous demandez-vous à la fin de votre dernier livre...

M. G. : J'ai bien peur que ma réponse soit négative et que ni vous ni moi ne connaissions un jour le paradis sur terre, un monde libéré de la violence, des inégalités... Les régimes sociaux inégalitaires ne peuvent pas exister sans des légitimations imaginaires, mais on ne peut pas dissiper simplement les croyances, tout comme le vent chasse les nuages. La croyance est un phénomène difficile à déraciner, si ce n'est indéracinable. Toutefois, le rôle de la formation et de l'éducation des individus est fondamental. L'école peut permettre d'interroger les idées que l'on tient pour vraies. Si la raison scientifique n'est pas contagieuse, elle apprend aux individus à prendre une distance critique, avant de se tuer entre eux. La pratique de la critique (retourner à la racine, comprendre les enjeux avoués et inavoués d'un système) donne des citoyens plus conscients de la vie, de leur responsabilité, de leur conduite. ■

5. *L'Énigme du don*, Fayard, 1996. 6. *La Production des grands hommes. Pouvoir et domination masculine chez les Baruya de Nouvelle-Guinée*, Fayard, 1982.

EN ACTION



*Verdir le Sahel, explorer les océans
sur un bateau refait à neuf,
décortiquer les virus informatiques
et vulgariser la science sur Internet.*

ILLUSTRATION : MARCUS WALTERS/TALKIE WALKIE

VIVANT 

Environnement. Rencontre avec la chercheuse Deborah Goffner, à l'origine du projet « Future Sahel ». Ce projet s'inscrit dans le cadre de la Grande Muraille verte, qui a pour vocation de lutter contre la désertification de la zone saharo-sahélienne.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOUISE LIS

Un futur plus vert pour le Sahel

Voici quelques années encore, l'univers scientifique de Deborah Goffner tenait entre blouse blanche et pipettes. En 2012, cette directrice de recherche au CNRS¹ décide, sans que rien ni personne ne l'y oblige, d'opérer un revirement spectaculaire dans sa carrière : après des années de travail, fécondes et reconnues, en biologie moléculaire végétale, elle se risque sur le terrain de l'écologie végétale. Quatre ans après cette rencontre, cette souriante quinquagénaire, entourée d'une équipe de onze scientifiques aux spécialités multiples, preuves vivantes du caractère interdisciplinaire de la démarche, est à la tête d'un projet de recherche financé à hauteur de plus de 280 000 euros par l'Agence nationale de la recherche (ANR). Petite anecdote, elle assure que cette rencontre « doit tout » à *CNRS Le journal*, dans lequel elle a découvert l'existence des Observatoires hommes-milieus internationaux (OHM.I), dont celui de Téssékéré (Sénégal), dirigé par l'anthropologue Gilles Boëtsch depuis sa création.

Le nom de baptême du projet de recherche, « Future Sahel », donne la mesure de son ambition. Il englobe et dépasse les travaux engagés dans le cadre de l'OHM.I, né en 2009 en corrélation avec le projet panafricain de la Grande Muraille verte (GMV). Lancée par onze chefs d'État du continent

africain, l'idée d'une Grande Muraille verte traversant l'Afrique du Sénégal à Djibouti et visant à lutter contre la désertification du Sahel progresse à pas lents. De tous les pays concernés, le Sénégal est sans conteste l'un des pays les plus moteurs. La force et la nouveauté de Future Sahel sont d'impliquer à la fois l'Unité mixte internationale du CNRS (ESS)¹ implantée à l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, pilier de l'OHM.I, et les promoteurs politiques de



la Grande Muraille verte, dont l'Agence nationale de la GMV au Sénégal, qui figure à part entière parmi les partenaires du projet ANR. « *Future Sahel ambitionne de fournir des connaissances conceptuelles et expérimentales, un apport qui puisse servir au bien-être des populations sahéniennes grâce au vecteur de transformation que représente la Grande Muraille verte* », résume Deborah Goffner.

Outre l'expertise basée en Afrique, dont celle, majeure, d'Aliou Guissé, professeur en écologie végétale et codirecteur de l'OHM.I Téssékéré, la chercheuse s'est adjoint les compétences de deux scientifiques dont les domaines d'expertise donneront une dimension nouvelle aux travaux engagés jusqu'à présent autour de la GMV : le géographe Jean-Luc Peiry, qui dirige le Laboratoire de géographie physique et environnementale², et l'écologue Line Gordon, du Centre de résilience de l'université de Stockholm, dont les travaux portent précisément sur la résilience des écosystèmes grâce à une gestion durable des ressources naturelles. Line Gordon fera bénéficier de son expérience menée au Sud Niger, en Tanzanie ou encore en Afrique du Sud. En outre, cette alliance avec Stockholm a le mérite de réunir en un même projet les terrains scientifiques de Deborah Goffner qui, de fait, partage sa vie entre le Sénégal et la Suède.

Cette aventure scientifique a commencé en février dernier par une expédition inédite : la traversée d'ouest en est du Sénégal en suivant le tracé de la GMV. Un *road trip* de dix jours mené à six chercheurs avec GPS, boîtes de conserve, café soluble à gogo et logement chez l'habitant ou dans les « bases » du service des eaux et forêts du Sénégal. Une « mission exploratoire » dont Deborah

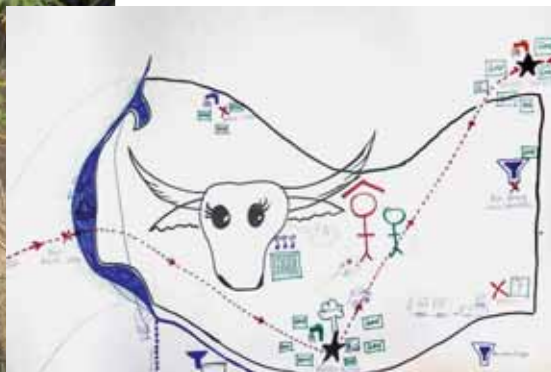
Les OHM

Initiés par l'Institut écologie et environnement du CNRS (Inee), les Observatoires hommes-milieus ont pour vocation d'étudier les conséquences d'actions anthropiques importantes sur les écosystèmes et sur les populations.

1. Unité mixte internationale Environnement, santé, sociétés (CNRS/CNRS/UCAD/UGB/USTTB). 2. Unité CNRS/Univ. Blaise Pascal Clermont-Ferrand/Univ. de Limoges.



► Deborah Goffner discute avec le capitaine Sall, agent des eaux et forêts du Sénégal, dans la pépinière de Ranéro.



▲ Les chercheurs dessinent sur des cartes les systèmes socio-écologiques présents sur le tracé de la GMV suivant des légendes imaginées au fil de leur parcours.



Goffner et ses compagnons de science se souviendront probablement comme le coup d'envoi du projet véritablement intitulé : « Approches multi-échelles pour un meilleur management des ressources au Sahel, dans le contexte de la Grande Muraille verte ». Un coup d'envoi réussi, comme nous l'explique la chercheuse, de retour de mission.

Quel était l'objectif de cette mission exploratoire ?

Deborah Goffner : Depuis que je suis partie prenante du projet de la Grande Muraille verte à travers l'Observatoire hommes-milieus, j'ai toujours vu cette grande muraille projetée sur une carte, s'incarnant dans une grande ligne verte qui traverse le continent africain. Je me suis souvent interrogée sur ce que recouvrait vraiment cette « ligne », sur ses aspects biophysiques, humains. Ce tracé vert qui traverse l'Afrique donne d'ailleurs une fausse idée de la réalité de la GMV : il s'agit plutôt de « taches » vertes qui ne sont pas reliées entre elles. Nous circulons beaucoup dans le Ferlo (région de Tébessékéré), mais je n'avais jamais effectué une traversée avec un objectif d'observation systématique. Or, si l'on veut prendre la bonne décision, faire de la bonne gestion des ressources naturelles, il faut comprendre intimement les systèmes socio-écologiques des zones d'intervention de l'Agence nationale de la GMV. C'était cela l'objectif de la mission exploratoire : parcourir les 545 kilomètres de la Grande Muraille verte au Sénégal, d'ouest en est.

Qu'est-ce qui vous a surpris, vous qui connaissiez déjà le terrain ?

D. G. : Ce qui m'a le plus surpris, c'est la diversité des systèmes socio-écologiques. À l'ouest, nous avons découvert des paysages plutôt riants, avec un accès à l'eau abondant,

des champs d'oignons, de tomates. Une cinquantaine de kilomètres plus loin et nous basculions dans des zones sylvopastorales, sans aucun maraîchage, où les habitants sont dépendants à 100 % de l'élevage pour leurs revenus. Pour maximiser notre mission, chacun d'entre nous s'était vu assigner une tâche en fonction de ses compétences en écologie végétale, en géographie, en hydrologie, en sociologie, etc. Nous devions chacun réunir un maximum d'observations. Nous avons également interrogé un grand nombre de gens : les notables dans chaque village, des représentants des ONG quand elles étaient présentes, des agriculteurs, des agents de la GMV, etc. L'ensemble des observations réalisées ainsi que les informations glanées dans les entretiens étaient consignés chaque soir sur un *paper board*. Le regard différent que chacun d'entre nous portait sur le terrain nous a permis de croiser un grand nombre d'informations. J'ai le sentiment d'avoir découvert des choses que j'ignorais. Comme ce jardin maraîcher, à Koyli Alpha, qui s'étend sur 5 hectares, dont deux d'arbres fruitiers, où travaillent près de 160 femmes. Les résultats en termes de production sont remarquables et commencent à changer la vie des familles qui bénéficient d'une production à proximité et nettement moins chère qu'au marché.

Cette mission exploratoire vous a-t-elle d'ores et déjà permis de nourrir votre projet ?

D. G. : Ce voyage de repérage nous a permis de poser des premiers jalons. Ainsi pour la base de données qui décrira la diversité des systèmes socio-écologiques que j'évoquais à l'instant. Certains sont à dominante agricole, d'autres agro-sylvopastorale ou encore pastorale. Nous réunirons dans la base les données déjà connues, recensées et compilées dans les archives du Sénégal ainsi que celles que nous allons nous-mêmes produire. Cet ensemble sera spatialisé dans un système d'information géographique (SIG). La mission nous en a donné un premier aperçu. Notre deuxième axe visant à maximiser la biodiversité qui peut ...

▼ Commerce de fruits de *Balanites aegyptiaca* au marché local de Widou au Sénégal.



© A. WA



© J.L. PÉRY

▼ Bois à vendre (*Pterocarpus lucens*) près de Ranérou. Les arbres que l'on aperçoit au fond sont des *Balanites aegyptiaca*.

... être obtenue sur la Grande Muraille verte, la mission nous a permis d'identifier le lieu où nous allons créer une nouvelle parcelle expérimentale. Elle sera située dans le bourg de Ranérou et ses caractéristiques seront très différentes de celles de la première de nos parcelles, créée en 2013 tout près de Widou, où se trouve la base de l'OHM.I. Nous y avons planté une dizaine d'espèces indigènes et suivons la régénération naturelle. Plusieurs arbres sont également équipés de capteurs qui enregistrent leur humidité relative. À terme, l'objectif est de comprendre l'impact du reboisement sur le climat global. C'est une sorte de laboratoire expérimental à ciel ouvert, clôturé bien sûr afin d'empêcher les animaux d'y pénétrer. Les éleveurs peuls, qui possèdent des milliers de têtes de bétail, possèdent en effet des petits ruminants dont ils font le commerce. Comme je l'indiquais précédemment, le tracé recouvre des zones éco-géographiquement différentes avec des pluviométries variables par exemple. Il est donc essentiel que nos expérimentations soient représentatives de cette réalité physique.

Vous avez également commencé à identifier les ressources naturelles à fort potentiel économique pour la région.

D. G. : Sur la base de notre mission, nous sommes effectivement en train de dessiner une carte qui montre la distribution relative d'un des arbres qui domine le paysage local, le *Balanites aegyptiaca*, que l'on appelle communément le dattier du désert. L'idée est de valoriser le potentiel économique de cette espèce très robuste, comme le Maroc a été capable de le faire avec l'argan ou le Burkina avec le karité. Ces espèces fruitières indigènes de l'Afrique sont sous-exploitées. Les fruits du *Balanites* contiennent un noyau dont on peut extraire une huile qui est utilisée dans l'alimentation, mais aussi dans la fabrication des cosmétiques. Nous souhaitons apporter notre expertise scientifique pour améliorer la sélection et la

domestication de l'espèce afin de parvenir à une production importante des fruits dont la commercialisation est pour l'instant très informelle. Une production de qualité tout au long de l'année est essentielle pour créer une filière économique. Mais le *Balanites* n'est qu'un exemple.

Vous avez placé l'avenir des populations au cœur de votre projet.

D. G. : Future Sahel doit vraiment s'entendre au sens littéral. Nous voulons nous projeter dans l'avenir. Le Sahel ne se transformera pas en un jardin d'Eden et nous ne sommes pas des marchands d'illusion, mais nous pensons que nos recherches doivent être mises au service des populations. C'est pourquoi il est très important à mes yeux que l'Agence nationale de la GMV soit partenaire du projet. Il me semble que ce qui est original dans Future Sahel, ce sont non seulement les objectifs scientifiques propres, mais aussi la volonté de réaliser du co-design et de la co-production des connaissances avec les habitants ainsi qu'avec ceux qui sont en charge du développement de ce territoire. La dimension de la participation des populations est essentielle. Nos résultats doivent être directement transposables dans les protocoles de reforestation et dans les actions sur le terrain.

Le quatrième volet du projet, qui porte sur la prise de décision, est sans doute le plus novateur.

D. G. : La collaboration que nous mettons en place avec le Centre de résilience de l'université de Stockholm a justement pour objet d'établir un cadre conceptuel de prise de décision solide et pertinent pour un grand projet de développement comme celui de la Grande Muraille verte. Comment prendre les bonnes décisions au bon endroit ? Que devons-nous prendre en compte ? Le Sahel a connu beaucoup de projets de développement. Quels sont les dénominateurs communs de leurs succès et de leurs échecs ? Nous voulons identifier les services éco-systémiques³ durables et équitables pour les populations. Les chercheurs sont de nouveaux acteurs dans le paysage : nous devons apporter nos connaissances et nos méthodes scientifiques pour orienter le développement de la Grande Muraille verte dans la bonne direction. **II**



Le site de la Grande Muraille verte
» <http://grandemurailleverte.org>

Le blog Future Sahel
» <http://future-sahel.blogspot.fr>

3. Les services éco-systémiques sont des services rendus par la nature et qui contribuent aux activités humaines essentielles comme l'alimentation, l'énergie, l'accès à l'eau, etc.

VIVANT  NUMÉRIQUE 

Quand les maths se mêlent de sport

PAR LAURE CAILLOCE

Aux prochains Jeux olympiques, les athlètes australiens et néo-zélandais viendront accompagnés de... mathématiciens et physiciens. Surprenant? Pas tant que cela. « *Les Anglo-Saxons ont compris depuis longtemps l'avantage que le sport de haut niveau pouvait tirer des maths et ils conçoivent pour leurs champions des logiciels d'aide à la performance* », explique Amandine Aftalion, chercheuse au Laboratoire de mathématiques de Versailles¹ et instigatrice de la rencontre « Maths et sport » qui s'est tenue le 15 mars à l'Institut Henri Poincaré².

Courir la course optimale

Plus naturellement portés à l'abstraction que leurs collègues anglo-saxons, les mathématiciens français commencent tout juste à s'intéresser au sport. Mais les travaux déjà publiés donnent une idée du potentiel de ce mariage. Amandine Aftalion a ainsi développé un modèle permettant de courir la course optimale en fonction de la distance à parcourir et de quatre paramètres clés : la capacité pulmonaire, les apports énergétiques, la force maximale de propulsion mais aussi les frottements du corps. « *On vient d'affiner le modèle pour pouvoir l'adapter à chaque individu* », précise la chercheuse³. Reste à intégrer un paramètre de taille encore non pris en compte : le facteur psychologique – en un mot, la motivation!

Mais les maths ne servent pas qu'à améliorer les performances sportives. Observer les phénomènes

physiques à l'œuvre sur les terrains de sport permet aussi de découvrir de nouvelles lois à formaliser. « *Le sport n'est pas un domaine "politiquement correct" pour la recherche. C'est encore un espace vierge où il y a tout à trouver* », s'enthousiasme Christophe Clanet. Ce physicien du Laboratoire d'hydrodynamique⁴ est spécialiste des trajectoires des particules dans les fluides : gouttes, bulles, mais aussi balles et ballons sur les terrains de sport!

Un coup franc inspirant

« *C'est en discutant avec les jeunes chercheurs de mon équipe du célèbre coup franc de Roberto Carlos, au Tournoi de France de 1997, qu'on a décidé de creuser la question* », raconte le scientifique. À tort, on pense que les balles suivent des trajectoires paraboliques. Les chercheurs se sont rendu compte que c'était le cas pour deux disciplines uniquement : le basket-ball et le handball. Toutes les autres balles génèrent des trajectoires triangulaires dites Tartaglia, du nom d'un mathématicien italien du XVI^e siècle. « *Deux facteurs sont à prendre en compte*, poursuit Christophe Clanet. *La vitesse maximale à laquelle la balle peut être lancée et sa vitesse de lévitation – soit la vitesse du flux d'air qu'il faudrait générer pour l'empêcher de toucher le sol.* » Lorsque la vitesse de lévitation est supérieure à la vitesse de lancer, la trajectoire est parabolique; lorsque cette vitesse est inférieure, la trajectoire prend la forme d'une Tartaglia.

Autre loi mise au jour par les chercheurs : la distance maximale que la balle peut couvrir avec un lancer dépend elle aussi de ces deux paramètres. « *Au-delà, il existe un mur invisible que la balle ne pourra pas franchir, quelle que soit la force avec laquelle on l'engage sur le terrain* », précise Christophe Clanet. Une loi physique qui trouve des applications bien au-delà du sport, puisque le travail des chercheurs a notamment servi à discuter de l'amélioration de la portée des lances à incendie utilisées par les pompiers (où l'on observe aussi des Tartaglia). Ou comment le tir d'un footballeur brésilien permet de mieux armer les combattants du feu. ||

▲ Avec le handball, le basket est le seul sport dans lequel la balle suit une trajectoire parabolique.



© ICSN/AS/FOTOLIA.COM



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

1. Unité CNRS/UVSQ. 2. La journée « Maths et sport » est organisée par la Smai, avec le soutien de l'Amies. 3. « How to identify the physiological parameters and run the optimal race », A. Aftalion et al., *Mathematics in action*, janvier 2016, vol. 7 (1) : 1-10. 4. Unité CNRS/École polytechnique.

Prométée, la plateforme de l'extrême

Sciences de l'ingénieur. À Poitiers, cette plateforme va permettre d'étudier le comportement des turbines, réacteurs et autres engins aéronautiques dans des conditions extrêmes.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

L'heure du passage du flambeau a sonné pour le Centre d'études aérodynamiques et thermiques (CEAT), installé à l'université de Poitiers, qui accueille de grosses installations expérimentales dédiées à la recherche civile dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, des transports et de l'énergie. D'ici quelques mois, dans le cadre d'un ambitieux chantier de 14 millions d'euros baptisé Prométée¹, ses équipements seront démontés, améliorés et réinstallés dans un bâtiment flambant neuf de 2500 m², qui a été inauguré le 25 janvier dernier au cœur de la technopole du Futuroscope de Poitiers. Tout cela, pour quoi faire ? Des sciences de l'ingénieur ! Né en 2010 de la fusion de six unités du CNRS, l'Institut Pprime du CNRS, auquel est rattaché le CEAT, est l'un des hauts lieux de ce domaine en France.

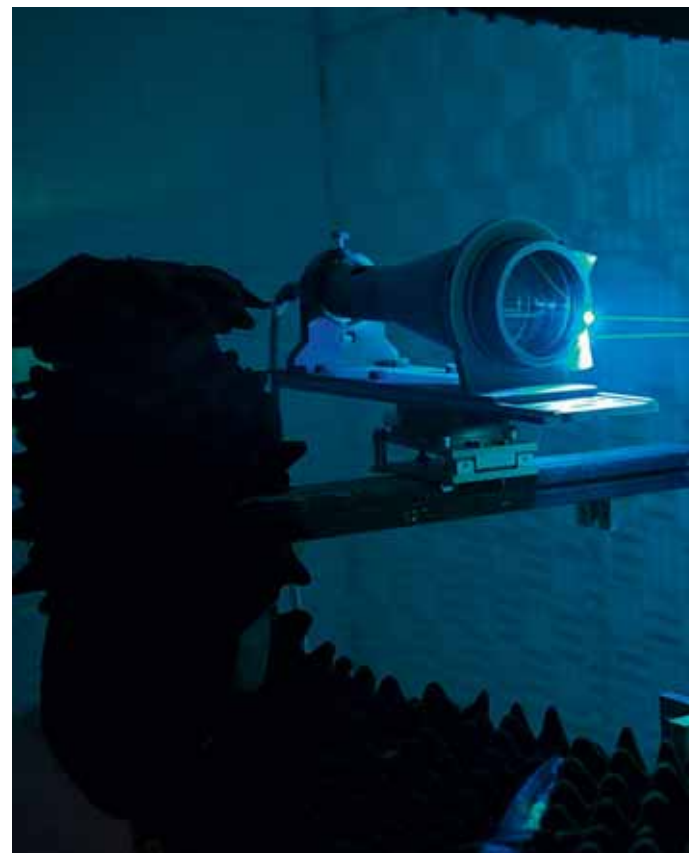
Un vaste réseau en air comprimé

Même si « *la vocation de Pprime n'est pas de faire de la R&D, mais de la recherche en amont* », précise Yves Gervais, son directeur, les moyens à mettre en œuvre n'en demeurent pas moins lourds. Ainsi, la plateforme Prométée sera, comme c'est déjà le cas du CEAT, équipée d'un réseau en air comprimé maintenu à 200 bars qui devrait être l'un des plus vastes d'Europe et qui servira à alimenter les diverses expériences du site. Par exemple, la fameuse soufflerie S150 que présentent au CEAT avant son démontage l'ingénieur Steve Girard et le technicien Alexandre Royer. Elle sert à produire des jets de gaz de vitesse supersonique. Le but ? Étudier certains phénomènes de vibration pouvant survenir sur les réacteurs de fusées. « *Le moteur central d'Ariane 5 est conçu pour fonctionner en altitude, où la pression atmosphérique est faible*, explique Steve Girard. *Mais il doit être allumé au sol pour des raisons de sécurité.* » Résultat, le jet de gaz chaud sorti du réacteur lorsque l'engin est au sol peut générer d'importantes charges latérales sur les tuyères qui se mettent à vibrer. Que celles-ci fendent la jupe de l'engin, et adieu la fusée ! L'équipe de Steve Girard espère identifier des régimes de fonctionnement du moteur à même de limiter ce risque.

Non loin de là, l'ingénieur Patrick Berterretche nous présente le banc Martel, un dispositif spectaculaire conçu pour mettre une sourdine à Ariane 5. Les vibrations générées par le grondement d'une fusée sont si fortes au décollage qu'elles secouent le lanceur dans tous les sens. Conséquence : le satellite qu'il embarque peut être endommagé. D'où la mise au point, par plusieurs agences spatiales, d'un système d'atténuation du bruit consistant à injecter, lors du lancement, de l'eau en grande quantité dans le jet brûlant sortant du réacteur. Une vapeur qu'il s'agit ensuite d'évacuer par un système de tunnel débouchant sur une ouverture placée plus loin sur le pas de tir : le carneau. La fonction du banc Martel est de reproduire l'opération à petite échelle afin de rendre le dispositif plus efficace. Un pari déjà tenu pour Ariane 5 et qu'il s'agit maintenant de relever pour Ariane 6 !

Des instruments très diversifiés

L'espace n'est pas la seule vocation des installations du CEAT versus Prométée. D'un bâtiment à l'autre,

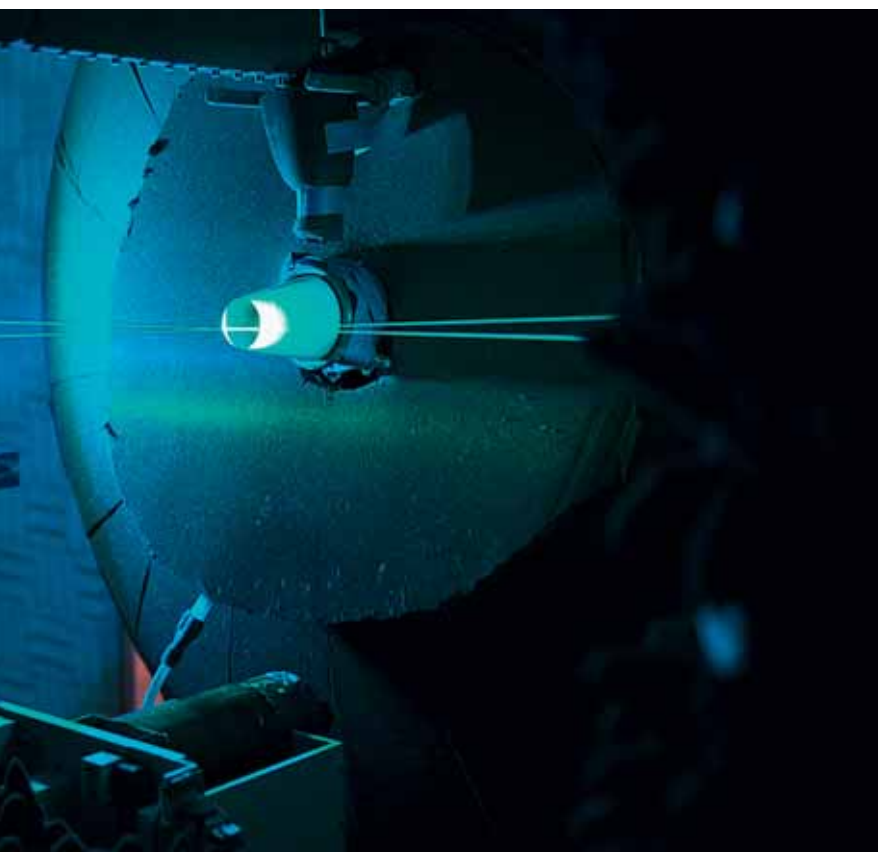


1. Programmes et moyens d'essais pour les transports, l'énergie et l'environnement bénéficiant du soutien de l'État, des collectivités territoriales, du fonds européen Feder, du programme Investissements d'avenir, de l'industriel Safran et du Cnes.



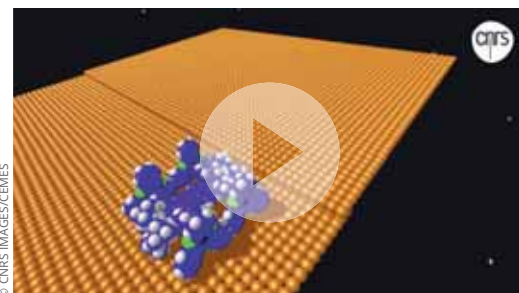
Lire l'intégralité de l'article
sur lejournal.cnrs.fr

on découvre toutes sortes d'instruments. Ici, un banc de fatigue thermomécanique sert à tester la résistance aux hautes températures des matériaux utilisés pour la fabrication des aubes d'hélicoptère. Là, des machines d'essais mécaniques, des cellules de perméation et de vieillissement sont employées pour mesurer la fragilisation, à la suite d'un contact prolongé avec de l'hydrogène ou du gaz carbonique sous pression, des aciers et des polymères rentrant dans la composition des pipelines et des flexibles des futurs véhicules à pile à combustible. Ailleurs, c'est une soufflerie anéchoïque destinée à modéliser le bruit généré par les moteurs d'avion ou un banc de tribologie conçu pour tester l'étanchéité des turbines de centrales nucléaires qui retiennent l'attention des chercheurs. Tout cela, en attendant le grand déménagement qui, insiste Yves Gervais, va comprendre une phase de modernisation des instruments déjà existants. En s'installant à Prométée, les nostalgiques du CEAT ne perdront donc rien au change... ||



▼ Soufflerie à rafale. Les études menées sur ce moyen d'essai concernent les domaines de l'aéronautique civile et du spatial.

En bref



© CNRS IMAGES/CEMES

MATIÈRE

La plus petite course de bolides du monde

C'est une étrange course automobile, réunissant des équipes de différents pays, qui se prépare actuellement au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales de Toulouse : cet automne, des véhicules composés d'une centaine d'atomes vont en effet s'affronter lors de la NanoCar Race. Découvrez les enjeux scientifiques de cette course et la manière dont s'entraînent les chercheurs dans une vidéo publiée en partenariat avec LeMonde.fr sur notre journal en ligne.



▶ Visionner la vidéo
sur lejournal.cnrs.fr

VIVANT



UNIVERS



Origine de la vie, la pièce manquante

En avril, des chercheurs ont montré que le ribose, un sucre à la base du matériel génétique des organismes vivants, a pu se former dans les glaces cométaires. Il s'agit du premier scénario réaliste de formation de ce composé essentiel, encore jamais détecté dans des météorites ou dans des glaces cométaires. Pour parvenir à ce résultat, étape importante dans la compréhension de l'émergence de la vie sur Terre, les chercheurs de l'Institut de chimie de Nice ont analysé une comète artificielle créée par leurs collègues de l'Institut d'astrophysique spatiale. Ces résultats, obtenus en collaboration avec d'autres équipes, dont une du synchrotron Soleil, ont été publiés dans la revue *Science*.

Le Marion Dufresne fait peau neuve

TERRE

À la fois navire de recherche océanographique affrété par l'Institut polaire français Paul-Émile Victor (Ipev) et ravitailleur des Terres australes et antarctiques françaises, le Marion Dufresne sillonne les océans depuis 1995 afin de récolter des données scientifiques. À la mi-2015, le bateau a subi une intense cure de jouvence au chantier naval de Dunkerque, dans le cadre de l'Équipex Climcor, porté par le CNRS.

Un rajeunissement à 25 millions d'euros, justifié par le vieillissement du navire et les nouveaux besoins de la recherche. Avec ce Marion Dufresne rénové, la communauté scientifique dispose aujourd'hui d'un navire de pointe.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Un carottier unique au monde

Le Marion Dufresne est le leader mondial du carottage sédimentaire au fond des océans. Une position confirmée après les travaux de rénovation : le navire peut désormais prélever des carottes de 75 mètres de long, au lieu de 60 précédemment, afin de remonter de plusieurs centaines de milliers d'années dans l'histoire climatique. Le navire est également doté d'un nouveau câble synthétique d'élasticité minimale qui permet d'annuler l'effet de rebond élastique qui se produit lors de l'arrachement du carottier hors des sédiments.

▼ Le portique latéral du carottier Calypso.



© P. SANGIARD/INSTITUT POLAIRE FRANÇAIS IPEV

Les laboratoires remis à flots

Les 650 m² de laboratoires embarqués ont été entièrement rénovés. Une climatisation a été installée dans les salles d'hydrologie qui ont besoin d'une thermorégulation très précise. Les arrivées d'eau de mer ont été prolongées jusqu'aux laboratoires. Le réseau de bord ayant été amélioré, un nouveau système de vidéo permet la diffusion et l'accès aux données en temps réel dans tous les laboratoires.

Des prélèvements plus profonds



La refonte du système de prélèvement hydrologique, autre appareil clé du Marion Dufresne, lui permet désormais de descendre jusqu'à 8 000 mètres de profondeur et de prélever de l'eau de mer sur toute la colonne d'eau. Les chercheurs en étudient la composition, notamment la teneur en carbone, la température et d'autres données essentielles pour la connaissance des circulations océaniques et du cycle climatique.

▼ La salle du treuil hydrographique rénovée.

Des sondes dernier cri

Une gondole contenant des équipements acoustiques dernière génération a été placée sous le navire. Conçue spécialement pour le Marion Dufresne, elle est adaptée aux conditions de navigation difficiles de l'océan Austral. Grâce aux sondeurs multifaisceaux et au sondeur de sédiments qui y sont installés, il est désormais possible de cartographier avec une grande précision le relief et le sous-sol marins.

► Cette gondole renferme les antennes des sondeurs.



MATIÈRE

Innovation. Spécialisé dans la physique des ondes et ses applications, l'Institut Langevin a donné naissance à onze start-up qui emploient aujourd'hui plus de 360 personnes. Zoom sur un temple de la technologie, devenu une référence en matière de valorisation.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN



Les bonnes ondes de la valorisation

Elles s'appellent Cardiawave, Greenerwave ou Neuroflow. Proposent sur le marché des technologies pour la santé, les télécommunications et l'imagerie. Et ont en commun d'être des start-up issues de l'Institut Langevin « Ondes et Images ». Cette unité mixte de recherche du CNRS et de l'ESPCI Paris¹, internationalement reconnue pour ses travaux de physique fondamentale sur la propagation des ondes dans les milieux complexes, s'est taillée la réputation d'être une pépinière d'entreprises innovantes. Pas moins de cinq y ont été créées depuis 2013 !

Pareille *success story* en matière de valorisation de la recherche n'est pas le fruit du hasard. Elle doit beaucoup à la nature singulière des études conduites dans ces 2 100 m² de locaux d'un bâtiment partagé avec l'Institut de physique du globe de Paris, juste en face du restaurant La Baleine du Jardin des plantes. Né en 2009 de la fusion du laboratoire Ondes et acoustique, créé et dirigé par Mathias Fink, et du Laboratoire d'optique physique, dirigé par Claude Boccara, employant 130 personnes, l'Institut Langevin est spécialisé « dans les ondes ». Il serait presque plus juste de dire « dans

toutes les ondes ». Car, on s'intéresse aussi bien aux ondes mécaniques impliquées dans la génération du son et des vagues qu'aux ondes électromagnétiques ou optiques, utilisées notamment dans le domaine des télécommunications. Avec un double objectif, explique son directeur, Arnaud Tourin : « *Comprendre la manière dont ces diverses ondulations se propagent, se croisent, s'additionnent ou s'annihilent dans des environnements non usuels, puis trouver le moyen de les dompter afin de produire des images, de communiquer, voire de détruire lorsqu'il s'agit de réduire une tumeur cancéreuse ou un calcul rénal.* »

Miroir, mon beau miroir...

Le miroir à retournement temporel est l'une des plus fameuses boîtes à outils ayant été conçue à l'Institut pour réaliser cette tâche. Mis au point à la fin des années 1980 par le groupe de Mathias Fink, médaillé de l'innovation 2011 du CNRS, ce procédé qui, en toutes situations, permet de renvoyer une onde à l'endroit où elle a été générée a ouvert la voie, au fil des ans, à de nombreuses applications dont

1. L'Institut Langevin est également partenaire associé à l'UPMC, l'université Paris Diderot et l'Inserm. 2. Et dont Fist SA, filiale nationale de valorisation du CNRS, est actionnaire aux côtés de Kima Ventures, le fonds d'investissement de Xavier Niel, fondateur de Free.



► **Locaux de Supersonic Imagine, start-up issue de l'Institut Langevin spécialisée dans l'imagerie médicale.**

Attirer les investisseurs, motiver les chercheurs, convaincre les tutelles administratives, tout cela nécessite de fournir de gros efforts avant d'espérer pouvoir bénéficier des opportunités offertes par la loi sur l'innovation et la recherche, dite loi Allègre de 1999. Fort de la culture industrielle de l'ESPCI Paris, l'Institut Langevin, dont 80 % des chercheurs ont à ce jour contribué à un brevet d'invention, a pris l'initiative de lancer, en 2011 un Labex baptisé Wifi (Waves and Imaging from Fundamentals to Innovation) afin de favoriser le dialogue entre les différents corps de métier impliqués.

Onze start-up créées

Cela a abouti à la création au sein du laboratoire d'un pôle d'innovation placé – fait unique pour une institution de recherche publique – sous la responsabilité d'une juriste spécialisée. Chargée des projets d'industrialisation, Daphnée Raffini conseille les physiciens sur leurs projets, évalue l'intérêt de leurs découvertes, aide au recrutement des dirigeants des start-up et aplanit les difficultés administratives avant de définir, par des conventions, la nature des relations entre l'Institut et la société qu'il s'agit de créer, puis de l'accompagner en conciliant deux objectifs : liberté de la recherche et développement économique. Sa présence permanente dans les locaux explique le rythme accéléré des créations d'entreprise au sein de l'Institut. Aux six fondées entre 1999 et 2013 sont venues s'ajouter cinq autres au cours de ces trois dernières années. Un véritable tour de force qui contribue non seulement à la bonne réputation de l'Institut, mais également à l'emploi. « *En tout, les start-up issues de l'Institut Langevin font déjà travailler plus de 360 personnes* », souligne Daphnée Raffini. ▮

beaucoup ont conduit à la création de plusieurs start-up. Fondée en 2005, cotée à la Bourse depuis 2014 et employant aujourd'hui 165 personnes, la société SuperSonic Imagine propose, par exemple, sur le marché un échographe à ultrasons ultrarapide destiné au diagnostic des cancers et fonctionnant sur ce principe. Et Time Reversal Communications et Sensitive Object – deux entreprises issues de l'Institut Langevin et rachetées respectivement par Bull (Atos) et par Tyco Electronics – utilisent ce même procédé pour leurs systèmes de télécommunications par retournement temporel et leurs écrans tactiles adaptés aux grands moniteurs des zones aéroportuaires.

Cette découverte n'est pas la seule dont peut se prévaloir l'Institut. Les chercheurs sont en train de mettre au point des miroirs intelligents que la société Greenerwave, récemment créée à Sophia Antipolis², commercialisera. Ces méta-surfaces, constituées d'une centaine d'éléments mobiles agissant de concert, sont en mesure d'apporter une solution à un problème courant et hautement agaçant : la difficulté pour les usagers des téléphones portables de capter des appels dans certains lieux comme les pièces d'un immeuble. Placées sur un mur, elles focalisent automatiquement les ondes vers l'antenne des cellulaires et améliorent considérablement la qualité de la communication. Au passage, elles réduisent de neuf dixièmes la puissance nécessaire au bon fonctionnement des antennes relais. Ce qui ne serait pas un petit avantage : à l'échelle de l'Europe, leur consommation représenterait l'équivalent de l'énergie produite par deux centrales nucléaires !

Toutefois, observe Mathias Fink, « *en matière de valorisation, avoir de bonnes idées n'est pas suffisant* ».

▲ **Mathias Fink (à d.) et son équipe observent une partie de miroir intelligent qui sert à focaliser les ondes électromagnétiques sur un récepteur.**



Amarna, la cité disparue d'Akhenaton

SOCIÉTÉS

Archéologie. Durant son règne, le pharaon Akhenaton a fait bâtir une nouvelle capitale, Amarna, selon des techniques inédites. Le laboratoire Archéovision a modélisé en 3D plusieurs édifices de ce site.

PAR LAURE CAILLOCE

Le pharaon Amenhotep IV, aussi appelé Akhenaton, a bouleversé profondément l'Égypte du Nouvel Empire durant son règne (1350-1334 avant notre ère) : non content de provoquer un séisme religieux en imposant le culte unique du disque solaire, Aton, contre le panthéon habituellement adoré par les pharaons précédents, il a provoqué une révolution architecturale et artistique. « *Puisque le disque solaire devenait le seul dieu, on a décidé de construire des temples sans toit et baignés par les "divins" rayons* », explique Robert Vergnieux, ancien directeur du laboratoire Archéovision¹ et commissaire de l'exposition « Aton-num » qui s'est tenue du 4 au 29 avril au conseil régional d'Aquitaine, à Bordeaux.

Un changement d'architecture

Les murs ne devaient plus supporter de lourdes dalles de toit, une nouvelle norme architecturale s'est imposée : au lieu des gros blocs de pierre utilisés jusqu'alors, les murs étaient montés à l'aide de briques de pierre de taille standard – les *talatat* – qui présentaient l'avantage de pouvoir être vite assemblées. Cette technique a d'abord été testée à Karnak, le complexe religieux situé au nord de Thèbes, avant



d'être déployée à grande échelle dans la nouvelle capitale construite par Akhenaton : Amarna. Problème pour les spécialistes : il ne reste rien des édifices construits à Karnak et à Amarna... C'est qu'Akhenaton ne s'est pas fait que des amis avec ses « lubies » religieuses et architecturales. « *Dès sa mort, les autres clergés, le clergé d'Amon notamment qui était très puissant avant Akhenaton, n'ont eu de cesse d'effacer toute trace de son règne* », raconte Robert Vergnieux. Amarna, sa capitale, a été rasée et une grande partie des briques en calcaire ont été utilisées pour fabriquer de la chaux... À Karnak, les blocs de grès ont subsisté, mais ils ont été réutilisés dans des constructions ultérieures.

C'est donc à la reconstitution d'un véritable puzzle que les scientifiques d'Archéovision ont dû se livrer pour imaginer la physionomie des temples, palais et maisons de dignitaires sous le règne d'Akhenaton. Même s'ils ne parlaient pas de rien : « *Des reconstitutions en 2D de plusieurs édifices*

▼ **Le grand temple dédié au culte du disque solaire, Aton, à Amarna.**

avaient déjà été proposées, et j'avais formulé des hypothèses lors de ma thèse sur Amarna », précise Robert Vergnieux. L'équipe avait surtout à sa disposition une base documentaire fournie, quoique très hétérogène : si Amarna a été détruite, les stèles qui bordaient la ville et décrivaient son organisation ont été retrouvées, et toutes les fondations des édifices subsistent, sans compter les scènes décorant les tombes... À Karnak, ce sont près de 12 000 *talatat* portant des fragments de décor qui ont été retrouvées, permettant de reconstituer des centaines de fragments de scènes représentées sur les murs des temples.

Une iconographie caractéristique

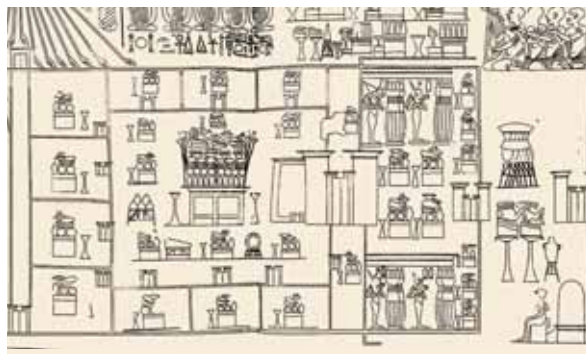
« *Sous Akhenaton, l'iconographie des temples a été profondément modifiée*, explique Robert Vergnieux. *Jusqu'alors, on trouvait surtout des scènes représentant pharaon face à la divinité. Avec le culte d'Aton, pharaon s'est progressivement confondu avec cette divinité unique et ce sont des scènes*

1. Unité CNRS/Univ. de Bordeaux/Univ. Bordeaux Montaigne. Le laboratoire Archéovision est dirigé depuis fin 2015 par Jean-François Bernard.

représentant la vie quotidienne de pharaon que l'on s'est mis à représenter. » Une source précieuse d'information pour le laboratoire Archéovision : on y voit en effet des édifices, des temples..., qui fournissent des renseignements sur la physionomie des dits bâtiments.

Car Robert Vergnien en est persuadé : l'iconographie égyptienne, si elle paraît brouillonne aux yeux d'un homme du XXI^e siècle habitué à la représentation en perspective, est extrêmement précise. Mais elle obéit à des codifications radicalement différentes. « Le dessinateur égyptien représente chaque élément de la scène sous son meilleur angle afin de donner le maximum d'informations, indique l'archéologue. Il y a donc différents points de vue dans une même scène : on verra par exemple une porte de profil laissant apercevoir des pièces en enfilade, même si ces pièces ne sont pas directement visibles par un observateur situé à l'extérieur du bâtiment. »

Plus qu'un simple outil de représentation, les usages 3D développés par Archéovision se sont révélés de réels outils de recherche dans ce travail de reconstruction. « Pour chaque



▼ Des scènes égyptiennes comme celle-ci (le sanctuaire du grand temple d'Aton à Amarna) ont servi de base documentaire aux chercheurs.

bâtiment, plusieurs versions ont été proposées et soumises aux égyptologues partenaires du projet », raconte Loïc Espinasse, ingénieur 3D à Archéovision. L'opération a réservé quelques surprises. C'est ainsi que la cour du Gem-pa-Aton, un temple d'Aton édifié à l'est du complexe de Karnak, a subi de profondes modifications. « Il était admis que c'était une cour bordée d'un péristyle. Mais des incohérences de structure mises en évidence par la 3D ont permis de montrer que ce que l'on pensait être les bases de colonnes étaient en réalité les socles de colosses représentant Akhenaton », confirme Robert Vergnien. Ce qui change sacrément l'allure dudit temple !

La 3D comme outil de recherche

Grâce à la 3D, le petit temple et le grand temple d'Amarna ont également pu être reconstitués, ainsi que deux

maisons de dignitaires, des bâtisses de 4 000 m² au sol, dotées d'un étage et d'un luxuriant jardin. Un plan en 3D de la ville nouvelle, plaçant les temples, palais mais aussi quartiers d'habitation et entrepôts, a aussi été réalisé.

Le projet est cependant loin d'être terminé : il reste encore une dizaine de milliers de *talatat* à assembler. Pour y arriver, le laboratoire Archéovision vient de lancer un projet de crowdsourcing faisant appel à la bonne volonté du public. Les plus motivés pourront déchiffrer les relevés effectués à la main par les archéologues ayant recensé les milliers de *talatat* à Karnak dans les années 1970-1980, et taper ces chiffres dans une immense base de données. Ces données, qui indiquent à quel endroit chaque *talatat* a été retrouvée, pourraient réserver encore de belles surprises aux archéologues. II



Plus d'informations sur l'exposition et le projet de crowdsourcing sur

» www.aton-num.fr

En bref

UN NOUVEL AVIS DU COMETS

Le Comité d'éthique du CNRS (Comets) vient de publier un avis intitulé « Discussion et contrôle des publications scientifiques à travers les réseaux sociaux et les médias : questionnements éthiques ». Dans ce dernier, le Comité s'est intéressé à l'utilisation grandissante des nouveaux outils numériques par la communauté scientifique pour discuter des résultats de la recherche, publiés ou non. Il s'est notamment interrogé sur la responsabilité des chercheurs dans les relations qu'ils entretiennent entre eux par ces canaux et avec les médias.



Lire l'avis sur le site du Comets :
» www.cnrs.fr/comets

INNOVATION, LE CNRS BIEN CLASSÉ

Thomson Reuters a publié le classement « des 25 institutions publiques qui contribuent le plus à faire progresser la science et la technologie dans le monde ». Trois organismes français sont classés parmi les 10 premiers : le CEA est leader de ce palmarès, le CNRS 5^e et l'Inserm 10^e. Ce classement se fonde sur des données relevant de la propriété intellectuelle, du nombre de brevets et de publications indexés dans la base de données des plateformes de Thomson Reuters au cours des huit dernières années.

Autre classement mettant le CNRS à l'honneur : celui des principaux déposants de brevets en France en 2015, publié début avril par l'Institut national de la propriété industrielle (Inpi). Avec 390 demandes publiées, le CNRS gagne une place par rapport à l'année dernière et se classe au 6^e rang. Le Groupe PSA conserve la tête du classement, avec 1 012 demandes de brevets publiées.

Les plasmas froids réchauffent l'innovation

MATIÈRE

Physique. Quatrième état de la matière, un plasma peut atteindre plusieurs millions de degrés. Mais il existe aussi des plasmas froids, aux applications de plus en plus nombreuses.

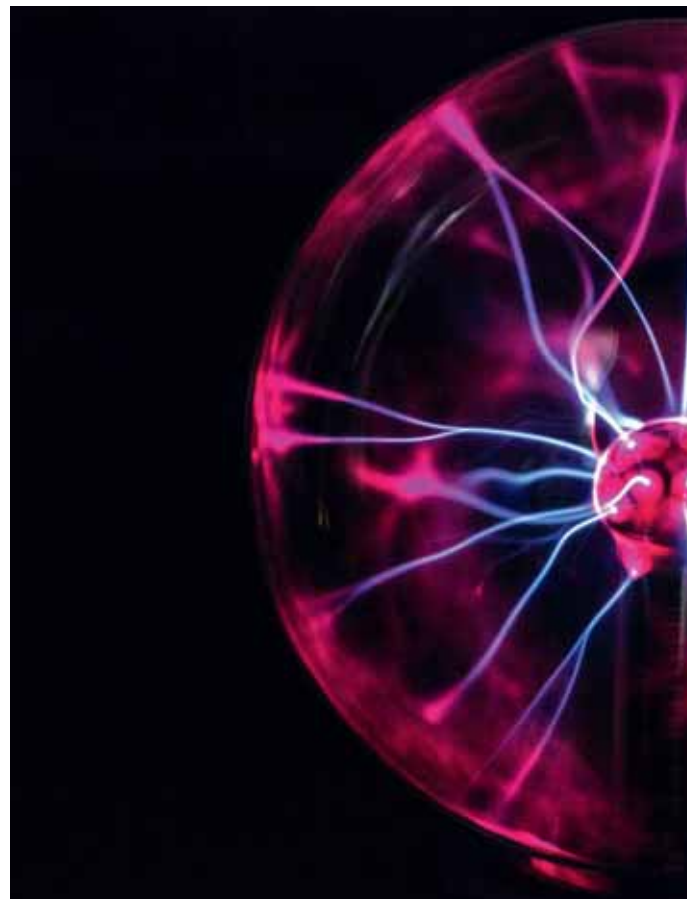
PAR MARTIN KOPPE

À l'origine de l'éclat des étoiles, de la foudre et des aurores boréales, les plasmas commencent aujourd'hui à être domptés pour une foule d'applications. Toutefois, les exploiter dans la vie quotidienne a nécessité le développement de versions adaptées à notre échelle d'énergie et de température : les plasmas froids. Car, pas plus que la glace, le plasma ne désigne une substance particulière mais un quatrième état de la matière, au même titre que les états solides, liquides et gazeux. Un gaz devient un plasma lorsqu'on lui apporte une quantité d'énergie suffisante pour arracher les électrons de ses atomes et l'ioniser ; il devient alors capable de conduire l'électricité. Les étoiles sont, par exemple, essentiellement constituées de plasmas, qui atteignent plusieurs millions de degrés.

Mais comment passer du Soleil à une inoffensive boule à plasma ? Les plasmas froids s'obtiennent en appliquant une décharge électrique à un gaz isolant dont seule une faible proportion va s'ioniser, contrairement à ce qui se passe pour les plasmas stellaires. Certains électrons vont ainsi être chauffés à plusieurs dizaines de milliers de degrés mais, comme ces particules ne représentent qu'une infime partie du gaz, ce plasma demeure globalement « froid » à notre échelle. L'excitation des électrons va exciter en retour les atomes, qui vont alors émettre les photons qui font « briller » les plasmas. Les tubes fluorescents, les ampoules basse consommation et les lampes à U.V. constituent ainsi un développement majeur du principe du plasma froid. Mais les plasmas provoquent également la formation d'espèces chimiques que certains comptent bien exploiter pour des applications sanitaires et médicales.

Des alliés thérapeutiques de choix

« La recherche se scinde en deux axes principaux, précise Antoine Rousseau, du Laboratoire de physique des plasmas¹ : l'étude des sources de plasma les plus prometteuses et celle des espèces de la phase gazeuse. La chimie produite par le plasma va en effet se modifier d'un dispositif à



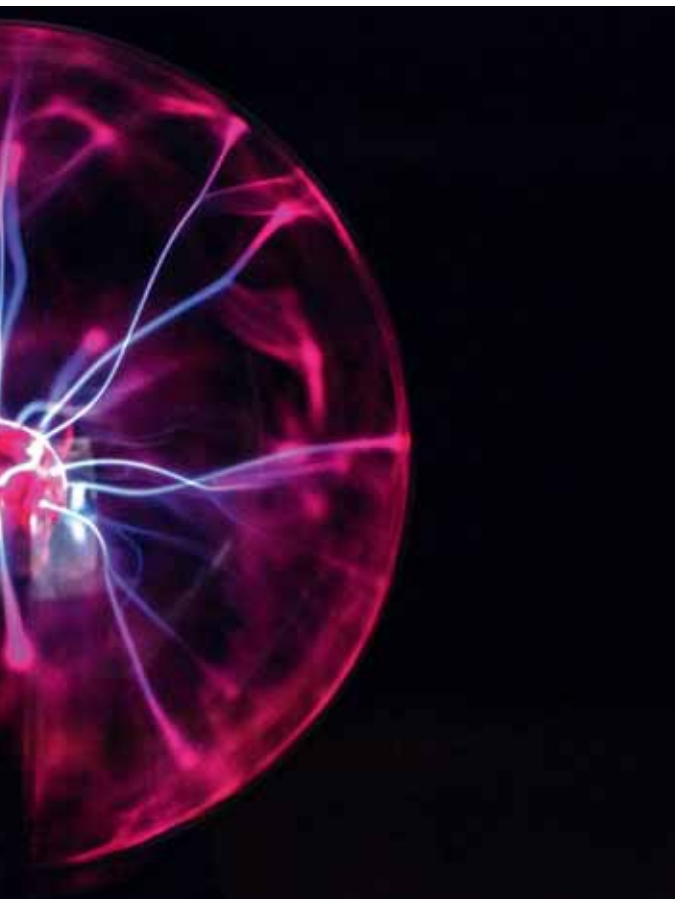
l'autre, mais il s'agit de phénomènes de l'ordre du dixième de microseconde à la dizaine de microsecondes, il est donc difficile de quantifier et de qualifier les espèces en présence. » Les chercheurs savent cependant que certains ions et espèces réactives de l'oxygène qui s'y forment peuvent réagir avec des tissus vivants. « Les plasmas froids peuvent désinfecter des plaies et faciliter leur cicatrisation, poursuit Antoine Rousseau, en particulier pour des ulcères et des escarres chroniques. Les mécanismes en jeu ne sont pas bien compris, mais les biologistes pensent que certains oxydes d'azote produits par les plasmas stimulent les réponses cellulaires, et donc la reconstruction des tissus. » Les appareils utilisés en médecine plasma sont des dispositifs compacts contenant une électrode à haute tension. Le plasma est produit directement au contact du tissu vivant ou en amont d'un jet de gaz. À l'interface entre l'appareil et l'air libre, les électrons énergétiques vont permettre de former des oxydants et des ions.

1. Unité CNRS/École polytechnique/UPMC/Univ. Paris Sud/Observatoire de Paris.



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

▲ La boule à plasma est l'objet le plus emblématique de la technique des plasmas froids.



© J. BARANDE

L'oxydation par plasma trouve également une application dans le domaine du traitement de l'air, en particulier contre les polluants présents en concentrations très faibles comme le formaldéhyde ou le toluène. Ils peuvent s'accumuler en intérieur et il devient nécessaire de les piéger sur un filtre pour les éliminer. Or les molécules que l'on retrouve dans des concentrations inférieures à la partie par million tendent à se libérer des filtres en cas de variation d'humidité. Ces pièges sont donc épaulés par un absorbant catalytique et un plasma froid : l'oxydation des polluants par le plasma permet de régénérer le filtre en continu.

La propulsion dans l'espace améliorée

Les plasmas entrent aussi dans la composition de moteurs électriques utilisés pour propulser les sondes spatiales et les satellites. « Les moteurs électriques nous intéressent, car ils éjectent la matière, ici des ions, à une très grande vitesse, supérieure à celle des propulseurs chimiques classiques, explique Stéphane Mazouffre, de l'Institut de Combustion aérothermique réactivité et environnement du CNRS (Icare),

où il dirige l'équipe Propulsion électrique. Or on sait qu'une éjection plus rapide consomme moins de carburant pour une manœuvre donnée. Nous utilisons le plus souvent du xénon pour nos plasmas froids et nous pouvons ainsi diviser par deux le poids d'un satellite ou, pour une sonde, garder la même masse et augmenter son autonomie. »

Ces moteurs qui fonctionnent à basse pression génèrent cependant une poussée relativement faible : le propulseur ne peut par exemple pas se soulever lui-même sur terre. La donne change lorsque les engins évoluent en apesanteur. Les satellites sont d'abord amenés en orbite basse par un lanceur classique à propulsion chimique. Pour les placer sur leur orbite fonctionnelle et les y maintenir, les moteurs à plasmas froids prennent le relais. « La vitesse d'un engin spatial est reliée à la poussée, signale Stéphane Mazouffre, mais également au temps durant lequel celle-ci s'exerce. Les réacteurs chimiques produisent une forte poussée pendant une durée très courte, tandis que les propulseurs à plasmas froids fournissent une poussée faible, mais prolongée. Ainsi, lorsque la distance à parcourir s'allonge, les moteurs à plasmas permettent de rattraper le retard initial et d'atteindre des vitesses de plus en plus élevées. »

Des moteurs sans parois plus résistants

Autre contrainte imposée par les voyages spatiaux : l'absence de maintenance. La moindre défaillance sur une sonde en partance pour Jupiter peut anéantir quinze ans de travaux. Les chercheurs s'emploient donc à diminuer l'usure mécanique des moteurs, ce qui passe notamment par la réduction des sources de frottement, quitte à aller jusqu'à se débarrasser de ses parois. Des prototypes, tels que le propulseur de Hall « sans parois », ont ainsi été développés à Icare. La chambre à plasma n'y est plus délimitée par des barrières solides, qui s'useraient au cours des longs voyages spatiaux, mais se retrouve dans le vide intersidéral, uniquement confinée par un champ magnétique. L'équipe peut maîtriser et moduler la forme de ce dernier, afin d'orienter par exemple l'expulsion des ions et donc de contrôler la direction et la propulsion de la sonde ou du satellite.

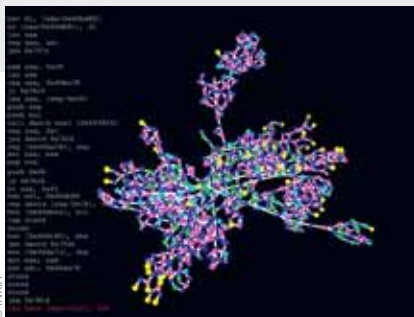
Les principes physiques derrière les interactions entre les plasmas, les surfaces solides et les champs magnétiques restent mal connus. Il n'existe donc pas de modèles prédictifs suffisamment fiables, ce qui implique des tests sur des durées très longues. Certains moteurs doivent tourner pendant 10 000 heures, soit environ un an, et le prochain horizon d'étude se situe plutôt aux alentours de 50 000 heures ! Ces difficultés sont néanmoins contrebalancées par les gains de vitesse et d'autonomie prévus.

Les plasmas froids appartiennent à ces domaines où chaque nouvelle application ouvre de nouvelles portes. Mis en perspective avec les nombreux éléments théoriques qui échappent encore aux chercheurs, ces progrès n'en sont manifestement qu'à leurs débuts. ■

NUMÉRIQUE

Informatique. Grâce à leur collection de six millions de malwares, les chercheurs du Laboratoire de haute sécurité¹ ont mis au point un anti-virus d'un nouveau genre, déjà utile à la gendarmerie et bientôt disponible pour les entreprises.

PAR CHARLINE ZEITOUN



► **Portrait-robot de la « silhouette » d'un malware, ce graphe permet d'identifier ce dernier, même après légère modification.**

Portes blindées, sas, caméra de surveillance et reconnaissance biométrique de l'œil : le Laboratoire de haute sécurité (LHS) du Loria, à Nancy, est une forteresse où sont confinés six millions de virus informatiques. Intérêt de collectionner ces super vilains ? Pouvoir les analyser en profondeur. Puis concevoir des outils qui permettent d'en détecter les « mutants », des variantes issues de la même souche mais légèrement modifiées, et qui n'ont pas encore fait suffisamment de dégâts pour être intégrés aux anti-virus du commerce. « Ces logiciels ne détectent en général que les virus qu'ils connaissent déjà », commente Jean-Yves Marion, directeur du LHS.

L'attrape-virus du laboratoire lorrain « ramasse » tout ce qui traîne sur le Web. « C'est un télescope virtuel, développé par l'équipe Madynes², explique Jean-Yves Marion. Il permet de simuler la présence de centaines d'ordinateurs vulnérables, de façon à susciter le maximum d'attaques que l'on va ensuite

capturer. » Les malwares capturés passent ensuite à la moulinette du logiciel Gorille. « Comme avec les anti-virus du commerce, il s'agit de chercher une signature propre au malware qui permettra de l'identifier », poursuit l'informaticien. À une grande différence : « On ne se restreint pas à la traque de quelques lignes de code ou de chaînes de caractères typiques d'un code malveillant déjà identifié. Pour nous, la signature d'un malware, c'est sa structure complète. » Résultat : elle permet de reconnaître un malware mutant, c'est-à-dire légèrement modifié.

Au cœur du code

« Pour extraire la structure d'un programme malveillant, on regarde la liste des instructions qui le composent, en code assembleur (c'est le langage de la machine) », développe Fabrice Sabatier, de l'équipe Carbone du LHS. En fonction de leur nature, elles sont représentées par des formes géométriques ensuite reliées par des nœuds qui

symbolisent les « sauts conditionnels ». « Mais un programme est constitué de millions de nœuds ! », reprend le chercheur. Tout l'art de la méthode réside alors dans des règles de simplification, en supprimant tel nœud ou tel paquet d'instructions jugé peu caractéristique, afin d'obtenir un « graphe » de quelques milliers à quelques centaines de milliers de nœuds seulement.

« Grâce à nos graphes, nous pouvons ensuite comparer n'importe quel programme avec les échantillons de notre collection. S'il y a de gros points communs, la présomption d'avoir affaire à un malware sera d'autant plus forte », résume Jean-Yves Marion. « Notre méthode est trop complexe pour tourner sur les PC du grand public, mais nous avons aidé la gendarmerie à identifier les souches de diverses attaques de type ransomware qui venaient de la même source », commente Fabrice Sabatier. La technique devrait bientôt servir aux entreprises, le Loria monte une start-up dans ce but³.



Virus et malwares : les chercheurs contre-attaquent

1. Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (CNRS/Inria/Univ. de Lorraine). 2. Managing dynamic networks and services/ Supervision des réseaux et services dynamiques. 3. Cette start-up, Simorfo, est créée en collaboration avec la société Tracip. 4. Selon le New York Times du 27 janvier 2014, le jeu Angry Birds aurait servi à la NSA, agence américaine de renseignement, et à son homologue britannique, le GCHQ, pour collecter certaines données de ses utilisateurs. 5. Acronyme formé avec les initiales de Google, Apple, Facebook et Amazon, géants du Net.



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

L'intérêt pour elles est grand car, en étudiant les différentes fonctionnalités des malwares, la méthode permet aussi de découvrir ce que ces logiciels voulaient voler ou détruire.

Identifier les différentes fonctionnalités d'un logiciel est d'ailleurs un thème clé de la recherche fondamentale en informatique. Parce qu'il n'existe pas d'algorithme capable d'affirmer à coup sûr que deux programmes font la même chose. « Analyser les virus, poursuit Jean-Yves Marion, nous amène aussi à des questions du type : qu'est-ce qu'un programme malveillant ? » Comment le distinguer d'un programme ordinaire qui agirait de façon pas toujours justifiable ? Qu'est-ce qui le différencie de votre jeu en ligne, si ce dernier se met à vous géolocaliser ? Ou à transmettre vos données à un tiers, comme en a été accusé un fameux jeu d'oiseaux il y a deux ans⁴ ? Il faut au final parvenir à définir dans quels contextes certaines fonctionnalités sont suspectes et dans quels autres elles ne le sont pas...

Et pour l'avenir, faut-il craindre de nouvelles générations de virus ? « Les nouveautés tiennent surtout dans la façon de protéger les malwares en les "déguisant" », répond Jean-Yves Marion. Il y a les mutants, évoqués plus hauts,

mais aussi le fait de crypter le code du virus ou encore de le ziper et re-ziper, jusqu'à des centaines de fois, dans un autre programme, afin de le cacher et de le soustraire à l'analyse de l'antivirus. Et il y a pire : certains malwares s'auto-modifient au fur et à mesure de leur exécution sur un PC, avec des fonctionnalités cachées qui se déclenchent par vagues, qui peuvent s'effacer en cours de route ou ne jamais s'activer !

Heureusement, au LHS, on peut exécuter un virus : on le dézippe alors autant de fois que nécessaire et on observe ses vagues d'auto-modification, ce qui permet d'accéder à ses parties cachées, au plus profond de son code. « Nous réalisons ces expériences sur notre réseau, sans craindre la contagion vers d'autres machines, car c'est un cluster confiné, déconnecté du monde extérieur », souligne l'informaticien.

La sécurité numérique en jeu

Bien sûr, Google et les autres Gafa⁵ veillent aussi au grain. Le moteur de recherche américain possède d'ailleurs une collection de 300 à 400 millions d'échantillons de malwares, même si les doublons, mutants et autres, y foisonnent et gonflent les effectifs. « En marge de ces acteurs privés, la

recherche publique joue un rôle capital, notamment dans le domaine de la virologie, trop peu développé en France et en Europe », insiste le directeur du LHS, première plateforme de recherche académique française dédiée à la sécurité informatique.

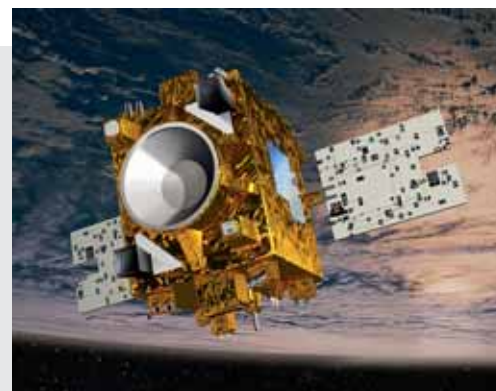
« La recherche publique doit proposer des solutions pour garantir la sécurité numérique des citoyens, chercher les failles des outils du commerce et en informer le grand public », souligne le chercheur. Ce processus salutaire pousse aussi parfois les concepteurs à proposer rapidement des patchs correcteurs. Un exemple édifiant a fait trembler la Toile en juin dernier : une démonstration réalisée par des chercheurs du Loria avait ainsi mis en évidence une faille majeure dans le protocole https qui sécurise les connexions Internet. Sans compter que le monde tout connecté que nous nous préparons offrira de plus en plus de cibles aux hackers. « Avant d'être développés à grande échelle, le pace-maker branché sur wi-fi, la voiture autonome, le bracelet qui prend votre pouls ou le vote électronique réclameront d'apporter un certain nombre de garanties », avertit Jean-Yves Marion. À qui choisirons-nous d'en confier la responsabilité ? ▮

En bref

Microscope va tester le principe d'équivalence

Le 25 avril, le microsatellite du Cnes Microscope a été mis en orbite à 700 kilomètres d'altitude. Sa mission ? Vérifier le principe d'équivalence, pilier de la théorie de la relativité générale établie il y a un siècle par Albert Einstein¹. Selon celui-ci, tous les corps tombent à la même vitesse dans le vide, quelle que soit leur masse ou leur composition. Cette prédiction a toujours été vérifiée par les expériences, mais certaines théories, dont la théorie des cordes, prévoient que ce principe soit violé à un moment donné. D'où l'importance de Microscope, qui implique plusieurs laboratoires du CNRS (Géoazur, LKB, LPT, Syrte, IAP) et doit permettre d'atteindre une précision cent fois plus grande que les expériences sur Terre.

1. Lire « Le principe d'équivalence à l'épreuve », *CNRS Le journal*, n° 282, p. 37-38.



Vue d'artiste du satellite Microscope.

Réinventer la médiation à l'heure du numérique

Des tasses de café qui s'entrechoquent, qui se brisent... Le scénario semble n'avoir aucun rapport avec les sciences, et pourtant. Il est issu d'une vidéo de vulgarisation sur la physique des solides. Ce film poétique et innovant sort tout droit de l'imagination de Charlotte Arene, étudiante en cinéma d'animation, et de Julien Bobroff, spécialiste de la supraconductivité. Membre de l'équipe « La physique autrement »¹, ce touche-à-tout de la médiation s'est donné pour mission d'explorer le maximum de supports de vulgarisation possibles. Du plus classique, comme la conférence, au plus inattendu, comme la bande dessinée ou le stop motion. « Le but est d'essayer et de voir ce qui fonctionne ou pas. Mais il n'y a pas un média meilleur que d'autres, l'important est de savoir à quel public on s'adresse », explique Julien Bobroff.

STOP MOTION
Technique d'animation permettant de créer un mouvement à partir d'objets immobiles.

NUMÉRIQUE

Internet. Vidéo, blog, bande dessinée... Les supports de vulgarisation scientifique fleurissent sur le Web. Mais comment s'y retrouver ? Réponse à l'occasion du forum sur ce sujet organisé le 31 mai par le CNRS et la Conférence des présidents d'université.

PAR LÉA GALANOPOULO

La vidéo plébiscitée

Avec l'essor des supports numériques, les chercheurs s'exposent davantage sur le Web. « Le besoin de communiquer sur ses découvertes est de plus en plus présent », souligne Julien Bobroff. Et ces plateformes innovantes offrent une liberté de ton loin de la communication institutionnelle. C'est cette légèreté qui a poussé Manon Bril, doctorante en histoire², à lancer sa chaîne YouTube en septembre dernier. Son but : dépeussier l'histoire,

en particulier la mythologie gréco-romaine. Le tout avec humour et modernité. Très vite, Manon Bril s'aperçoit « qu'il y a un vrai public pour les sciences humaines ». Au milieu des YouTubeurs célèbres, la chercheuse, qui pratique régulièrement le théâtre, a réussi à se faire une place. Aujourd'hui, les vidéos de sa chaîne « C'est une autre histoire » cumulent en moyenne 30 000 vues.

Depuis plusieurs années, la plateforme vidéo de Google semble être le terrain de jeu privilégié des médiateurs. Pourtant, bon nombre de ces vidéastes ne sont pas chercheurs. « En histoire, on trouve le meilleur comme le pire », souligne Manon Bril. « YouTube fait un travail de vulgarisation abandonné depuis des années par la télévision », ajoute Julien Bobroff. Si cet outil numérique peut faire peur aux chercheurs, il a pourtant l'avantage de toucher toutes



© PHOTOS : LA PHYSIQUE AUTREMENT (LPS)

➤ Réalisé par Charlotte Arene, étudiante en cinéma d'animation, et l'équipe de Julien Bobroff, Un chercheur et son article décrit le processus de publication dans la recherche.



1. Laboratoire de physique des solides (CNRS/Univ. Paris Sud). Voir le site très complet de l'équipe : www.vulgarisation.fr 2. France, Amériques, Espagne-Sociétés, pouvoirs, acteurs (CNRS/Univ. Toulouse-Jean Jaurès). 3. Groupe Virgo (CNRS/Univ. Paris Sud). 4. Laboratoire de synthèse et fonctionnalisation des céramiques (CNRS/Saint-Gobain).



► Les vidéos de Manon Bril, doctorante en histoire, cumulent en moyenne 30000 vues sur YouTube.

L'art difficile de la synthèse

« Twitter permet d'avoir des débats en profondeur avec presque l'ensemble de la communauté scientifique parfois, même sur un ton léger », explique Sylvain Deville, ajoutant que le réseau permet tout de même de montrer au grand public le fonctionnement de la recherche, « que nous ne sommes pas que des blouses blanches isolées dans nos labos », s'amuse-t-il.

Si le numérique offre une grande liberté de ton et de choix du contenu, il ne pousse pas pour autant à appauvrir le discours scientifique. « En tant que chercheur, nous sommes en permanence en train de synthétiser nos recherches », explique Manon Bril, dont la thèse s'intéresse à la déesse Athéna dans l'imagerie officielle du XIX^e siècle.

La YouTubeuse est tombée dans la médiation « un peu par hasard », après avoir vu une annonce pour participer à « Ma thèse en 180 secondes ». Le principe est simple : résumer sa thèse en 3 minutes devant un public. Manon Bril a finalement remporté le prix du public de la finale régionale Midi-Pyrénées en 2015. La troisième finale nationale de « Ma thèse en 180 secondes » aura lieu, quant à elle, le 31 mai à Bordeaux. Et, porté par le succès du concours, un forum sur la médiation scientifique se tiendra le même jour. L'occasion d'échanger sur les pratiques innovantes et d'encourager les plus curieux à explorer les nouveaux champs numériques de la médiation. ▮

les cibles et particulièrement les plus jeunes. « Si les chercheurs n'investissent pas la médiation sur Internet, elle se fera quand même, mais sans nous ! Les spécialistes doivent s'en emparer, intervenir comme experts », conseille la doctorante.

Se lancer, mais avec précaution

Des chercheurs qui reprennent la main sur les outils numériques, il en existe pourtant. Nicolas Leroy, lui, s'est même lancé « gaiement » dans un dispositif alors inconnu à ses yeux... Physicien au Laboratoire de l'accélérateur linéaire³, Nicolas Leroy est responsable de la prise de données qui a abouti à la découverte des ondes gravitationnelles. En février dernier, en pleine ébullition autour de cette incroyable avancée, le chercheur est invité à participer à une médiation inédite appelée « Ask me Anything ». « Pendant trente minutes, j'ai répondu aux questions des internautes en direct, avec deux de mes collègues, sur notre découverte », explique-t-il. Et ce n'est que quelques minutes avant le direct que le chercheur découvre Periscope, la plateforme qui diffuse la vidéo en direct et permet aux internautes d'interagir. « Finalement, c'est comme une conférence de presse à bâtons rompus, sans

filet, ajoute-t-il, très satisfait de son expérience. L'avantage est que l'on peut toucher tous les publics et d'une manière très rapide ! On parle à des gens qui n'iraient pas forcément dans des cafés des sciences ou à des conférences grand public. »

Toucher un public plus large de manière originale, drôle et directe : le numérique semble être la clé d'une médiation réussie. Pourtant, attention aux fausses bonnes idées ! « Un chercheur qui veut se jeter à l'eau doit tout de même travailler avec des professionnels de la communication, de la vidéo ou avec des outils déjà existants », précise Julien Bobroff. Même avec le meilleur contenu du monde, un site ou un film moche n'aura aucune visibilité. » Autre écueil à éviter : tous les outils du numérique ne sont pas forcément adaptés à la médiation scientifique. C'est notamment le cas de Twitter, selon Sylvain Deville, l'un des premiers chercheurs français à s'être inscrit sur le réseau. Difficile en effet de faire passer un concept en 140 signes... Pour lui, l'intérêt principal de Twitter est la mise en relation des scientifiques. « C'est la plus grande conférence scientifique mondiale ! Elle a lieu n'importe où et à n'importe quelle heure », résume le chercheur en sciences des matériaux⁴.



Le forum des Nîmes (Nouvelles initiatives en médiation scientifique) se déroulera le 31 mai, à Bordeaux

>> www.cnrs.fr/forum-nîmes/

Plaidoyer pour une science ouverte



© CNRS/DÉLÉGATION PMA

Publication. En mars dernier, le CNRS a publié le livre blanc « Une science ouverte dans une République numérique ». À la tête de la Direction de l'information scientifique et technique (Dist) qui a piloté cet ouvrage, Renaud Fabre nous en explique les enjeux.



Une nouvelle étape, capitale, se dessine pour la science : le numérique offre la possibilité d'un partage des connaissances à une échelle inédite. La Commission européenne a pris acte de cette évolution, en faisant du principe de science ouverte, une priorité. Alors qu'un projet de loi « Pour une République numérique » est en cours de débat au Parlement français, une réflexion de la part des acteurs de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (ESR) s'avérait donc indispensable pour partager les constats, identifier des priorités et élaborer des propositions construites à partir des pratiques des chercheurs et des personnels concernés.

Initiée en 2014, cette réflexion a abouti à la publication d'un livre blanc « Une science ouverte dans une République numérique », fruit d'une collaboration féconde entre plusieurs organismes de recherche et des membres de la Conférence des présidents d'université. Ce travail a mobilisé un ensemble de grands témoins et d'experts, et a étroitement associé le conseil scientifique du CNRS, dont un groupe de travail permanent, ainsi que son président, Bruno Chaudret.

Ce livre blanc contient un ensemble de réflexions sur les usages et régulations de la science à l'heure numérique, une expertise sur le droit comparé de la science ouverte ainsi que des propositions pour participer au débat européen et



Le livre blanc est téléchargeable sur

» www.cnrs.fr/dist/Livre_blanc_DIST_CNRS.html

pour nourrir, en France, les propositions sur la construction en cours de notre future loi numérique.

L'ensemble des contributeurs partagent deux objectifs. Le premier est de rendre accessibles toutes les publications (articles et données) financées par la puissance publique à tous les chercheurs et personnels de recherche engagés dans le travail de la science européenne et internationale. Le second objectif est de faire évoluer les règles européennes et nationales pour lever les barrières aux obstacles de toute nature entravant aujourd'hui l'émulation entre les parties prenantes de la recherche publique internationale. Réaliser ces deux objectifs permettra de faire progresser « Une science ouverte dans une République numérique » en fonction des attentes de la recherche comme des expertises du droit international.

Accompagné d'un questionnaire aux lecteurs disponible sur la plateforme d'enquête du CNRS Lime Survey, ce livre blanc permettra de nourrir avec tous les acteurs (éditeurs, producteurs de services, industriels, collectivités publiques, etc.) un dialogue que nous espérons le plus fécond et le plus large possible afin d'ajuster ces propositions avec celles de tous les usagers bénéficiaires et partenaires de la recherche publique.

Les auteurs de ce livre blanc, qui mesurent l'ampleur des adaptations requises, entendent les faire partager en France et en Europe avec tous les partenaires économiques et techniques de la recherche, à l'image de ce qui est engagé dans les pays qui nous précèdent dans cette démarche tels que les États-Unis, le Canada, la Grande-Bretagne et le Japon, et en ligne avec l'Allemagne, qui poursuit actuellement une même réflexion.

Seule la liberté de publier et de partager les connaissances conjuguée à la traçabilité numérique de tous les usages de la science permettra à la France de tenir son rang face aux enjeux globaux des connaissances. Le Text and Data Mining (l'ensemble des techniques informatiques qui permettent d'explorer les corpus les plus vastes et d'en extraire automatiquement des informations) est la grande innovation qui accompagne ce mouvement. Le livre blanc préconise qu'il soit garanti par la loi en France, comme c'est le cas dans tous les autres grands pays ayant adopté les règles de ce « droit de lire » pour les besoins de la science publique. II

En bref

DEUX ACCORDS POUR LA BIBLIOMÉTRIE

Le CNRS a signé début février deux accords-cadres avec les éditeurs Thomson Reuters et Elsevier. Ils portent sur l'accès aux bases de données bibliographiques et citationnelles ainsi que sur les outils d'analyse. Grâce au dispositif de « centrale d'achat », les établissements de l'Enseignement supérieur et de la Recherche pourront également en bénéficier. Une opération de mutualisation intéressante tant d'un point de vue scientifique que financier.



» <http://intranet.cnrs.fr/intranet/actus/160225-bibliometrie.html>

Les robots humanoïdes se mettent au travail

NUMÉRIQUE

Robotique. Des robots humanoïdes devraient travailler sur les lignes d'assemblage des avions grâce à un programme lancé avec le groupe Airbus. Ils permettront de décharger les opérateurs humains des tâches les plus laborieuses ou dangereuses.

PAR ARBY GHARIBIAN

Un nouveau programme de recherche commun¹, lancé par le groupe Airbus et le Laboratoire franco-japonais de robotique (JRL)², vise à développer des robots humanoïdes dédiés aux lignes de montage aéronautiques. « Étant donné la spécificité des lignes d'assemblage aéronautiques et des tâches qu'elles requièrent, le groupe Airbus a des besoins bien définis », explique Abderrahmane Kheddar, directeur du JRL. « Par exemple, les robots doivent être en mesure d'évoluer dans des espaces réduits tels qu'un fuselage et accomplir des tâches complexes dans de nombreuses positions. Concrètement, l'industriel a besoin de robots humanoïdes capables de s'agenouiller ou de se pencher comme un être humain, et qui peuvent exécuter des fonctions plus sophistiquées comme visser ou serrer un boulon », ajoute Adrien Escande, qui dirige le programme de recherche commun.

De la science-fiction à la réalité

Justement, depuis la création du JRL en 2004, Abderrahmane Kheddar et son équipe ont fait de ces fonctionnalités robotiques une réalité émergente et non plus de la science-fiction. « En combinant l'expertise japonaise en électronique et en robotique à l'excellence française en mathématiques et

en algorithmique, nous avons fait des progrès remarquables dans des domaines tels que la perception tactile ou haptique, poursuit Abderrahmane Kheddar. Ces réalisations vont maintenant nous servir à améliorer le déplacement multi-contact qui permet aux robots humanoïdes de se déplacer en prenant appui non seulement sur leurs pieds, mais aussi sur leurs genoux, leurs mains ou leurs coudes, comme nous-mêmes le faisons lorsque nous rampons. »

Une meilleure mobilité

Des chercheurs du JRL, coordinateurs du projet européen Comanoid³, ont d'ores et déjà permis d'introduire la mobilité multi-contact dans l'industrie aéronautique, qui requiert des



▼ Ce robot humanoïde vérifie la fonctionnalité d'un panneau de commande.

▲ La locomotion multi-contact permettra aux robots de se déplacer dans des endroits exigus tel le fuselage d'un avion.

robots capables de se déplacer dans les ateliers sans mettre en danger les opérateurs humains, les avions ou eux-mêmes. Ils se sont ensuite attachés à faire réaliser aux robots des tâches simples telles que déposer un objet à un endroit donné.

Les chercheurs s'appuient sur ces bases pour développer maintenant des mouvements plus complexes qui demandent encore des progrès dans deux domaines clés : la planification et le contrôle. « Imaginez un alpiniste, suggère Adrien Escande. Pour avancer sur la paroi, il doit en permanence penser à repérer les prises et les appuis possibles, décider où et comment placer ses pieds et ses mains, quels mouvements effectuer, à quel moment. C'est la fonction de planification. Après, il y a la fonction de contrôle, qui permet au grimpeur d'ajuster en temps réel la force, l'ampleur, la rapidité de ses mouvements à la situation réelle et aux événements imprévus, comme un coup de vent ou un dérapage. Nous ...

1. « Whole-body manipulation for humanoid robots in constraint environments », Joint Research Program (CNRS/AIST/Airbus).
2. Laboratoire international associé créé entre le CNRS et l'Institut national de la science et des technologies industrielles avancées. 3. Multi-Contact Collaborative Humanoids in Aircraft Manufacturing (Comanoid).

“Ces robots humanoïdes ne sont pas là pour remplacer les ouvriers, mais pour leur assurer de meilleures conditions de travail.”

... devons aujourd'hui recourir à des techniques d'optimisation numérique et à des algorithmes avancés pour progresser dans ces deux domaines. »

Par exemple, pour manipuler les boutons d'un tableau de bord afin de tester leur fonctionnement sur un panneau qui se trouve à hauteur des genoux, un robot humanoïde peut préparer l'exécution de sa tâche en déterminant où s'agenouiller, où prendre appui sur le mur, comment saisir les boutons, etc. Ces calculs préparatoires peuvent prendre plusieurs minutes alors que l'analyse de la fonction de contrôle exige des réactions immédiates. Mais, pour aider un travailleur humain à transporter une charge lourde, le robot doit être en mesure de réagir en temps réel aux mouvements de celui-ci, ce qui requiert des temps de calcul de l'ordre de la milliseconde. D'autant que ces exemples nécessitent des ajustements en temps pour se maintenir en équilibre, exercer une force suffisante pour s'appuyer contre un mur sans tomber, etc.

Chez les êtres humains, ces micro-ajustements sont permanents et sont pris en charge sans que nous en ayons conscience par le système nerveux moteur. Chez les robots, ils doivent être programmés. Chaque manœuvre ou décision analytique doit donc

être formalisée en un problème mathématique, lui-même traduit en une équation qui est ensuite résolue grâce à l'un des algorithmes développés par les scientifiques. De tels algorithmes ont d'ailleurs été développés pour la marche bipède, le contrôle de chute et le contrôle de mouvements avec contacts multiples.

Une plus grande autonomie

Des travaux ont également été entrepris pour améliorer les capacités d'apprentissage des robots. On y est parvenu en enseignant aux machines comment apprendre elles-mêmes en recherchant l'information dans des bases de données locales ou sur Internet. Dans le cadre du projet européen RoboHow, les chercheurs du JRL ont aidé des robots à apprendre de nouvelles tâches, comme recharger du papier dans une imprimante ou faire cuire une pizza, et ce en consultant des instructions, des plans et des vidéos de tutoriels piochées sur le Web et

stockées dans leur mémoire. Ces informations ont été analysées et intégrées par le robot afin qu'il puisse planifier et accomplir sa tâche. L'objectif est évidemment de développer des robots plus autonomes, capables de repousser toujours plus loin l'étendue de leurs compétences et connaissances.

Les robots mis au point pour les usines d'aviation du groupe Airbus pourraient un jour être adaptés pour ses divisions hélicoptères et aérospatiales. Ils pourraient également être utilisés sur les chantiers navals ou ferroviaires, industries implantées dans des sites d'assemblage vastes et complexes qui ont besoin de robots mobiles capables de prendre en charge une grande variété de tâches.

« Notez bien que ces humanoïdes ne sont pas là pour remplacer les ouvriers, mais pour leur assurer de meilleures conditions de travail en les déchargeant des travaux les plus pénibles ou qui les exposent aux substances dangereuses, conclut Abderrahmane Kheddar. Ils permettront à des travailleurs expérimentés de se concentrer sur des tâches à plus forte valeur ajoutée. En d'autres termes, pour ces ouvriers, les robots seront des outils sophistiqués destinés à les assister dans le cadre d'une collaboration synergique homme-machine. »

Un robot à l'aéroport

En mars dernier, le robot Spencer a guidé avec succès ses premiers passagers à travers l'aéroport de Schiphol, à Amsterdam, jusqu'à leur porte d'embarquement. Cette ultime phase de test est le résultat d'un projet européen de plus de trois ans, réalisé en partenariat avec la compagnie KLM. Le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS et l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (CNRS/UPMC) ont grandement contribué à l'exploit : à savoir concevoir un robot capable de se déplacer sur de grandes distances dans un environnement très fréquenté.



► Le robot Spencer guide des passagers durant les phases de test qui ont eu lieu à l'aéroport d'Amsterdam en mars dernier.

LES IDÉES



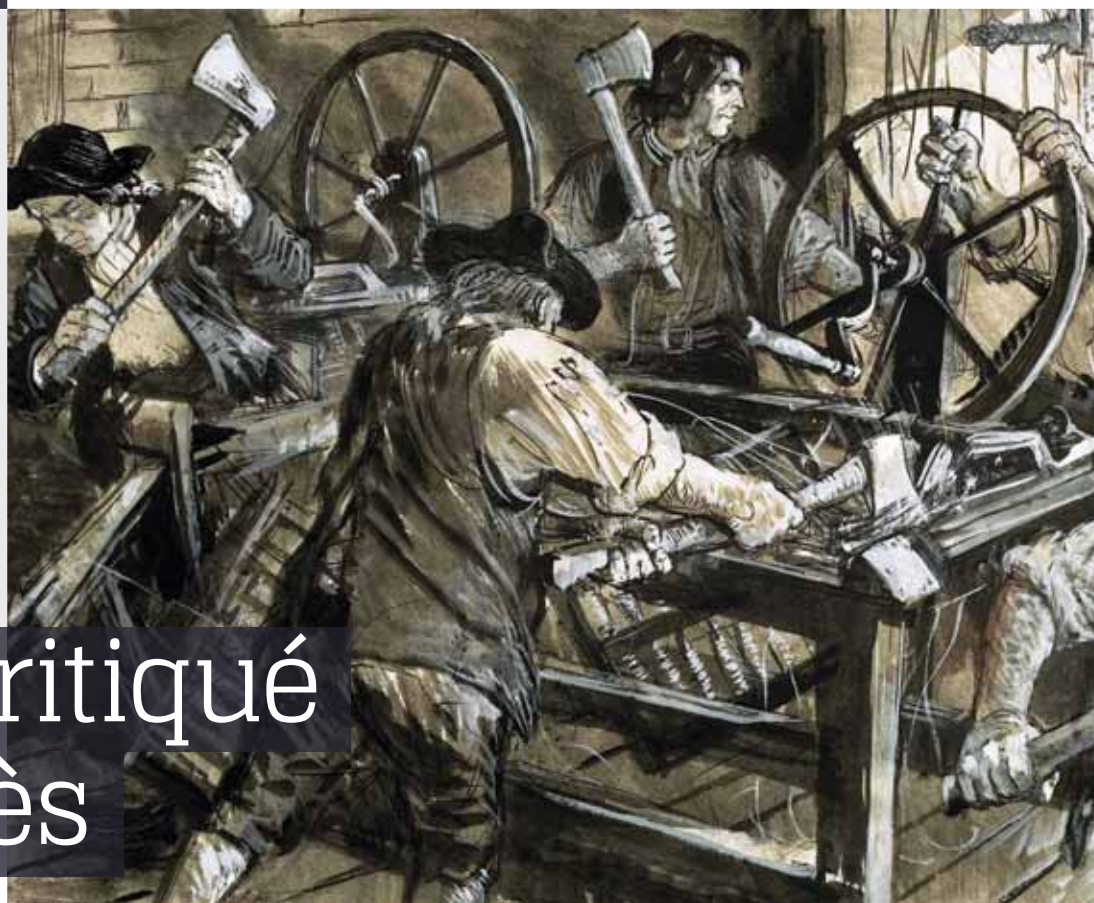
*Où l'on s'intéresse aux critiques
des techniques, aux représentations de
l'atome et aux autres chemins qu'aurait
pu suivre l'évolution des espèces.*

ILLUSTRATION : MARCUS WALTERS/TALKIE WALKIE

SOCIÉTÉS

Histoire. « Grincheux » et « réacs » sont les sobriquets souvent réservés à ceux qui questionnent les choix techniques de leur époque. Retour, avec François Jarrige¹, sur l'histoire du mouvement techno-critique.

PROPOS RECUEILLIS PAR CLAIRE DEBÔVES



Ils ont critiqué le progrès



Les « techno-critiques » interrogent la place des techniques dans nos sociétés depuis plus de deux cents ans. Pourquoi raconter leur histoire ?

François Jarrige : Dans mon livre, j'ai tenté une synthèse historique des différents auteurs et mouvements

techno-critiques, un néologisme forgé dans les années 1970 par le philosophe Jean-Pierre Dupuy. Leur redonner audience rééquilibre le débat, généralement caricatural, entre tenants et opposants à la technique. Cela permet aussi d'observer des constantes à travers les époques, que ce soit sur la question des dommages environnementaux ou sur le remplacement des hommes par les machines.

Que signifie critiquer les techniques ?

F.J. : Ceux que j'appelle « techno-critiques » ont en commun de penser que les techniques n'arrivent pas de nulle part pour s'imposer tout naturellement. Bien au contraire, parce que les techniques sont le produit d'une société et d'une époque, elles posent question. Pour les techno-critiques, il ne s'agit pas de critiquer la technique ou les techniques en soi. Les outils font partie des activités humaines depuis que l'on en garde des traces. En revanche, on peut chercher à comprendre dans quel contexte s'imposent les machines, à étudier leurs effets et les discours qui les accompagnent.

L'emploi du mot de « technique » n'est-il pas ambigu ?

F.J. : Avoir un regard critique sur la technique suppose au préalable de réfléchir à ce mot. De quoi parle-t-on : d'un marteau ? du téléphone ? du nucléaire ? du numérique ? Le sens du mot « technique » a d'ailleurs beaucoup évolué : avant le XIX^e siècle, il est très peu employé et désigne un procédé propre à un art, comme la technique vocale. Avec l'industrialisation, le mot se répand pour nommer un procédé efficace, de plus en plus synonyme de machine. Ce problème de vocabulaire illustre la difficulté à interroger la notion de technique, pourtant au cœur de la modernité.

Quand est-ce que ce phénomène a commencé ?

F.J. : Ce phénomène remonte aux débuts du machinisme, à l'orée du XIX^e siècle. Dans le secteur textile, par exemple, l'arrivée des métiers mécaniques a été émaillée de nombreux incidents. Emblématique de cette époque, le mouvement luddite en Angleterre et ses « briseurs de machines » a opposé des artisans tondeurs et tricoteurs aux manufacturiers qui favorisaient l'emploi des machines dans le travail de la laine et du coton. Pour les ouvriers, les nouvelles machines étaient souvent porteuses de misère et de déqualification. Les artisans étaient également sceptiques face aux innovations promues par les capitaines d'industrie. Ils les jugeaient fragiles, coûteuses et incapables de réaliser des pièces compliquées. À cette époque, le machinisme est mis en cause par les socialistes comme par certains milieux conservateurs qui pointent les conditions de travail en usine, le risque d'épuisement des ressources naturelles, la pollution. À l'opposé, un nombre croissant d'ingénieurs et

▼ Révolte luddite en Angleterre au XIX^e siècle : pour conserver leurs emplois, des ouvriers détruisent les nouveaux métiers à tisser mécaniques.

1. Centre Georges-Chevrier (CNRS/Univ. de Bourgogne).



© LOOK AND LEARN/BRIDGEMAN IMAGES

d'économistes libéraux font de la machine un instrument d'émancipation, source du progrès. Ce sont eux qui gagnent la bataille des esprits... jusqu'à ce qu'une guerre ou une crise n'apporte de nouvelles remises en question.

Vous insistez sur le fait que l'implantation de nouvelles techniques est le produit d'une société dans une époque donnée...

F.J. : La machine à vapeur et la locomotive sont sans nul doute les premières machines emblématiques du progrès technique. Or, à ses débuts, le chemin de fer était un choix contesté. Il s'agissait d'abord de transporter du charbon et des marchandises. Des ingénieurs trouvaient d'ailleurs cette technique coûteuse, d'un rendement énergétique faible et qui plus est dangereuse. Pourquoi le chemin de fer s'est-il finalement imposé ? Cela résulte de l'action d'industriels pariant sur le potentiel d'efficacité du ferroviaire : aller plus vite, produire plus, fonctionner toute l'année en étant affranchi de certaines contraintes naturelles. Le chemin de fer accompagne aussi la montée des États nations ; en créant une multiplicité de contacts entre les hommes, il est censé contribuer à la réalisation du projet kantien de paix perpétuelle. L'État a aussi massivement soutenu le chemin de fer, aux États-Unis, en France comme dans les Empires plus tard, pour unifier les territoires nationaux. Grâce à tous ces investissements, le chemin de fer s'est répandu et perfectionné. L'histoire montre que les techniques sont des objets sociaux et non des inventions géniales que l'on adopte parce que leurs bienfaits sont évidents ou naturels.

“Parce que les techniques sont le produit d'une société et d'une époque, elles posent question.”

Les années 1930 représentent une époque importante pour la critique des techniques...

F.J. : Dès la fin de la Première Guerre mondiale, le lien est fait entre les technologies employées et l'hécatombe de 14-18. Les années 1930 constituent une grande période techno-critique, qui émane plutôt des intellectuels, alors que la crise fait rage et que s'installent des régimes totalitaires. La philosophe Simone Weil, par exemple, s'inquiète : produire toujours plus, en série, use les capacités humaines et les ressources naturelles... mais pour quels besoins réels ? Des économistes tels John Maynard Keynes s'interrogent sur le phénomène du chômage technologique. À cette époque, de nombreux livres marquants questionnent la modernité technique, comme *Le Meilleur des mondes* d'Aldous Huxley ou encore *Regards sur le monde actuel* de Paul Valéry.



Techno-critiques. Du refus des machines à la contestation des technosciences,
François Jarrige,
La Découverte,
Poche, mars 2016,
440 p., 13,50 €



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

Les années 1970 marquent un autre réveil des techno-critiques. Que se passe-t-il à cette période ?

F.J. : Après la Seconde Guerre mondiale, l'urgence est à la reconstruction. La technique, l'informatique notamment, deviennent des instruments de paix et de liberté. Ce n'est qu'à l'occasion d'une nouvelle crise que s'ouvre une autre phase techno-critique dans les années 1970. Pacifistes, antinucléaires, écologistes... Nombreux sont alors les courants qui y contribuent. Des auteurs comme Jacques Ellul, penseur de la technique, ou Ivan Illich, penseur de l'écologie politique, insistent sur les effets contre-productifs de l'industrialisation. On critique le tout-automobile : accidents, pollution, encombrements, etc. C'est à ce moment-là aussi qu'apparaît la notion de technoscience pour caractériser le nouveau régime de production des sciences et techniques et son credo qui veut que « *tout ce qui est possible doit être tenté* ».

Certains savants ont fait partie de ce courant. Pouvez-vous nous donner quelques noms ?

F.J. : La prise de distance de chercheurs et d'ingénieurs vis-à-vis de la technique est particulièrement frappante contre le nucléaire après 1945. On retrouve parmi eux les physiciens Albert Einstein et Frédéric Joliot-Curie. Des chercheurs ayant participé à l'élaboration de la bombe nucléaire, le mathématicien John Von Neumann y compris, sont traversés de doutes profonds, même s'il est difficile de les exprimer à l'époque. Ce dernier estime que les progrès scientifiques et techniques pourraient mettre l'humanité en péril. Alexandre Grothendieck est aujourd'hui considéré comme l'un des plus grands mathématiciens du xx^e siècle. Or il a rompu avec la recherche académique et dénoncé l'alliance entre la recherche et l'industrie pendant la guerre du Vietnam.

Que reste-t-il des techno-critiques aujourd'hui ?

F.J. : On peut déjà s'interroger sur ce que serait notre monde si personne n'avait jamais mis en doute les bienfaits de la technique ; si personne n'avait œuvré pour retirer du marché des produits toxiques comme les chlorofluorocarbures, à l'origine du trou dans la couche d'ozone. Aujourd'hui, nous sommes dans une situation paradoxale. Avec la crise financière et économique, l'épuisement des ressources, les dégradations visibles de l'environnement..., mais aussi avec la montée des inégalités sociales, beaucoup ressentent le besoin de repenser le projet technique de la modernité, son gigantisme et son accélération incessante. Pour la première fois, on ose aborder la question de la puissance acquise par l'homme, capable de modifier les grands équilibres du globe, d'éteindre ou de modifier des espèces animales... Pourtant, il reste difficile de contester le consumérisme technologique et la fascination pour les derniers gadgets censés relancer la croissance. Et le débat reste encore caricatural et déséquilibré entre ceux qui ne jurent que par l'innovation technique et ceux qui osent en douter... II



Comment mieux prédire les épidémies

Alain Barrat

Spécialiste des réseaux complexes au Centre de physique théorique¹

Malgré les progrès de la médecine et de la santé publique au cours du xx^e siècle, les maladies infectieuses continuent de tuer des millions de personnes chaque année. Il est donc capital de mieux comprendre comment ces maladies se propagent afin de définir des mesures efficaces pour les combattre.

Utiliser les réseaux sociaux

Concernant la prédiction, on a beaucoup entendu parler des réseaux sociaux et de leur utilité pour prédire l'évolution des épidémies. De façon plus générale, les données décrivant le comportement humain à différentes échelles sont cruciales pour nourrir les modèles qui décrivent la propagation des maladies infectieuses. Le logiciel Gleam², par exemple, se base sur des données détaillées de densités de population et de flux de voyageurs entre zones géographiques pour prévoir l'évolution d'une possible épidémie au niveau mondial. Il a été utilisé, en coordination avec l'Organisation mondiale de la santé, pendant la crise d'Ebola, afin d'évaluer en temps réel le risque d'importation de cas dans différents pays. Allié à des données venant de Twitter, il est aussi utilisé dans Fluoutlook.org pour prédire la progression de la grippe saisonnière.

Ces modèles décrivent des propagations à moyenne ou à grande échelle, et reposent donc sur des données précises concernant la mobilité des individus à ces échelles. Et pourtant, ils se fondent sur une hypothèse relativement simpliste sur les contacts au sein d'une population, appelée « mélange homogène » : à savoir, que tous les individus peuvent avoir des contacts entre eux. Cette hypothèse est utilisée pour deux raisons : d'une part, la nécessité d'avoir des modèles simples

dont les résultats peuvent être facilement interprétés et la difficulté de mettre en place des modèles intégrant plusieurs échelles ; d'autre part, la difficulté d'obtenir des données réelles qui décrivent les contacts au sein d'une population. La bonne nouvelle, c'est que ce second obstacle pourrait bientôt disparaître.

Notre travail en milieu scolaire nous a permis de proposer des stratégies de lutte en cas d'épidémie.

Aujourd'hui, une grande partie des données concernant les contacts entre personnes vient de questionnaires. Mais, depuis quelques années, plusieurs groupes de recherche ont mis au point des infrastructures basées sur des petits capteurs radio qui interagissent à faible distance et peuvent détecter la proximité et les contacts en face à face des individus qui les portent. La collaboration franco-italienne SocioPatterns³, pionnière de ce système, l'a utilisé pour capter des données dans des contextes très différents et dans plusieurs pays.

Mieux qualifier les contacts

Dans une série de publications, les membres de SocioPatterns ont décrit les résultats qu'ils ont obtenus à partir des données collectées. Leur analyse a permis d'établir que ces réseaux sont structurés de façon très différente d'un « mélange homogène ». Par exemple, les élèves d'une école primaire passent environ trois fois

plus de temps en contact avec des élèves de la même classe qu'avec des élèves d'autres classes ; dans un hôpital, les infirmiers ont beaucoup de contacts entre eux et avec les patients, mais les contacts médecins-patients et patients-patients sont rares. Les moments de la journée où les contacts ont lieu diffèrent aussi selon les contextes : ils sont répartis sur toute la journée dans les bureaux, tandis qu'ils sont majoritairement limités aux pauses dans les établissements scolaires, et qu'ils dépendent de l'organisation du travail et des visites dans les hôpitaux.

Il existe cependant des caractéristiques communes à tous les contextes, notamment leur durée : la majorité des contacts sont brefs (moins de 2 minutes), mais un nombre non négligeable sont beaucoup plus longs. Or l'hypothèse généralement admise est que la probabilité de transmission de maladies est proportionnelle à la durée des contacts. Certains contacts sont donc beaucoup plus importants que d'autres. Plus surprenant, en ce qui concerne cette durée, la similarité des statistiques observées à des périodes et dans des contextes différents indique qu'il est possible d'utiliser les mesures faites dans un contexte pour produire une modélisation fiable dans un autre.

Des interactions sous-estimées

L'utilisation jointe de capteurs et de questionnaires a aussi mis en évidence des différences importantes entre les données collectées par ces deux méthodes : une grande partie des contacts brefs ne sont pas rapportés dans les questionnaires, mais les contacts longs le sont tous ; de plus, le nombre de contacts tend à être sous-estimé, tandis que leurs durées sont surestimées. Ces différences montrent le besoin pour les chercheurs de bien connaître la source des données utilisées et leurs biais éventuels.

Ces données ont un intérêt particulier dans les modèles de propagation des maladies infectieuses. Pour cela, il faut comprendre quelles sont les caractéristiques

1. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ./Univ. de Toulon. 2. www.gleamviz.org 3. SocioPatterns est une collaboration entre les scientifiques de l'ISI Foundation (Italy), du Centre de physique théorique (France), du Laboratoire de physique de l'ENS Lyon (France) et de la Bitmanufaktur (Allemagne) ; www.sociopatterns.org

4. « Compensating for population sampling in simulations of epidemic spread on temporal contact networks, » M. Génois *et al.*, *Nat. Comm.*, 2015, vol. 6 : 8860.

5. « Mitigation of infectious disease at school : targeted class closure vs school closure, » V. Gemmetto *et al.*, *BMC Infect. Dis.*, 2014, vol. 14 : 695.



Lire l'intégralité du billet
sur lejournale.cnrs.fr

des contacts les plus importantes à mesurer et quel est le niveau de détail nécessaire. Par exemple, l'information précise sur les moments où une personne est en contact avec une autre est très liée à un contexte et un moment donnés, donc peu utile pour une modélisation générale des contacts. En revanche, comparer le nombre de contacts extra- et intra-classes est pertinent pour comprendre comment contenir un foyer dans une école. Nous avons de plus montré que de telles informations peuvent même être extrapolées à partir de données incomplètes⁴.

Notre travail en milieu scolaire nous a permis de proposer des stratégies de lutte en cas d'épidémie : puisque les contacts ont lieu majoritairement dans les classes, nous avons proposé de fermer seulement les classes où des cas de maladie étaient

détectés. Cela a presque la même efficacité que la fermeture de l'école entière, mais pour un coût beaucoup plus faible⁵.

Des modèles à affiner

Ce type d'analyse n'en est qu'à ses débuts. Il reste de nombreuses pistes à explorer, comme le développement de méthodes permettant de trouver des structures dans les données (groupes ayant plus de contacts que d'autres, séquences de contacts temporellement corrélées) : de telles méthodes, même si elles semblent théoriques, peuvent avoir des applications cruciales en termes de santé publique.

Enrichir ces données avec d'autres aspects du comportement humain (comme l'hygiène des mains) ou des prélèvements microbiologiques permettrait aussi de mieux comprendre les facteurs

déterminants des événements de transmission. Pour rendre les prédictions plus fiables, un autre enjeu consiste à créer des modèles multi-échelles, qui couplent les différents types de données (structure des contacts entre individus au niveau d'un bâtiment, mobilité à l'échelle d'une ville et entre villes), en ne retenant à chaque échelle et pour chaque type de données que les caractéristiques pertinentes. Mais nous pourrions aller plus loin, en intégrant par exemple la réaction des individus au fait qu'une épidémie est en cours, ce qui pourrait entraîner une diminution spontanée de leurs contacts ou de leur mobilité. On le voit : ce champ, encore très ouvert, ne pourra progresser qu'en intégrant des compétences diverses, venant aussi bien de l'épidémiologie et de la modélisation que des sciences sociales. II

À VOIR ET À MANGER

PROJECTIONS
SPECTACLES
EXPOSITIONS
ATELIERS
SCIENTIFIQUES

DU 31 MAI AU 5 JUIN 2016
VANDŒUVRE-LES-NANCY
DOMAINE DU CHARMOIS
ENTRÉE GRATUITE

FFC FESTIVAL DU FILM DE CHERCHEUR

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

WWW.FILMDECHERCHEUR.EU

Studio Lili Beaulieu

Les mille images de l'atome

Physique. À quoi ressemble un atome ? Historienne des sciences au Centre Alexandre-Koyré¹, Charlotte Bigg revient sur ses nombreuses représentations qui varient en fonction de l'époque et du contexte scientifique.

PROPOS RECUEILLIS PAR NICOLAS BAKER



© K. FLECK

Tapez « image atome » dans un moteur de recherche et vous verrez s'afficher presque autant de styles d'image que de résultats. Cela a-t-il du sens de se demander à quoi ressemble un atome ?

Charlotte Bigg : L'idée d'une vision de l'atome directe et non médiée est une illusion. Par définition, on ne peut pas voir un atome, ni à l'œil nu ni avec un microscope optique, car la taille des atomes est bien inférieure aux longueurs d'onde de la lumière visible. Mais cette illusion est entretenue par des images qui suggèrent une commensurabilité trompeuse entre le monde atomique et le nôtre. Nous avons l'impression qu'un progrès continu des technologies microscopiques nous permet, en quelque sorte, de zoomer dans des dimensions de plus en plus petites.

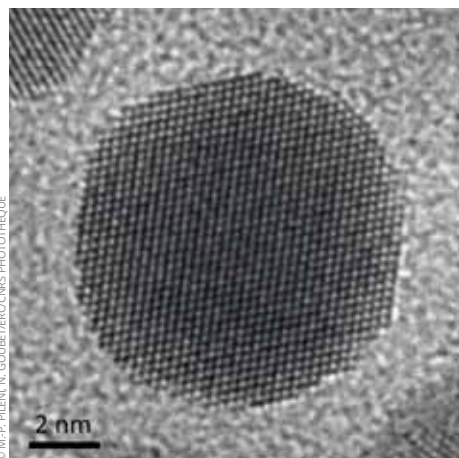
Mais alors que voit-on sur ces images de microscopie électronique ?

C. B. : L'impossibilité d'une perception optique de l'atome ne veut pas dire qu'il est inaccessible à l'expérience ou irréprésentable. Les différentes techniques que l'on regroupe sous le terme de microscopie électronique fonctionnent selon des principes différents de la microscopie optique. On emploie des faisceaux d'électrons pour obtenir certains types

d'information, notamment concernant les surfaces. Mais il faut être conscient du nombre important de médiations techniques opérées dans la production de telles images : ces mesures requièrent une préparation très précise des échantillons par exemple. Une convention s'est mise en place avec des images qui souvent ressemblent à des photographies (*voir ill. n° 1*). Pour un public non expert, les codes visuels de la photographie tendent à renforcer l'effet de réalisme, comme ces ombres portées que l'on peut distinguer à côté des monticules qui figurent les atomes individuels (*voir ill. n° 2*). Mais aucune technique photographique n'entre en jeu. Cet effet provient des logiciels employés pour transformer les données numériques en supports visuels (*voir ill. n° 3*). L'image scientifique, comme toute image, n'est jamais un simple miroir de la réalité (*voir ill. n° 4*).

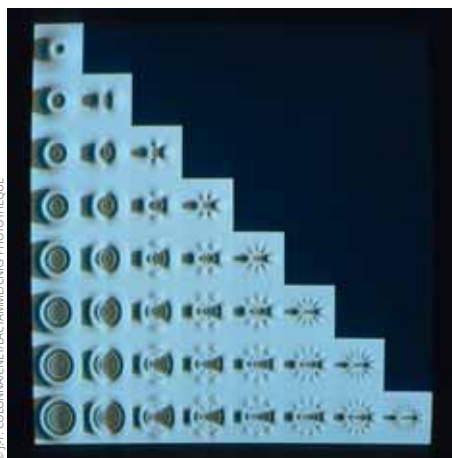
Pourquoi tant d'images différentes ?

C. B. : Ces images renvoient à la fois à des propriétés différentes de l'atome et à différentes traditions de représentation. Elles varient en fonction des instruments utilisés : un spectroscope, un photomètre, un microscope électronique fournissent chacun des images qui sont le résultat à la fois du type de données produites et de conventions de



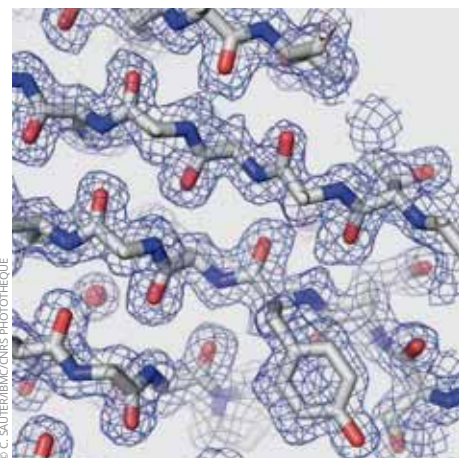
© M.-P. PILBENI, N. GOUBERT/ERC/CNRS PHOTO THÉRIQUE

1. Monocrystal d'or vu au microscope électronique. L'arrangement parfait de ses atomes est le signe de l'absence de défauts cristallins.



© J.-F. COLONNA/NETILACTAMME/CNRS PHOTO THÉRIQUE

2. Visualisation en 3D de la densité de probabilité de présence de l'électron dans 36 états propres de l'atome d'hydrogène.



© C. SAUTER/EMBL/CNRS PHOTO THÉRIQUE

3. Image en 3D d'une protéine. Les atomes sont entourés par un nuage électronique (volume bleu).

© LCC/CNRS PHOTO THÉRIQUE

1. Unité CNRS/EHESS/MNHN.

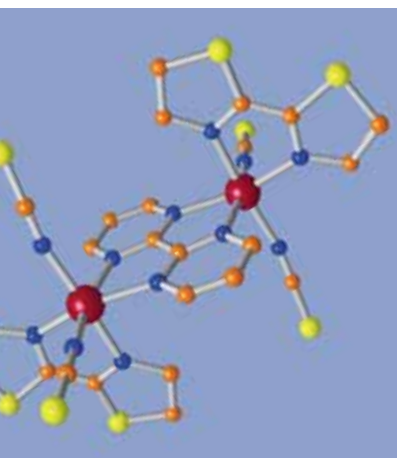
représentation. Suivant que vous êtes chimiste, physicien, biologiste ou spécialiste de la science des matériaux, vous aurez une approche différente par rapport aux atomes et aux molécules. Le choix même de travailler sur des images et/ou des données varie selon les disciplines et les approches. Et puis il y a aussi ces images plus abstraites qui ne sont pas des images expérimentales, comme les diagrammes de Feynman ou les modèles moléculaires qui permettent de visualiser de manière schématique des caractéristiques spécifiques de l'atome. Ce sont avant tout des outils de travail et des outils pédagogiques.

L'image « planétaire » de l'atome est très ancrée dans l'imaginaire. Et pourtant elle est très loin de la réalité physique ! Pourquoi ?

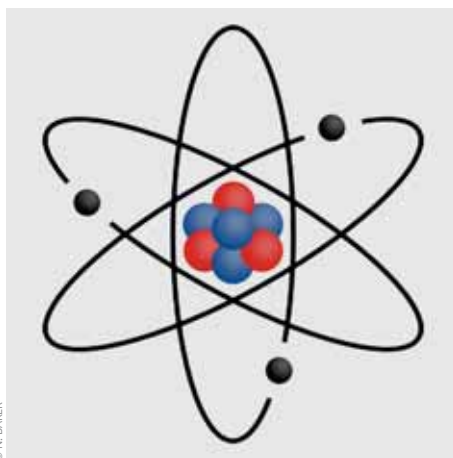
C. B. : C'est en effet un paradoxe parce que ce modèle développé par le physicien Niels Bohr en 1913 est très rapidement remis en question avec le développement des théories quantiques. Or, encore aujourd'hui, il est enseigné en physique et demeure le symbole de la recherche sur l'atome (voir ill. n° 5). L'Agence internationale de l'énergie atomique l'utilise même sur son logo ! En fait, ce modèle a été popularisé après la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis lors des grandes campagnes connues sous le nom de « Atoms for Peace ». Il est devenu un raccourci pour parler de recherches sur le nucléaire. Cette image est frappante et esthétique, ce qui a probablement favorisé sa diffusion malgré sa remise en question scientifique. ■



Lire l'intégralité de l'interview, publiée sur notre blog « Les yeux de la science », sur lejournald.cnrs.fr



4. Atomes d'une molécule : le fer apparaît en rouge, le carbone en orange, l'azote en bleu, le platine en jaune.



© N. BAKER

5. Symbole le plus connu de la représentation de l'atome.

À lire



HUMANITÉ

À partir de ses cours au Collège de France, le découvreur de Toumai nous retrace dans ce livre la grande histoire de la « famille humaine », longue de plus de 7 millions d'années. Qui étaient les premiers hommes ? Pourquoi

quittèrent-ils l'Afrique ? Quels liens entre *Homo neanderthalensis* et *Homo sapiens* ? Un point de vue précieux sur l'histoire de l'homme dans lequel l'auteur prend soin de distinguer « ce que l'on sait » de toutes les questions en suspens.

Nous sommes tous des Africains. À la recherche du premier homme, Michel Brunet, Odile Jacob, mars 2016, 224 p., 23,90 €

MUSIQUE

Opéra, radios, salles de concert... Sous l'Occupation, la scène musicale française devient une pièce du dispositif culturel que l'Allemagne veut ériger en Europe. Jusqu'à la Libération, les salles sont pleines : durant ces quatre années, « jamais Français et Allemands n'auront été réunis en si grand nombre que dans les lieux de musique », rappelle Karine Le Bail, qui livre ici une étude inédite et nourrie d'archives. Que se jouait-il vraiment durant les concerts et en coulisses ? Comment le milieu musical réagit-il à l'exclusion des artistes juifs ? Combien choisissent de résister ? Et quel fut le sort des musiciens à la Libération ?



La Musique au pas. Être musicien sous l'Occupation, Karine Le Bail, CNRS Éditions, mars 2016, 440 p., 27 €

MYÉLINE

Cet ouvrage, rédigé par Bernard Zalc, chercheur en neurosciences, et Florence Rosier, journaliste en science et santé, entend bien réhabiliter le rôle de la myéline, cette membrane protectrice qui enveloppe les axones et accélère la vitesse de conduction des messages nerveux. De son apparition, il y a 425 millions d'années, aux défis qu'elle pose aujourd'hui pour la recherche, la valeur de cet « or blanc » a longtemps été négligée. Ce tour d'horizon de la découverte, du rôle et du développement de la myéline permet aussi de mieux comprendre certaines maladies comme la sclérose en plaques ou le syndrome de Guillain-Barré.

La Myéline, le turbo du cerveau, Bernard Zalc et Florence Rosier, Odile Jacob, mars 2016, 314 p., 24,90 €



© N. LOUIS

Imaginer une autre évolution de la vie

Virginie Orgozo

Biologiste à l'Institut Jacques-Monod¹

Vingt ans après, je repense à ce que j'ai appris pendant mes études. À l'époque, on nous expliquait – et on le fait encore aujourd'hui – que notre planète Terre avait suivi une évolution désordonnée imprévisible, et que l'existence de telle ou telle espèce était tout simplement fortuite. Il semblait évident que, si les conditions avaient été légèrement modifiées, alors aurait évolué sur la Terre un monde vivant radicalement différent. Effectivement, il paraissait naturel de penser que, si une météorite n'avait pas frappé la surface de la Terre il y a 65 millions d'années, les dinosaures n'auraient pas disparu brutalement et vous ne seriez pas en train de lire cet article aujourd'hui. N'en déplaise à mon émerveillement pour les organismes vivants, il fallait admettre que la trajectoire de la vie sur Terre avait été extrêmement sensible aux conditions initiales.

Un processus pas si aléatoire

Bien sûr, si on rembobinait le film de la vie sur Terre et qu'on le relançait en

changeant légèrement le début, les êtres vivants seraient forcément dissemblables à ce que nous connaissons. Mais plutôt que de se demander si la vie serait différente, il me semble plus pertinent de chercher à savoir à quel point elle serait différente. Nous n'avons à disposition qu'un seul exemple d'histoire de la vie sur la Terre, donc comment pouvons-nous être sûrs que le monde vivant aurait été totalement incomparable ? L'idée toute simple que je voudrais avancer ici est que nous ne savons pas à quel point la vie sur Terre aurait été différente avec d'autres conditions initiales. En partant de cette hypothèse, il devient alors envisageable de faire des expériences et des observations pour essayer de lever le voile sur cette affaire.

L'examen minutieux de notre passé révèle qu'à des moments et à des endroits divers, des formes de vie semblables se sont parfois échafaudées de manière indépendante. Ainsi, on rencontre dans les milieux enneigés divers animaux de coloration blanche, dans les milieux aquatiques des corps en forme de poisson et, en Australie, des marsupiaux qui ressemblent aux écureuils volants d'Amérique. Les nombres sont surprenants : la photosynthèse en C4 – un métabolisme particulier qui permet aux plantes de mieux affronter la sécheresse – est apparue indépendamment plus de 60 fois, les yeux plus de 45 fois et les rats-taupes aux yeux atrophiés et aux pattes fouisseuses plus de 20 fois. Si le processus évolutif était totalement aléatoire et extrêmement sensible aux conditions initiales, on ne devrait pas observer tant de répétitions.

Quand l'évolution se répète

Les données récentes de la biologie indiquent que l'évolution se répète aussi au niveau des gènes et des mutations. Dans des expériences d'évolution expérimentale (où on laisse évoluer des êtres vivants dans un environnement choisi et on répète cette même expérience plusieurs fois), on a pu observer le déploiement des mêmes mutations de façon



Une fois par mois, retrouvez sur lejournal.cnrs.fr les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

1. Unité CNRS/Univ. Paris Diderot.

À lire

CITOYENNETÉ

« *Voilà plus de trente ans que la question de la citoyenneté se pose dans le débat français et que, pour tout dire, elle le sature* », commente Christophe Bertossi, sociologue et politiste, dès l'introduction de son ouvrage. À partir d'enquêtes de terrain dans des institutions publiques (armée et hôpital), il propose des clés pour comprendre les notions de « laïcité », « communauté », « universalisme », sans oublier le fameux « modèle républicain » à la française. Un regard inédit sur la façon dont ces valeurs prennent corps dans la réalité sociale et politique.



La Citoyenneté à la française. Valeurs et réalités, Christophe Bertossi, CNRS Éditions, avril 2016, 270 p., 20 €



SANG

Près d'une vingtaine d'anthropologues, biologistes, juristes, spécialistes d'éthique, philosophes, médecins, acteurs de l'Établissement français du sang et d'associations livrent leur réflexion sur les enjeux liés au sang. Comment sensibiliser les populations au don et à la transfusion ? Quels progrès médicaux attendre de l'utilisation du sang

de cordon ombilical et que recommande le Comité national d'éthique ? Un ouvrage très complet qui interroge aussi bien les pratiques que les représentations et les législations.

Le Sang. Donner et recevoir,

Jacques Chiaroni, Dominique Chev , Caroline Berland-Benhaïm et Pierre Le Coz (dir.), CNRS Éditions, coll. « Corps », avril 2016, 284 p., 25 €

indépendante. Aussi l'évolution répétée du même caractère chez diverses espèces est-elle souvent causée par des mutations dans le même gène. Par exemple, l'adaptation à une nourriture riche en amidon à la suite du développement de l'agriculture s'est accompagnée de mutations dans les mêmes familles de gènes chez l'homme et chez le chien.

Aujourd'hui, nos connaissances ont tellement avancé qu'on peut même deviner les gènes qui ont muté au cours de l'évolution. Ainsi, on peut prédire qu'une plante résistante à l'herbicide imidazolinone a de grandes chances d'avoir une mutation dans le gène *ALS*. Toutes ces répétitions au cours de l'histoire de la vie suggèrent que l'évolution n'est pas aussi dépendante des conditions initiales que ce qu'on aurait pu croire.

Comment un phénomène qui résulte de nombreux processus aléatoires (mutations, rencontres des ovules et des spermatozoïdes, accidents météorologiques, etc.) peut-il être prédictible ? C'est un peu comme un confiseur qui évalue le nombre de boîtes de chocolats qui seront achetées en fonction du mois de l'année alors qu'il ne connaît pas le comportement individuel de chacun des habitants de son quartier. Le temps, en cumulant les effets des processus aléatoires brefs, peut faire émerger des tendances prédictibles. Même si les mutations surviennent de façon imprévisible,

celles qui subsistent dans les populations pendant de longues échelles de temps et qui sont responsables de changements évolutifs entre espèces peuvent être pronostiquées. Concernant l'évolution des caractères visibles des êtres vivants, l'enjeu est alors de trouver de nouveaux concepts généraux pour la prédire.

Si les dinosaures n'avaient pas disparu, une intelligence proche de la nôtre aurait peut-être évolué quand même.

Un nouveau questionnement

La recherche en biologie fondamentale s'articule autour de deux interrogations : comment et pourquoi le vivant est-il ainsi ? Traditionnellement, la question du pourquoi a consisté à se demander pourquoi telle structure vivante existe alors qu'elle aurait pu ne pas voir le jour. Depuis quelques années, on voit se dégager un nouveau type de questionnement : pourquoi ce système vivant est-il apparu et pas un autre ? Les biologistes se mettent à imaginer d'autres mondes possibles.

Pour les séquences d'ADN, c'est relativement simple : on peut envisager toutes les compositions possibles des quatre lettres A, C, G et T. Pour les caractères visibles, c'est plus compliqué. Il y a au moins trois façons d'imaginer d'autres mondes vivants : on peut faire varier un paramètre (nombre de bras, constante de gravité), combiner des traits de caractère (un reptile avec des ailes de chauve-souris) ou bien transférer une propriété du domaine non vivant au vivant (des organismes qui se déplaceraient sur quatre roues). Quoique l'on fasse, on a toujours besoin de partir de notre monde pour en inventer d'autres. Trouver les divers chemins qui étaient accessibles à l'évolution n'est donc pas une mince affaire.

En résumé, la trajectoire évolutive du vivant n'est pas aussi sensible aux conditions initiales que ce que l'on croyait dans les années 1990. Si les dinosaures n'avaient pas disparu, une intelligence proche de la nôtre aurait peut-être évolué quand même. Faut-il rechercher des créatures à yeux et à cerveau sur ces milliers d'exoplanètes qui pourraient abriter la vie ? Aujourd'hui, la biologie se penche sur la question et elle pourrait nous apporter bientôt des éléments de réponse. **II**

CERVEAU

Médaille d'or du CNRS en 1989, le neurobiologiste Michel Jovet, mondialement connu pour sa découverte du sommeil paradoxal, remplit l'objectif affiché dès la première page de son livre : nous faire « presque toucher du doigt les mécanismes de l'éveil ». Parcourant les différents mécanismes biologiques – plus ou moins connus – liés à l'éveil et au sommeil, il explore ensuite le concept de conscience. De la vision des philosophes de l'Antiquité à celle des neurobiologistes actuels, il nous explique avec pédagogie ce qui fait encore débat et les différentes voies de recherche pour mieux comprendre le cerveau conscient.

Le Sommeil, la Conscience et l'Éveil, Michel Jovet, Odile Jacob, coll. « Sciences », mars 2016, 220 p., 23,90 €



TÉMOIGNAGE

Neuf ans après son ouvrage autobiographique *J'arrive où je suis étranger*, dans lequel il décrivait sa lente « métamorphose » vers la cécité, Jacques Semelin nous livre un témoignage prenant sur la réalité quotidienne d'un non-voyant. L'historien et politologue, spécialiste

des génocides et des violences extrêmes, y raconte de bout en bout un séjour au Québec où il est invité à donner des cours. Un carnet de voyage empli d'émotion et d'humour, mêlant détails très concrets et expériences sensorielles.

Je veux croire au soleil, Jacques Semelin, Les Arènes, avril 2016, 280 p., 19 €

David Amouroux, Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR NICOLAS BAKER



... de notre mission² dans la cordillère des Andes, au lac Titicaca, à 3820 mètres d'altitude, pour y étudier l'évolution du mercure. Les différentes formes chimiques de cet élément naturel, plus ou moins toxiques, sont notamment influencées par le rayonnement ultraviolet, le taux d'oxygène et la présence de certains micro-organismes. Pris dans les totoras, roseaux typiques de la région, on voit sur cette photo un des plongeurs chargé d'installer les instruments de mesure sous-marins. Ces derniers nous ont permis de mesurer la production, la dégradation et l'accumulation chez les êtres vivants du méthylmercure (forme organique la plus toxique). Nos résultats ont montré que les fines couches de micro-organismes, ou biofilms, qui se développent sur les roseaux peuvent dans certains cas dégrader le méthylmercure en une forme moins toxique. Présent dans la nature, le mercure risque de voir ses apports augmenter dans les années à venir vu le développement rapide de la région et de l'exploitation de sites miniers, générateurs d'effluents riches en cet élément. Il est donc très important de comprendre l'évolution de ce polluant dans un environnement fragile comme le lac Titicaca."

PHOTO : E. AMICE/LEMAR/CNRS PHOTOTHÈQUE

▶ Visionner notre vidéo : « Les chasseurs de mercure du lac Titicaca » sur lejournal.cnrs.fr

1. Unité CNRS/UPPA. 2. La Pachamama, un projet financé par l'ANR (programme Cesa), avec la collaboration de l'IRD (Bolivie) et de l'Universidad Mayor San Andrés (UMSA, La Paz).



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

C'est l'histoire d'une académie...

Les plus grandes aventures débutent parfois en toute discrétion. Les premiers pas de l'Académie des sciences, qui fête en 2016 son 350^e anniversaire, en témoignent. À partir de février 1666, Colbert invite quelques savants à se réunir dans sa bibliothèque. En les encourageant à œuvrer au progrès des connaissances, le ministre de Louis XIV entend servir la grandeur du royaume. Sans doute espérait-il aussi quelques retombées sonnantes des découvertes d'une telle assemblée : les caisses de l'État en avaient bien besoin, à l'époque (déjà) !

Du Hamel, Perrault, Huygens... et les autres

À la fin de l'année, la petite compagnie bénéficie d'une souveraine reconnaissance : Louis XIV l'autorise à poursuivre ses rencontres dans sa bibliothèque de la rue Vivienne, à Paris, et lui décerne le titre d'Académie royale, comme il l'avait fait quelques années plus tôt pour la danse, puis pour les « inscriptions et médailles ». À une différence près : pour les sciences, ni édit, ni lettres patentes, ni statuts – ils ne seront rédigés qu'en 1699 –, en somme rien qui vienne officialiser l'existence de la nouvelle institution. Un désespoir pour l'historien... qui trouvera néanmoins un peu de réconfort du côté des arts.

Fidèle à sa modestie légendaire, le Roi-Soleil a en effet songé à immortaliser l'événement : une grande toile du peintre Henri Testelin, que l'on peut admirer aujourd'hui encore à Versailles, figure la présentation au monarque des premiers membres de l'Académie. Y apparaît, en pleine révérence devant un roi qui trône au centre de la composition – ben voyons ! –, le premier secrétaire de l'assemblée, le philosophe, théologien, mathématicien et un peu anatomiste Jean-Baptiste Du Hamel. Ainsi que Claude Perrault, l'architecte de l'Observatoire de Paris, ou Christian Huygens, car l'Académie ouvre ses portes aux savants étrangers de renom. Pour les autres personnalités, l'exercice devient plus délicat : s'il y a bien encore quelques visages reconnaissables, comme celui de Gilles Personne de Roberval – l'inventeur de la célèbre balance –, qui se souvient du chimiste Claude Bourdelin,

du géomètre Jacques Buot ou du médecin Samuel Cottureau du Clos ? À l'évidence, l'immortalité relève d'une autre académie...

Simple, tranquille et sans ostentation

Les historiens sont surtout redevables à un autre académicien, qui a rejoint quelques années plus tard la compagnie, d'avoir retracé le parcours de ses premières décennies : Fontenelle a consacré aux travaux académiques et à leur promotion une bonne moitié de sa vie – ce qui n'est pas rien quand on sait que le grand homme s'est éteint presque centenaire ! Dans la préface de son *Histoire de l'Académie royale des sciences depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1686*, il note (p. 11) : « Rien ne peut plus contribuer à l'avancement des Sciences, que l'émulation entre les Savants, mais renfermée dans de certaines bornes. C'est pourquoi l'on vint de donner aux Conférences Académiques une forme bien différente des exercices publics de Philosophie, où il n'est pas question d'éclaircir la vérité, mais seulement de n'être pas réduit à se taire. Ici, l'on voulut que tout fût simple, tranquille, sans ostentation d'esprit ni de science, que personne ne se crût engagé à avoir raison, et que l'on fût toujours en état de céder sans honte : surtout qu'aucun système ne dominât dans l'Académie à l'exclusion des autres, et qu'on laissât toujours toutes les portes ouvertes à la Vérité. »

Pendant 350 ans, l'Académie des sciences a vu bien des recherches. Elle a accueilli une foule de savants. Elle a connu une longue succession d'événements, heureux ou malheureux – la Révolution l'a même supprimée un temps. Elle a vécu au plus près les grands moments de notre histoire – sa mobilisation dans la Grande Guerre, par exemple, demeure souvent méconnue. Et, pendant ces trois siècles et demi, elle a entendu autant d'éloges que de critiques. Mais la « vieille dame » a-t-elle jamais fermé les portes « à la Vérité » ? Nous lui souhaitons un très bel anniversaire... II

À partir de
février 1666,
Colbert invite
quelques savants
à se réunir dans
sa bibliothèque.

**Le CNRS recrute des ingénieurs,
cadres et techniciens (h/f)**

Mécaniciens

Administrateurs des
systèmes d'information

etc.

Gestionnaires
administratifs
et financiers

**Vos talents
sont nombreux,
nos métiers
aussi.**

Ingénieurs en sciences
des matériaux



Les travailleurs handicapés peuvent aussi être recrutés par voie contractuelle.



Concours ouverts du **6 au 30 juin 2016**
Plus d'informations : emploi.cnrs.fr

   suivez **Emploi CNRS**

CONCOURS



FINALE NATIONALE



MARDI 31 MAI 2016, 18H30 BORDEAUX, PALAIS DE LA BOURSE

ET EN DIRECT SUR MT180.FR INSCRIPTION GRATUITE ET OBLIGATOIRE SUR MT180.FR



université
de BORDEAUX

Avec le soutien de



Suivez mt180fr #[mt180](https://twitter.com/mt180)



NOUS SOMMES AUX CÔTÉS DE CEUX QUI RENDENT LA SOCIÉTÉ PLUS HUMAINE, COMME SARAH, INFIRMIÈRE.

PLUS DE 3 MILLIONS DE SOCIÉTAIRES
NOUS FONT DÉJÀ CONFIANCE.

**GMF 1^{ER} ASSUREUR
DES AGENTS DU SERVICE PUBLIC**



ASSURÉMENT HUMAIN

Appelez le 0 970 809 809 (numéro non surtaxé)
Connectez-vous sur www.gmf.fr ou depuis votre mobile sur m.gmf.fr

LA GARANTIE MUTUELLE DES FONCTIONNAIRES et employés de l'État et des services publics et assimilés - Société d'assurance mutuelle - Entreprise régie par le Code des assurances - 775 691 140 R.C.S Nanterre - APE 6512Z - Siège social : 148 rue Anatole France - 92300 Levallois-Perret et ses filiales GMF ASSURANCES et LA SAUVEGARDE. Adresse postale : 45930 Orléans Cedex 9.

