



Certifié PEFC

Ce produit est issu
de forêts gérées
durablement et de
sources
contrôlées.

10-31-1282

pefc-france.org



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

INVITATION AU VOYAGE

Voici venir l'été, une période propice aux voyages. *Pour la Science* vous en propose ce mois-ci au moins quatre. La destination du premier d'entre eux est Saturne, ou plus exactement le système saturnien: la planète géante, ses magnifiques anneaux et ses non moins extraordinaires lunes Encelade et Titan, pour ne citer qu'elles. Ce voyage est motivé par la fin prochaine de la mission spatiale *Cassini-Huygens* – un périple bien réel qui, en treize années, aura livré une abondante moisson d'images spectaculaires et de découvertes de premier ordre. Nous vous présentons les unes comme les autres, avec les éclairages de l'astrophysicien Francis Rocard, l'un des principaux acteurs de cette odyssée saturnienne (*voir pages 25 à 39*).

Les autres voyages sont plutôt temporels. L'un d'eux vous emmènera plusieurs dizaines de millions d'années en arrière, à l'ère des dinosaures, pour voir ces animaux en couleurs réalistes. Car, depuis peu, les paléontologues parviennent à reconstituer les coloris et les motifs qu'arboraient certaines espèces, grâce à des fossiles ayant conservé une partie de leurs pigments (*voir pages 58 à 66*).

À l'antipode des échelles de temps géologiques et des reptiles plus ou moins géants, un troisième voyage vous entraînera dans le monde de l'ultrabref et des molécules, là où les durées se comptent en milliardièmes de seconde, autrement dit en femtosecondes. Vous y apprendrez comment les chercheurs réalisent, à l'aide de rayons X, des successions d'images qui révèlent les transformations moléculaires dans des processus tels que la photosynthèse (*voir pages 50 à 56*).

Et un quatrième voyage, enfin, vous propulsera au XVII^e siècle, celui de Kepler, Descartes, Galilée, Pascal et d'autres pionniers de la science moderne, pour montrer que, contrairement aux idées reçues, la plupart de ces «Modernes» ne reniaient pas du tout l'héritage des Anciens (*voir pages 74 à 79*). Bel été et bon(s) voyage(s)! ■

S

OMMAIRE

N° 477 /
Juillet 2017

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- *Homo sapiens* vieillit d'au moins 100 000 ans
- Accord de Paris: l'impact du retrait américain
- Des laves plus chaudes que prévu
- Impression 3D d'ovaires
- Le pôle sud de Jupiter dévoilé par *Juno*
- La coccinelle, reine de l'origami
- Cellules fœtales à la rescousse
- Anticiper les éruptions solaires

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

La bonne stratégie pour apprendre
Gilles Dowek

P. 24

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

Ce qui nous intéresse chez les politiques
Gérald Bronner

GRANDS FORMATS



P. 40

NEUROSCIENCES

UN FLAIR QUI A DU CHIEN

Barbara Ferry

Détecter à l'odeur drogue, billets, armes, mines, explosifs, insectes nuisibles, stress et cancer... C'est ce que font couramment aujourd'hui des chiens au flair exceptionnel et spécialement entraînés.



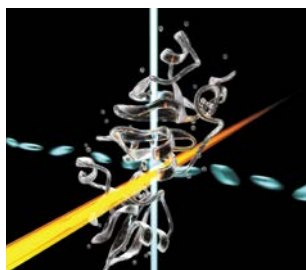
P. 58

PALÉONTOLOGIE

LES VRAIES COULEURS DES DINOSAURES

Jakob Vinther

Vert reptile, les dinosaures? Pas seulement: rouge, noir, chatoyant, blanc, fauve... Les pigments fossiles nous révèlent une palette bien plus diverse qu'on ne le pensait.



P. 50

CHIMIE

DU CINÉMA MOLÉCULAIRE AVEC DES RAYONS X

Petra Fromme et John Spence

La photosynthèse décompose des molécules d'eau en quelques millièmes de milliardième de seconde. Suivre des processus moléculaires aussi rapides n'est aujourd'hui plus une utopie, grâce à une méthode cristallographique révolutionnaire.



P. 68

BIOPHYSIQUE

DES DRONES POUR TRAQUER LES MICROBES

David Schmale et Shane Ross

Fusariose des épis, rouille noire du blé et autres maladies des céréales ravagent les cultures de céréales dans le monde entier. La cause: des microorganismes qui, transportés par les vents, parcourent des milliers de kilomètres.



POUR LA
SCIENCE.FR

LETTRE D'INFORMATION

NE MANQUEZ PAS
LA PARUTION DE
VOTRE MAGAZINE
GRÂCE À LA NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférencielles
- Nos autres magazines en kiosque



Inscrivez vous
www.pourlascience.fr



En couverture:

© NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Les portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot



P.74

HISTOIRE DES SCIENCES

PAS SI MODERNES...

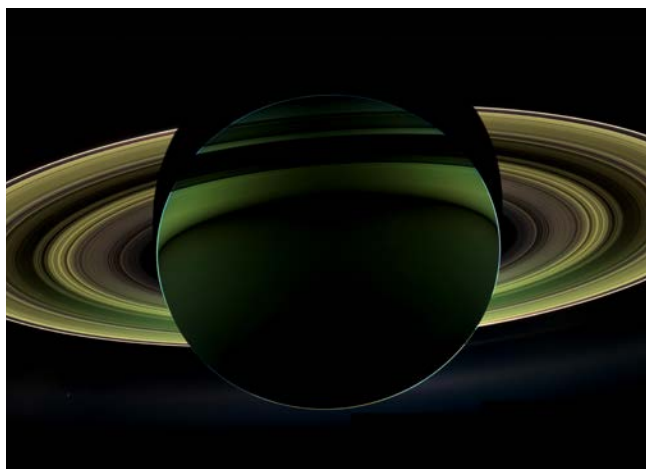
Pascal Duris

Y a-t-il eu une révolution scientifique au XVII^e siècle? Hormis Descartes et ses partisans, aucun savant de l'époque ne percevait son œuvre comme telle, bien au contraire. L'émancipation des Modernes vis-à-vis du poids des Anciens s'est faite au prix d'une longue bataille.

P.25

ASTRONOMIE

SATURNE: LES PLUS BELLES DÉCOUVERTES DE CASSINI



P.26

SATURNE SOUS L'ŒIL DE CASSINI

Sean Bailly

Les magnifiques et spectaculaires photographies prises par la sonde *Cassini* ont bouleversé nos connaissances sur le «seigneur des anneaux» et son système.

P.36

«CASSINI-HUYGENS LÈGUE UN HÉRITAGE EXCEPTIONNEL»

Entretien avec Francis Rocard

Par ses surprenantes découvertes, la mission *Cassini-Huygens* marquera durablement l'exploration du Système solaire. Un formidable succès que commente l'un de ses acteurs.

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

LE TOUT EST-IL PLUS QUE LA SOMME DE SES PARTIES?

Jean-Paul Delahaye

Mettre à l'épreuve une vieille maxime un peu trop vague est un excellent stimulant mathématique: selon le sens qu'on donne aux mots, le mathématicien trouve que le tout est plus que la somme de ses parties... ou l'inverse!

P.86

ART & SCIENCE

Le palais sous les dunes

Loïc Mangin

P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Les radiographies prennent des couleurs

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

P.92

CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION



Sur les bords du Nil, espèces de crocodiles!

Hervé le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

L'art de souffler les pommes de terre

Hervé This

P.98

À PICORER

PALÉOANTHROPOLOGIE

HOMO SAPIENS VIEILLIT D'AU MOINS 100 000 ANS

A CTUALITÉS

- P.6 Échos des labos
- P.18 Livres du mois
- P.20 Agenda
- P.22 *Homo sapiens informaticus*
- P.24 Cabinet de curiosités sociologiques



Ci-contre, le crâne déformé d'*H. sapiens* (pointé du doigt par Jean-Jacques Hublin) au moment de sa découverte à Jebel Irhoud, au Maroc. En haut, la reconstitution du crâne de la forme précoce d'*H. sapiens* qui a vécu sur ce site il y a quelque 300 000 ans. Ci-dessus, deux des outils trouvés sur place.



Des fossiles d'*Homo sapiens* découverts au Maroc confirment l'origine africaine de notre lignée et révèlent qu'elle est plus ancienne qu'on ne le pensait.

Jusqu'ici, dans le registre fossile, les tout premiers *Homo sapiens* – Omo 1 et Omo 2 – étaient éthiopiens et vieux de 200 000 ans. Désormais, le titre revient aux fossiles mis au jour par l'équipe internationale dirigée par Jean-Jacques Hublin, de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste, à Leipzig. Après datation, ils font remonter les débuts de notre espèce à plus de 300 000 ans.

Ces fossiles et toute une série d'autres anciennement découverts au même endroit, mais mal datés, proviennent du site

marocain de Jebel Irhoud, à une centaine de kilomètres à l'ouest de Marrakech. Dès 1961, les exploitants d'une mine de barytine y avaient exhumé un crâne humain presque complet, auquel s'ajoutèrent plus tard des fragments d'une boîte crânienne et une mandibule d'enfant. Ce matériel était associé à des restes de faune et à des outils de pierre débités par la méthode dite Levallois.

À l'époque, les découvreurs des fossiles avaient estimé que leur âge ne pouvait excéder 40 000 ans, et, étant donné que les préhistoriens croyaient alors à la présence de Néandertaliens en Afrique du

Nord, ils les ont attribués à cette espèce sœur de la nôtre.

Depuis, notre vision de l'évolution du genre *Homo* a beaucoup changé, et on a établi l'origine exclusivement européenne des Néandertaliens et leur confinement à l'Eurasie. Dès lors, il fallait réévaluer les fossiles de Jebel Irhoud, projet que Jean-Jacques Hublin a lancé en convainquant son collègue Abdelouahed Ben-Nacer, de l'Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine du Maroc, de relancer l'étude du site.

Entamées en 2004, de nouvelles fouilles dans la petite zone du site laissée de côté dans les années 1960 ont livré de nombreux restes osseux d'animaux (gazelle, léopard, zèbres, bovidés, lions...). Ces os n'avaient pas été mâchouillés par des carnivores et leur association à des outils de pierre

obtenus par la méthode Levallois (pointes, éclats retouchés...) suggère que des humains les avaient apportés là. Les chercheurs ont aussi découvert une boîte crânienne humaine déformée par les mouvements de terrain et accompagnée de plusieurs restes de la face, une mandibule quasi complète d'adulte, plusieurs éléments postcrâniens et toute une série de dents.

Ces restes humains et ceux trouvés dans les années 1960 représentent au moins cinq individus: trois adultes, un adolescent et un enfant. Ils proviennent d'une strate contenant des outils dont la datation par thermoluminescence donne un âge de 315 000 ans à 34 000 ans près. Une autre technique confirme ce résultat. Ce sont donc les plus anciens fossiles d'*H. sapiens* connus à ce jour.

Outre leur caractère *sapiens*, l'examen de ces restes révèle plusieurs traits archaïques. Les plus évidents sont une forme de l'encéphale assez différente de celle des *H. sapiens* récents et, pour l'un des crânes, des arcades sourcilières proéminentes. Plus gracile que celle d'un Néandertalien, la face des humains de Jebel Irhoud est aussi assez courte.

Pour confirmer l'appartenance des fossiles à l'espèce *H. sapiens*, l'équipe de Jean-Jacques Hublin a réalisé une analyse morphométrique en 3D, une technique statistique qui permet, après avoir mesuré de nombreux traits, de représenter les diverses formes anatomiques par des points dans un espace abstrait. Il en ressort que les hominidés de Jebel Irhoud se placent au milieu du nuage de points correspondant aux *H. sapiens*.

Les chercheurs constatent aussi que les fossiles de Jebel Irhoud peuvent être rapprochés de ceux d'Omo 1 et 2 (195 000 ans, Éthiopie) et de celui, controversé, de Florisbad (259 000 ans, Afrique du Sud). Par ailleurs, on retrouve certains des traits des fossiles de Jebel Irhoud en plusieurs endroits d'Afrique et à plusieurs dates, ce qui suggère une évolution en mosaïque d'*H. sapiens*, c'est-à-dire que ses traits auraient évolué à des vitesses différentes suivant les lieux. Un phénomène peut-être lié à l'épisode climatique qui, il y a environ 330 000 ans, a entraîné une très forte réduction du Sahara et donc rendu possible la circulation entre l'Afrique du Nord et le reste du continent. ■

FRANÇOIS SAVATIER

J.-J. Hublin et al., *Nature*, vol. 546, pp. 289-292, 2017 ;
D. Richter et al., *ibidem*, pp. 293-296

Accord de Paris : l'impact du retrait américain

Les États-Unis se retirent de l'accord de Paris sur le climat. Quelles en seront les conséquences ? La réponse de Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue qui copréside depuis 2015 le groupe de travail n° 1 (principes physiques du changement climatique) du Giec, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

VALÉRIE
MASSON-DELMOTTE
Laboratoire des sciences
du climat et de
l'environnement, CEA,
Gif-sur-Yvette

À moyen terme, quel pourrait être l'impact du retrait américain sur les émissions de gaz à effet de serre ?
Valérie Masson-Delmotte : Rappelons que les États-Unis représentent 25 % des émissions cumulées historiques de CO₂, et aujourd'hui 15 % des émissions mondiales. Malgré la décision du président américain, ce qui compte, ce sont les actions menées aux États-Unis pour réduire les émissions en jouant sur les normes ou l'efficacité énergétique de différents secteurs. Depuis l'élection de Donald Trump, la nouvelle administration américaine a annulé certaines décisions mises en place précédemment qui visaient à mettre les États-Unis en phase avec leur engagement pour l'horizon 2025 (- 26 à - 28 % par rapport à 2005 dans l'accord de Paris).

Un groupe de réflexion américain a évalué que, du fait de ces décisions puis de leur annulation, les émissions américaines devraient continuer à diminuer jusqu'en 2020 (suite aux actions réalisées jusqu'à ce jour), mais stagneront après 2020. Mais ces conclusions doivent être revues en prenant en compte les milliers d'acteurs américains (neuf États, des centaines de villes et d'universités, des milliers d'entreprises) qui veulent mettre en œuvre l'engagement américain à l'horizon 2025. Ils représentent plus de 120 millions de citoyens des États-Unis.

Et à long terme ?

V. M.-D. : À long terme, c'est la question de l'innovation, en vue des technologies efficaces de demain, qui est cruciale. Le projet de budget de la Maison Blanche prévoit de fortes coupes dans de nombreux secteurs de la R&D de l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) du Département de l'énergie. Cela n'incite pas à l'optimisme...

Quelles conséquences potentielles sur l'attitude des autres pays pourrait avoir le retrait des États-Unis ?

V. M.-D. : Il est difficile à ce stade de l'évaluer, mais la plupart des signataires de l'accord de Paris, y compris les grands pays émergents, ont annoncé la poursuite ou le renforcement de leur ambition. La Chine pourrait avoir atteint son INDC, c'est-à-dire sa contribution décidée à l'échelle nationale, près de dix ans avant la date prévue de 2030. L'Inde, dont les émissions augmentent actuellement de 7 % par an en moyenne, vient de décider de développer les énergies renouvelables plutôt que le charbon. C'est encourageant.

Et quelle sera l'incidence sur le climat ?

V. M.-D. : À court terme, il est délicat de le prévoir. L'ensemble des études réalisées à partir des INDC de l'accord de Paris (en supposant une intensification de l'effort après 2030) suggère un bénéfice d'au moins 1 °C par rapport au « laisser-faire », ce qui est très important.

Quels risques la Maison Blanche fait-elle courir aux recherches américaines ?

V. M.-D. : Le projet de budget de la Maison Blanche est tragique pour plusieurs domaines de recherche, comme à l'EPA, à la Nasa, à la Noaa et à la NSF, puisqu'il prévoit des coupes sombres allant jusqu'à 40 % pour les sciences du climat et de l'environnement. Le désarroi de nos confrères américains s'est traduit dans l'importance de la Marche pour les sciences dans un pays où il est rarissime que les chercheurs manifestent. Tout va dépendre du vote du budget par le Congrès. Mes collègues sont extrêmement préoccupés, car tout est en jeu : leur emploi, les ressources essentielles pour travailler (moyens d'observations, de calcul) et leur attractivité pour les meilleurs étudiants du monde. Les décisions américaines pourraient remettre en cause la capacité à surveiller l'état du climat global et le partage mondial des jeux essentiels de données, tels les résultats des modèles de climat, qui permettent de comparer ces derniers. ■