

BIOLOGIE MARINE
DU PLANCTON
MI-ANIMAL
MI-VÉGÉTAL

ASTROPHYSIQUE
PLEINS FEUX SUR
LES PREMIÈRES
GALAXIES

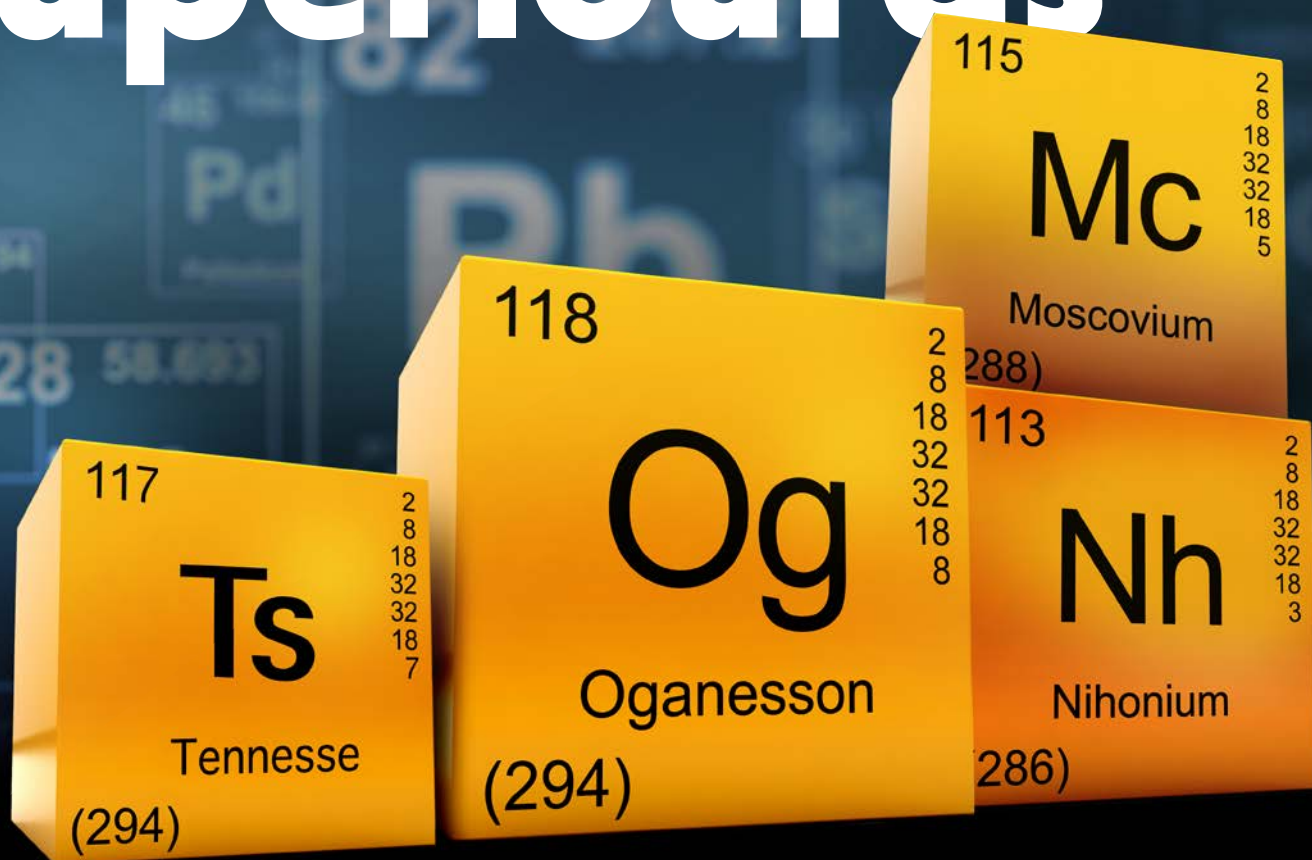
PRÉHISTOIRE
LE RÉCHAUFFEMENT
QUI ACHEVA
LE MAGDALÉNIEN

FÉVRIER 2019
N° 496



TABLEAU PÉRIODIQUE

La course aux éléments superlourds



POUR LA
SCIENCE

www.pourlascience.fr

170 bis boulevard du Montparnasse – 75014 Paris
Tél. 01 55 42 84 00

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef: Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly

Community manager: Aëla Keryhuel

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,

Ingrid Leroy, Patrick Cœur

Révisseuse: Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Chef de produit: Charline Buché

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

Direction financière: Cécile André

Fabrication: Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

Ont également participé à ce numéro:

Laurent Bruxelles, Philippe Clergeau, Thomas Deffieux,
Chantal Ducoux, Rémi Franco, Michele Fumagalli, Hélène
Gélot, Claire Heitz, Jean-Luc Imler, Mathilde Jauzac, Elias
Khan, Sophie Lem, Marius Millot, Xavier Müller, Christine
Oberlin, Sandrine Péron, Christophe Pichon, William
Rowe-Pirra, Mickael Tanter

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <https://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél.: 03 67 07 98 17

Adresse postale: Service des abonnements –

Pour la Science, 19 rue de l'Industrie, BP 90053,

67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (12 numéros)

France métropolitaine: 59 euros – Europe: 71 euros

Reste du monde: 85,25 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres ; Stéphanie Troyard

Tél. 04 88 15 12 48

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la Science S.A.R.L. », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris. © Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ». En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 30 %

«Eutrophisation» ou «Impact

sur l'eau»: P_{tot} 0,007 kg/tonne



Certifié PEFC

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

10-31-1282

pefc-france.org

É
DITO



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

EN QUÊTE DE GLOIRE ET DE STABILITÉ

Il y a un peu plus d'un an, l'assemblée générale des Nations unies a proclamé 2019 «année internationale du tableau périodique des éléments». Bien que ce ne soit pas le seul thème choisi par cette instance pour 2019 – il y a aussi les «langues autochtones» et la «modération» –, cette initiative a le mérite de mettre sous les feux des projecteurs l'une des grandes icônes de la science moderne. Rappelons que ce tableau, esquissé par le chimiste russe Dmitri Mendeleïev en 1869, aligne les cases symbolisant les éléments chimiques de telle façon que chaque colonne du tableau regroupe des éléments aux propriétés chimiques similaires.

Sous sa forme actuelle, le tableau périodique des éléments résume une bonne partie du savoir sur la structure atomique de la matière et ses propriétés chimiques. Notamment, le «numéro atomique» de chaque élément dans le tableau correspond au nombre de protons que contient le noyau de l'atome de cette espèce. Ce numéro n'est pas illimité: plus le nombre de protons est élevé, plus leur répulsion mutuelle déstabilise le noyau. De fait, on n'a observé à ce jour que les éléments allant jusqu'au numéro atomique 118. De plus, près d'une vingtaine, très instables et donc de très courte durée de vie, n'ont été créés qu'artificiellement, par des réactions nucléaires.

Depuis des décennies, plusieurs équipes dans le monde sont ainsi en compétition pour prolonger le tableau de Mendeleïev. Le dernier épisode marquant de cette quête a eu lieu en 2015, avec l'annonce officielle de la synthèse des éléments 113, 115, 117 et 118 (voir pages 28 à 36). La course aux éléments nouveaux promettant la gloire aux gagnants, des frictions et controverses ont presque inévitablement surgi avec l'annonce de 2015 (voir pages 38 à 41). Mais il n'est pas uniquement question de gloire. La synthèse d'éléments nouveaux fait progresser la compréhension de la matière nucléaire et des atomes superlourds. Et, prédisent les théoriciens, certains noyaux superlourds non encore produits devraient être relativement stables. Leur synthèse est un graal: elle ouvrirait surtout de nouveaux horizons. ■

SOMMAIRE

N° 496 /
Février 2019

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Des outils vieux de 2,4 millions d'années en Afrique du Nord
- Maladies de la rétine: un rôle clé du fer
- De la supraconductivité à température quasi ambiante
- Une carte mondiale des émissions d'ammoniac
- Du carbone 14 bien calibré
- Comment les veines et les artères s'organisent
- Un duo staphylocoque-virus qui passe inaperçu
- Un invertébré à l'immunité presque humaine
- Éliminer les réservoirs du VIH: la piste du métabolisme

P. 20

LES LIVRES DU MOIS

P. 22

AGENDA

P. 24

HOMO SAPIENS INFORMATICS

«It from bit»,
la matière repensée
Gilles Dowek

P. 26

QUESTIONS DE CONFIANCE

Le jour sans fin des OGM
Virginie Tournay



En couverture:
© ConceptW; Jason Winter/
shutterstock.com

Ses portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart
des éditions *HumenSciences*
sur une sélection d'abonnés France
Métropolitaine.

GRANDS FORMATS



P. 42

ARCHÉOLOGIE

ET LE RÉCHAUFFEMENT ACHEVA LE MAGDALÉNIEN

Sonja Grimm et Daniela Holst

Lorsqu'en Europe des forêts ont remplacé la toundra parcourue d'immenses troupeaux de rennes, de chevaux ou de bisons, les chasseurs-cueilleurs se sont adaptés. Leurs réactions ont suivi l'évolution du climat, mais avec retard.



P. 50

BIOLOGIE MARINE

LE PLANCTON ANIMAL QUI VOULAIT DEVENIR VÉGÉTAL

Aditee Mitra

Certains microorganismes du plancton marin font de la photosynthèse, comme les plantes, et mangent d'autres organismes, comme les animaux. Les biologistes ont découvert que ces minuscules végétaux prédateurs jouent dans les océans un rôle bien plus important qu'on ne le pensait.



P. 60

ASTROPHYSIQUE

PLEINS FEUX SUR LES PREMIÈRES GALAXIES

Dan Coe

Les astronomes commencent à observer les galaxies les plus anciennes de l'Univers. Ce qui ouvre une fenêtre sur une période quasi inconnue de l'histoire cosmique.



P. 70

ÉVOLUTION

PISSENLIT DES VILLES, PISSENLIT DES CHAMPS

Menno Schilthuis

Bonne nouvelle: certaines espèces d'animaux et de plantes s'adaptent à l'environnement urbain, souvent avec une étonnante rapidité. Mauvaise nouvelle: l'urbanisation galopante risque aussi de conduire à l'extinction un grand nombre d'espèces.



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 préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



Inscrivez-vous
www.pourlascience.fr



P.76

HISTOIRE DES SCIENCES

LE CHIEN QUI A FAIT PAVLOV

Daniela Ovadia

En découvrant le réflexe conditionné, le médecin et physiologiste russe a profondément influencé la psychologie moderne.

À LA
UNE

P.28

PHYSIQUE

LA COURSE AUX ÉLÉMENTS SUPERLOURDS

Christoph E. Düllmann et Michael Block

Plusieurs équipes de physiciens se livrent une course effrénée pour produire les noyaux atomiques les plus lourds qui puissent exister. Leur objectif : être les premiers à planter leur drapeau sur le fameux « îlot de stabilité », région du tableau périodique qui grouperait des éléments superlourds et cependant non éphémères.



P.38

SCIENCE ET SOCIÉTÉ

DU RIFI SUR LE TABLEAU PÉRIODIQUE

Edwin Cartlidge

L'officialisation et l'annonce en fanfare, à la fin de 2015, de la synthèse des éléments superlourds ayant pour numéros atomiques 113, 115, 117 et 118 ont aussitôt déclenché une controverse : la proclamation de ces découvertes n'était-elle pas prématurée ?

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

MYSTÉRIEUX DIVISEURS

Jean-Paul Delahaye

La somme des diviseurs d'un nombre entier suscite une multitude d'interrogations. Depuis plus de deux millénaires, des passionnés tentent d'y répondre. Une tâche inachevée !

P.86

ART & SCIENCE

La baleine bleue cherche encore de l'eau

Loïc Mangin



P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

L'ascension de la chaîne fontaine

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

P.92

CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION

Pourquoi les zèbres sont-ils zébrés ?

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Extraire du vin les mauvais goûts

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.20 Livres du mois

P.22 Agenda

P.24 *Homo sapiens informaticus*

P.26 Questions de confiance

PALÉOANTHROPOLOGIE

DES OUTILS VIEUX DE 2,4 MILLIONS D'ANNÉES EN AFRIQUE DU NORD



L'un des galets aménagés découverts à Aïn Boucherit et les environs du gisement.

La découverte en Algérie d'un site oldowayen datant de 2,4 millions d'années suggère qu'après son émergence, l'humanité s'est très vite répandue dans toute l'Afrique.

L'histoire évolutive des hominés (les descendants du dernier ancêtre commun du chimpanzé et de l'homme) s'enrichit d'une donnée majeure. Autour de Mohamed Sahnouni, du Centre espagnol de recherche sur l'évolution humaine, à Burgos, et du Centre algérien de recherches préhistoriques, anthropologiques et historiques, à Alger, une équipe de chercheurs a découvert à Aïn Boucherit, dans la commune de Guelta Zerka (région de Sétif), deux strates archéologiques contenant des outils oldowayens.

L'Oldowayen est le nom donné à la plus ancienne culture matérielle traditionnellement associée au genre *Homo*. Ses plus anciennes manifestations archéologiques sont longtemps restées confinées à l'Afrique de l'Est, que l'on a considérée pour cette raison comme le berceau de l'humanité. C'est cela que la découverte algérienne vient relativiser : les deux strates archéologiques découvertes par l'équipe de Mohamed Sahnouni se trouvent au sein d'une pente stratifiée constituant le flanc d'un profond ravin. Elles contiennent des galets aménagés et des éclats accompagnés de nombreux

ossements fossiles d'animaux typiques de la savane, dont des équidés, des bovidés et des suidés (cochons), des mastodontes et autres éléphants, des rhinocéros, des hyènes, des crocodiles, etc. Les Oldowayens ont manifestement exploité ces animaux, puisque de nombreux os portent des traces de découpe ou de percussion. Afin de façonner leurs outils de boucherie, ils se sont simplement procuré du calcaire ou du silex dans les lits des ruisseaux environnants, ce qui montre leur opportunisme.

Afin de dater leur site, les chercheurs ont d'abord procédé à l'étude magnétostratigraphique des sédiments. Cette technique consiste à identifier dans les dépôts sédimentaires une succession d'inversions de la polarité du champ magnétique terrestre, puis à essayer de

les rattacher à des inversions magnétiques connues et bien datées. Pour ce faire, Mathieu Duval, du Centre australien de recherche sur l'évolution humaine de l'université de Griffith, a utilisé une technique de datation permettant d'estimer le temps passé par un grain de quartz sous terre: la résonance paramagnétique électronique. Il a prélevé un échantillon de sédiment enfoui à environ un mètre sous le niveau archéologique le plus profond et en a extrait les grains de quartz pour en obtenir une estimation du temps passé sous terre.

Le résultat obtenu a permis de déduire que le niveau archéologique profond d'Aïn Boucherit se situe au début de la période géomagnétique de Matuyama, qui commence à 2,58 millions d'années et se termine il y a 1,94 million d'années. Il restait donc à dater plus précisément les deux strates. Les chercheurs l'ont fait en modélisant la sédimentation à l'origine de la pile sédimentaire d'Aïn Boucherit. Ils ont supposé que les sédiments s'y accumulent régulièrement et ont négligé l'occurrence de possibles événements de compactage. Ils parviennent ainsi à situer les deux strates archéologiques à $2,44 \pm 0,14$ millions d'années pour la plus profonde et à $1,92 \pm 0,05$ million d'années pour l'autre.

Selon les chercheurs, les caractéristiques fines des outils d'Aïn Boucherit poussent à les rapprocher de ceux de Gona en Éthiopie, âgés de 2,6 millions d'années. Par ailleurs, depuis les années 2000, on connaît aussi des sites oldowayens en Afrique du Sud datés de 2,19 millions d'années. L'Oldowayen est-il apparu simultanément dans plusieurs régions d'Afrique? Peut-être, mais les chercheurs envisagent une autre possibilité, sans doute plus vraisemblable: le déplacement des porteurs de cette culture matérielle sur de grandes distances à l'intérieur de l'Afrique dès les débuts de l'Oldowayen, donc entre 2,6 millions d'années (Gona) et 2,4 millions d'années (âge d'Aïn Boucherit).

Cette explication pousse à faire des porteurs du premier Oldowayen des humains plutôt que des préhumains, puisque la mobilité sur de grandes distances est l'une des caractéristiques jamais démenties de l'humanité. Si cette logique est la bonne, alors le berceau de l'humanité est l'Afrique entière. ■

FRANÇOIS SAVATIER

M. Sahnouni *et al.*, *Science*, vol. 362, pp. 1297-1301, 2018

Maladies de la rétine : un rôle clé du fer

Le décollement de rétine touche 10 à 55 individus pour 100 000 par an et s'accompagne souvent d'une perte de vision. Une équipe dirigée par Émilie Picard et Francine Behar-Cohen, du centre de recherche des Cordeliers, suggère que diminuer la quantité de fer libre dans l'œil limiterait les dégâts. Le point avec Émilie Picard.



Propos recueillis par MARIE-NEIGE CORDONNIER

ÉMILIE PICARD
chercheuse à l'Inserm
au sein de l'UMRS1138,
au centre de recherche
des Cordeliers, à Paris

Le traitement actuel consiste à recoller la rétine. Quelles sont ses limites ?

D'une part, plus le délai est long entre le moment où la rétine s'est décollée et l'opération, moins la rétine est préservée. En effet, dès qu'elle se décolle, des cellules de la rétine (photorécepteurs et autres neurones) commencent à mourir et ne sont pas remplacées. D'autre part, si la zone centrale ou macula est touchée, les chances de récupérer la vision sont moindres. Enfin, l'âge de la personne est important.

Pourquoi s'intéresser au fer ?

Le fer est indispensable au fonctionnement de toutes les cellules de l'organisme. Mais quand il est trop abondant, les protéines qui habituellement se lient à lui ne sont plus assez nombreuses pour le piéger. Or sous sa forme libre, il est toxique pour les cellules : il favorise l'apparition d'un stress oxydant qui entraîne leur mort. Par ailleurs, on savait depuis longtemps que du fer s'accumule dans des modèles de dégénérescence rétinienne. Nous avons depuis montré que c'est le cas dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge et dans la rétinopathie diabétique, et à présent dans le décollement rétinien : chez des patients atteints, la perte de fonction visuelle après opération est corrélée à la quantité de fer dans les liquides oculaires.

Comment prévenir cette accumulation ?

Des molécules capables de séquestrer le fer sont déjà utilisées dans certaines pathologies. Toutefois, elles sont toxiques pour l'œil et difficiles à administrer. Nous nous sommes donc intéressés à la transferrine, une protéine que toutes les cellules de l'organisme synthétisent et qui est présente dans les liquides intraoculaires. La transferrine se lie au fer et le transporte de cellule en

cellule. Précédemment, j'avais montré, dans différents modèles animaux, qu'elle protégeait la rétine face à différents stress. Nous avons donc voulu examiner son utilité dans le décollement de rétine.

Comment avez-vous procédé ?

D'abord, nous avons étudié son effet sur des rétines de rat mises en culture. Elles imitent bien le décollement de rétine et permettent de contrôler le stress appliqué. Nous avons ainsi observé qu'ajouter de la transferrine protégeait les photorécepteurs et évitait tous les phénomènes pathologiques associés au décollement de la rétine (inflammation, œdèmes, mort cellulaire...). Puis nous avons injecté de la transferrine humaine dans le vitré de l'œil (le gel qui le remplit) de souris et de rats dont on avait décollé la rétine (en injectant au même moment un produit sous celle-ci). Là encore, l'addition de transferrine a préservé la rétine des effets délétères.

Comment la transferrine agit-elle ?

La séquestration du fer est certainement l'un de ses premiers effets, mais notre étude suggère qu'il y en a d'autres. En comparant le transcriptome (l'ensemble des ARN messagers, les intermédiaires de fabrication des protéines) de la rétine d'animaux traités et non traités à la transferrine, nous avons découvert que la transferrine module d'autres voies comme l'inflammation ou la mort cellulaire. Nous étudions à présent ces mécanismes.

Envisagez-vous des essais cliniques ?

Nous travaillons avec une start-up, Eyevensis, sur un traitement d'appoint à la chirurgie. L'objectif est d'introduire dans des cellules de l'œil une petite molécule d'ADN circulaire contenant le gène de la transferrine humaine. La méthode serait réversible, car cette molécule ne s'insère pas dans le génome, et les cellules devraient produire cette transferrine pendant plusieurs mois. Nous espérons lancer un essai clinique d'ici à cinq ans. ■

A. Daruich *et al.*, *Science Advances*, vol. 5, article eaau9940, 2019