



POUR LA

SCIENCE

Décembre 2016 - n° 470

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

L'endroit le plus vide du cosmos

Un désert de 2 milliards
d'années-lumière

M 02687 - 470 - F: 6,50 € - RD



30

30 ans
Cité

> EXPO <
11.10.16
06.08.17

QUOI DE NEUF AU MOYEN ÂGE ?

TOUT CE QUE L'ARCHÉOLOGIE NOUS RÉVÈLE

(M) Porte de la Villette

En partenariat avec :



l'express

l'histoire

Slate.fr

l'histoire

SCIENCES
AVENIR

éléphant



Coproduit avec :

Institut national
de recherches
archéologiques
préventives

Inrap

POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06
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, Philippe Ribeau-Gésippe, Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Correction et assistance administrative : Anne-Rozenn Joubert

Marketing & diffusion : Laurence Hay et Ophélie Maillet

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Anciens directeurs de la rédaction : Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Olivier Boucher, Benoît Famaey, Capucine Jahan,

Jean-Jacques Perrier, Christophe Pichon, Daniel da Rocha,

Marc-André Selosse, Virginie Tissières

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr - 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr)

Tél. : 01 55 42 84 28 • Fax : 01 43 25 18 29

ABONNEMENTS

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

Courriel : pourlascience@abopress.fr

Téléphone : 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

COMMANDES DE LIVRES OU DE MAGAZINES

Pour la Science,

628 avenue du grain d'or, 41350 Vineuil

pourlasciencevpc@daud.in • Tél. : 02 18 54 12 64

DIFFUSION

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort :

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.

Executive editor : Fred Guterl. Design director : Michael Mrak. Editors :

Ricky Rusting, Philip Yam, Robin Lloyd, Mark Fischetti, Seth Fletcher,

Christine Gorman, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong.

President : Keith McAllister. 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. », 8 rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de tra-

duction, 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. Li-

cence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est inter-

dit de reproduire intégralement ou partiellement

la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou

du Centre français de l'exploitation du droit de co-

pie (20 rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).



Maurice Mashaal
rédacteur en chef

Abîme astronomique

Regardez un ciel nocturne bien noir, si vous avez la chance d'en avoir un. Vous remarquerez que, paradoxalement, il est loin d'être noir : il fourmille d'étoiles et d'autres objets astronomiques plus ou moins lumineux. Passée l'émotion ressentie devant l'immensité du cosmos rendue ainsi tangible, vous vous demanderez peut-être si la répartition des astres dans l'Univers obéit à une certaine régularité.

Pour répondre correctement à cette question, il faut s'affranchir des particularités locales et prendre de la distance... cosmologique ! À des échelles de plusieurs centaines de millions d'années-lumière, l'Univers est-il à peu près homogène comme le supposent les modèles cosmologiques les plus simples ? Pas vraiment : les scientifiques ont mis en évidence des régions relativement denses et d'autres

À 3 milliards d'années-lumière de la Terre, un immense désert cosmique

relativement dépeuplées en galaxies. Qui plus est, comme nous l'explique l'astrophysicien István Szapudi (*voir pages 24 à 31*), plusieurs études récentes indiquent l'existence d'un « supervide » à une distance de 3 milliards d'années-lumière de nous : une immense région désertique dont le diamètre s'étend sur près de 2 milliards d'années-lumière.

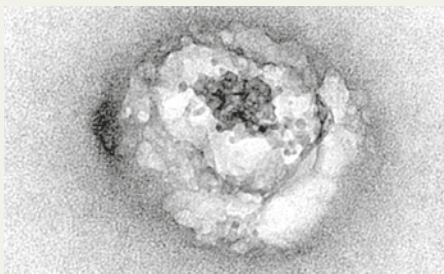
Régions vides ou pas, qu'est-ce que cela change, au-delà de la géographie du cosmos ? En fait, les grands déserts cosmiques sont intimement liés à plusieurs questions portant sur les débuts de l'Univers, sur son expansion et sur les théories de la gravitation, dont la relativité générale d'Einstein. En particulier, le supervide détecté est susceptible d'expliquer une zone froide figurant dans la carte du rayonnement émis par l'Univers 380 000 ans après le Big Bang. Et l'étude des autres déserts cosmiques mettra bientôt à l'épreuve des modèles de l'énergie sombre, cette mystérieuse entité censée accélérer l'expansion de l'Univers (*voir pages 32 et 33*). Les vides ne sont pas rien, loin s'en faut ! ■

3 **Édito**

Actualités

6 **La formation des aérosols à la loupe de Cloud**

7 **Le virus de l'hépatite C se dévoile enfin**



8 **Les galaxies spirales défient la matière noire**

9 **Comment les plantes repèrent la verticale**

14 **Du microbiote intestinal aux maladies neurodégénératives**

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

16 **Entretien**
Enseignement :
« Il faut donner du sens aux nombres dès la maternelle »
Stella Baruk

20 **Homo sapiens informaticus**
L'achat hors-ligne bientôt une activité de luxe !
Gilles Dowek



22 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Des énigmes pas si anodines
Gérald Bronner

Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement à *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage.
En couverture : © Kenn Brown/Mondolith Studios

À LA UNE

24 **ASTROPHYSIQUE** **L'endroit le plus vide de l'Univers**

Istoán Szapudi

En cherchant à expliquer pourquoi une zone de l'Univers est anormalement froide, des astrophysiciens ont découvert une vaste région où la matière se fait rare.

32 **COSMOLOGIE** **« Avec les vides cosmiques, nous testerons bientôt divers modèles d'énergie sombre »**

Entretien avec Stéphanie Escoffier

Les régions les plus vides de l'Univers cachent de nombreuses informations sur l'évolution du cosmos et sur l'énergie sombre. Ainsi, les catalogues de galaxies les plus récents commencent à ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'Univers.

36 **PSYCHOLOGIE** **La fraude scientifique, un symptôme du fonctionnement de la science**

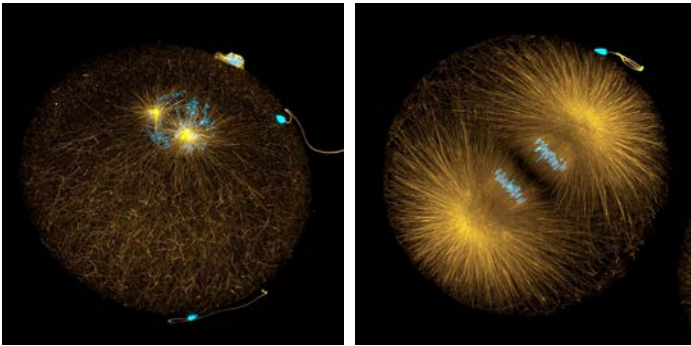
Olivier Klein et Vincent Yzerbyt

Le nombre des fraudes scientifiques s'accroît depuis quelques décennies. Les raisons sont multiples et tiennent aussi bien à des individus peu scrupuleux qu'au fonctionnement du système de recherche.

44 **BIOLOGIE CELLULAIRE** **Mécanique de la cellule et œuf mollet**

Agathe Chaigne

Ni trop dur ni trop mou : tel est le secret de l'ovocyte, la cellule sexuelle femelle. Alors seulement, il se divisera de façon asymétrique, optimisant ainsi les chances de survie de l'embryon qu'il deviendra peut-être.



54 **TECHNOLOGIE** **Des voix de synthèse presque humaines**

Nicolas Obin et Axel Roebel

La parole n'est plus le privilège des humains. Aujourd'hui, grâce aux avancées scientifiques et techniques, la voix donnée aux machines peut imiter à la quasi-perfection celle d'une personne réelle.

64 **PORTFOLIO** **Les précieux vélins du Muséum**

Cécile Lestienne

Pour le plaisir des yeux, une exposition inhabituelle et un livre magnifique offrent l'occasion de découvrir trois siècles d'illustration naturaliste à travers la singulière collection de vélins du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.



Rendez-vous

76 **Logique & calcul**

Formes et ensembles autopavables

Jean-Paul Delahaye

Un miracle géométrique : avec des copies de chaque forme d'un ensemble autopavable, on reconstitue chacune des formes en plus grand.

84 **Science & fiction**

Peut-on estimer la biodiversité extraterrestre ?

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

87 **Idées de physique**

La merveilleuse langue du caméléon

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



90 **Question aux experts**

Les sols se renouvellent-ils ?

Jean-Paul Legros

92 **Science & gastronomie**

Un retour en grâce des matières grasses

Hervé This

94 **À lire**

98 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

POUR LA SCIENCE 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

Recevez gratuitement la lettre d'information en inscrivant uniquement votre adresse mail sur www.pourlascience.fr

Actualités

Climatologie

La formation des aérosols à la loupe de Cloud

Grâce à l'expérience Cloud et à un modèle global de formation des aérosols atmosphériques, éléments précurseurs des nuages, une équipe de chercheurs a écarté définitivement le rôle des rayons cosmiques dans le réchauffement climatique.



Vue de l'intérieur de l'enceinte de l'expérience Cloud, qui simule les conditions atmosphériques. Grâce à ce dispositif, les chercheurs étudient la formation des aérosols.

Les nuages sont un élément clé des modèles climatiques, car ils réfléchissent une partie du rayonnement et limitent ainsi la quantité d'énergie qui parvient au sol ou s'échappe de la Terre. Cependant, dans le contexte de l'activité anthropique et du changement climatique, leur rôle est à préciser. Il est notamment important de comprendre la formation de leurs précurseurs : les aérosols, des particules nanométriques et micrométriques présentes dans l'atmosphère et autour desquelles la vapeur d'eau se condense. Or Eimear Dunne, de l'université de Leeds, et ses collègues ont élaboré un modèle global physicochimique des aérosols en intégrant les résultats les plus récents de l'expérience Cloud au Cern, près de Genève.

L'objectif de cette expérience est d'évaluer tous les paramètres

en jeu dans la formation des aérosols. Ces derniers sont étudiés depuis plusieurs décennies, mais il manquait des données précises sur leurs taux de nucléation, c'est-à-dire les processus par lesquels certaines molécules se combinent en minuscules agrégats. Ce phénomène de nucléation se produit dans l'atmosphère et formerait entre 40 et 70 % des particules qui condensent la vapeur d'eau. Le reste des aérosols provient de la poussière des déserts, de sels marins ou de la suie de combustion.

L'expérience Cloud est une enceinte où les chercheurs simulent les conditions atmosphériques : ils contrôlent la pression, la température et les constituants chimiques qui contribuent à former des aérosols. Ils ont ainsi évalué le rôle de la concentration de l'acide

sulfurique (H_2SO_4), connu pour servir de précurseur aux aérosols, de l'ammoniac (NH_3) et de la vapeur d'eau. Les processus de nucléation binaire ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$) et ternaire (par exemple $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) ont pu être observés et mis en équation pour les modéliser. Les chercheurs ont rassemblé les résultats précédents de la collaboration Cloud sur ces processus et les ont complétés avec des mesures à plus basse température, jusqu'à 208 kelvins (-65°C), ce qui correspond à la température de la partie supérieure de la troposphère. À ces processus inorganiques, ils ont ajouté des observations sur des nucléations ternaires organiques qui font intervenir des molécules organiques volatiles telles que l' α -pinène, émis dans l'atmosphère par les arbres.

Avec leur modèle, Eimear Dunne et ses collègues ont ainsi montré que la production d'aérosols de 3 nanomètres, à une altitude inférieure à 15 kilomètres, se répartit entre les différents processus de la façon suivante : 14 % en nucléation binaire, 65 % en nucléation ternaire inorganique et 21 % pour la nucléation ternaire organique. Le modèle global montre un bon accord avec les observations atmosphériques aussi bien à basse altitude qu'à haute altitude.

L'expérience Cloud est installée au Cern pour profiter des accélérateurs de particules sur place afin de simuler une source de rayons cosmiques qui bombardent l'atmosphère. En effet, ceux-ci ont un rôle important dans la formation d'aérosols, car ils produisent dans l'atmosphère

© Maximilien Brice/Cern/Cloud

Virologie

Le virus de l'hépatite C se dévoile enfin

Pendant 27 ans, les biologistes ont étudié le virus de l'hépatite C sans en connaître la structure. Celle-ci apparaît enfin et, avec elle, de nouvelles pistes pour fabriquer un vaccin.

des ions qui facilitent la synthèse des aérosols. Cette nouvelle étude estime que 28 % des aérosols sont produits *via* une nucléation induite par un ion. Par ailleurs, dans les régions où le taux de production d'aérosols est faible, les processus avec les ions dominent.

Ces travaux permettent aussi d'éliminer définitivement une hypothèse qui avait été formulée sur le lien entre les rayons cosmiques et le réchauffement climatique. Le flux de rayons cosmiques varie avec l'activité solaire, en particulier avec son cycle de onze ans. Au maximum de son activité, le Soleil émet un vent solaire plus intense, qui réduit le flux des rayons cosmiques arrivant sur l'atmosphère terrestre. Certains chercheurs avaient émis l'hypothèse qu'avec la légère augmentation de l'activité du Soleil ces dernières décennies, la production d'aérosols par les rayons cosmiques aurait diminué, ce qui aurait réduit la couverture nuageuse, donc la réflexion du rayonnement solaire. Cela aurait ainsi contribué au réchauffement du globe. Depuis, des études ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre les variations du flux cosmique et la couverture nuageuse, ou que ces variations avaient un effet minime.

Les résultats de *Cloud* enfoncent le... clou. Les chercheurs ont calculé, à partir des observations, les taux de production d'aérosols avec des flux de rayons cosmiques correspondant au maximum et au minimum d'activité du Soleil. Ils ont obtenu une variation de l'ordre de 0,1 %. L'effet est donc négligeable, comparé à la production anthropique d'aérosols.

Sean Baillly

E. M. Dunne et al., *Science*, en ligne le 27 octobre 2016

BMJ / British Society of Gastroenterology 2016

L'hépatite C, dont les complications (cirrhose du foie, carcinome hépatocellulaire) causent environ 700 000 décès chaque année selon l'Organisation mondiale de la santé, est la seule maladie virale chronique que l'on sait traiter efficacement : les médicaments disponibles guérissent plus de 90 % des personnes traitées. Pourtant, depuis l'identification du virus responsable de la maladie, il y a 27 ans, par des techniques de biologie moléculaire, personne n'était encore parvenu à décrire sa structure intime. Une équipe tourangelle dirigée par Jean-Christophe Meunier (Inserm U966, faculté de médecine, université François-Rabelais, CHRU de Tours) vient de la révéler en microscopie électronique.

Si les biologistes ont eu tant de mal à observer ce virus, c'est parce que chez les patients infectés, il s'associe avec des composants

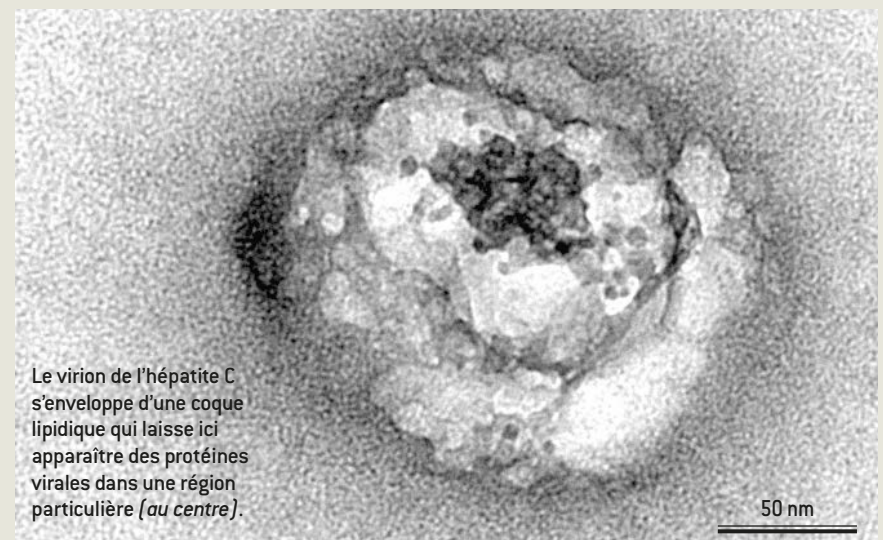
des lipoprotéines – des particules constituées de lipides et de protéines chargées de convoyer le cholestérol dans le sang – qui leur donnent l'apparence de simples particules lipidiques. Diverses équipes avaient réussi à purifier et observer de telles particules en microscopie électronique, mais les techniques utilisées (centrifugation, modification du virus pour favoriser sa capture à l'aide d'anticorps) n'étaient pas exhaustives : seules certaines catégories de particules étaient sélectionnées, et dans des conditions peu physiologiques.

Jean-Christophe Meunier et ses collègues ont mis au point une technique qui leur permet de capturer des particules virales de toutes catégories, directement dans le sang des patients. Les images ainsi obtenues leur ont permis de mettre en évidence le virus camouflé dans une lipoprotéine (voir la photo ci-dessous).

Le virus est donc bien un cheval de Troie des lipoprotéines, comme le suggéraient les modèles issus des résultats expérimentaux produits ces dernières années. La structure ainsi révélée aidera-t-elle à produire un vaccin contre l'hépatite C, toujours inaccessible ? Peut-être, selon Éric Piver, coauteur des travaux : « Notre approche est fondée sur l'utilisation d'anticorps pour capturer les particules virales. Seules certaines protéines virales semblent être exposées à la surface et donc visibles par le système immunitaire. Cela donne donc des informations sur les structures virales visibles et contre lesquelles notre organisme pourrait réagir. Une approche serait de produire une réponse immunitaire contre les protéines virales exposées à la surface de la particule. »

Marie-Neige Cordonnier

É. Piver et al., *Gut*, 11 octobre 2016



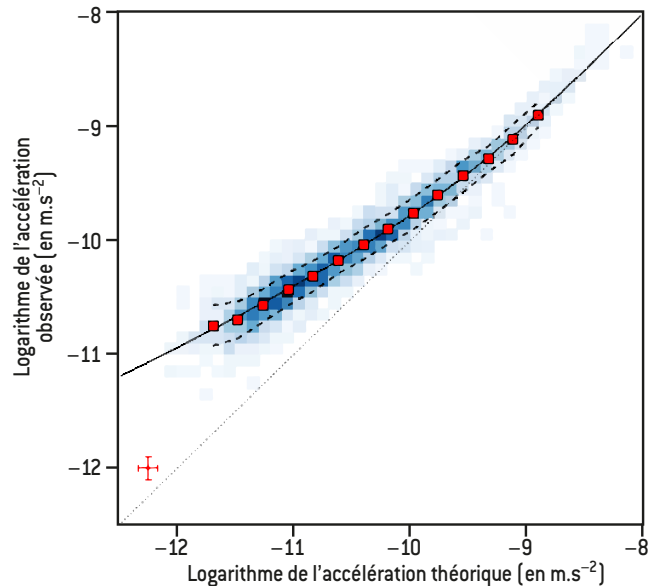
Le virion de l'hépatite C s'enveloppe d'une coque lipidique qui laisse ici apparaître des protéines virales dans une région particulière (au centre).

50 nm

Cosmologie

Les galaxies spirales défient la matière noire

De récentes observations portant sur des galaxies spirales suggèrent qu'il existe un lien entre la distribution de leur matière ordinaire et celle de leur matière noire. Un résultat embarrassant.



En comparant l'accélération mesurée du gaz à celle calculée à partir de la matière visible dans des galaxies spirales (à gauche), les chercheurs ont trouvé une relation simple entre ces deux grandeurs (à droite).

Stacy McGaugh, de l'université Case Western Reserve, aux États-Unis, et ses collègues ont-ils trouvé une faille dans l'hypothèse de la matière noire ? Il est trop tôt pour le dire, mais le comportement de la matière noire dans les galaxies spirales serait plus subtil qu'on ne le pensait.

L'hypothèse de la matière noire a été proposée dans les années 1970 pour résoudre le problème du profil des vitesses dans les galaxies spirales : les étoiles en périphérie d'une telle galaxie tournaient trop vite et auraient dû en être expulsées, la force gravitationnelle déterminée à partir de la matière visible des galaxies étant insuffisante pour retenir ces étoiles. On a ainsi supposé que les galaxies sont entourées d'un halo de « matière noire » n'interagissant pas avec la matière visible (ou baryonique) et qui, par sa gravité, empêcherait les galaxies de se disloquer.

Stacy McGaugh et ses collègues ont aussi étudié la dynamique des galaxies spirales. Ils ont établi le profil de vitesse du gaz interstellaire pour 153 galaxies et calculé l'accélération centripète due à la

force gravitationnelle exercée par la galaxie. Ils ont aussi recensé la matière baryonique et ont calculé l'accélération centripète correspondante. Cette étude confirme que la matière baryonique, seule, ne suffit pas à expliquer l'accélération centripète observée. L'hypothèse de la matière noire semble confortée.

Les chercheurs ont ensuite montré que, pour toutes les galaxies considérées, il existe une relation simple entre l'accélération centripète observée et celle calculée à partir de la matière baryonique (l'échantillon de galaxies étudiées est très hétérogène, avec des morphologies et des compositions variées). De plus, cette relation reste valable même si la quantité de matière noire requise pour expliquer la dynamique de certaines galaxies est importante. La contribution de la matière noire semble ainsi complètement spécifiée par celle de la matière baryonique. Un résultat contre-intuitif, puisque ces deux types de matière ne sont pas censés interagir, et leurs distributions ne devraient donc pas être corrélées.

Stacy McGaugh et ses collègues proposent trois explications

possibles à leur résultat. Selon la première, il pourrait s'agir d'une conséquence de la façon dont les galaxies se forment. Une autre possibilité est que matières noire et baryonique interagissent, comme en font l'hypothèse certains modèles. Enfin, la dernière solution évoquée par Stacy McGaugh et ses collègues suppose que la matière noire n'est pas nécessaire et qu'il faut plutôt invoquer une modification des lois de la gravitation dans un régime où les accélérations sont très faibles, comme c'est le cas dans les marges des galaxies. Cette idée est au cœur de la théorie MOND, proposée en 1983 par Mordehai Milgrom, de l'institut Weizmann, en Israël.

Cette nouvelle étude ne remet pas nécessairement en cause l'existence de la matière noire, mais elle pose de nouvelles contraintes sur la dynamique des galaxies, qu'un modèle réaliste de matière noire devra expliquer. D'ores et déjà, plusieurs équipes ont simulé la formation de galaxies avec de la matière noire pour retrouver cette relation. Une affaire à suivre...

S. B.

Phys. Rev. Lett., en ligne le 7 nov. 2016

26,8 %

C'est la part supposée de la matière noire dans l'Univers (le reste étant partagé entre l'énergie sombre à 68,3 % et la matière ordinaire à 4,9 %). L'hypothèse de la matière noire explique diverses observations en cosmologie.

Biophysique

Comment les plantes repèrent la verticale

Les plantes sont capables de mesurer leur orientation par rapport à la force de gravité et de pousser vers le haut pour mieux s'exposer à lumière. Mais la perception de la gravité n'est pas encore complètement comprise et deux hypothèses s'affrontent. Bruno Moulia, de l'Inra, et ses collègues ont mis au point une expérience permettant d'écarter l'un des scénarios envisagés.

Les plantes ont des cellules spécialisées qui contiennent des grains d'amidon, les statolithes. En sédimentant dans les cellules, ces grains indiquent le bas. La façon dont les plantes perçoivent la position des statolithes n'est pas encore claire. Selon une hypothèse, les cellules détectent une pression là où les grains d'amidon sédimentent. Une autre idée est que des éléments intracellulaires détectent la position des statolithes.

La différence est cruciale. Dans le premier cas, et pas dans le second, le système est incapable de distinguer la gravité d'une

autre force, par exemple due au vent qui balaie un champ.

De précédentes expériences favorisaient l'hypothèse de la pression exercée par les statolithes sur les parois des cellules. Pour s'en assurer, Bruno Moulia et ses collègues ont étudié la croissance



Certaines cellules végétales, les statocytes, contiennent des grains d'amidon nommés statolithes (en violet foncé), qui indiquent à la plante la direction verticale.

de plusieurs centaines de plants de quatre espèces végétales (blé, lentille, tournesol, arabette) dans une centrifugeuse pendant de longues durées pour créer une gravité artificielle. Les chercheurs ont montré que le redressement des plantes est indépendant de l'intensité de cette gravité, ce qui écarte l'hypothèse de la pression. Ainsi, c'est la position des statolithes dans les cellules qui indiquerait la verticale à la plante, et cette donnée ne serait que peu perturbée par des effets fugaces tels que des rafales de vent.

D'après Bruno Moulia et ses collègues, les expériences précédentes avaient mesuré un effet transitoire : le déplacement des statolithes, qui dépend de l'intensité de la gravité, et qui disparaît quand la sédimentation s'achève. Reste maintenant à comprendre comment les plantes enregistrent la position des statolithes dans les cellules.

S. B.

H. Chauvet et al., *Scientific reports*, vol. 6, 35431, 2016

En Méditerranée à +3 °C

L'accord de la COP21 à Paris, en 2015, a fixé comme objectif de limiter la hausse de la température moyenne globale à 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle. Mais pour certaines régions, cet objectif correspond à une hausse plus importante : on prévoit environ 3 °C pour le bassin méditerranéen. Joël Guiot et Wolfgang Cramer, de l'université Aix-Marseille, ont étudié l'impact de ce réchauffement sur les écosystèmes terrestres de cette région. Ils ont étudié les écosystèmes passés à partir des registres de pollen sur tout l'Holocène (ces 10 000 dernières années) et ont simulé leur évolution d'ici à la fin du siècle. Ils montrent ainsi que les écosystèmes méditerranéens ont connu pendant l'Holocène des périodes de sécheresse, mais sans hausses significatives des températures. Alors qu'un réchauffement global de 2 °C et plus conduira à d'importantes transformations, sans équivalent à l'Holocène, telles que la désertification de régions du sud de l'Europe et du nord de l'Afrique.

Botanique

Lumière sur la reproduction de la truffe noire

On connaît mal le cycle de reproduction de la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum*), le « diamant noir de la cuisine française ». Ce qui explique en partie pourquoi on ne sait pas cultiver ce précieux champignon. Une étude publiée par des chercheurs du Muséum national d'histoire naturelle, du CNRS et de l'université de Montpellier apporte cependant de nouvelles informations.

Elisa Taschen et ses collègues les ont obtenues à partir d'analyses génétiques réalisées sur 950 échantillons de truffe récoltés en Languedoc-Roussillon, dans des sites naturels ou dans

des plantations d'arbres préalablement « ensemencés » avec le champignon (le mycélium, ou réseau de filaments, qui le constitue vit en association avec les racines de certains arbres).

Qu'a-t-on appris ? Rappelons d'abord que la « truffe » elle-même est en quelque sorte le fruit du champignon. Or les chercheurs ont établi que cet organe est le résultat d'une fécondation entre deux individus très différents.

L'un a un mycélium étendu, persistant et associé aux racines des arbres voisins. Il est qualifié de « maternel » parce que c'est lui qui nourrit la truffe – la chair nourricière et protectrice de celle-ci est

constituée de tissus « maternels », tandis que les spores contenues dans cette chair, issues d'une fécondation, portent un mélange de gènes des deux parents.

Quant à l'individu « paternel », il est plus mystérieux, mais selon l'étude d'Elisa Taschen et ses collègues, il est moins étendu, ne vit le plus souvent qu'une année et n'est pas associé aux racines d'arbres. Il fournit seulement ses gènes à la truffe. Ce serait un individu qui ne survit que pour féconder un individu mieux installé.

Maurice Mashaal

E. Taschen et al., *Molecular Ecology*, en ligne le 18 octobre 2016



Le « fruit » du champignon *Tuber melanosporum* est issu d'une fécondation entre deux individus de types différents, l'un dit maternel et l'autre dit paternel, qui ne fournit que ses gènes.

Dix fois plus de galaxies !

Dans les années 1990, les images du télescope spatial *Hubble* avaient permis d'estimer que l'Univers visible contenait près de 100 milliards de galaxies. Une équipe menée par Christopher Conselice, de l'université de Nottingham, au Royaume-Uni, a réévalué ce chiffre en compilant de nouvelles données. Il y en aurait au moins dix fois plus. Ce sont surtout les galaxies petites et peu lumineuses de l'Univers jeune, donc lointain, qui n'avaient pas été prises en compte.

Records d'éclairs

Depuis la fin des années 1990, époque à laquelle des réseaux de détection à haute précision de radiofréquences émises par les éclairs ont commencé à être installés, la plus grande distance horizontale parcourue par un éclair enregistré est de 321 kilomètres. Il s'agit d'un éclair survenu le 20 juin 2007 dans l'Oklahoma, aux États-Unis. Quant à l'éclair le plus long, détecté le 30 août 2012 dans le sud de la France, il a duré 7,74 secondes. C'est ce qu'a conclu un comité d'experts mandaté par l'Organisation mondiale de météorologie.

Dix mois sans atterrir

Les martinets noirs (*Apus apus*) volent longtemps sans se poser. On le savait, mais Anders Hedenström, de l'université de Lund en Suède, et ses collègues l'ont prouvé et mesuré. En équipant des individus avec des capteurs, ces chercheurs ont montré que, dans les dix mois de l'année où ils ne sont pas occupés à se reproduire, les oiseaux restent en vol pendant plus de 99 % du temps. Certains individus ne se sont même jamais posés durant cette période. Reste à comprendre quelles adaptations physiologiques rendent possible cette prouesse exceptionnelle.

Évolution

Comment des lézards sont devenus serpents

Il y a environ 100 millions d'années, certains lézards se sont allongés et ont perdu leurs pattes, devenant des serpents. Des modifications morphologiques aussi importantes sont souvent liées à l'altération de l'expression de certains gènes et aux mécanismes de régulation de ceux-ci. Dans le cas des serpents, le processus restait à déterminer. Axel Visel, du laboratoire amé-

ricain Lawrence Berkeley, et ses collègues se sont intéressés au gène *Sonic hedgehog* qui participe à la croissance des membres et à un régulateur de ce gène, ZRS.

Sonic hedgehog et ZRS sont présents chez de nombreux vertébrés, et une mutation de ZRS conduit souvent à des malformations des membres. Axel Visel et ses collègues ont utilisé CRISPR, une méthode d'édition du génome

très précise, pour étudier ZRS chez différentes espèces. Ils ont, par exemple, remplacé chez des souris la chaîne d'ADN correspondant au régulateur par celle de l'homme ou du poisson. Les souris développaient alors des pattes normales. Mais quand on remplaçait la séquence de nucléotides par celles des serpents, les membres étaient tronqués. En comparant les génomes des serpents et des autres vertébrés, les chercheurs ont mis en évidence une délétion de 17 paires de nucléotides chez les premiers. L'histoire de la perte des pattes des serpents est probablement complexe, mais la perte de fonction de ZRS a certainement joué un rôle.

S. B.

E. Z. Kvon et al., *Cell*, vol. 167, pp. 633-642, 2016



©Shutterstock.com/arat chant

Insolite

Les chaussures romaines de Vindolanda

En 212, les soldats romains de Vindolanda, sur le mur d'Hadrien dans le nord de l'Angleterre, fuient et abandonnent leur fort. Ils jettent alors tout ce qu'ils ne peuvent emporter. Dans le lot, les archéologues ont trouvé, bien conservées, 421 chaussures de bébés, enfants adolescents, femmes et hommes, pour la maison ou l'extérieur ! Une trouvaille qui montre que chaque habitant du fort faisait usage de plus d'une paire de chaussures.



© Vindolanda Trust

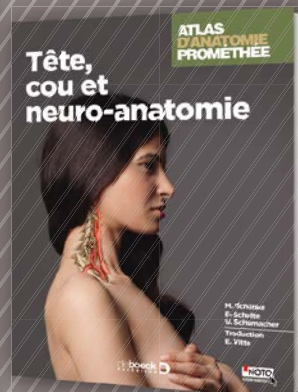
Tout le corps humain en 3 volumes

**ATLAS
D'ANATOMIE
PROMÉTHÉE**

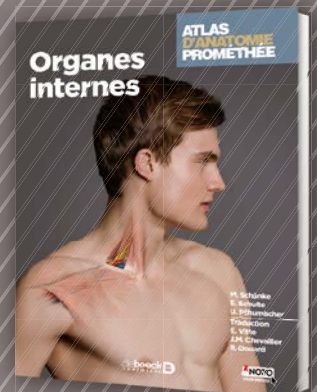
9782804185527 - 640 PAGES - 89 €



DÉCOUVREZ ÉGALEMENT :

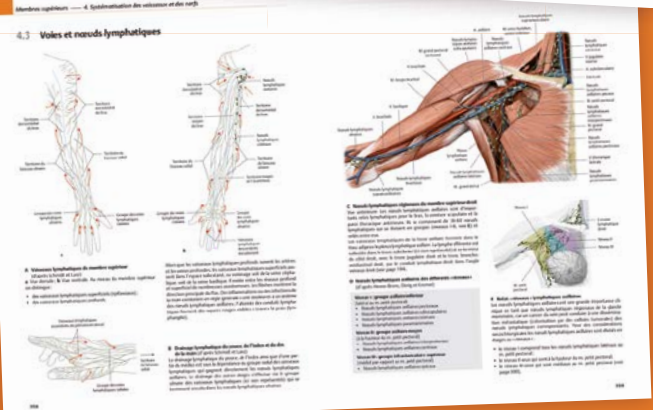
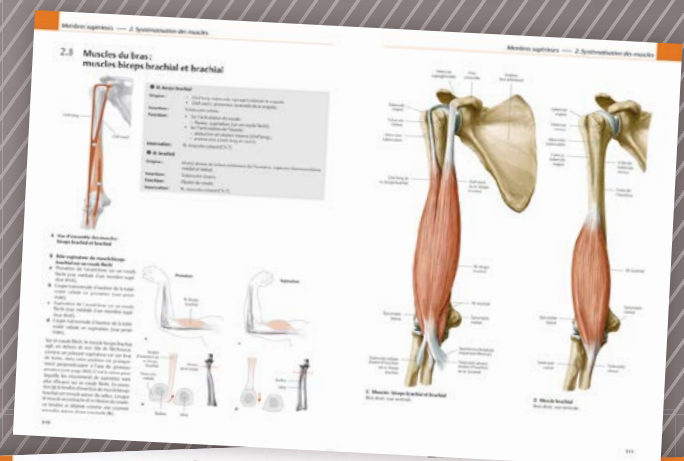


9782804186159 - 560 PAGES - 89 €



9782804182984 - 520 PAGES - 89 €

- Plus de **170 tableaux** par titre
- Près de **1800 illustrations** dans chaque tome
- Des **centaines d'exemples cliniques illustrés**
- Chaque sujet est exposé sur une **double page**, pour une **approche complète et rapide**, en un seul coup d'œil
- Des **images par ordinateur** hautes en couleur, d'une précision exceptionnelle, hyperréalistes



L'antiproton repesé

En principe, les antiparticules ont la même masse que leurs homologues. Pour s'en assurer, les physiciens de l'expérience *Asacusa* au Cern ont amélioré le dispositif qui détermine la masse de l'antiproton. Des antiprotons sont injectés dans un gaz d'hélium. Ces antiparticules (de charge électrique négative) se substituent à l'un des deux électrons des atomes d'hélium. Le système étant refroidi à 1,5 kelvin, ces atomes hybrides vivent assez longtemps pour être excités avec un laser. L'émission lumineuse résultante permet d'estimer la masse de l'antiproton avec une précision record... et sans écart décelable avec la masse du proton.

Biodiversité française

Le Muséum national d'histoire naturelle a recensé 182 498 espèces de faune et de flore, terrestres et marines, en France pour 2016. Cela représente près de 10 % de la biodiversité mondiale connue. Cette liste est complétée d'année en année. Le Service du patrimoine naturel du Muséum estime que 80 % à 90 % de la biodiversité de la métropole a été recensée. Et l'Outre-mer ? Après la Guyane en 2015, une expédition prospecte en Nouvelle-Calédonie pour compléter l'inventaire.

Chimie

Le parfum de l'encens enfin expliqué

L'encens, obtenu à partir de la résine de certains arbres, est l'un des plus anciens parfums utilisés par l'homme. Les premières traces de son usage remontent au quatrième millénaire avant notre ère. Cependant, les composés qui contribuent à la note de fond de ce parfum de «vieilles églises» restaient à identifier. L'équipe de Nicolas Baldovini, de l'institut de chimie de Nice, en partenariat avec la société Albert Vieille, a résolu le mystère.

Lors de précédentes études, certaines molécules avaient déjà été isolées dans des huiles essentielles de résine d'encens. Elles contribuent au parfum, mais ne portaient pas exactement l'odeur caractéristique des églises. Pour trouver les molécules odorantes évasives, Nicolas Baldovini et ses collègues ont utilisé trois kilogrammes d'huile essentielle extraite de résine de bonne qualité. Ils ont progressivement isolé les molécules puis, avec un système de chromatographie-olfactométrie, des personnes ont utilisé leur nez pour identifier quel élément portait



L'encens, brûlé au cours de certains offices religieux, a un parfum caractéristique. Deux molécules clés ont été identifiées.

l'odeur caractéristique. En effet, les molécules odorantes sont souvent présentes dans des concentrations si infimes qu'elles sont difficiles à déceler par des instruments de mesure. Dans ce domaine, le nez est d'une efficacité incomparable.

Les chercheurs ont ainsi détecté deux molécules inconnues donnant la note de fond de l'encens. Leur structure moléculaire a été déterminée par résonance magnétique nucléaire. Il s'agit de deux acides, isomères l'un de l'autre, c'est-à-dire ayant la même structure moléculaire, mais une configuration spatiale différente :

les acides (+)-trans-2-octylcyclopropane-1-carboxylique et (+)-cis-2-octylcyclopropane-1-carboxylique. Les chercheurs les ont nommés acides olibaniques, de l'oliban, un autre nom donné à l'encens.

Pour s'assurer qu'elle avait bien identifié les bonnes molécules, l'équipe de Nicolas Baldovini a synthétisé les deux isomères et confirmé leur pouvoir odorant. Un résultat qui intéressera sûrement les parfumeurs.

S. B.

Angewandte Chemie Int. Ed.,
en ligne le 4 octobre 2016

Biologie animale

Ces araignées qui entendent avec leurs pattes

Le monde sensoriel des araignées sauteuses (*Salticidae*) ne serait pas limité à une vision efficace et à la capacité de percevoir des vibrations proches. Paul Shamble, à l'université Cornell, aux États-Unis, et ses collègues ont découvert que ces espèces d'araignées ont aussi une bonne ouïe.

Cette découverte a été réalisée par hasard. Paul Shamble et ses collègues cherchaient à étudier la réponse neuronale à des stimuli visuels quand ils ont découvert que le cerveau de ces araignées réagissait à des sons que les chercheurs faisaient jusqu'à près de 3 mètres de distance. Ce résultat

est surprenant, car les animaux capables d'entendre loin sont, en général, pourvus de tympans, organes absents chez ces araignées.

Les chercheurs ont déterminé que l'araignée sauteuse entend des sons d'au moins 65 décibels et correspondant à des basses fréquences, entre 80 et 380 hertz. La détection d'un son s'accompagne d'une réaction spécifique : l'animal s'immobilise en moins de 0,1 seconde. D'après ces caractéristiques, les chercheurs pensent que l'arthropode serait capable de percevoir une menace volante telle que des guêpes prédatrices, dont les battements d'ailes émettent des sons de 100 hertz et plus.

Comment ces petits arachnides entendent-ils ? Les chercheurs ont étudié de près les poils de leurs pattes, déjà connus pour percevoir avec une grande sensibilité les vibrations à courte distance. Paul Shamble et ses collègues ont stimulé mécaniquement des poils individuels et ont enregistré dans le cerveau de l'araignée une activité dont les signaux sont équivalents à ceux obtenus par des sons émis à plusieurs mètres de distance. Autrement dit, l'araignée entend avec ses pattes poilues !

S. B.

P.S. Shamble et al., *Current Biology*,
vol. 26, pp. 1-8, 2016



Les araignées sauteuses sont connues pour avoir une excellente vue qu'elles utilisent pour chasser et pour se repérer dans leur environnement. Mais elles auraient aussi l'ouïe fine !

Biomédecine

Du microbiote intestinal aux maladies neurodégénératives

Maladies de Parkinson et d'Alzheimer, dégénérescence frontotemporale, sclérose latérale amyotrophique : quel est le point commun de ces pathologies cérébrales ? La mort de neurones dans différentes régions cérébrales, à cause, entre autres, de l'accumulation de protéines « agrégées » dites amyloïdes. Ces anomalies protéiques, sortes de pelotes qui s'agrègent dans le cerveau, se propagent de neurone en neurone, entre les différentes régions cérébrales et même entre diverses parties du corps, provoquant probablement une inflammation et la mort des cellules. D'où proviennent-elles ? Shu Chen, de l'université Case Western Reserve, à Cleveland, et ses collègues montrent qu'elles seraient issues de nos intestins, précisément des bactéries formant le microbiote intestinal.

Nos intestins renferment plus de 1,5 kilogramme de bactéries aux rôles variés (digestifs, anti-inflammatoires...), pour la plupart inoffensives. Mais depuis 2002, on sait que certaines produisent des protéines amyloïdes, qui favorisent leur prolifération, leur adhérence et leur résistance. Les plus étudiées sont les « curli » des bactéries *Escherichia coli*. Les chercheurs ont supposé que ces protéines amyloïdes de la flore intestinale provoquaient l'apparition des protéines amyloïdes dans les neurones du cerveau. Ils ont donc choisi d'étudier l'agrégation de l'une de ces protéines, l'alpha-synucléine, qui s'accumule chez les patients atteints de la maladie de Parkinson. Pour ce faire, ils ont nourri pendant deux ou trois mois 344 rats âgés avec des bactéries *E. coli* produisant des curli, tandis que d'autres animaux recevaient des bactéries modifiées n'en produisant pas.

Les rats du premier groupe ont présenté des protéines alpha-synucléines agrégées dans leurs intestins et dans leurs neurones, alors que ceux du second groupe en ont développé très peu. En outre, l'apparition des protéines amyloïdes provoquait une réaction inflammatoire locale intense dans le cerveau des rats, comparable à celle observée dans le cerveau des malades humains.

Cette étude est l'une des premières à démontrer que le microbiote est capable de provoquer l'agrégation de protéines dans les neurones. Bien que le mécanisme de propagation des « pelotes » reste inconnu, on a là une nouvelle piste de recherche pour mieux comprendre les maladies neurodégénératives.

Bénédicte Salthun-Lassalle

S. Chen et al., *Nature*, en ligne le 6 octobre 2016

Paléontologie

Du mimétisme très ancien

Un fossile d'aile de sauterelle du Permien, nommée *Permotettigonia*, a été retrouvé dans les roches rouges du dôme de Barrot dans les Alpes-Maritimes. Or André Nel, du Muséum national d'histoire naturelle, l'a étudié avec des collègues et a constaté que cette aile antérieure datant de quelque 265 millions d'années est très similaire aux ailes des sauterelles-feuilles d'aujourd'hui, qui ressemblent à s'y méprendre à une feuille.

Pour s'en persuader, les chercheurs ont cartographié précisément les nervures des ailes antérieures de toute une série de sauterelles actuelles faisant partie de la famille des Tettigoniidés comme *Permotettigonia*. Leur comparaison a conduit à les classer par similarité en deux groupes, dont l'un correspond à celui des sauterelles imitant les feuilles. L'aile de *Permotettigonia* en fait partie, ce qui suggère que cet insecte imitait aussi les feuilles.

Lesquelles ? Pour nous, une « feuille » est avant tout un organe photosynthétique de plantes à fleurs... qui n'existaient pas au Permien. Les chercheurs se sont donc demandé quelles feuilles les ailes de *Permotettigonia* imitaient. Malheureusement, dans la formation du dôme de Barrot, aucune plante n'est connue. Parmi celles des autres formations permienues de France (Var, Hérault), toutes produites par des milieux lacustres ou fluviaux, ils ont noté la présence de *Taeniopteris*, un genre de fougère dont les feuilles présentent une veine centrale et des veinules, tout comme l'aile de *Permotettigonia*.

Ainsi, cette espèce aurait acquis des ailes qui la camouflent de ses prédateurs, sans doute d'autres insectes volants. L'aile de cette sauterelle représente en tout cas le plus ancien cas de mimétisme connu à ce jour.

François Savatier

A. Nel et al., *Nature*, à paraître



© André Nel et al./MNHN

L'aile de la sauterelle *Permotettigonia* ressemble à une feuille nervurée, avec sa grande veine centrale (nervure principale) et ses ramifications. La feuille imitée ne pouvait être celle d'une plante à fleurs.

Le plus fort et le plus lointain flash gamma

Jamais le flash gamma d'une source aussi lointaine et d'aussi haute énergie n'avait été détecté. Mesuré par l'observatoire MAGIC, aux îles Canaries, et par d'autres télescopes, ce signal a été émis, selon les chercheurs, lors d'une explosion gigantesque près du trou noir central de la galaxie QSO B0218+357. Il a été reçu directement, puis à nouveau au bout de onze jours, parce qu'il a été dévié par une lentille gravitationnelle due à la galaxie B0218+357G, située à un milliard d'années-lumière de QSO B0218+357.

Une MST issue de Néandertal ?

Des chercheurs du CNRS et de l'Institut catalan d'oncologie ont reconstruit l'histoire évolutive de la diversification du papillomavirus humain après en avoir séquencé 118 sous-types. Ils concluent que ce virus infectait déjà l'ancêtre d'*Homo neanderthalensis* et *H. sapiens*, il y a 500 000 ans,

et qu'il a ensuite divergé en deux souches, en même temps que ces deux espèces humaines. Toutefois, la souche PVH 16, qui provoque des cancers du col de l'utérus, n'est apparue chez les hommes modernes qu'après leur sortie d'Afrique, il y a 100 000 à 60 000 ans, de sorte qu'elle résulterait de leur métissage avec les Néandertaliens.

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



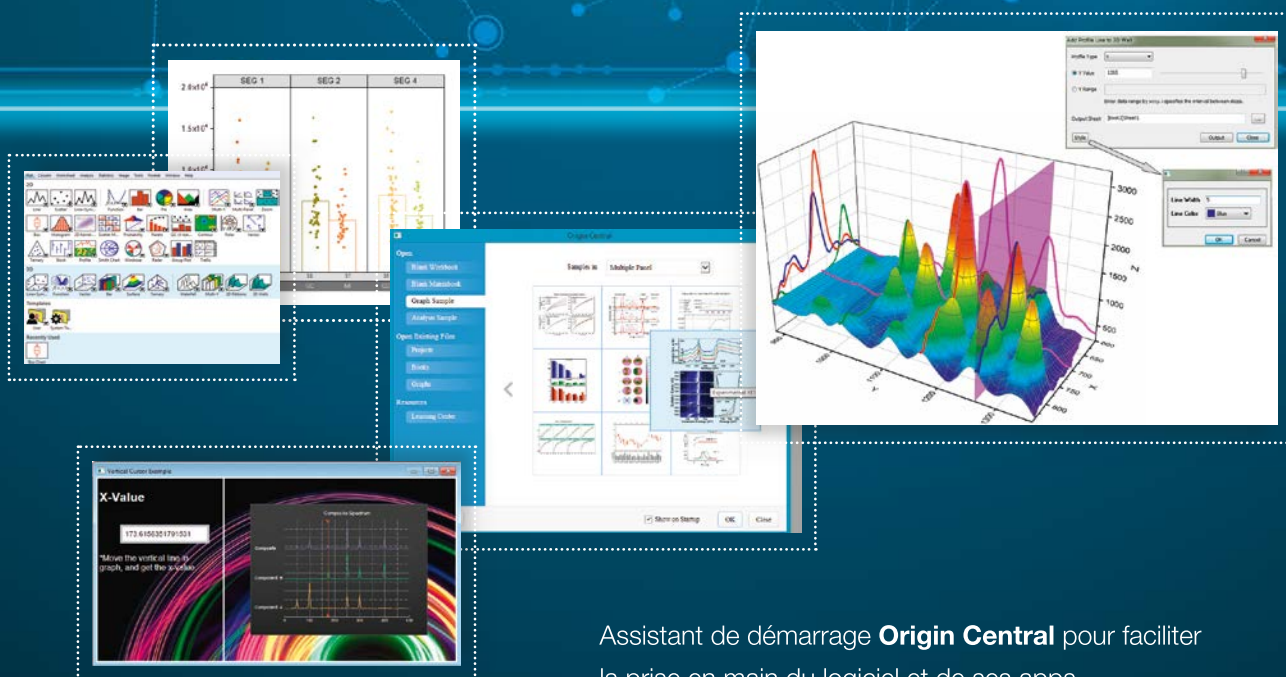
Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

UNE INTERFACE REPENSÉE ET DES POSSIBILITÉS DÉMULTIPLIÉES



ORIGIN® 2017

Graphing & Analysis



Assistant de démarrage **Origin Central** pour faciliter la prise en main du logiciel et de ses apps

Nouvelles **applications** dans le User File Exchange

Classeurs ou books plus intuitifs et proches de

Microsoft Excel®

Customisation possible en **HTML / CSS** pour produire des rapports de qualité

Encore plus de personnalisation des **graphes**



NOUVELLE VERSION ORIGIN 2017

ritme.com/origin

Tél. : +33 (0)1 42 46 00 42

Distributeur officiel en France

RITME
SCIENTIFIC SOLUTIONS