

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

ÉCOLOGIE
**LES MÉFAITS
DE LA POLLUTION
LUMINEUSE**

HISTOIRE
**LE CANULAR
DE BENJAMIN
FRANKLIN**

NEUROSCIENCES
**L'ÉTONNANT
CERVEAU
DES OISEAUX**



AVRIL 2020
N° 510

UNE CRISE COSMIQUE

Controverse autour
de la constante
de Hubble

espions

exposition
15 octobre 2019
— 9 août 2020

cité
sciences
et industrie

en coproduction avec

**LE BUREAU
DES
LEGENDES**



**RÉSERVATION
RECOMMANDÉE**

cite-sciences.fr
#ExpoEspions
M> Porte de la Villette

En coproduction avec



En partenariat avec



Avec l'appui
scientifique



Avec





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

ÉLUSIVE EXPANSION COSMIQUE

Dans les années 1927-1929, les travaux du chanoine et astronome belge Georges Lemaître et de l'astronome américain Edwin Hubble ont abouti à la conclusion que l'Univers est en expansion: les galaxies s'éloignent les unes des autres, d'autant plus vite que la distance qui les sépare est grande. Une analogie bien connue, bien sûr grossière, consiste à imaginer les galaxies comme des raisins se mélangés à de la pâte à brioche, qui représenterait l'espace: la cuisson faisant gonfler la pâte, les raisins s'écartent les uns des autres.

L'expansion de l'Univers est un phénomène dont les équations de la relativité générale d'Einstein rendent très bien compte, moyennant quelques hypothèses raisonnables, ce qui a conduit à la théorie du Big Bang – le modèle standard de la cosmologie d'aujourd'hui. Et dans ce modèle, le taux actuel d'expansion de l'Univers est évidemment un paramètre crucial, nommé « constante de Hubble ».

Quelle est la valeur de cette constante? Derrière la question se cachent de grandes difficultés pour les astronomes, en particulier celles relatives à la mesure des distances... astronomiques. Aussi n'ont-ils pu donner à la constante de Hubble une valeur relativement précise que dans les années 1990: le cosmos se dilate d'environ 70 kilomètres par seconde et par mégaparsec (unité de distance valant 3,26 millions d'années-lumière).

Les travaux se sont poursuivis pour gagner en précision... et ont récemment abouti à ce que bien des cosmologistes appellent une crise. Car, comme Richard Panek et Frédéric Courbin nous l'expliquent dans ce numéro (voir pages 26 à 34, et 36 à 39), des méthodes de mesure différentes ont donné deux valeurs distinctes, incompatibles même si l'on tient compte des barres d'erreur. Quelle est l'origine de ce grave désaccord? Des défauts dans les instruments ou les observations? Dans les modèles astrophysiques? Dans les modèles cosmologiques? Dans les théories fondamentales? Pour l'heure, l'énigme reste entière. Elle est en tout cas suffisamment stimulante pour susciter de nouvelles approches... ainsi que des frictions bien humaines. ■

SOMMAIRE

N° 510 /
Avril 2020



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

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Du contrôle de la mémoire au stress post-traumatique
- Déchets nucléaires: l'épreuve de la corrosion
- Les Africains aussi ont des ancêtres néandertaliens
- Une cible contre la DMLA?
- Comment les ailes de papillons se rafraîchissent
- Un couple d'étoiles appuie la théorie d'Einstein
- L'eau plisse les feuilles des nénuphars
- Autophagie neuronale perturbée
- Des trous dans la cuticule
- New Horizons livre les premiers secrets d'Arrokoth
- FlauBERT parle français

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

De l'encyclopédie de Diderot à Wikipédia

Gilles Dowek

P. 24

QUESTIONS DE CONFIANCE

De la probité avant tout

Virginie Tournay

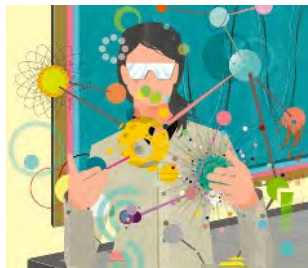


En couverture :
© Mark Ross Studios

Les portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart d'abonnement *Pour la Science*, jeté en cahier intérieur, sur toute la diffusion kiosque en France métropolitaine. Il comporte également un courrier de réabonnement, posé sur le magazine, sur une sélection d'abonnés.

GRANDS FORMATS



P. 40

STATISTIQUE

LA VALEUR-P : UN PROBLÈME SIGNIFICATIF

Lydia Denworth

Les méthodes statistiques pour jauger la pertinence d'un résultat expérimental sont attaquées de toutes parts. Résisteront-elles?



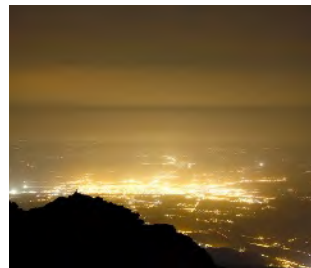
P. 48

NEUROSCIENCES

L'ÉTONNANT CERVEAU DES OISEAUX

Onur Güntürkün

Ils savent se reconnaître dans un miroir, se servir d'outils rudimentaires et même en fabriquer. Ils n'ont pourtant qu'une... cervelle d'oiseau! Paradoxe?



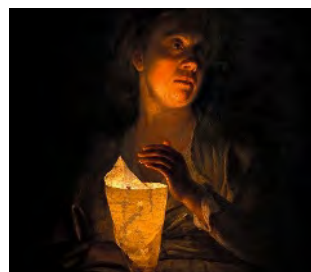
P. 58

ÉCOLOGIE

LES MÉFAITS DE LA POLLUTION LUMINEUSE

Emmanuel Desouhant,
Thierry Lengagne
et Nathalie Mondy

Les endroits où l'obscurité de la nuit reste préservée se font de plus en plus rares. Or la lumière artificielle nocturne perturbe de plusieurs façons la vie des animaux. Au point de contribuer à l'érosion générale de la biodiversité.



P. 66

HISTOIRE DES SCIENCES

LE CANULAR DE BENJAMIN FRANKLIN

Jacques Gapiillard

Se lever plus tôt l'été pour économiser des bouts de chandelles, c'est ce que proposait une curieuse lettre anonyme en 1784 dans un quotidien parisien. Son auteur n'était autre que Benjamin Franklin, dont les Français ont découvert l'humour à cette occasion...



COSMOLOGIE

P.26
**LA CRISE COSMIQUE
DE LA CONSTANTE
DE HUBBLE**

Richard Panek

La vitesse d'expansion de l'Univers a fait l'objet de deux mesures aux résultats incompatibles. Une troisième vient de compliquer encore la situation. Chacune semble pourtant fiable. Où est l'erreur?

P.36
**CONSTANTE DE HUBBLE :
« LA DIVERSITÉ DES MÉTHODES
DE MESURE ENRICHI LE DÉBAT »**

Entretien avec Frédéric Courbin

Pour sortir de la crise provoquée par les mesures de la constante de Hubble, de nombreux chercheurs développent des méthodes de mesure indépendantes de celles utilisées jusqu'ici. Tour d'horizon.

Cahier partenaire

RÉSILIENCE ET DIVERSITÉ ÉNERGÉTIQUE
En partenariat avec

Au centre
du numéro



Pages
I à XXXII

RENDEZ-VOUS

P.72

LOGIQUE & CALCUL

**QUAND
LES MACHINES
FONT DES
MATHÉMATIQUES**

Jean-Paul Delahaye

Les intelligences artificielles seront-elles un jour capables de produire des théorèmes aussi intéressants que ceux des mathématiciens humains? On en est encore loin, mais les choses avancent peu à peu.



P.78

ART & SCIENCE

La mer...
qu'on voit monter
Loïc Mangin

P.80

IDÉES DE PHYSIQUE

Les petits bateaux
de Marangoni
*Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik*

P.84

**CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION**

Les félins,
rois de l'hybridation
Hervé Le Guyader

P.89

SCIENCE & GASTRONOMIE

Des dérivés de l'ail
dans le lait maternel
Hervé This

P.90

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

P.20 Agenda

P.22 *Homo sapiens informaticus*

P.24 Questions de confiance

NEUROSCIENCES

DU CONTRÔLE DE LA MÉMOIRE AU STRESS POST-TRAUMATIQUE

L'attaque terroriste du 13 novembre 2015 à Paris a été un choc pour la population et surtout pour les survivants, dont une partie souffrent de troubles de stress post-traumatique.



Les mécanismes du contrôle de la mémoire, et pas seulement la mémoire, seraient impliqués dans les troubles de stress post-traumatique.

Les attaques terroristes qui ont ciblé le Bataclan et plusieurs autres sites à Paris et à Saint-Denis le 13 novembre 2015 ont profondément marqué les survivants, leurs proches, et plus largement toute la société française. Pour comprendre comment un événement aussi tragique s'inscrit dans la mémoire collective et individuelle, l'Inserm, le CNRS et HESAM Université ont lancé le programme 13-Novembre sous la direction de l'historien Denis Peschanski et du neuropsychologue Francis Eustache. Dans le cadre de ce projet, Pierre Gagnepain,

chercheur à l'Inserm, au centre Cyceron, à Caen, et ses collègues se sont intéressés aux mécanismes cérébraux impliqués dans le stress post-traumatique. Pourquoi certaines personnes développent-elles des symptômes de stress post-traumatique alors que d'autres semblent faire preuve d'une meilleure résilience ?

Le stress post-traumatique se manifeste de diverses façons, avec des symptômes qui évoluent de façon progressive et restent parfois silencieux pendant des mois, voire des années. L'une des manifestations les plus caractéristiques est l'intrusion fréquente et non contrôlée de

« flashes » de souvenirs, sous la forme d'images ou d'odeurs associées au traumatisme vécu. Les victimes revivent ainsi en permanence l'épisode traumatique, ce qui engendre une grande détresse aussi bien émotionnelle que physique.

On associait jusqu'à présent ce trouble au dysfonctionnement de la mémoire : les souvenirs intrusifs persistent à la façon d'un disque rayé qui répète en boucle les mêmes notes. Des analyses par imagerie ont confirmé le rôle de la mémoire dans ce trouble, notamment de l'hippocampe, région du cerveau impliquée dans la formation de la mémoire. Dès lors, les approches thérapeutiques actuelles consistent à essayer de contextualiser ces souvenirs pour les ancrer dans le passé et d'en réduire l'impact ; mais pour certains

patients, travailler directement sur ces souvenirs pouvait avoir un effet contre-productif et aggravant.

Pierre Gagnepain et ses collègues ont étudié une autre piste: ce ne serait pas le travail sur le souvenir qui, en soi, aggrave le stress, mais plutôt la défaillance du système cérébral de contrôle, dont l'un des rôles est d'inhiber les souvenirs stressants.

Les chercheurs ont notamment travaillé avec 102 volontaires parmi les personnes qui avaient subi les attentats, dont 55 présentent un trouble de stress post-traumatique. Les chercheurs ont créé des souvenirs intrusifs (neutres et sans lien avec les attentats) chez tous les participants et ils ont analysé leur capacité à supprimer ces souvenirs. Les personnes étaient d'abord exposées à des associations d'un mot et d'une image sans liens. Ainsi, quand elles lisaient un mot, elles pensaient de façon automatique à l'image associée. Ensuite, les chercheurs leur ont demandé d'essayer de ne plus penser à l'image quand elles voyaient les mots associés.

Chez les personnes ne souffrant pas de stress post-traumatique, l'imagerie IRM fonctionnelle a révélé une forte connexion entre le cortex préfrontal (région responsable de l'inhibition, notamment de la mémoire) et les structures associées à la mémoire (comme l'hippocampe) lors du contrôle des souvenirs intrusifs. Dans ce cas, le mécanisme de contrôle intervient sur l'activité de l'hippocampe et bloque l'activation des souvenirs intrusifs.

Chez les sujets souffrant de stress post-traumatique, ces connexions sont quasiment absentes et l'activité des régions de la mémoire n'est pas régulée. Il reste cependant à déterminer si ce dérèglement du contrôle de la mémoire est lié à un facteur préexistant ou s'il est une séquelle de l'épisode traumatique vécu.

En montrant l'implication du contrôle de la mémoire dans le stress post-traumatique, Pierre Gagnepain et ses collègues ouvrent une piste thérapeutique intéressante qui viserait à renforcer le mécanisme de contrôle de la mémoire sans avoir à toucher aux souvenirs stressants. ■

SEAN BAILLY

A. Mary et al., *Science*, vol. 367, eaa8477, 2020

Déchets nucléaires : l'épreuve de la corrosion

Une équipe américaine a testé en conditions réelles les stratégies de conditionnement de déchets radioactifs. Elle a constaté des effets de corrosion sur les colis vitrifiés. François Besnus, directeur de l'environnement à l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), met en perspective ce résultat.



Propos recueillis par Sean BAILLY

FRANÇOIS BESNUS
directeur de
l'environnement à l'IRSN

Quels types de déchets sont concernés par cette étude ?

Lorsque le combustible d'une centrale nucléaire est usé, il est retraité et dissous dans une solution chimique. On récupère l'uranium et le plutonium, qui sont recyclés et réutilisés. Le reste de la solution contient des produits de fission, hautement radioactifs, qui ne peuvent pas être revalorisés. Il est mélangé à de la silice dans un creuset pour former un verre. Les éléments radioactifs sont alors piégés dans la matrice vitreuse, et le tout est coulé dans une enveloppe en inox. La période radioactive de ces déchets est de l'ordre de la centaine de milliers d'années. À terme, en France, tous ces déchets seront stockés dans la Meuse, à 500 mètres sous la surface si l'installation Cigéo est autorisée.

Que savait-on du vieillissement des déchets vitrifiés jusqu'à présent ?

Les processus en jeu sont bien connus : l'acier de l'enveloppe va se corroder en présence d'eau. Un phénomène dit de « piqûration » se produit et conduit à des conditions localement très acides. Et les milieux très acides déstabilisent la matrice vitreuse, qui se dissout.

L'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) mène depuis longtemps un programme sur l'étude de la dissolution du verre dans un contexte de stockage. Ici, Gerald Frankel, de l'université d'État de l'Ohio, et ses collègues ont étudié l'influence locale de la corrosion de l'inox sur la dégradation du matériau vitrifié dans des conditions représentatives du projet de stockage américain Yucca Mountain. Les chercheurs ont observé des réactions complexes de corrosion et de dissolution du verre. Les processus étaient déjà connus, mais il était intéressant de voir le comportement à l'interface de ces

matériaux dans un environnement spécifique.

L'eau joue un rôle essentiel dans la dissolution, mais les sites de stockage ne sont-ils pas secs ?

Le site américain Yucca Mountain se trouve dans une région très aride. Mais Gerald Frankel et ses collègues ont considéré qu'on ne peut pas prévoir quelle sera la situation climatique de la région dans, par exemple, mille ans. Ils ont donc étudié ce qui se passe en présence d'eau, afin de voir l'incidence de ce phénomène sur la sûreté du stockage.

En France, la stratégie est très différente. On sait que le site prévu est saturé en eau. Les interactions avec l'eau ont déjà été prises en compte dans la démonstration de sûreté du stockage, même si elles n'ont pas été modélisées comme dans la nouvelle étude. Puisqu'il existe des incertitudes sur la vitesse de dissolution, plusieurs scénarios ont été considérés. C'est en connaissance de ces incertitudes que le milieu géologique étudié dans le laboratoire souterrain de Bure a été choisi. Les déchets seraient stockés dans une couche d'argile épaisse d'une centaine de mètres. Du fait de sa très faible perméabilité, la migration des éléments radioactifs libérés devrait être assez lente pour ne pas produire de pollution notable.

En matière de stockage de très longue durée de déchets radioactifs, il est impossible de tout savoir. Il faut essayer de comprendre au mieux les différents paramètres en jeu, comme le vieillissement des matériaux, la vitesse des réactions, etc., mais il existe toujours une part d'incertitude. Le principe de base est donc de gérer cette incertitude, d'être le plus prudent possible et de mettre en place des relais pour que, si un élément du système se révèle défaillant, un autre puisse garantir l'efficacité du stockage. Ce qui compte, c'est de mettre en place un système robuste par rapport à toutes les incertitudes présentes. ■

X. Guo et al., *Nature Materials*, vol. 19, pp. 310-316, 2020

PALÉOGÉNÉTIQUE

LES AFRICAINS AUSSI ONT DES ANCÊTRES NÉANDERTALIENS

Une nouvelle méthode d'identification de l'ADN néandertalien dans les génomes contemporains change notre vision de l'histoire du métissage néandertalien-sapiens : les Africains aussi descendraient d'*Homo neanderthalensis*.

L'homme de Néandertal ayant évolué en Eurasie, on pensait les Africains subsahariens dénués de gènes néandertaliens. Mais l'équipe de Joshua Akey, de l'université de Princeton, vient de montrer que ceux du nord de l'Afrique subsaharienne ont une proportion non négligeable d'ADN néandertalien.

La nouvelle méthode utilisée par les chercheurs, nommée IBDmix, vise à comparer des génomes modernes avec un génome ancien de référence (ici le génome d'un Néandertalien) et à en déduire quels haplotypes (groupes d'allèles, c'est-à-dire de variants de gènes, transmis ensemble) proviennent d'un ancêtre commun. Plus précisément, pour un génome moderne donné, elle consiste ici à déterminer, au moyen d'une analyse statistique élaborée, s'il est plus vraisemblable que chaque haplotype commun au génome néandertalien ait été transmis depuis un ancêtre commun plutôt que recomposé par la reproduction et les éventuelles mutations survenues au fil des générations.

L'intérêt de cette méthode est que, contrairement aux autres, elle ne nécessite pas de comparaison avec un échantillon de génomes modernes sans gènes néandertaliens. Or les précédentes études s'appuyaient sur des échantillons issus en général de l'ethnie Yoruba, d'Afrique de l'Ouest, supposée exempte de gènes néandertaliens. Avec leur méthode, Joshua Akey et ses collègues ont montré que les Yorubas ont en moyenne 0,5% d'ADN néandertalien, donc que l'échantillon yoruba est biaisé...

Au total, les chercheurs ont analysé 2504 génomes modernes issus du monde entier. Ils ont ainsi identifié en moyenne 17 millions de paires de bases d'ADN néandertalien chez les Africains subsahariens de l'échantillon (sur 3200 millions de paires de bases dans le génome humain), ce qui suggère que les Subsahariens ont en moyenne 0,5% d'ADN néandertalien. Point remarquable, cette valeur est similaire chez les Nord-Africains, donc de part et d'autre du Sahara.

Cet ADN néandertalien provient-il d'une migration en Afrique de Néandertaliens ou d'Eurasiens qui se seraient hybridés avec des Néandertaliens? Après avoir testé ces deux



D'anciens flux de gènes entre l'Eurasie et l'Afrique expliquent que les Africains aussi descendent en partie d'*Homo neanderthalensis*.

hypothèses à l'aide de modèles démographiques, les chercheurs penchent pour la seconde. D'autant qu'ils ont par ailleurs montré qu'une partie de l'ADN néandertalien des Africains résulte d'un métissage très ancien d'*Homo neanderthalensis* avec *H. sapiens* d'Eurasie, en accord avec l'hybridation très ancienne que l'équipe de Cosimo Posth, de l'institut Max-Planck de Tübingen, en Allemagne, avait déjà pointée en 2017.

Enfin, Joshua Akey et ses collègues ont montré que la proportion moyenne d'ADN néandertalien des Extrême-Orientaux est comparable à celle des Européens (1,7%), alors que les études précédentes aboutissaient à une proportion plus élevée, qui d'ailleurs posait des problèmes d'interprétation. Il semble donc que tous les humains actuels aient des ancêtres néandertaliens... Un résultat qui reste à confirmer, car les génomes africains étudiés proviennent tous du nord de l'Afrique subsaharienne. Et si les Sans, chasseurs-cueilleurs sud-africains, qui, *a priori*, ont toujours vécu loin de l'Eurasie, étaient dépourvus d'ADN néandertalien? Affaire à suivre. ■

FRANÇOIS SAVATIER

L. Chen et al., *Cell*, vol. 180(4), pp. 603-818, 2020