



SCIENCE

ARCHÉOLOGIE
**L'ÉNIGME
DES VIKINGS
DU GROENLAND**

PHYSIQUE
**MATIÈRE NOIRE :
SUR LA PISTE
DES AXIONS**

GÉOLOGIE
**FAUT-IL EXPLOITER
LES GRANDS
FONDS MARINS ?**



AOÛT 2018
N° 490

La biologie du nombre d'or
**QUAND LES PLANTES
FONT DES
MATHS**

SANTÉ PUBLIQUE

**LES NOUVELLES ARMES
POUR SE DÉBARRASSER
DES MOUSTIQUES**



L'actualité de la recherche à l'IRSN



L'Agence Ody.C - Crédits photo : Pixabay - Graphix-Images / Médiathèque IRSN

Abonnez-vous à la lettre numérique **AKTIS**

Toutes les infos sur [irsn.fr/aktis](https://www.irsn.fr/aktis)
[irsn.fr/aktis-EN](https://www.irsn.fr/aktis-EN)



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

LES BONNES DISPOSITIONS DES PLANTES

Dans l'univers des nombres, les inégalités sont aussi criantes que dans le nôtre. Certains nombres, comme π et e (la base des logarithmes népériens), ont acquis une célébrité largement méritée. La plupart des autres, comme 182 ou 5,47, croupissent dans un anonymat presque complet. D'autres encore, comme 1, 2 ou 3, sont si omniprésents et indispensables qu'on finit par ne plus les voir. Et il existe aussi des nombres de statut intermédiaire et ayant une réputation parfois douteuse. Tel est le cas du nombre d'or.

Ce nombre, égal à environ 1,618 (son expression exacte est $(1+\sqrt{5})/2$), a été qualifié de divine proportion à la Renaissance. Il a été considéré comme un canon de l'esthétique et de l'architecture, et un parfum d'ésotérisme règne autour de lui. Mais l'intérêt qu'on lui porte a aussi quelques bonnes raisons. Le nombre d'or intervient en effet dans divers contextes des mathématiques et de la physique, et il se manifeste dans certaines structures remarquables que construit la nature. Il en est ainsi, chez les végétaux, de la disposition des feuilles autour des tiges – ce qu'on appelle, en termes plus savants, la phyllotaxie.

Cette présence du nombre d'or dans les structures botaniques est connue depuis longtemps, mais elle est restée mystérieuse jusqu'au début des années 1990, quand des physiciens français ont réalisé une expérience et conçu un modèle produisant des motifs semblables à ceux des plantes. Depuis, la balle est passée dans le camp des biologistes, et parmi eux les auteurs de l'article que nous consacrons aux découvertes récentes sur le sujet (voir pages 26 à 35). Ces chercheurs élucident les mécanismes intimes, à l'échelle cellulaire et moléculaire, par lesquels les plantes construisent des structures aussi ordonnées. Aujourd'hui, on ne sait pas encore tout sur la façon dont les plantes font, à l'image de Monsieur Jourdain et sa prose, des mathématiques sans le savoir. Mais on en sait assez pour que la question ait perdu son ésotérisme. ■

S

OMMAIRE

N° 490 /
Août 2018



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 nouveau sur la piste des contrôleurs du VIH
- La fonte de l'Antarctique s'accélère
- Les premiers tétrapodes, sortis d'eaux saumâtres?
- Une photosynthèse efficace sous infrarouge
- Alzheimer: l'effet des bêta-amyloïdes
- Récupérer l'eau de l'atmosphère en plein désert
- Des virus géants fabricants de gènes
- La matière baryonique de l'Univers enfin retrouvée
- Ce que révèlent les outils d'Ötzi

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Le double héritage de Bletchley Park
Gilles Dowek

P. 24

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

La tangente au présent et l'ordinateur quantique
Gérald Bronner



En couverture:
© Shutterstock.com/ Paggi Eleanor

Les portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot

GRANDS FORMATS



P. 36

ARCHÉOLOGIE

L'ÉNIGME DES VIKINGS DU GROENLAND

Zach Zorich

Après avoir mené une vie prospère au Groenland pendant cinq siècles, les Vikings ont subitement quitté l'île au xv^e siècle. De nouvelles découvertes archéologiques expliquent leur mystérieuse disparition.



P. 48

SANTÉ PUBLIQUE

DE NOUVELLES ARMES CONTRE LES MOUSTIQUES

Dan Strickman

Les maladies transmises par les moustiques tuent plus que les guerres. Mais l'espoir est permis: pour neutraliser ces insectes, les scientifiques mettent au point tout un arsenal de méthodes innovantes: manipulations génétiques, pièges efficaces...



P. 56

PHYSIQUE DES PARTICULES

MATIÈRE NOIRE: LA COTE DE L'AXION MONTE

Leslie Rosenberg

Alors que le candidat favori pour expliquer la masse cachée de l'Univers est en perte de vitesse, celui qui porte le nom d'axion gagne en popularité. Dédiée à sa recherche, l'expérience ADMX traque désormais cette particule.



P. 64

Océanographie

BIENTÔT DES MINES AU FOND DES OCÉANS?

Thomas Peacock
et Matthew H. Alford

Les grands fonds océaniques comportent de riches gisements de métaux, que l'on s'appête à exploiter. Scientifiques et organismes régulateurs recherchent des solutions pour limiter les dégâts environnementaux.



P.72

HISTOIRE DES SCIENCES

EMMY NOETHER, LE CENTENAIRE D'UN THÉORÈME

David E. Rowe

Figure dominante de l'école allemande d'algèbre durant les années 1920-1933, Emmy Noether a aussi marqué le développement de la physique théorique en démontrant qu'à toute symétrie continue d'un système physique correspond une grandeur conservée.



P.26

BIOLOGIE VÉGÉTALE

QUAND LES PLANTES FONT DES MATHS

Teva Vernoux, Christophe Godin et Fabrice Besnard

Spirales croisées, arrangement régulier des feuilles le long des tiges, organisation des écailles de pommes de pin... Les végétaux fabriquent des géométries complexes qui fascinent depuis longtemps. On commence aujourd'hui à comprendre les mécanismes biologiques qui produisent ces motifs géométriques.

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

CES GRILLES DE TIGES ARTICULÉES SONT-ELLES RIGIDES?

Jean-Paul Delahaye

Comment savoir si un assemblage plan de tiges articulées est déformable ou rigide? En appelant à la rescousse la théorie des graphes, qui fournit des algorithmes efficaces.

P.86

ART & SCIENCE

Autant en emportent les données

Loïc Mangin



P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Des ondes cobra avec des bâtonnets

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

P.92

**CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION**

Les dinosaures changent d'arbre

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

De l'intérêt de défaire et refaire

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

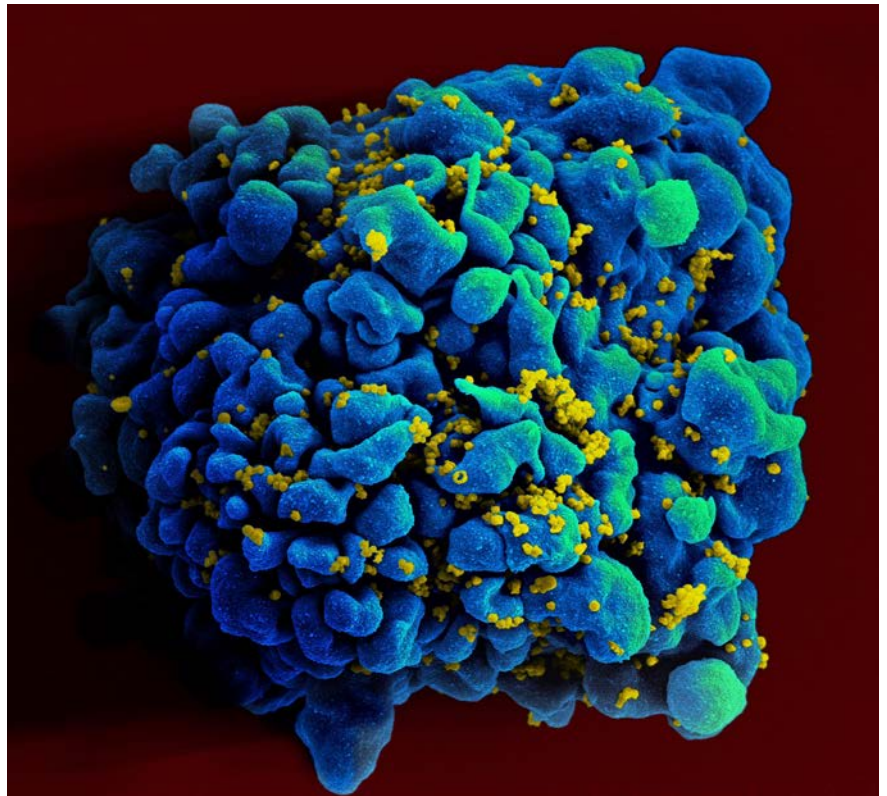
P.20 Agenda

P.22 Homo sapiens informaticus

P.24 Cabinet de curiosités
sociologiques

IMMUNOLOGIE

DU NOUVEAU SUR LA PISTE DES CONTRÔLEURS DU VIH



Un lymphocyte T humain
(en bleu) infecté par le virus
du sida (en jaune).
Les lymphocytes T CD4+ sont
les premières cibles du virus.
Mais chez les contrôleurs
du VIH, ils sont malgré tout
présents en nombre...

Chez certains porteurs du virus du sida, des cellules immunitaires connues pour alerter leurs consœurs se sont révélées capables de tuer elles-mêmes les cellules infectées.

Alors que le virus du sida (VIH) a encore entraîné la mort de un million de personnes dans le monde en 2016, selon l'Organisation mondiale de la santé, un petit nombre d'individus infectés résistent au virus sans l'aide d'une quelconque thérapie. Ces « contrôleurs du VIH », recrutés au niveau national dans la cohorte ANRS Codex, intéressent les chercheurs depuis longtemps, mais les mécanismes qui leur confèrent cette résistance sont encore loin d'être bien compris. Les équipes de Lisa Chakrabarti, au

laboratoire Virus et immunité, à l'institut Pasteur à Paris, et de Stéphanie Gras, à l'université Monash, en Australie, viennent d'en découvrir un nouveau. Elles ont montré que des cellules du système immunitaire connues habituellement comme lanceuses d'alerte, des lymphocytes T CD4+, deviennent capables de tuer des cellules infectées par le VIH lorsqu'elles présentent certaines caractéristiques.

Les lymphocytes T CD4+ sont des acteurs clés du système immunitaire : ils envoient des signaux qui déclenchent la production d'anticorps dans d'autres cellules ou qui alertent des cellules tueuses,

tels les lymphocytes T CD8+, de la présence de cellules infectées à éliminer. Ils gardent aussi une mémoire des agents pathogènes rencontrés. Par ailleurs, à partir des années 1980, plusieurs travaux sur diverses maladies virales ont suggéré qu'ils étaient aussi capables d'intervenir directement pour tuer les cellules infectées.

Toutefois, dans le cas du VIH, ces cellules étant les premières cibles du virus, on a longtemps pensé qu'elles ne constituaient pas la meilleure piste pour contrôler son expansion. Les chercheurs se sont donc concentrés sur les lymphocytes T CD8+ des contrôleurs du VIH et, de fait, ils ont mis en évidence chez ces patients une population spécifique de cellules plus efficaces que les autres pour reconnaître le virus et ses mutants. Mais était-ce le seul mécanisme à l'œuvre ?

Manifestement non. Depuis quelques années, en effet, plusieurs études suggèrent que des lymphocytes T CD4+ contribueraient aussi à l'élimination des cellules infectées chez les contrôleurs du VIH, et Lisa Chakrabarti et ses collègues apportent à présent une confirmation de cette hypothèse en révélant le mécanisme qui transforme ces cellules en tueuses.

En 2016, l'équipe avait déjà franchi une étape. Elle avait montré que des lymphocytes T CD4+ des contrôleurs du VIH sont particulièrement efficaces pour reconnaître un fragment très conservé de la capsid du virus, le peptide Gag293, grâce à des récepteurs étonnants. Lors d'une infection, des cellules immunitaires capturent les virus rencontrés et les digèrent, puis en présentent les fragments à d'autres cellules immunitaires, dont les lymphocytes T CD4+. Ces cellules reconnaissent alors les fragments à l'aide de récepteurs, les TCR. Chaque humain exprime près de 20 millions de versions de ces récepteurs parmi l'énorme répertoire des TCR ($>10^{15}$), et deux individus partagent environ 5% de versions, nommées « TCR publics ». Or les chercheurs ont détecté une forte fréquence de TCR publics chez les contrôleurs du VIH. De plus, ces TCR publics se sont révélés capables de reconnaître le fragment viral même si la molécule qui le leur présentait – HLA – variait. Comme les TCR, les molécules HLA sont propres à chaque individu et, en général, un TCR ne reconnaît qu'un type de HLA. Or certains des TCR publics sont capables d'identifier le peptide Gag293 présenté par cinq molécules HLA différentes !

Dans leur dernière étude, les chercheurs ont décrit le mécanisme qui rend ces TCR publics si performants. Par cristallographie, ils ont montré que ces TCR reconnaissent une région précise du peptide Gag293 et que celle-ci n'est pas modifiée lorsqu'elle est présentée par l'un ou l'autre type de HLA. Par ailleurs, ces TCR entrent surtout en contact avec le peptide et peu avec HLA, ce qui limite l'influence de cette molécule. Enfin, transférés à des lymphocytes T CD4+ et T CD8+ de donneurs sains, ces TCR les rendaient capables de tuer des cellules infectées par le VIH en culture. Les chercheurs tentent maintenant de mettre au point un traitement par transfert de ces TCR. ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

M. Galperin et al., *Science Immunology*, vol. 3(24), article eaat0687, 2018

La fonte de l'Antarctique s'accélère

À l'occasion des 60 ans de la création du Comité scientifique de la recherche en Antarctique, une équipe internationale de chercheurs a dressé le bilan de l'évolution du continent blanc. Valérie Masson-Delmotte, climatologue et coprésidente du groupe de travail n° 1 du Giec, commente ces résultats.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

VALÉRIE MASSON-DELMOTTE climatologue au LSCE, laboratoire des sciences du climat et de l'environnement du CEA

Quelle est la situation de l'Antarctique ?

L'Antarctique abrite près de 90 % des glaces terrestres. En 2014, le rapport du Giec résumait nos connaissances sur leur évolution : les pertes étaient estimées à près de 30 milliards de tonnes par an, en moyenne, pour la période 1992-2001 et 147 milliards pour la période 2002-2011. Mais ces valeurs étaient marquées par des incertitudes importantes et une forte variabilité régionale qui restaient à préciser.

Quelles sont les nouvelles conclusions ?

Grâce à la prise en compte des données satellitaires précises, les chercheurs montrent que, depuis 25 ans, le rythme de la fonte a été multiplié par 5 dans la région de la péninsule Antarctique (de 7 milliards de tonnes par an en 1992 à 33 milliards de tonnes en 2017) et par trois dans l'Ouest de l'Antarctique, où les pertes sont passées de 53 milliards de tonnes par an à 159 milliards.

Les incertitudes restent assez grandes pour la partie orientale du continent, du fait des difficultés à estimer la distribution spatiale et temporelle de l'enneigement. Mais le bilan de masse indique une certaine stabilité (voire une légère augmentation de l'enneigement).

Au total, l'Antarctique aurait perdu près de 2 700 milliards de tonnes de glace en 25 ans, à un rythme qui s'est accru au cours des dernières années.

Quelles sont les conséquences de cette fonte importante ?

L'effet le plus direct concerne la hausse du niveau des océans : l'apport d'eau de fonte a conduit à une élévation de quasiment 8 millimètres en 25 ans. Rappelons que l'Antarctique abrite assez d'eau pour provoquer une hausse du niveau des océans de 58 mètres ! Il est donc crucial de comprendre

sa dynamique actuelle et d'anticiper comment elle évoluera.

Avec plusieurs collègues, vous posez la question du futur de l'Antarctique en comparant deux scénarios antagonistes. Comment avez-vous procédé pour réaliser cette étude ?

Nous nous sommes projetés en 2070, c'est-à-dire dans à peine 50 ans, pour montrer que le destin de l'Antarctique peut être très différent d'un scénario à l'autre selon les décisions que nous prenons aujourd'hui.

La fonte des glaces est directement liée au réchauffement climatique dû aux émissions anthropiques de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Nous avons donc comparé un scénario où les rejets de gaz à effet de serre ne sont pas contrôlés et continuent au rythme actuel avec un autre où une politique forte de maîtrise de ces émissions est mise en place. Nous avons alors comparé des indicateurs physicochimiques (température, pH et niveau des océans, etc.) en utilisant des modèles climatiques, mais aussi d'autres facteurs tels que la pêche et le tourisme dans cette région, l'arrivée d'espèces invasives, etc.

Quels sont les résultats ?

L'élévation de la température atmosphérique moyenne en Antarctique (par rapport à 1986-2005, la période de référence) est de 0,9 °C dans le scénario optimiste et de 3 °C dans l'autre. La fonte des glaces contribue à, respectivement, 6 et 27 centimètres de la hausse du niveau des océans. Dans ce dernier scénario, on s'attend aussi à voir augmenter, en Antarctique, l'activité humaine (pêche, exploitation minière, tourisme...) et une modification du biotope.

Avec cette étude, nous avons voulu souligner le fait que, malgré les très nombreux défis, tout n'est pas joué. Il est encore possible d'agir à l'échelle internationale pour limiter les conséquences de l'activité humaine sur le climat de la planète. ■

Collaboration IMBIE, *Nature*, vol. 558, pp. 219-222, 2018 ; S. R. Rintoul et al., *ibid.*, pp. 233-241