

DOSSIER **ARCTIQUE**
LE CLIMAT REBAT
LES CARTES

NEUROSCIENCES
**UNE MACHINE
PEUT-ELLE ÊTRE
CONSCIENTE ?**

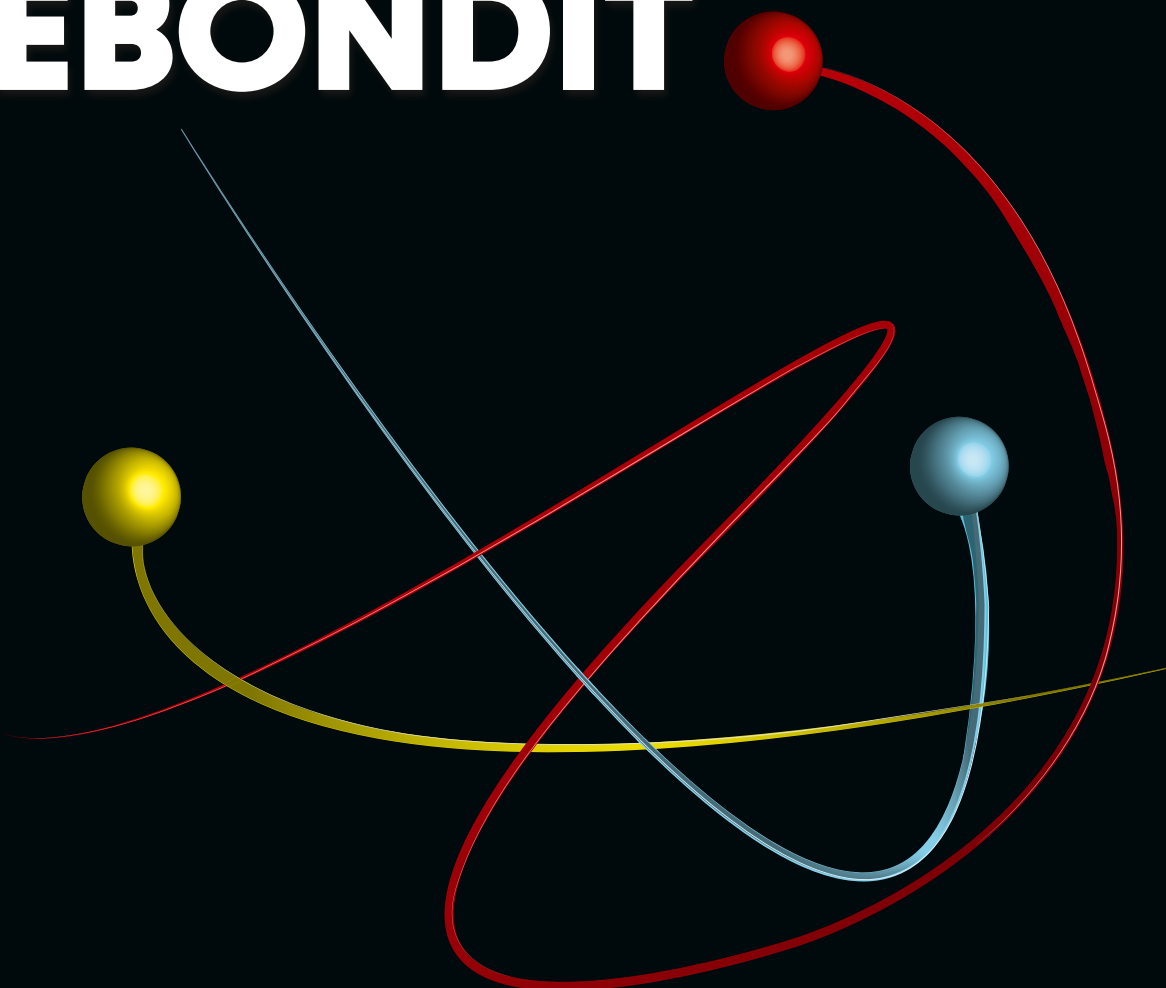
BIOLOGIE ANIMALE
**LE SUPERPOUVOIR
DE L'ANGUILLE
ÉLECTRIQUE**

FÉVRIER 2020
N° 508



Mathématiques

LE PROBLÈME DES TROIS CORPS REBONDIT





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

UN PROBLÈME SIMPLE... À ÉNONCER

Les mathématiciens et les physiciens théoriciens éprouvent beaucoup de satisfaction lorsqu'ils trouvent à leurs équations des solutions à la fois exactes et « analytiques » – c'est-à-dire s'exprimant par des formules explicites, où n'interviennent que des fonctions bien connues (comme l'exponentielle ou le sinus). Ces situations sont hélas exceptionnelles. L'une des exceptions importantes est le « problème des deux corps », qui consiste à déterminer les trajectoires suivies par deux masses ponctuelles s'attirant mutuellement selon la loi de gravitation énoncée par Isaac Newton. Ce même Newton avait résolu le problème et prouvé que les trajectoires en question sont des coniques (courbes formées par l'intersection d'un cône et d'un plan): cercle, ellipse, parabole ou hyperbole.

Passer du problème des deux corps à celui des trois corps, qui s'applique par exemple à un système composé d'une étoile et de deux planètes, était dans l'ordre naturel des choses. Mais le second s'est révélé infiniment plus coriace... Euler, Lagrange et d'autres mathématiciens brillants ont certes découvert quelques familles de solutions simples, dans des cas particuliers. Et il n'est pas exclu que l'on en trouve d'autres. On sait cependant que, pour le cas général, le combat est perdu d'avance.

Cela étant, le problème des trois corps ne se résume pas aux solutions analytiques: il existe d'autres approches fructueuses pour l'étudier. Ainsi, grâce aux méthodes numériques, les ordinateurs calculent des trajectoires avec une grande précision, notamment pour l'exploration spatiale. Et les analyses mathématiques plus qualitatives mènent parfois à d'importantes découvertes. Cela fut le cas à la fin du XIX^e siècle avec Henri Poincaré et le chaos déterministe. Et ce mois-ci, le chercheur américain Richard Montgomery raconte tout le chemin qu'il a fait pour répondre, il y a peu, à une question relative aux éclipses dans le problème des trois corps (voir pages 26 à 35). Un riche parcours qui l'a conduit vers des contrées inattendues et fertiles... comme c'est souvent le cas avec les problèmes difficiles à énoncé simple. ■

SOMMAIRE

N° 508 /
Février 2020

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Le sucre, ennemi du sommeil et de la bonne humeur
- Séisme du Teil: l'activité minière en cause?
- L'armure du phage
- Une scène de chasse vieille de 44 000 ans
- Des vénus gravettiennes en Picardie
- Les premières mesures de Parker autour du Soleil
- Des nanoparticules d'or pas si stables
- Les interactions complexes de la truffe se révèlent
- Terre boule de neige: comment la vie a persisté
- Des poux sur les dinosaures à plumes

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Et l'entropie devint information

Gilles Dowek

P. 24

QUESTIONS DE CONFIANCE

Que sont nos peurs nocturnes devenues?

Virginie Tournay



En couverture:
© Pour la Science

Ses portraits des contributeurs sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart abonnement First Voyages sur une sélection d'abonnés en France métropolitaine.

GRANDS FORMATS

DOSSIER

P. 51

ARCTIQUE

Le climat rebat les cartes



P. 52

GÉOSCIENCES

DIVISER POUR MIEUX RÉGNER

Mark Fischetti

Cinq États revendiquent des droits sur de vastes portions du fond marin de l'océan Arctique. Mais ces territoires se chevauchent...

P. 63

ENVIRONNEMENT

UNE RÉALITÉ MOUVANTE

Mark Fischetti

Le changement climatique modifie considérablement la vie au sommet du globe.



P. 36

BIOLOGIE ANIMALE

LES SUPERPOUVOIRS DE L'ANGUILLE ÉLECTRIQUE

Kenneth C. Catania

Les anguilles électriques produisent des tensions de plusieurs centaines de volts. Comment s'en servent-elles pour se défendre ou pour chasser leurs proies? Des expériences de laboratoire révèlent les étonnantes adaptations de ces gymnastes.

P. 44

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

LES MACHINES PEUVENT-ELLES ÊTRE CONSCIENTES?

Christof Koch

Nul doute que les robots et ordinateurs deviendront de plus en plus «intelligents». Mais auront-ils une subjectivité et un sentiment d'exister? Cette question est autrement plus débattue.



POUR LA
SCIENCE.FR

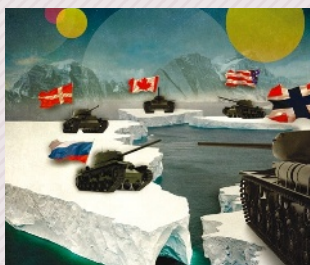
LETTRE D'INFORMATION

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. 66

SCIENCE ET SOCIÉTÉ
VERS
UN RÉCHAUFFEMENT
DIPLOMATIQUE ?

Kathrin Stephen

La tension politique s'accroît dans la zone Arctique, mais la coopération pourrait encore prévaloir.



P. 74

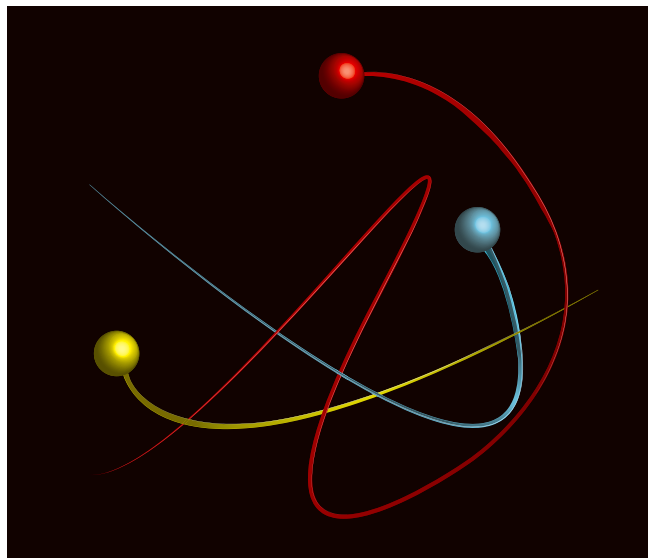
HISTOIRE DES SCIENCES

LE MÉDECIN DE
L'ÉPOQUE MODERNE
FACE À LA DOULEUR

Raphaële Andrault
et Ariane Bayle

Loin d'être négligée jadis, la douleur était déjà un sujet de préoccupation des médecins aux XVI^e-XVIII^e siècles, comme le montre une exposition qui se tient jusqu'au 23 février à la bibliothèque de santé de la faculté de médecine Lyon Est.

À LA UNE



P. 26

MATHÉMATIQUES

LE PROBLÈME
DES TROIS CORPS
REBONDIT

Richard Montgomery

Déterminer les trajectoires de trois corps soumis uniquement à leur interaction gravitationnelle est un problème célèbre posé depuis plus de deux siècles. Les mathématiciens savent aujourd'hui qu'ils ne pourront jamais le « résoudre » complètement. Cependant, l'étude de cas particuliers a, encore récemment, donné lieu à des découvertes intrigantes.

RENDEZ-VOUS

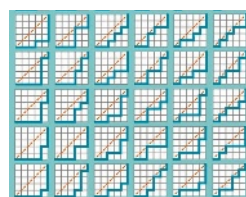
P. 80

LOGIQUE & CALCUL

LES SECRETS
DU NOMBRE 42

Jean-Paul Delahaye

Comment un nombre parfaitement banal a attiré l'attention des amateurs de science-fiction, des *geeks*... puis des mathématiciens.



P. 86

ART & SCIENCE

Calanques année zéro

Loïc Mangin

P. 88

IDÉES DE PHYSIQUE

Froid ou chaud
au toucher ?

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

P. 92

CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION

Les chétognathes
trouvent enfin leur place !

Hervé Le Guyader

P. 96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Des odeurs pour
créer des saveurs

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 Questions de confiance

SANTÉ

LE SUCRE, ENNEMI DU SOMMEIL ET DE LA BONNE HUMEUR



Manger une sucrerie avant de se coucher rassérène peut-être sur le moment, mais favoriserait aussi les troubles du sommeil et la dépression.

Une envie subite de sucre parce qu'il fait froid, que vous êtes déprimé, fatigué... ? Mieux vaut s'abstenir si l'on ne veut pas aggraver ces troubles.

C'est l'hiver, vous êtes fatigué, déprimé, manquez de soleil et trouvez du plaisir à manger un bon morceau de chocolat au lait, un macaron ou une pâtisserie délicieusement sucrée avant de vous mettre au lit. Car vous espérez un bon sommeil réparateur. Malheureusement, vous ruminez vos soucis et n'arrivez pas à vous endormir. Et si tous ces problèmes – l'envie de sucre, l'humeur morose et l'insomnie – étaient liés? C'est ce que suggèrent deux études récentes: une alimentation sucrée a des conséquences négatives sur notre sommeil et notre bien-être psychologique.

Dans nos régions, en hiver, le manque de lumière du soleil perturbe les rythmes circadiens biologiques qui contrôlent nos périodes d'éveil et d'endormissement. Avec un effet négatif que ressentent environ 30% des adultes: une humeur et une énergie au plus bas, et même la dépression pour 5 à 10% de la population, selon Daniel Reis, de l'université du Kansas, aux États-Unis, et ses collègues. Quel est alors le remède? Manger quelque chose de sucré. Car l'ingestion de sucre procure effectivement un plaisir instantané qui soulage momentanément les symptômes dépressifs. Mais à long terme, c'est une autre histoire.

Dans une vaste revue de la littérature scientifique, les chercheurs américains ont en effet montré que la consommation de sucres ajoutés ou transformés amplifie les symptômes dépressifs en perturbant plusieurs fonctions de l'organisme.

D'abord, elle induit une inflammation systémique (de tout le corps): le sucre est une substance pro-inflammatoire, et l'inflammation a des effets négatifs sur le corps et le cerveau, augmentant le risque de souffrir de dépression. Ses effets sont aussi néfastes sur notre microbiote intestinal – les microorganismes qui peuplent les intestins; le sucre favorise le développement d'espèces pro-inflammatoires, et l'on sait que la flore intestinale a un impact sur la santé mentale.

D'autres mécanismes sont mis en avant: la résistance à l'insuline (l'hormone libérée pour diminuer la concentration

sanguine de sucre, ou glycémie), la perturbation du système cérébral de la récompense et du plaisir (car le sucre agit comme une drogue), ainsi qu'un état de stress cellulaire global.

Tous ces effets négatifs du sucre expliquent peut-être aussi ses conséquences délétères sur le sommeil. Car la pâtisserie avalée juste avant d'aller au lit n'est pas une bonne chose, d'après James Gangwish, de l'université Columbia, à New York, et ses collègues, qui ont analysé l'alimentation de 50 000 femmes pendant trois ans, ainsi que la qualité de leur sommeil.

Les chercheurs ont distingué les sucres consommés selon leur indice glycémique, c'est-à-dire selon leur effet sur la glycémie durant les deux heures suivant l'ingestion. Les sucres hautement raffinés, comme les sucreries, les boissons sucrées, le pain blanc et le riz blanc, ont un indice élevé, car ils augmentent tout de suite la glycémie, alors que les sucres complexes, comme les glucides des céréales complètes ou ceux des fruits, ont un indice faible (les fibres ralentissant l'absorption du sucre).

Ainsi, plus les femmes consommaient de sucres à indice glycémique élevé, plus elles souffraient de troubles du sommeil et d'insomnie. À l'inverse, plus elles mangeaient de fruits et légumes, mieux elles dormaient. Car la hausse rapide de la glycémie entraîne la sécrétion d'insuline, d'où une chute de la glycémie qui provoque souvent la libération d'autres hormones, comme l'adrénaline et le cortisol, des molécules du « stress » et de l'agitation.

Il est donc certain, pour les chercheurs, que trop de sucre en période hivernale amplifie un mal-être général et est susceptible d'augmenter le risque de dépression et de troubles du sommeil, sans que l'on sache vraiment quel est le seuil maximal à ne pas dépasser. En effet, en termes d'alimentation, chaque personne ne réagit pas de la même façon. Les associations de santé américaines et françaises, ainsi que l'OMS, suggèrent toutefois que 25 grammes de sucres ajoutés par jour sont raisonnables. Une limite hélas souvent vite dépassée... ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

D. J. Reis *et al.*, *Medical Hypotheses*, vol. 134, article 109421, 2020 ; J. E. Gangwish *et al.*, *The American Journal of Clinical Nutrition*, en ligne le 11 décembre 2019

GÉOSCIENCES

Séisme du Teil : l'activité minière en cause ?

Le 11 novembre 2019, un séisme de magnitude 5,4 endommageait 825 logements et églises au Teil, dans le sud de l'Ardèche. Le CNRS a créé un groupe de travail pour rechercher ses causes possibles. Jean-Paul Ampuero, qui y participe, nous précise les premières conclusions de cette équipe.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

JEAN-PAUL AMPUERO
directeur de recherche
à l'Institut de recherche
pour le développement

Pourquoi le CNRS a-t-il mis en place un comité d'experts pour ce séisme ?

La très faible profondeur de ce séisme de magnitude supérieure à 5 et le nombre particulièrement faible de ses répliques le rendaient atypique. Dès lors, le CNRS a souhaité que le phénomène et ses origines soient étudiés.

La tectonique l'explique-t-elle ?

Oui, en grande partie, puisque ce séisme résulte d'une rupture de la faille de Rouvière, nommée d'après l'un des hameaux du village du Teil. Cette faille se trouve dans une zone sismique connue, mais rarement active, ce qui explique la surprise générale à la survenue du séisme.

Quels mécanismes peuvent avoir mis la faille sous tension ?

Nous en voyons trois : la pression exercée sur la vallée du Rhône par la masse des Alpes proches ; l'élévation de la région se poursuivant toujours un peu après la disparition des énormes glaciers qui pesaient sur les Alpes il y a 20 000 ans ; l'érosion, qui a supprimé de la masse surmontant la faille. Ces effets sont si faibles que nous n'arrivons pas à les mesurer... C'est leur accumulation au cours d'une longue période qui explique l'énergie du séisme.

Mais il semble qu'une partie de l'érosion locale soit due aux activités humaines...

En effet, puisqu'une carrière surmonte la faille ! Avec l'aide de la société Lafarge qui exploite cette carrière, nos sismologues ont retracé les enlèvements de masse dans la zone depuis 1946, puis calculé et cartographié le surcroît de contraintes induit sur la faille. Il est très faible et n'explique en aucun cas la magnitude du séisme ; mais ce surcroît semble assez grand pour exercer une influence sur la tectonique.

Cela signifie-t-il que la carrière a déclenché le séisme ?

C'est une possibilité, que nous explorons en essayant de situer le point de départ du séisme. Plongeant depuis le nord à 50 degrés, la faille passe quelque 1 000 mètres sous la carrière, soit la profondeur estimée du séisme. Les calculs issus des données sismologiques placent son épicentre hors de la zone d'accroissement des contraintes sur la faille, mais le résultat change si l'on prend en compte l'enregistrement d'un sismomètre installé aux abords de la carrière par Lafarge pour surveiller les nuisances dues aux tirs de carrière. Compte tenu de cette donnée, l'épicentre est en plein dans la zone d'influence de la carrière...

Bref, les activités minières ont induit le tremblement de terre...

Nous concluons que c'est probable si et seulement si nous pouvons vérifier que toutes les incertitudes pesant sur l'enregistrement du sismomètre de Lafarge, qui ne provient pas de la surveillance sismique régulière, n'affectent en rien le calcul de la position de l'épicentre.

Si la société Lafarge était à l'origine du séisme, pourrait-on la considérer comme responsable de ses conséquences ?

Le groupe de travail formé par le CNRS n'a pas pour mandat d'exprimer une opinion là-dessus. Mon avis, non pas de sismologue mais de citoyen, est qu'un exploitant ne peut être tenu pour responsable d'un événement considéré jusque-là comme impossible. Après avoir satisfait à de très nombreuses exigences, Lafarge venait d'obtenir l'autorisation d'étendre la carrière. Aucune de ces exigences techniques ne concernait un impensable risque sismique. C'est bien cela que ce cas plausible de sismicité induite par les activités humaines changera peut-être à l'avenir.

Séisme du Teil : rapport de la mission d'expertise du CNRS, en ligne le 19 décembre 2019
<http://www.cnrs.fr/fr/seisme-du-teil-rapport-de-la-mission-dexpertise-du-cnrs>