



P. 68

HISTOIRE DES SCIENCES

DU CHOLÉRA AU CORONA

Heiner Fangerau
et Alfons Labisch

Choléra, peste, grippe espagnole... les pandémies ont toujours contribué au développement de la santé publique. Aujourd'hui encore, pour lutter contre le Covid-19, nous recourons aux institutions qui en ont résulté.



P. 76

SANTÉ PUBLIQUE

« LA DÉMOCRATIE SANITAIRE RESTE UN DÉFI »

Entretien avec
Anne-Marie Moulin

Dans la gestion des épidémies, quelles leçons tirer du passé, qu'il soit lointain ou remonte à la première année de la pandémie actuelle?



P. 24

GÉOSCIENCES

LES CHÂTEAUX D'EAU DE LA PLANÈTE SOUS PRESSION

Walter Immerzeel

Les réserves naturelles d'eau situées à haute altitude alimentent près de deux milliards d'humains. Comment évolueront-elles avec le réchauffement climatique et le développement des populations? Une pénurie d'eau menace-t-elle? Pour le savoir, les scientifiques multiplient les observations et affinent leurs modélisations.

RENDEZ-VOUS

P. 80

LOGIQUE & CALCUL

ADDITION ET MULTIPLICATION, DES TABLES QUI INTRIGUENT

Jean-Paul Delahaye

Combien de nombres différents y a-t-il dans une table d'addition ou de multiplication? Cette question est à l'origine d'une famille de passionnants problèmes arithmétiques.

P. 86

ART & SCIENCE

Giotto l'artiste géologue

Loïc Mangin

P. 88

IDÉES DE PHYSIQUE

Quand le courant passe, le cœur bat

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik



P. 92

CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION

Notre cousin Trichoplax

Hervé Le Guyader

P. 96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Le flambage réduit-il l'acidité?

Hervé This

P. 98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

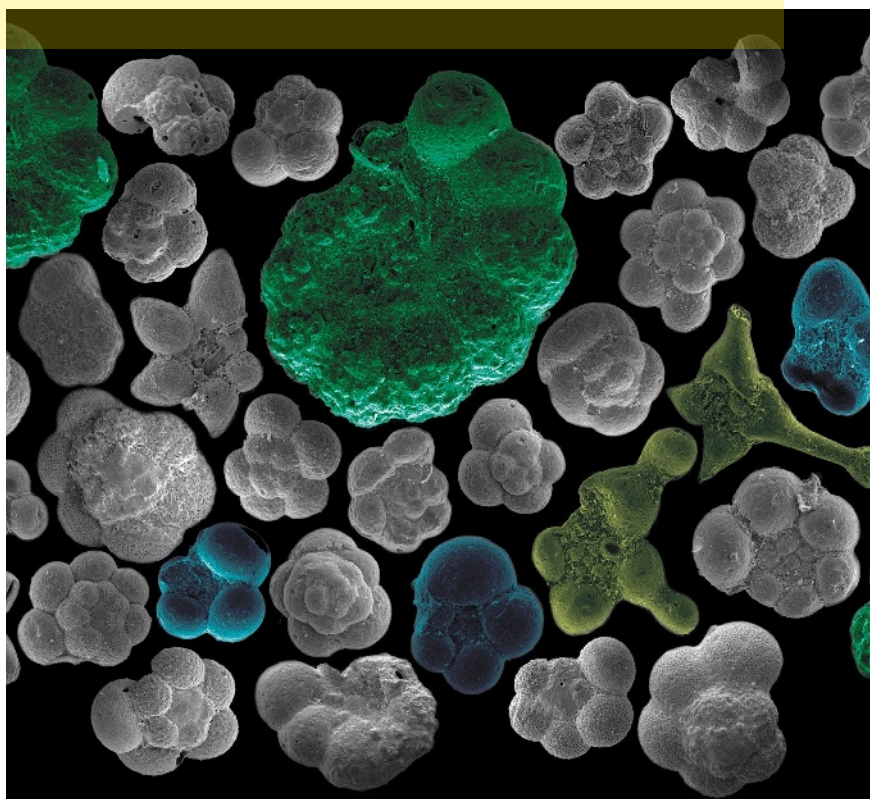
P.18 Livres du mois

P.20 *Homo sapiens informaticus*

P.22 Questions de confiance

CLIMATOLOGIE

L'ÉNIGME DES TEMPÉRATURES DE L'HOLOCÈNE RÉVOLUE?



Les foraminifères du plancton fossilisé servent de paléothermomètre : la composition chimique de leur coquille est sensible à la température marine.

L'histoire des températures au cours des 12 000 dernières années souffrait d'une incohérence entre modélisations numériques et mesures géochimiques. Un biais lié aux saisons en serait la cause.

La dernière période glaciaire s'est terminée il y a 11 700 ans. Elle a été suivie par l'Holocène, la période interglaciaire actuelle, où la reconstruction de l'évolution des températures est essentielle pour établir un contexte rigoureux au réchauffement climatique en cours. Cependant, les climatologues étaient jusqu'à présent confrontés à une incohérence. L'histoire des températures obtenues à partir de l'analyse de différentes archives géologiques était marquée par un maximum il

ya entre 8000 et 6000 ans, l'«optimum climatique de l'Holocène». Or ce dernier est absent des modélisations numériques. Samantha Bova, de l'université d'État du New Jersey, et ses collègues ont identifié un biais saisonnier dans les reconstitutions des températures issues de l'analyse géochimique des sédiments marins : il conduirait à une mauvaise évaluation des températures moyennes annuelles.

Les climatologues s'appuient sur différentes méthodes pour déterminer l'évolution des températures du passé. Pour suivre notamment la température de

surface des océans, ils analysent différents indicateurs, ou paléothermomètres. Par exemple, ils étudient les coquilles fossilisées d'organismes unicellulaires, les foraminifères, dont la composition chimique varie sensiblement avec la température des mers. Les coquilles se déposent régulièrement dans les sédiments et il est alors possible de retracer l'évolution des températures au cours du temps. C'est avec ce genre de paléothermomètres que les climatologues ont mis en évidence l'optimum climatique de l'Holocène. Cependant, les simulations numériques décrivent une hausse monotone de la température jusqu'à la période industrielle (où l'on constate une accélération de cette tendance).

En 2010, Guillaume Leduc, maintenant au Cerege (Centre européen de

recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement), à Aix-en-Provence, et ses collègues avaient constaté que, selon les paléothermomètres utilisés en un même endroit, ils obtenaient des résultats contradictoires. « Nous avons alors proposé que les divers paléothermomètres restituent des tendances saisonnières et non annuelles, et que chaque thermomètre retracerait une saison différente », souligne Guillaume Leduc. Ces biais saisonniers pourraient donc induire une erreur dans le calcul de la température moyenne annuelle. Mais les chercheurs ne savaient pas comment quantifier et corriger ce biais.

Pour y parvenir, Samantha Bova et ses collègues se sont d'abord intéressés à la période interglaciaire précédente (il y a entre 128 000 et 115 000 ans). Durant cette dernière, l'ensoleillement était plus fortement contrasté en fonction des saisons, à cause notamment d'une inclinaison plus importante de l'axe de rotation de la Terre. Il était donc plus facile pour les chercheurs d'y isoler les biais saisonniers et développer une méthode pour estimer des températures moyennes annuelles.

L'équipe a ensuite appliqué cette méthode à plusieurs enregistrements paléoclimatiques issus de sédiments marins collectés dans des régions différentes. Résultat : l'évolution des températures durant l'Holocène augmente de façon monotone comme dans les simulations numériques, au moins dans la région de latitude nord ou sud inférieure à 40° correspondant aux données étudiées (aux latitudes supérieures, la dynamique pourrait être différente). Pour confirmer ce résultat, il sera crucial d'appliquer la méthode de correction des biais saisonniers à d'autres types d'archives paléoclimatiques.

« Grâce à cette étude, Samantha Bova et ses collègues apportent une élégante argumentation indiquant que l'optimum climatique de l'Holocène n'a jamais existé et qu'il n'est qu'un artefact des paléothermomètres », résume Guillaume Leduc. « L'optimum faisait partie intégrante de la description de l'Holocène malgré les contradictions avec les simulations. Cette étude sera scrutée avec beaucoup d'attention par les spécialistes, qui vont en analyser les hypothèses dans les moindres détails. » ■

SEAN BAILLY

S. Bova et al., *Nature*, vol. 589, pp. 548-553, 2021

Pollution sonore des océans : il est temps d'agir

Depuis les années 1950, les chercheurs étudient la pollution sonore des océans et ses conséquences sur la faune. La bioacousticienne Lucille Chapuis et ses collègues viennent de réaliser une synthèse des connaissances dans ce domaine et soulignent l'urgence d'agir. Elle répond à nos questions.

Propos recueillis par SEAN BAILLY



LUCILLE CHAPUIS
bioacousticienne
à l'université d'Exeter,
en Grande-Bretagne

On parle de paysage sonore des océans ; de quoi s'agit-il ?

On distingue trois types de sources de sons dans les océans. D'abord, la biophonie regroupe tous les sons produits par les animaux. Parce que le son se propage très vite et très loin dans l'eau, les animaux marins ont une ouïe très développée. Le son sert à communiquer, trouver un partenaire, marquer son territoire, etc. La géophonie correspond à tous les sons liés au vent, aux vagues, aux banquises, aux volcans. Depuis la révolution industrielle, les bruits de l'activité humaine, l'anthropophonie, se sont multipliés. Ils sont dus au transport maritime, à l'industrie pétrolière, aux opérations militaires, à la construction des champs d'éoliennes, etc.

Comment ce paysage a-t-il évolué ?

La biophonie a considérablement baissé. Avec la surpêche, les populations de poissons ont drastiquement diminué. Les récifs coralliens sont normalement des zones très bruyantes, car elles hébergent une faune riche. On se sert d'ailleurs de ce bruit pour estimer la santé de ces milieux. Et quand un récif blanchit, il devient quasiment silencieux. Ce phénomène est lié au réchauffement climatique, qui touche aussi la géophonie : la fréquence des orages change, l'abondance de la glace de mer est modifiée. Mais c'est surtout l'activité humaine qui s'est développée ces dernières décennies. Le bruit du trafic maritime a ainsi été multiplié par trente !

Quel est l'impact sur les animaux ?

On constate des changements de comportements. Certains cétacés se déplacent vers des eaux plus silencieuses, ou chantent la nuit quand le bruit anthropique est moindre. On observe aussi des séquelles physiologiques, comme des pertes d'audition. Certaines détonations, notamment pour sonder

le sous-sol à la recherche de gaz ou de pétrole, provoquent des ondes de choc très puissantes. Autre problème : à leur naissance, les larves des poissons coralliens doivent retrouver par elles-mêmes les récifs. Elles utilisent notamment le bruit qui en émane pour se diriger. Mais avec le bruit ambiant, les larves risquent de se perdre.

Notre travail de synthèse, qui se fonde sur cinq cents articles – c'est peu par rapport à la richesse du sujet –, a mis en évidence qu'il reste encore beaucoup de choses à étudier et à comprendre alors que la situation n'attend pas. La situation des cétacés est la plus documentée. Pourtant, quand on regarde les fameux échouages, nous n'avons pas assez de données pour affirmer avec certitude qu'ils sont causalement liés à la pollution sonore, même si les indices sont assez convaincants.

Est-il possible d'agir contre cette pollution sonore ?

La situation que nous décrivons est inquiétante, mais nous avons voulu terminer notre travail de synthèse sur une note positive. Contrairement à la lutte contre le réchauffement climatique, celle contre la pollution sonore pourrait être plus simple : les sources sont ponctuelles et quand on les supprime, l'impact négatif disparaît quasi immédiatement. Il existe déjà des solutions. Par exemple, de nouvelles coques de bateaux nécessitent une puissance de moteur moindre et font donc moins de bruit. Il faut aussi encourager l'utilisation de navires électriques. En mer du Nord, pour les forages ou les installations d'éoliennes, les sites sont entourés de rideaux de bulles d'air, qui amortissent les ondes acoustiques. En réalisant cette synthèse, nous espérons fournir des outils pour que les gouvernements s'emparent de cet enjeu et mettent en place des programmes internationaux pour restaurer la qualité sonore des océans. ■

C. M. Duarte et al., *Science*, vol. 371, article eaba4658, 2021