

CLIMAT : LE RÔLE MODÉRATEUR DES OCÉANS S'AMENUISE

Le Giec vient de dresser un panorama détaillé de l'évolution des océans et de la cryosphère dans le contexte du réchauffement climatique, et de son impact sur les populations.

Hausse du niveau de la mer, réchauffement, acidification, fonte des glaciers... Pour faire le point sur la situation actuelle et les projections d'évolution, dans les décennies à venir, des océans et de la cryosphère (les régions gelées de la planète), une centaine de chercheurs de 36 pays ont analysé quelque 7000 publications scientifiques. Leurs conclusions font l'objet d'un rapport spécial du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

L'un des principaux messages de ce rapport est que l'océan a joué jusqu'à présent un rôle modérateur dans le réchauffement climatique : depuis les années 1970, il a absorbé plus de 90% de l'excès de chaleur produit par l'effet de serre d'origine anthropique. Il pourrait encore capter jusqu'à 5 à 7 fois plus de chaleur d'ici à 2100. Mais cela n'est pas sans conséquence : depuis 1993, la vitesse de réchauffement des océans a plus que doublé. Et, par exemple, la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur océaniques ont augmenté.

Cet accroissement de la température s'accompagne d'une acidification (par l'absorption du dioxyde de carbone atmosphérique, estimée à entre 20 et 30% des émissions anthropiques depuis les années 1980) et d'une diminution de la teneur en oxygène des eaux. L'ensemble de ces effets a un impact fort sur les écosystèmes et constitue une menace pour la biodiversité marine. Les différentes études prévoient une baisse de la biomasse de 15% d'ici à la fin du siècle. Ces phénomènes se répercuteront sur l'industrie de la pêche et les populations qui en vivent – plus de trois milliards de personnes dépendent des ressources alimentaires des océans.

L'autre volet du rapport est l'évolution de la cryosphère. De façon globale, elle est en recul sous l'influence directe de la hausse de la température de l'air. Tous les milieux sont touchés : l'Arctique, l'Antarctique, le Groenland, le pergélisol, les glaciers de montagnes. Avec la fonte des glaces, associée à l'expansion thermique des océans, le niveau de la mer, qui augmentait de 3,6 millimètres par an durant la dernière décennie, continuera de croître, mais



Dans une étude récente, Inès Dussaillant, du laboratoire Legos, à Toulouse, et ses collègues ont montré que la presque totalité des 19000 glaciers andins sont en recul (ici, Upsala, en Argentine).

+ 7 °C

TELLE EST, SI LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE NE SONT PAS MAÎTRISÉES, LA HAUSSE DE TEMPÉRATURE GLOBALE QUE L'ON POURRAIT ATTEINDRE EN 2100 (PAR RAPPORT À L'ÈRE PRÉINDUSTRIELLE). CETTE PRÉVISION EST CELLE DE DEUX NOUVEAUX MODÈLES CLIMATIQUES ÉLABORÉS DANS DES LABORATOIRES FRANÇAIS.

Source : http://bit.ly/PLS505_Clim7

à un rythme plus soutenu. Son amplitude dépendra fortement des politiques qui seront menées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Mais l'estimation moyenne pour la hausse globale serait de 0,84 mètre en 2100. Ces estimations sont plus élevées que celles du précédent rapport du Giec (en 2013), notamment parce que la fonte de l'Antarctique et du Groenland a été affinée et réévaluée à la hausse.

Dans un tel contexte, on peut s'attendre à voir une augmentation de la fréquence d'inondations exceptionnelles. Certaines îles et villes côtières situées à faible élévation seraient alors fortement menacées – sachant que près de 11% de la population mondiale vit à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer.

« Malgré des projections d'impact très inquiétantes si les rejets de gaz à effet de serre ne sont pas réduits drastiquement et rapidement, ce rapport fournit un message positif. Il montre qu'un scénario d'émission compatible avec l'accord de Paris permettrait de stabiliser ou modérer les impacts. L'état de l'océan futur est donc entre nos mains », conclut Jean-Pierre Gattuso, l'un des auteurs du rapport et directeur de recherche du CNRS à Sorbonne-Université et à l'Iddri. ■

SEAN BAILLY

Rapport spécial du Giec :
<https://www.ipcc.ch/srocc/home/>

ASTROPHYSIQUE

LA SPECTROSCOPIE DES TROUS NOIRS EST NÉE

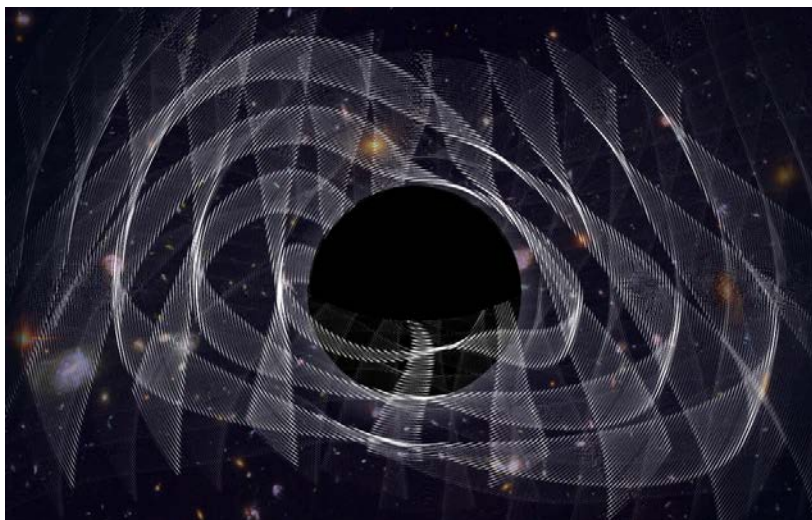
En analysant les ondes gravitationnelles émises par un trou noir en vibration, une équipe d'astrophysiciens a pu déterminer les caractéristiques de l'astre.

Le 14 septembre 2015, l'interféromètre laser géant *Ligo*, aux États-Unis, a enregistré pour la première fois un signal d'ondes gravitationnelles, ces vibrations de l'espace-temps prévues par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. La collaboration internationale *Ligo-Virgo* a montré que ce signal, noté GW150914, provenait de la fusion de deux trous noirs qui ont donné naissance à un nouveau trou noir plus massif. Ce dernier, étant très déformé, s'est mis à vibrer pendant une brève phase de transition de façon à réorganiser sa structure, une phase nommée *ringdown*. Le système émet des ondes gravitationnelles pendant tout le processus de coalescence. Mais il était difficile d'isoler celles correspondant à ces vibrations finales. Avec ses collègues, Maximiliano Isi, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts) et de la collaboration *Ligo*, a proposé une nouvelle méthode pour isoler ces signaux.

À l'image d'une cloche, le trou noir en vibration émet un ensemble d'ondes gravitationnelles qui s'amortissent très vite et qui présentent un spectre spécifique de fréquences, nommées modes quasi normaux (chacun correspondant à un mode de vibration du trou noir). Or l'analyse de ce spectre est intéressante car on peut en déduire les caractéristiques du trou noir : sa masse et son moment cinétique, voire sa charge électrique (*a priori* négligeable pour un objet astrophysique). On parle alors de spectroscopie des trous noirs, à l'instar de la spectroscopie du rayonnement électromagnétique des atomes qui permet de déterminer les propriétés de ceux-ci.

Lors de la détection de GW150914, la collaboration *Ligo-Virgo* avait présenté des indices de la détection du mode quasi normal fondamental, le plus intense. Mais on pensait que les harmoniques (les modes de fréquence supérieure, ou *overtones*) étaient trop faibles pour être détectés. Pire, pour garantir un signal pur correspondant uniquement au *ringdown*, la collaboration *Ligo-Virgo* avait choisi d'analyser seulement les données enregistrées bien après le pic correspondant à la collision (et donc déjà très amorties).

Maximiliano Isi et ses collègues ont repris les données de GW150914 et ont développé une nouvelle technique pour isoler les modes quasi normaux juste après le pic. En identifiant



Lorsque deux trous noirs fusionnent, le nouveau trou noir formé vibre très brièvement et émet des ondes gravitationnelles, que l'on a réussi à isoler de celles émises lors de la collision.

3

C'EST, EXPRIMÉE EN MASSES SOLAIRES, L'ÉNERGIE QUI A ÉTÉ ÉMISE LORS DE LA COALESCENCE GW150914. LES DEUX TROUS NOIRS PRÉCURSEURS AVAIENT UNE MASSE DE 29 ET 36 FOIS CELLE DU SOLEIL, LE TROU NOIR RÉSULTANT NE FAISANT QUE 62 MASSES SOLAIRES.

ainsi le mode fondamental et un *overtone*, ils ont pu reconstruire une partie du signal du *ringdown* pour l'analyser – et calculer les propriétés du trou noir, qui se révèlent en accord avec celles déduites de *Ligo-Virgo* et de la relativité générale.

« Sans pour autant minimiser l'importance des travaux antérieurs, on peut dire que cette étude marque réellement la naissance de la spectroscopie expérimentale des trous noirs. C'est très enthousiasmant, car nous attendons de plus en plus de signaux, et de meilleure qualité, dans un avenir proche », souligne Olivier Minazzoli, du centre scientifique de Monaco et de l'observatoire de la Côte d'Azur, et membre de la collaboration *Virgo*.

Avec *Ligo* et *Virgo*, un nouvel interféromètre, *Kagra*, au Japon, devrait bientôt participer à la chasse aux ondes gravitationnelles. Il sera alors possible d'enregistrer des événements de coalescence avec plus de détails et observer des modes de vibration plus faibles. Et si certains d'entre eux dévient des prédictions de la théorie d'Einstein, on disposera là de précieux indices pour la recherche d'une théorie quantique de la gravitation. ■

S. B.

M. Isi et al., *Phys. Rev. Lett.*, vol. 123, article 111102, 2019

QUANTIQUE: BRUIT DE SUPRÉMATIE

Sur le site de la Nasa, un article, bien que rapidement retiré, n'est pas passé inaperçu. Une équipe de Google et des chercheurs de la Nasa auraient atteint ce que John Preskill a nommé, en 2012, la «suprématie quantique». Il s'agit du stade où un ordinateur quantique est capable de réaliser un calcul (même inutile) qui serait impossible, ou alors extrêmement long, sur un ordinateur classique.

L'équipe aurait réussi cette performance avec un ordinateur quantique à 53 qubits. Le calcul réalisé a été choisi de façon à être difficile dans une architecture classique et optimal sur la machine quantique de Google. L'équipe s'est assurée que son résultat, obtenu en deux minutes, était fiable. Un ordinateur classique aurait eu besoin de près de 10 000 ans. C'est un pas important vers l'ordinateur quantique, mais il reste un long chemin à faire avant que l'on puisse effectuer des calculs utiles. ■

S. B.

Pour en savoir plus : http://bit.ly/PLS505_SupQuant

POLLUTION DANS LE PLACENTA

Tout au long de la grossesse, le placenta joue plusieurs rôles essentiels pour le fœtus, dont celui de filtre biochimique vis-à-vis de l'extérieur. Or dans un contexte où l'on se préoccupe des problèmes de la pollution atmosphérique et de la qualité de l'air, l'équipe de Tim Nawrot, de l'université de Hasselt, en Belgique, vient de montrer que des nanoparticules carbonées issues de la combustion des carburants peuvent traverser ce filtre et se loger sur la face fœtale du placenta, et ce très tôt durant la grossesse.

Les chercheurs ont aussi extrapolé l'exposition de femmes ayant toutes accouché dans la région du Limbourg, dans le nord-est de la Belgique, sur la base de leur adresse et des données de pollution captées près de chez elles. Ils ont ainsi montré une corrélation entre le nombre de particules de carbone dans le placenta et l'exposition environnementale. D'autres études seront nécessaires pour dire si cette contamination du placenta entraîne des conséquences pour le développement du fœtus. ■

NOËLLE GUILLON

H. Bové et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 3866, 2019

257 TRACES DE PIEDS NÉANDERTALIENS EN NORMANDIE



L'une des 257 empreintes de pied néandertalien – qui semble large et robuste – trouvées au Rozel.

Avec des collègues, Jérémy Duveau, du Muséum national d'histoire naturelle, a étudié des centaines d'empreintes de pieds néandertaliens découvertes sur le site du Rozel, dans le Cotentin. Ces chercheurs en ont conclu que ces traces ont été imprimées par un groupe constitué d'une majorité d'enfants et de jeunes.

Le site du Rozel est un système de dunes anciennes, où le sable apporté par le vent a scellé cinq sols anciens dans une boue sableuse. Leur fouille a livré les enregistrements de 257 pieds et 8 mains, ainsi que 6 pattes d'animaux. L'étude géochronologique a montré qu'ils datent d'environ 80 000 ans. Dans chacune des cinq strates, les fouilleurs ont mis au jour des outils de pierre de l'industrie moustérienne typique des Néandertaliens du Paléolithique moyen (350 000 à 45 000 ans avant le présent). Les empreintes du Rozel sont donc néandertaliennes. Or on ne disposait jusqu'ici que de 9 traces néandertaliennes...

Le paléosol noté D3b-4 porte 80% des empreintes découvertes. Les chercheurs l'ont donc choisi pour tenter de reconstituer la composition du groupe qui l'a foulé. En se fondant sur des données anthropométriques, ils ont conclu que l'on peut estimer la taille des Néandertaliens du Rozel en multipliant la longueur du pied par 6,5 (à des incertitudes près). Ils parviennent ainsi à la conclusion qu'entre 10 à 13 individus mesurant de 66 à 189 centimètres ont foulé D3b-4. Or les 20 squelettes néandertaliens à peu près complets connus correspondent à des statures comprises entre 147 et 177 centimètres. Le Rozel suggère donc l'existence de grands Néandertaliens, même si, compte tenu des incertitudes, les chercheurs ne sont sûrs que de la présence d'un enfant de 2 ans et d'un adulte d'au moins 1,75 mètre. Quoi qu'il en soit, tous avaient des pieds très larges (voir la photo ci-dessus).

En appliquant aux Néandertaliens du Rozel la courbe donnant la stature en fonction de l'âge chez *Homo sapiens*, les chercheurs en déduisent que la très grande majorité des individus ayant foulé D3b-4 étaient des jeunes. Cette constatation surprend, car les chasseurs-cueilleurs vivent en petits clans nomades comportant de 10 à 30 personnes au maximum, où une certaine parité adultes-jeunes doit régner: il faut en effet pouvoir entraîner les jeunes avec soi, voire porter les enfants. De fait, la seule comparaison possible – un groupe familial néandertalien fossilisé en une fois il y a quelque 49 000 ans dans la grotte d'El Sidrón, en Espagne – comprenait 3 hommes, 4 femmes, 3 adolescents et 3 enfants, ce qui suggère un ratio jeunes/adultes de 6/7, pratiquement à l'équilibre... ■

F. S.

J. Duveau et al., *PNAS*, vol. 116(39), pp. 19409-19414, 2019