

lesquels ont ensuite vérifié l'origine anatolienne, prédite par l'archéologie, de ces premiers paysans.

Au Néolithique ancien (-5600 à -4600), ces pionniers ont été suivis par deux courants de néolithisation distincts toujours originaires d'Anatolie: le Rubané, qui remonte le couloir danubien, et le Cardial, venant de la côte méditerranéenne balkanique, que l'équipe de Mélanie Pruvost n'a pu distinguer sur le plan génétique. En revanche, elle a constaté la persistance de gènes de chasseurs-cueilleurs en proportion variable d'un groupe rubané à l'autre.

Au Néolithique moyen (-4800 à -3500), les deux courants de néolithisation se rejoignent au centre de la France et de nouvelles cultures néolithiques se forment. Toujours présent, le vieux fond génétique paléolithique s'est homogénéisé dans la population, ce qui montre qu'un brassage génétique s'est accompli avant l'apparition de la culture campaniforme (-2900 à -1900). Or les chercheurs ont trouvé que des membres de cette culture, qui domine au Néolithique final (-3500 à -2100), portaient les gènes d'un groupe issu de la partie européenne de la grande steppe eurasiennne: les Yamnayas.

L'étude des génomes datant des débuts de l'âge du Bronze (-2100 à -860) qui suit, confirme que l'influence de ces populations, venues du nord de la mer Noire et censées avoir introduit en Europe les langues indo-européennes (presque toutes les langues européennes le sont), continue et s'intensifie ensuite dans ce qui est aujourd'hui le territoire français. Les chercheurs constatent notamment que le chromosome sexuel masculin des Yamnayas s'y est largement répandu et y a laissé une empreinte pérenne: la majorité des hommes en France portent encore aujourd'hui cette signature des hommes des steppes.

L'archéologie nous apprend qu'après cet événement, des cultures de plus en plus guerrières se sont succédé jusqu'à l'âge du Fer (-860 à -50). Les chercheurs ont constaté dans leurs données que cela s'est fait sans nouveaux apports de gènes. Le bassin génétique hexagonal d'avant notre ère était constitué, et il perdurera jusqu'à l'arrivée des Romains dans les Gaules. ■

FRANÇOIS SAVATIER

S. Brunel et al., *PNAS*, en ligne le 26 mai 2020

Covid-19 et baisse des émissions de CO₂

Les mesures de confinement pour limiter la crise sanitaire liée au virus SARS-CoV-2 ont entraîné une baisse importante des émissions de dioxyde de carbone, montre une étude dirigée par Corinne Le Quéré. Pour la climatologue, cette crise est l'occasion de penser à une stratégie globale pour lutter contre le réchauffement climatique.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

CORINNE LE QUÉRÉ
climatologue
à l'université d'East
Anglia, à Norwich,
au Royaume-Uni

Quelle a été l'évolution récente des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ?

Durant la décennie passée, les émissions globales de CO₂ étaient à la hausse, d'environ 1 % par an, sauf en 2019 où elles ont été plutôt stables. Ainsi, l'augmentation a été de presque 10 % en dix ans. Les crises économiques et financières ont tendance à provoquer une baisse des émissions, mais celle-ci est vite gommée par la reprise de l'activité. Il est intéressant de voir comment les émissions évoluent pendant une crise sanitaire comme celle du Covid-19 et surtout avec la mise en place d'un confinement quasi mondial.

Comment avez-vous suivi l'évolution du CO₂ dans la crise actuelle ?

Nous avons d'abord rencontré une difficulté qui peut surprendre. Nous n'avons pas les moyens d'établir un suivi en temps réel des émissions de CO₂, malgré le contexte de recherche très actif sur le réchauffement climatique ! Nous avons donc examiné les données qui nous étaient accessibles dans les contraintes de temporalité qui étaient les nôtres. Nous avons utilisé les données sur l'activité de six secteurs parmi les plus gros émetteurs de CO₂ : la production électrique (44,3 % des émissions globales avant la crise), l'industrie, les transports de surface... En examinant par exemple les variations d'activité du trafic aérien, nous avons estimé la baisse de CO₂ associée.

Comment avez-vous utilisé ces données ?

Notre analyse a porté sur 69 pays qui représentent 97 % des émissions globales de CO₂. Nous avons ensuite regardé les politiques de confinement mises en place en établissant un « indice de confinement » noté de 0 à 3. Pour l'échelon 0, aucune restriction n'est mise en place. Pour l'échelon 3, on est sur un

confinement strict : la population doit rester à la maison.

Pour chaque pays et chaque jour, nous avons observé l'indice de confinement et les indicateurs d'activité. Et montré qu'il y avait des motifs systématiques communs à tous les pays. Par exemple, en niveau 3, on voit une baisse de 50 % pour le transport de surface, 75 % pour l'aviation et 15 % pour la production d'énergie. Avec toutes ces données en main, nous avons déterminé les émissions quotidiennes de CO₂, pays par pays.

Quels sont les résultats ?

Par exemple, en France, au maximum du confinement, la baisse des émissions a atteint 34 %, comparé à 2019. À l'échelle globale, comme tous les pays n'ont pas appliqué les mêmes restrictions et que les confinements n'ont pas été mis en place en même temps, on a une baisse maximale moins importante. Le pic global de réduction des émissions a atteint 17 % début avril. Nous avons aussi estimé la baisse sur toute l'année 2020 selon différents scénarios de reprise. La baisse serait comprise entre 4 % et 7 %.

Quelles conclusions tirez-vous de ces travaux ?

La baisse de 17 %, c'est du jamais vu. Pourtant, elle n'aura aucun impact sur le climat. En effet, c'est l'accumulation au fil des décennies du dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui est le moteur du réchauffement climatique, et cette quantité de CO₂ ne sera modifiée que de façon infime par la réduction des émissions de cette année. En revanche, cette baisse montre qu'il est possible d'agir en faveur du climat. Les décisions politiques qui seront prises dans les prochaines semaines et mois seront critiques pour réduire sur le long terme nos émissions de CO₂. Si rien n'est fait, nous reviendrons aux niveaux d'avant la crise. Il faut donc mettre en place un programme global, ambitieux et visionnaire pour modifier structurellement nos activités polluantes. ■

C. Le Quéré et al., *Nature Climate Change*, en ligne le 19 mai 2020

PHYSIQUE DES PARTICULES

UN PAS VERS L'ASYMÉTRIE MATIÈRE-ANTIMATIÈRE ?

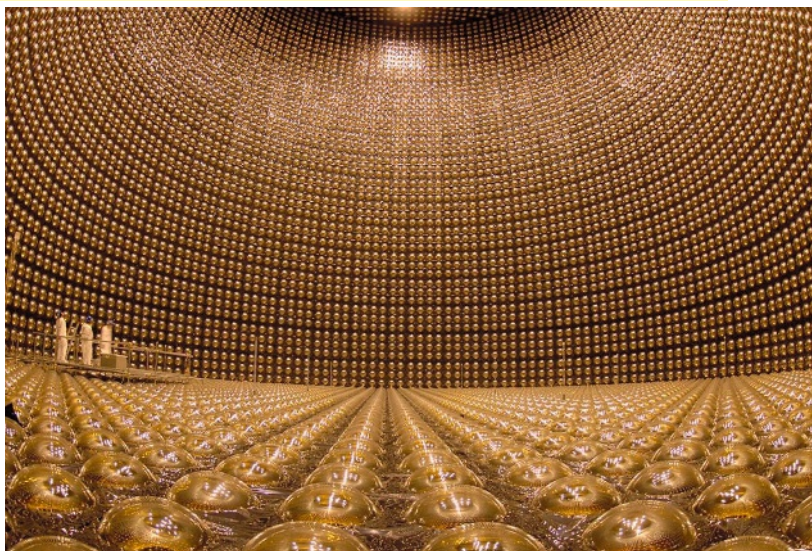
L'expérience T2K, au Japon, suggère que les neutrinos et les antineutrinos se comportent différemment. Une piste pour expliquer l'absence d'antimatière cosmique...

Pourquoi l'Univers contient-il quelque chose plutôt que rien ? Sous ses allures de réflexion philosophique, cette question taraude les cosmologistes depuis des décennies. Le modèle du Big Bang qui décrit la naissance de l'Univers et son évolution ne peut pas expliquer pourquoi le monde est fait de matière et non d'antimatière, voire de rien du tout. Parmi toutes les pistes explorées pour trouver une réponse, la clé se cache peut-être dans les différences entre les neutrinos et leurs *alter ego*, les antineutrinos. Or l'équipe internationale de l'expérience T2K, au Japon, vient d'obtenir un indice très fort que les comportements des neutrinos et des antineutrinos ne sont pas identiques, différence qui jouerait un rôle crucial dans l'asymétrie matière-antimatière.

Un point particulièrement surprenant dans le modèle du Big Bang est que dans les premiers instants de l'Univers, il se serait formé 50% de matière et 50% d'antimatière, dans des proportions exactement égales. Mais alors, où se cache l'antimatière ? Elle a probablement disparu. En effet, lorsqu'une particule et son antiparticule se rencontrent, elles s'annihilent en émettant des photons. Mais dans l'Univers primordial, cette rencontre « explosive » aurait dû conduire à l'annihilation complète de toute la matière et l'antimatière du cosmos. L'Univers aurait été rempli uniquement de photons, les particules de lumière, ce qui aurait été bien peu palpitant.

L'annihilation primordiale a pourtant bien eu lieu. Les cosmologistes ont constaté que la densité moyenne de particules de matière dans l'Univers est inférieure de dix ordres de grandeur à celle des photons. Cette différence est probablement la trace résiduelle de l'annihilation massive dans l'Univers primordial. Mais cela suggère aussi qu'un petit excès de matière a échappé au cataclysme et constitue aujourd'hui le monde qui nous entoure. Reste à expliquer pourquoi il y a eu un surplus de matière...

Pour répondre à cette question, le physicien russe Andreï Sakharov a montré en 1967 que le mécanisme capable de créer une telle asymétrie entre la matière et l'antimatière



Vue de l'intérieur de la cuve du détecteur de neutrinos Super-Kamiokande utilisé par l'expérience T2K.

$1,5 \times 10^{21}$
C'EST LE NOMBRE
DE COLLISIONS
PROTON-ATOME
DE CARBONE
AYANT PRODUIT
LES NEUTRINOS
DANS L'EXPÉRIENCE
T2K. EN TOUT,
68 NEUTRINOS
ÉLECTRONIQUES ET
20 ANTINEUTRINOS
ÉLECTRONIQUES
ONT ÉTÉ DÉTECTÉS.

devait inclure trois ingrédients essentiels. L'un de ces derniers implique que les particules et les antiparticules ne suivent pas tout à fait les mêmes règles et violent ce qu'on nomme la « symétrie CP » (CP pour « charge-parité »). Le modèle standard de la physique des particules intègre des violations de cette symétrie, mais elles sont trop faibles pour expliquer le contenu actuel de l'Univers.

La réponse pourrait venir des neutrinos, des particules étranges dont il existe trois types et qui sont capables d'« osciller » : elles passent spontanément d'un type de neutrino à un autre. L'expérience T2K, au Japon, étudie ce phénomène d'oscillation. Et en le faisant pour les neutrinos d'une part et pour les antineutrinos d'autre part, il est possible d'examiner la possible violation de la symétrie CP dans ce secteur. En analysant leurs résultats, les physiciens de l'expérience ont montré que la violation pourrait effectivement être « maximale » chez les neutrinos. La valeur précise du paramètre de violation devrait être précisée dans les années à venir. ■

S. B.

Collaboration T2K, *Nature*,
vol. 580, pp. 339-344, 2020

EN BREF

DES JARDINIERS EFFICACES

Les fourmis moissonneuses *Messor barbarus* récoltent des graines qu'elles stockent pour se nourrir. L'équipe de Thierry Dutoit, de l'Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale, a montré que cette activité aide la régulation du cycle des nutriments dans les sols. Conséquence : en quelques années, ces insectes améliorent la fertilité et la biomasse de pelouses sèches méditerranéennes à côté des nids. Un allié à considérer pour restaurer des milieux dégradés ?

Biological Conservation, 20 avril 2020

LE SOLEIL, UNE ÉTOILE CALME

Il est possible de retracer l'activité du Soleil (éruptions, présence de taches, brillance, etc.) sur près de 9 000 ans. Timo Reinhold, de l'institut Max-Planck de recherche sur le Système solaire, à Göttingen, et ses collègues ont comparé ces données avec celles de 369 astres aux caractéristiques comparables. L'analyse de leur brillance grâce au télescope spatial Kepler a montré que le Soleil est exceptionnellement peu actif. Une période de « repos » pour notre étoile ?

Science, 1^{er} mai 2020

LA PLUIE ET LES TESTS NUCLÉAIRES

La formation de la pluie serait favorisée par la présence de particules chargées dans les nuages. Giles Harrison, de l'université de Reading, au Royaume-Uni, et ses collègues ont étudié les précipitations sur les îles Shetland dans les années 1950-1960 alors que les États-Unis, l'Union soviétique et d'autres procédaient à des essais nucléaires de surface, sources d'ions émis dans l'atmosphère. Résultat : une hausse de 24 % sur cette période. Les tests auraient dopé les précipitations.

Phys. Rev. Lett., 13 mai 2020

PALÉONTOLOGIE

LE SPINOSAURE POUVAIT NAGER

Le mode de vie aquatique des spinosaurides fait l'objet d'une controverse, mais Nizar Ibrahim, de l'université de Detroit Mercy, aux États-Unis, va peut-être mettre un terme à celle-ci. Découverts sur tous les continents, toujours en milieu fluviatile, ces dinosaures de la famille des théropodes ont vécu du Jurassique supérieur jusqu'au milieu du Crétacé, il y a 100 millions d'années environ. Leurs pattes, petites en proportion de leur corps très long, et leur mâchoire, rappelant celle du gavial, crocodile piscivore du Gange, suggèrent qu'ils chassaient dans l'eau. Avec des collègues, Romain Amiot, de l'université de Lyon, l'a confirmé en 2010 en prouvant par les rapports isotopiques que le régime alimentaire de *Spinosaurus aegyptiacus* s'approchait de ceux des tortues aquatiques et des crocodiliens de même époque. Des arguments forts que Donald Henderson, du musée royal Tyrrell de paléontologie en Alberta, au Canada, refuse pourtant, après avoir modélisé la nage de *S. aegyptiacus* : la position des poumons de ce spinosaure l'empêchait de plonger, avance-t-il, et lorsqu'il nageait, il devait battre des pattes arrière pour ne pas basculer sur le côté...

Toutefois, l'équipe de Nizar Ibrahim vient de découvrir au Maroc une queue presque



Cette restitution d'un spinosaure le montre en train de nager dans le type de milieu d'où provient son fossile marocain.

complète de *S. aegyptiacus*. Les chercheurs en ont tiré une réplique robotique, avant de se livrer à des essais en bassin. Lesquels ont montré que l'ondulation horizontale de cette longue lame produisait huit fois plus de poussée que celle de la queue des autres théropodes et presque autant que celle d'un crocodilien. Comment une telle queue aurait-elle pu évoluer si *S. aegyptiacus* et ses ancêtres n'étaient pas de bons nageurs ? ■

F. S.

N. Ibrahim et al., *Nature*, vol. 581, pp. 67-70, 2020

ENVIRONNEMENT

DES SOUS-BOIS BANALS

De l'Irlande à la Pologne, du sud de la Norvège à la Slovaquie, les forêts tempérées d'Europe se ressemblent de plus en plus. Face aux perturbations anthropiques, les herbacées typiques des différentes régions disparaissent progressivement, remplacées par des espèces plus cosmopolites. La grande ortie, par exemple, prospère dans de nombreux sous-bois. Grâce aux suivis de 68 milieux forestiers, sur des périodes allant de 15 à 78 ans, un consortium de chercheurs européens, dont Jonathan Lenoir, du CNRS, s'est intéressé aux mécanismes à l'origine de cette banalisation de la flore des sous-bois. Leur étude statistique révèle l'impact majeur de la pollution atmosphérique.

Certaines espèces généralistes, qui ont une croissance rapide et produisent de petites graines qui se dispersent facilement,



Sous-bois dans une forêt irlandaise avec des jacinthes des bois. On trouve cette plante aussi au Royaume-Uni, en France, en Belgique et dans la péninsule ibérique.

prolifèrent davantage grâce aux pollutions à l'azote. Ce phénomène se fait au détriment d'espèces plus spécialisées, moins adaptables à des changements de conditions environnementales, et à la croissance lente. ■

CORALINE MADEC

I. R. Staude et al., *Nature Ecology & Evolution*, vol. 4, pp. 802-808, 2020