

n'est complètement intégrée à la physique qu'en 1925, avec l'avènement de la mécanique quantique et la statistique de Bose-Einstein.

LE CHEMINEMENT D'UNE THÉORIE

Dans l'expression de sa loi du rayonnement, Planck introduit deux constantes, la constante de Boltzmann k et la constante de Planck h . Leur utilisation dans ce contexte sera aussi lourde de conséquences que l'hypothèse des quanta. Bien que ces constantes aient déjà été découvertes respectivement par Boltzmann et par Wilhelm Wien, en 1893, pour tenter de résoudre le problème du corps noir, elles acquièrent une signification nouvelle et plus profonde avec les travaux de Planck. Celui-ci montre que k est le rapport entre la constante des gaz R et le nombre d'Avogadro N (le nombre de molécules contenues dans une mole). La constante R était déjà connue à l'époque, ainsi que k , donnée par les mesures expérimentales du spectre électromagnétique du corps noir, Planck calcule la valeur du nombre d'Avogadro N et du «quantum élémentaire de matière», la masse de l'atome d'hydrogène.

Avec N et la constante F de la loi de Faraday pour les électrolytes ($F = Ne$, où e est la charge de l'électron), Planck en déduit la valeur du «quantum élémentaire d'électricité», c'est-à-dire de e . Dès 1900, il considère que le calcul de ces quantités est «une conséquence importante de la théorie développée, qui rend possible une vérification expérimentale ultérieure». Il ajoute que ces «relations additionnelles» seront utiles aux autres domaines de la physique et à la chimie, car les grandeurs qu'elle met en jeu peuvent difficilement être déterminées par des méthodes directes.

LA VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE

Planck attribue une importance particulière à la détermination des valeurs précises des constantes h et k , car elles établissent un lien quantitatif entre la théorie électromagnétique et la théorie atomique. Ernest Rutherford et Hans Wilhelm Geiger apportent la première vérification expérimentale de la valeur du quantum d'électricité prévue par Planck. De leurs expériences sur les particules alpha, en 1908, ils déduisent une mesure de leur charge électrique ($2e$), en accord avec la valeur trouvée par Planck pour e . Puis, en 1914, James Franck et Gustav Hertz déduisent h du rapport h/e (comme le feront tous leurs successeurs, à moins qu'ils n'utilisent le rapport h/e^2). Les

physiciens excitent un atome en le bombardant d'électrons d'énergie eV , où V est le potentiel électrique qui accélère les électrons. Lorsque l'atome passe de l'état fondamental au premier état excité, il émet un rayonnement de fréquence ν . D'après le modèle de Bohr, l'énergie de ce rayonnement $h\nu$, est égale à l'énergie du faisceau d'électrons incidents eV , de sorte qu'il suffit de mesurer ν pour pouvoir calculer h/e . On peut appliquer le même raisonnement au passage d'un atome à un état excité d'énergie supérieure ou à un état ionisé.

En 1916, Robert Millikan utilise un autre moyen pour déterminer h . Il vérifie expérimentalement la théorie de l'effet photoélectrique d'Einstein, en mesurant l'énergie cinétique du photo-électron émis en fonction de plusieurs fréquences ν . Comme Einstein l'avait prévu, la relation entre ces deux grandeurs est linéaire, et la pente de la droite donne la valeur de h/e . Célèbre pour ses mesures de la charge de l'électron, en 1909, Millikan doutait de la validité de l'hypothèse des quanta de lumière, comme l'immense majorité des physiciens de l'époque. Une description corpusculaire des ondes électromagnétiques était si novatrice que, même après sa confirmation expérimentale par Millikan, l'idée des quanta de lumière mit plusieurs années à être acceptée.

Depuis, la précision des mesures a progressivement augmenté. Dans les années 1950, on utilisait encore des expériences liées à la dynamique des électrons et des photons, où, pour déduire les valeurs de h/e des quantités mesurées, on utilisait des expressions fondées sur la théorie de l'électrodynamique quantique. La situation change avec la découverte de l'effet Josephson, en 1962 et de l'effet Hall quantique en 1980, dans le cadre de recherches en physique des matériaux à basse température. Les mesures de h que l'on en a déduit alors sont les plus précises à ce jour.

Giulio PERUZZI est professeur d'histoire des sciences à l'Université de Padoue.

Martin KLEIN, *Planck, Entropy and Quanta, 1901-1906*, in *The Natural Philosopher*, n° 1, pp. 83-108, 1963.

Hans KANGRO, *Early History of Planck's Radiation Law*, Taylor & Francis Ltd, Londres, 1976.

Thomas S. KUHN, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

Brian W. PETLEY, *The Fundamental Physical Constants and the Frontier of Measurement*, Adam Hilger Ltd, Bristol et Boston, 1985.

Un loir dort depuis 50 millions d'années

Un fossile confirme que le loir était déjà apparu en Europe, à l'Éocène.

Le premier site allemand auquel l'UNESCO a conféré le statut de patrimoine de l'humanité est une vieille carrière abandonnée. Exploitée pour ses schistes bitumineux jusqu'en 1962, la mine de Messel se situe à neuf kilomètres au Nord de Darmstadt. Si le profane perçoit mal l'intérêt de ce trou de 800 mètres sur 500, le paléontologue sait que l'endroit regorge de fossiles dans un état de conservation exceptionnel ; les premiers fossiles ont été découverts en 1875. Un fossile de loir, notamment, est d'un grand intérêt scientifique. Tandis que les restes de cette espèce se limitent d'ordinaire à quelques os ou à une poignée de dents, celui de *Eoglimiravus wildi* comporte non seulement un squelette complet, mais aussi des restes du pelage et même son contenu stomacal, témoin de son dernier repas ! Plaqué sur le schiste, l'animal semble un jeune mort de... 49 millions d'années !

Il a vécu au début de l'époque où sont apparus tous les groupes de mammifères, des rongeurs aux primates. Durant cette période, il y a quelque 55 millions d'années (les dinosaures ont disparu il y a 65 millions d'années), les mammifères se sont multipliés de façon quasi explosive. L'Europe était alors un archipel. Le climat de la région où se situe la carrière était probablement subtropical. La mine de Messel était un profond lac d'eau douce entouré d'une forêt dense de palmiers, de lauriers et autres thériers. Le lac se remplissait petit à petit de matière végétale en décomposition, dont les restes ont donné le substrat bitumineux qui entoure aujourd'hui les fossiles. La matière organique en décomposition consommait tout l'oxygène de l'eau et libérait des gaz toxiques, tel du dioxyde de carbone et du dioxyde de soufre, de sorte qu'une « zone de mort » existait au fond du lac de Messel. Aucun organisme nécrophage n'y survivait. Les cadavres des animaux du lac et de ceux des rives qui s'y étaient noyés, ou qui y furent charriés par les ruisseaux, ont subi une fossilisation minutieuse qui les a conservés.

Le petit rongeur récemment découvert le fut particulièrement bien. Sa silhouette rappelle celle du loir moderne. Il mesure 12 centimètres (avec la queue) et devait peser 15 grammes environ (d'après la taille de ses dents). Les paléontologues ont identifié l'espèce du rongeur d'après les caractéristiques de sa dentition. Jusqu'à présent, *Eoglimiravus wildi* n'était connu que grâce à quelques dents qui provenaient de gisements français plus anciens. Il passe



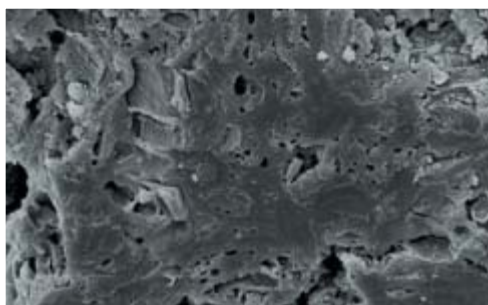
Un muscardin, cousin du loir de l'Éocène.

pour être le plus ancien représentant de la famille des gliridés, laquelle comporte non seulement le loir gris, mais aussi le lérot et le muscardin.

Les gliridés sont l'une des rares familles de mammifères originaires du vieux continent. Ils étaient plus diversifiés dans le passé : aujourd'hui, seules neuf espèces appartenant à cette famille de rongeurs vivent, en Europe, mais aussi en Afrique et en Asie. Elles sont difficiles à observer, notamment parce qu'elles hibernent.

Les gliridés appartiennent à la seule famille de rongeurs à s'être maintenue plus de 50 millions d'années. Toutes les caractéristiques de l'ancêtre du loir indiquent un mode de déplacement proche de celui de ses descendants. Sa queue touffue servait de parachute ou de balancier ; le tibia et le péroné étaient longs, ce qui facilitait les sauts de branche en branche ; ils n'étaient pas fusionnés, ce qui favorisait la mobilité de l'articulation du pied, si importante pour les petits rongeurs arboricoles ; les doigts longs offraient une large surface de contact avec le sol ou avec les branches. Ses pattes, munies de doigts serrés, recourbés et prolongés de griffes, étaient adaptés pour l'escalade sur l'écorce des arbres. Frappante, la ressemblance morphologique entre *Eoglimiravus wildi* et les gliridés actuels est confirmée par l'analyse de son dernier repas. Les restes végétaux identifiés au microscope électronique dans le contenu de son estomac montrent qu'il se nourrissait de graines, de fruits et de bourgeons. Tout indique que l'apparence du loir n'a guère changé depuis 50 millions d'années : c'était déjà un petit rongeur qui se déplaçait avec agilité dans le feuillage des arbres.

Gilles ESCARGUEL, CNRS
Christina SEIFFERT, Gerhard STORCH,
Institut Senckenberg, Francfort



Fossile du loir de 49 millions d'années découvert en Allemagne (il mesure 12 centimètres de la tête à l'extrémité de la queue). En haut, son contenu stomacal fossilisé qui a permis aux paléontologues de reconstituer son dernier repas.

La fièvre de la vallée du Rift

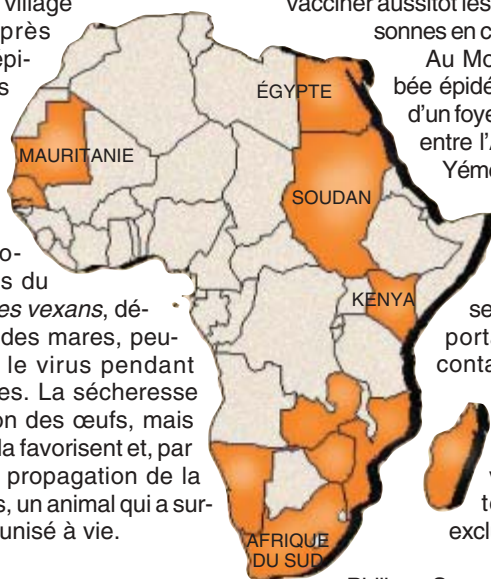
La modélisation, associée à la télésurveillance, améliore la détection des foyers à risques.

Une maladie émergente vient de toucher le Moyen-Orient et a fait plus de 200 victimes en Arabie saoudite et au Yémen depuis quelques mois. Le responsable, l'agent de la «fièvre de la vallée du Rift», ne sévissait, jusqu'à présent, qu'en Afrique, où il continue ses ravages. Comme on ne peut vacciner tous les habitants des zones à risques, ni, *a fortiori*, ceux des régions qui étaient jusqu'alors épargnées, on essaie de prévoir les prochaines zones touchées en modélisant les épidémies. Ainsi, les autorités sanitaires pourraient prendre à temps les mesures de protection des populations menacées.

L'agent pathogène, un arbovirus (un virus transmis par plusieurs espèces de moustiques) atteint d'abord les ruminants : il tue la quasi-totalité des embryons en cours de gestation et les jeunes. Les hommes sont contaminés à leur tour, soit par contact avec le sang d'un animal malade sur une plaie, soit par inhalation d'aérosol contenant le virus, ou encore par piqûre de moustique. La maladie se manifeste par des symptômes fiévreux, parfois suivis d'hémorragies mortelles.

En Afrique, l'émergence et la propagation des épidémies semblent aléatoires. La transhumance et le commerce du bétail facilitent l'apparition de nouveaux foyers ; parfois, la fièvre réapparaît dans un même village des années après une première épidémie, tandis qu'elle semble définitivement éradiquée dans d'autres zones. Selon les épidémiologistes, les œufs du moustique *Aedes vexans*, déposés au bord des mares, peuvent héberger le virus pendant plusieurs années. La sécheresse bloque l'éclosion des œufs, mais de fortes pluies la favorisent et, par conséquent, la propagation de la maladie. De plus, un animal qui a survécu reste immunisé à vie.

Principales zones africaines d'endémie.



Nous avons considéré que les œufs des moustiques *Aedes vexans* sont les uniques réservoirs du virus, et que l'immunité acquise par un troupeau décroît à mesure que les bêtes meurent. Nous avons ensuite élaboré un modèle qui prévoit l'évolution d'un foyer épidémique en fonction de l'alternance des périodes pluvieuses et sèches. Nos résultats semblent concorder avec les cycles épidémiques observés dans les villages de la région de Saint-Louis, au Sénégal, au cours des 20 dernières années.

Nous nous sommes également intéressés à la propagation des épidémies en considérant que chaque village est couplé aux autres par des liens qui représentent la transhumance et le commerce du bétail. Plus les échanges entre deux villages sont denses, plus le risque de propagation du virus est important. Nous attribuons à chaque connexion entre villages un coefficient proportionnel au risque de propagation. Aujourd'hui, nous évaluons ces interactions entre villages, au Sénégal.

Une fois ce modèle au point, il sera couplé à une télésurveillance par satellite, destinée à suivre l'évolution de la maladie, dans le cadre du projet Emercase. Comme les systèmes de télésurveillance des satellites visualisent le niveau des mares, on pourrait prévoir l'émergence d'une épidémie plus ou moins grave selon la date du dernier épisode de la fièvre. Si la précédente épidémie est récente, les bêtes sont encore immunisées et le nouvel épisode de fièvre ne sera pas grave. Inversement, si le bétail n'est plus immunisé, l'épidémie fera des ravages. Puis l'épidémie touche les villages limitrophes, et ceux avec lesquels les échanges sont fréquents. Le modèle évaluera les villages à risques et on pourra lancer des «alertes précoces» afin d'y vacciner aussitôt les troupeaux et les personnes en contact avec les bêtes.

Au Moyen-Orient, la flambée épidémique semble issue d'un foyer unique à la frontière entre l'Arabie saoudite et le Yémen. Elle résulterait non pas de fortes pluies, puisqu'il n'y avait pas de moustiques infectés jusqu'à présent, mais plutôt de l'importation de bétail contaminé. Cette émergence de la fièvre au Moyen-Orient indique que la propagation du virus au bassin méditerranéen n'est pas exclue.

Marc DUBOIS (CEA)
Philippe SABATIER (INRA, ENV-Lyon)

BRÈVES

Un hominidé de six millions d'années

Des ossements d'hominidés vieux de six millions d'années ont été mis au jour dans le Nord-Ouest du Kenya. Jusqu'à cette découverte, les fossiles humains les plus anciens dataient de 4,5 millions d'années et avaient été découverts en Éthiopie. Les paléontologues français et kenyans ont trouvé des morceaux de mâchoire, des dents, des os de bras et de jambe, ainsi qu'un doigt, dispersés sur trois sites. Ces restes appartenaient à au moins cinq individus, dont un jeune âgé de six ans. Ces hominidés grimpaient aux arbres avec agilité, mais se déplaçaient déjà en position debout lorsqu'ils étaient au sol. L'un des fémurs porte des traces de morsures : l'hominidé a dû être tué et dévoré par un grand carnassier.

L'Univers se rafraîchit

Lorsque l'Univers n'avait que trois milliards d'années, sa température était comprise entre 6 et 14 kelvins (-267 et -259 °C), d'après les astrophysiciens du Centre de Pune en Inde. Ils ont déduit ce résultat de leur observation de la lumière, absorbée par un nuage de gaz très éloigné de la Terre, venant d'un quasar. Cette absorption dépend de la température du nuage, qui reflète la température à laquelle se trouvait l'Univers quand la lumière en est partie (il y a 12 milliards d'années). Aujourd'hui, l'Univers a 15 milliards d'années et sa température est de 2,73 kelvins. Ces résultats confortent la théorie du Big Bang, selon laquelle l'Univers s'est refroidi depuis sa formation.

La taille critique du drapeau

Les mouvements d'un drapeau dans le vent et ceux d'un poisson dans le courant se ressemblent, mais on les comprend mal. Pour les étudier, des physiciens de l'Université de New York ont accroché un filament souple dans un flux laminaire (sans turbulence) de savon liquide. Ils ont observé que des filaments courts (dont la longueur est inférieure à une valeur critique) restent droits dans le courant. Quand la longueur dépasse la valeur critique, le filament se met à ondoyer comme un drapeau. Ce résultat contredit l'opinion selon laquelle les drapeaux sont toujours instables. Gageons que les poissons sont tous au-dessus de leur taille critique!

