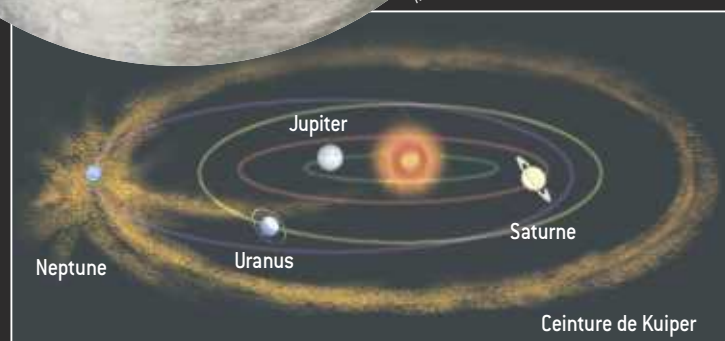


migration jusqu'à leurs orbites actuelles. Le scénario est aussi cohérent avec l'existence des satellites troyens, deux groupes d'astéroïdes qui précèdent Jupiter de 60 degrés sur son orbite. Ces corps auraient dû s'échapper lorsque Jupiter et Saturne sont entrées en résonance, mais les astronomes se sont aperçus qu'ils ont pu être en partie remplacés par la capture de planétésimaux lors de la désagrégation. La masse de corps capturés prédite correspond à celle, observée, des Troyens. De surcroît, ces astéroïdes fournissent un test : leur composition de surface doit coïncider avec celle des objets glacés de la ceinture de Kuiper. Cette dernière, reliquat du disque de débris, conserve par ailleurs une preuve de la migration dans sa structure même.

Ce scénario soulève de nombreuses interrogations, notamment au sujet du mécanisme qui vide l'espace entre les planètes des débris lors de la formation des planètes. Sans cela, en effet, la migration se déclenche bien trop tôt. Néanmoins, ce modèle global a pour atout d'être le seul à avoir fait l'objet de simulations d'envergure. Ph. R.-G.

Nature, vol. 435, pp. 459-465, 26 mai 2005

Durant l'époque de la migration planétaire, Saturne aurait repoussé Neptune loin dans la ceinture de Kuiper. Cette intrusion aurait dispersé l'essentiel de cette population, en particulier vers le Système solaire interne, provoquant le grand bombardement qui a défigurée la Lune.



Une expérience réalisée par des physiciens japonais laisse entrevoir des horloges atomiques d'une précision jamais égalée.

Mettant à profit un rayonnement optique émis par des atomes de strontium piégés dans un réseau de faisceaux laser, l'équipe de Hidetoshi Katori, à l'Université de Tokyo, a mis au point un dispositif permettant d'atteindre, sur le papier, une mesure de la seconde avec 18 chiffres après la virgule – soit une horloge retardant d'une seconde en 15 milliards d'années !

La surenchère en fréquence pose quelques difficultés. Par exemple, plus la différence d'énergie entre deux niveaux atomiques augmente, et avec elle la fréquence de la radiation associée, plus le temps de vie de l'état excité est bref. Une propriété qui rend difficile la mesure de la fréquence d'une radiation d'énergie élevée (cas du domaine optique). Pour contourner la difficulté, on doit choisir une transition atomique

particulière, telle qu'en présentent le mercure, le calcium ou le strontium

utilisé par les Japonais. La finesse d'une mesure dépend aussi du temps durant lequel on peut ausculter l'atome : plus ce temps est court, plus les mesures de fréquences sont entachées d'erreurs. Pour y remédier, on peut piéger les atomes dans un piège optique. Mais dans ce cas, l'interaction d'un atome avec un champ électromagnétique déplace ses niveaux d'énergie, donc la fréquence des rayonnements qu'il émet.

Deux protocoles expérimentaux ont déjà été mis au point pour tirer parti de transitions optiques. Dans le premier, on travaille avec de nombreux atomes, d'où une bonne statistique, mais les collisions entre atomes décalent les fréquences. Pour supprimer ce biais, l'autre

méthode consiste à n'utiliser qu'un seul atome. Mais on est alors confronté à un signal très faible. L'équipe de Hidetoshi Katori a combiné les avantages des deux méthodes. Elle a utilisé plusieurs atomes de strontium, chacun piégé dans un puits de potentiel différent d'un intense piège lumineux. De plus, en ajustant la fréquence des lasers pièges, les physiciens se sont affranchis du problème des décalages en fréquence liés à l'interaction du piège optique avec les atomes. En effet, pour certaines valeurs de la fréquence du piège, les énergies de deux niveaux atomiques utilisés pour l'expérience sont décalées de la même valeur. Comme c'est la différence d'énergie entre les deux niveaux qui détermine la fréquence du rayonnement étudié, le problème disparaît.

Pour Gilles Nogues, au laboratoire Kastler-Brossel, à l'École normale supérieure, l'expérience japonaise est très élégante et intéressante pour le développement des horloges du futur. Néanmoins, les 18 chiffres après la virgule promis en théorie ne sont aujourd'hui que 14 dans l'expérience japonaise. Et, comme le rappelle Sébastien Bize, du Bureau national de métrologie, les meilleures horloges au césium actuelles donnent la seconde avec 15 décimales. Reste, de l'avis de tous, un résultat prometteur.

M. G.

Nature, vol. 435, pp. 321-324, 19 mai 2005

Dans 0,00000000000000001 seconde, il sera midi

Toutes les horloges fonctionnent sur le même principe : un oscillateur et un compteur rendant compte de la succession des oscillations. Plus l'oscillateur est rapide, et à condition de disposer d'un compteur capable de suivre le mouvement de celui-là, plus la précision d'une horloge est grande. Ainsi, le cristal d'une montre à quartz vibre 10 000 fois par seconde. Et dans une horloge atomique au césium, la fréquence de la radiation entre deux niveaux atomiques, qui sert de référence universelle pour la mesure du temps, est de 9 192 631 770 hertz. Pour aller plus loin, on étudie la possibilité de travailler avec des rayonnements optiques, dont la fréquence est de l'ordre de 10^{15} hertz.

Lémuriens : un ancêtre commun

Les quelque 50 espèces de lémuriens de Madagascar descendent-elles toutes d'un ancêtre commun qui a colonisé la grande île au début de l'ère tertiaire ? Bien que cette hypothèse soit largement admise, elle négligeait l'existence de plus d'une quinzaine d'espèces de lémuriens (certains de très grande taille) qui avaient vécu sur l'île au cours des deux derniers millénaires et s'y étaient éteintes. Une équipe internationale dirigée par Anne Yoder, de l'Université Yale, vient d'analyser des échantillons d'ADN ancien prélevés sur des restes de lémuriens éteints appartenant à cinq genres. L'étude a permis de préciser les relations de parenté entre les lémuriens éteints et les lémuriens actuels. Surtout, elle apporte un nouvel élément en faveur de l'hypothèse que les primates non humains ont colonisé Madagascar une seule fois.

M. M.

PNAS, vol. 102, n°14, pp. 5090-5095, 2005

D'après une étude de Vincent Macauley, à l'Université de Glasgow, et une autre de Lalji Singh, du Centre de biologie cellulaire et moléculaire à Hyderabad en Inde, les premiers hommes modernes qui ont quitté l'Afrique ont longé la mer d'Oman puis l'Océan Indien, et ont ainsi colonisé l'Eurasie et l'Asie.

Les scientifiques ont étudié, d'une part, l'ADN mitochondrial d'un peuple indigène de Malaisie, les Orang Asli, et, d'autre part, l'ADN mitochondrial des peuples des îles Andaman et Nicobar, dans l'Océan Indien. Si les habitants de Nicobar sont apparentés à des populations plus tardives de l'Asie du Sud-Est, il apparaît que le peuplement d'Andaman et de la Malaisie est ancien. Il serait lié à une unique sortie d'Afrique survenue il y a 65 000 ans.

D'après V. Macauley, les premiers « pionniers » de notre espèce ne se seraient pas rendus en Asie par le désert du Sinaï, mais en franchissant la mer Rouge. Jugé plus praticable par les paléontologues, un tel chemin migratoire expliquerait le peuplement précoce de l'Australie, survenu bien avant qu'*Homo sapiens* n'atteigne l'Europe.

M. G.

Science, vol. 308, pp 1034-1036 et 996, 13 mai 2005

LE PALIMPSESTE D'ARCHIMÈDE SOUS X

L'accélérateur de Stanford a révélé les imperceptibles résidus d'encre des passages illisibles du palimpseste d'Archimède.



Cette page a été recouverte au XX^e siècle par une fausse image religieuse à la peinture d'or. Les rayons X du synchrotron la traversent et activent le fer contenu dans l'encre sous-jacente, révélant le texte caché.

Grâce au rayonnement du synchrotron de l'Université de Stanford, en Californie, même les passages illisibles d'une copie inédite des œuvres d'Archimède vont nous être rendus. Outre divers traités déjà connus, tels *Des corps flottants* ou *Sur l'équilibre des plans*, cette copie contient notre unique source sur *La méthode des théorèmes mécaniques*. Ce témoignage unique de l'œuvre du « grand penseur » (*Arkhimêdês*) nous est parvenu par le plus grands des hasards. Au XII^e siècle, à Constantinople, un scribe réutilisa le parchemin d'une copie des œuvres d'Archimède réalisée au X^e siècle pour fabriquer un livre religieux. En d'autres termes, il créa un palimpseste, c'est-à-dire un parchemin dont le texte pri-

mitif a été gratté et recouvert par un nouveau manuscrit. Ce palimpseste d'Archimède resta plus de sept siècles dans les bibliothèques de l'église orthodoxe, où le philologue danois Johan Heiberg le découvrit en 1907. Après avoir demandé en vain aux autorités ottomanes de le sortir du pays, Heiberg se résigna à le copier à l'aide d'une simple loupe... La communauté scientifique découvrit alors la majeure partie du traité inédit d'Archimède. Le palimpseste d'Archimède disparut ensuite ou fut volé, et un faussaire, inconscient de l'incalculable valeur de son texte sous-jacent, le surchargea de fausses images religieuses pour mieux le vendre. On le croyait perdu, quand en 1998, les descendants d'un Français qui l'avait acheté à un bouquiniste d'Istanbul vers 1930, le proposèrent au commissaire-priseur Christie's, qui le reconnut.

Aujourd'hui propriété d'un anonyme milliardaire, le palimpseste d'Archimède a été prêté au musée d'art Walters de Baltimore. Une équipe de restaurateurs et de philologues travaille depuis six ans à le restaurer. Pour cela, ces spécialistes accroissent la lisibilité du texte sous-jacent en rendant lumineuse, à l'aide de lumière ultraviolette, la peau de chèvre qui constitue le parchemin. Malheureusement, les passages recouverts par les images ajoutées par le faussaire restaient illisibles. Du moins, jusqu'à ce qu'Uwe Bergman, un physicien de l'accélérateur linéaire de Stanford (SLAC) s'aperçoive qu'ils pouvaient être révélés par le fer contenu dans certaines protéines constitutives de l'encre utilisée au X^e siècle. À une énergie bien choisie, le rayonnement synchrotron rend fluorescent le fer de l'encre résiduelle. Cette fluorescence activée, un détecteur capte les rayons X réémis et un traitement d'image permet de créer une « carte du fer » sur laquelle l'ancienne écriture réapparaît. La résolution obtenue est excellente, de sorte que les zones illisibles sont révélées. Pour le moment, ce sont des passages de *Des corps flottants* et de *Sur l'équilibre des plans* qui ont été retrouvés.

F. S.