

La baignoire d'Archimède

On déchiffre un manuscrit du X^e siècle qui contient le traité sur les corps flottants d'Archimède.

Archimède découvrit les lois de l'hydrostatique alors qu'il était dans sa baignoire, dit-on, et il sortit nu dans la rue en criant *Eureka* : étudiant la falsification probable de la couronne de Hiéron d'Alexandrie, il avait découvert que la force de poussée qui s'exerce sur un corps immergé est égale au poids de la masse d'eau déplacée.

L'histoire est-elle vraie ? Les preuves manquent, tout comme manquaient les textes décrivant correctement l'œuvre scientifique du grand inventeur grec. Un palimpseste vendu aux enchères en 1998 contient toutefois le texte du traité sur les corps flottants, recouvert par des prières.

Ce «palimpseste d'Archimède» est un parchemin qui est aujourd'hui

conservé à la Galerie Walters, à Baltimore, et qui sera étudié par une équipe d'historiens des sciences dans les cinq prochaines années. On ignore aujourd'hui où le texte d'Archimède fut initialement écrit (en grec), mais William Noël, conservateur de la galerie Walters, suppose qu'il fut produit à Constantinople, dans un monastère ou dans un palais impérial.

Entre l'an 950 et le XV^e siècle, on ne sait où le manuscrit fut conservé, mais, au XII^e siècle, il fut coupé en deux, les feuilles furent tournées d'un quart de tour, et un moine de Constantinople gratta le vieux parchemin et copia des prières au-dessus du texte de physique. Ces textes religieux assurèrent la préservation du palimpseste. À partir du XV^e siècle, on en retrouve la trace dans le catalogue du monastère de Mar Saba, à quelques kilomètres à l'Est de Bethléem. Il reste là jusqu'au XIX^e siècle, puis il revient à Constantinople en 1907, où il est alors étudié par le Danois Ludvig Heiberg, qui transcrit ce qu'il peut à l'aide d'une loupe et de lumière naturelle. Puis la trace du palimpseste est de nouveau perdue jusqu'en 1920, où il entre dans une collection privée, à Paris. Enfin, il est vendu aux enchères en 1998.

Les prières du XII^e siècle recouvrent le texte original d'une rarissime version de plusieurs traités : le document porte la *Méthode des théorèmes mécaniques* (une procédure mécanique qui anticipait les travaux de Newton) et six autres traités, dont le *Traité des corps flottants*, le seul original connu en grec.

Par chance, celui qui copia les textes d'Archimède avait appuyé suffisamment fort sur le parchemin : les traces, à 90 degrés du texte des prières, sont visibles sous des éclairages spéciaux. Les programmes d'analyse d'images qui seront appliqués au palimpseste devraient redonner le texte d'Archimède, tel qu'il a été posé un peu avant l'an mil.

Immortel Archimède...

BRÈVES

Millénaire retardé

La sonde *Cassini-Huygens* a récemment tourné autour de la Terre, et profité de la force de gravitation pour acquérir suffisamment d'énergie et s'élancer vers Jupiter, puis vers Saturne, qu'elle atteindra en 2004. L'énergie cinétique récupérée par la sonde a été prise à la Terre qui a donc ralenti. John Zarnecki, de l'Université du Kent, a calculé cette déperdition : nous entrerons dans le nouveau millénaire avec un retard d'environ un millième de milliardième de seconde. L'année 2000 sera un peu plus courte que l'année 1999.



Une clé cassée

Plus de 90 pour cent des transactions effectuées sur le réseau *Internet* utilisent un codage dont la clé est un nombre de 155 chiffres (ou 512 bits) obtenu par le produit de deux nombres premiers. La société qui commercialise ce système de sécurité a promis une récompense à qui réussirait à déterminer les deux facteurs. Armée de 292 ordinateurs personnels et d'un super ordinateur *Cray-C916*, une équipe internationale a cassé le code le 22 août dernier, c'est-à-dire qu'elle a identifié les deux nombres de 78 chiffres. Aussitôt, la société a recommandé d'utiliser des codes à 768 ou 1 024 bits.

Voir les atomes

Quelle est la forme des atomes ? Tout dépend de leurs électrons. Ces derniers se répartissent dans l'espace selon des orbitales, leurs zones d'occupation les plus probables, qui ne sont pas toutes sphériques. Certaines ont une forme de huit, d'autres de trèfle à quatre feuilles... À l'Université de l'Arizona, J.M. Zuo a focalisé un faisceau d'électrons sur une zone sans défaut d'un cristal pour observer ces orbitales : les images sont exactement comme on le prévoyait en résolvant l'équation de Schrödinger. Le cristal choisi par J.M. Zuo et ses collègues est l'oxyde cuivreux, important parce qu'il semble être la clé de la remarquable supraconduction à haute température, découverte il y a dix ans.



Le palimpseste d'Archimède (en haut) est aujourd'hui livré aux experts. À l'aide d'éclairages spéciaux et de logiciels d'analyse d'images, on analysera le document grec recouvert par des prières (en bas).

La disparition des océans

Selon des géologues japonais, dans quelques milliards d'années, la Terre sera aussi désertique que Mars l'est aujourd'hui. Les géophysiciens pensent qu'un immense réservoir d'eau dort à quelque 400 kilomètres sous la surface de la Terre, alimenté par l'eau des océans qui s'infiltre dans le manteau dans les



zones de subduction. L'eau «ressort» de la Terre au moment des éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. Or, les océans semblent «fuir» : l'eau s'infiltretrait dans le manteau terrestre cinq fois plus vite qu'elle n'est rejetée. Dans un milliard d'années, le niveau de la mer aura peut-être baissé de 600 mètres ; comme le Soleil en expansion chauffera davantage la Terre, il ne fera plus très bon y vivre.

Faux clone

Dolly, la brebis clonée, est-elle identique à sa mère? Dolly est née de la fusion d'une cellule de brebis adulte et d'un ovocyte d'une autre brebis dont on avait retiré le noyau, donc l'ADN nucléaire. Or, une toute petite partie du génome est contenue dans l'ADN des mitochondries, des organites qui fournissent leur énergie aux cellules. Au moment de la division cellulaire, le nombre des mitochondries double, et chaque cellule fille reçoit la moitié des mitochondries présentes dans le cytoplasme de la cellule mère. De quelles mitochondries proviennent celles des cellules de Dolly? Une équipe de l'Université de New York a montré qu'elles proviennent en majeure partie des mitochondries de l'ovocyte : à cause de ses mitochondries, Dolly n'est pas totalement identique à sa «mère».

Mémoire à l'église

En septembre 1997, la Basilique Saint-François, à Assise (Italie), est endommagée par une série de cinq tremblements de terre. Comment limiter les dégâts à venir pour ce monument situé sur une zone sismique? En utilisant des alliages à mémoire de forme. Parmi les propriétés inhabituelles de ces alliages, leur capacité à reprendre leur position initiale après de grandes déformations est des plus utiles. Grâce à elle, le monument dissipera mieux l'énergie mécanique, caractéristique essentielle pour résister à un tremblement de terre.

Les minoritaires font mouche

Les parades sexuelles des drosophiles dépendent de substances sécrétées en faible quantité.

Sur un fruit mûr oublié, des mouches de différentes espèces se posent et s'envolent dans un ballet incessant. Pour ces insectes, les zones de nourriture constituent des endroits privilégiés de rencontre, et plus si affinités : deux individus de sexes opposés d'une même espèce s'accouplent après une parade nuptiale.

La parade sexuelle du mâle est déclenchée par des substances, nommées phéromones, sécrétées par la femelle ; certaines sont abondantes – les phéromones majoritaires. D'autres sont libérées en faible quantité, ce sont les phéromones minoritaires.

L'équipe de Jean-François Ferveur, du Laboratoire de développement et communication chimique de l'Université de Bourgogne, à Dijon, a montré que seules les phéromones minoritaires sont responsables de la stimulation sexuelle du mâle, tandis que les phéromones majoritaires sont impliquées dans la distinction des espèces.

Les phéromones sont sécrétées par des cellules nommées œnocytes, placées sous l'épiderme de l'abdomen des mouches. Les signaux sont soit olfactifs, c'est-à-dire que les phéromones sont soit volatiles et perçues par des récepteurs présents sur les antennes et sur une partie de l'appareil buccal, soit gustatifs lorsque les composés, trop lourds et donc peu volatils, ne sont captés

qu'après contact gustatif de la trompe, ou des poils des pattes.

Les phéromones se distinguent également selon la quantité produite par l'insecte. Les phéromones dites majoritaires sont présentes à raison de 2 000 nanogrammes (milliardièmes de gramme) sur la cuticule de l'insecte, tandis que l'on trouve seulement environ 100 nanogrammes de phéromones minoritaires. Les entomologistes

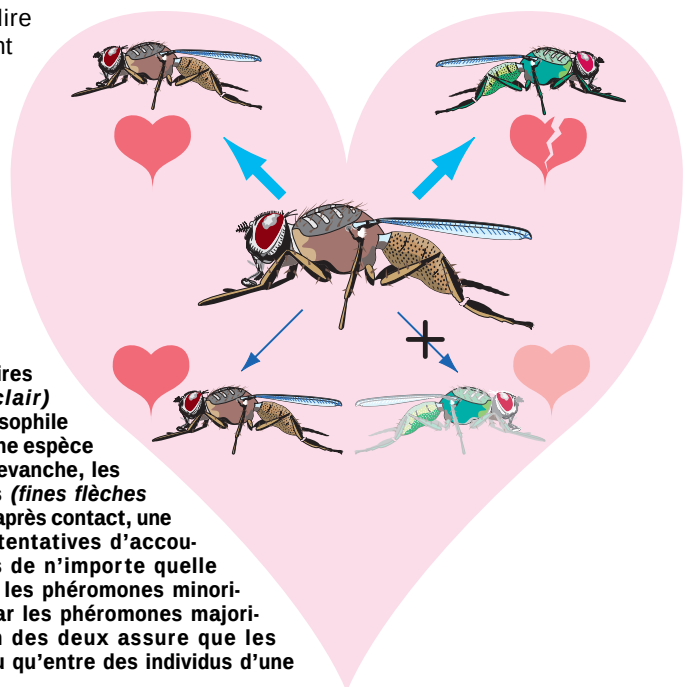
pensaient que les phéromones majoritaires étaient les principaux facteurs de l'attraction sexuelle chez les drosophiles.

Or, J.-F. Ferveur et ses collègues ont effectué diverses expériences qui infirment cette hypothèse.

Ainsi, lors d'une première expérience, ils ont débarrassé la cuticule des phéromones majoritaires en plongeant de jeunes mouches âgées de six heures dans un bain-marie à 37 °C : ce traitement empêche la synthèse des phéromones majoritaires.

En effet, les phéromones sont des hydrocarbures, c'est-à-dire des enchaînements d'atomes de carbone liés à des atomes d'hydrogène. Alors que les phéromones minoritaires sont saturées, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune double liaison entre deux atomes de carbone, les phéromones majoritaires sont insaturées. Les phéromones sont d'abord synthétisées sous forme saturée, puis, l'enzyme désaturase transforme les molécules saturées en molécules insaturées.

Au cours de l'expérience où les phéromones insaturées majoritaires n'étaient plus synthétisées (seules les phéromones minoritaires étaient présentes), les drosophiles femelles



Les phéromones majoritaires (larges flèches bleu clair) émises par la femelle drosophile repoussent les mâles d'une espèce différente (en vert). En revanche, les phéromones minoritaires (fines flèches bleu foncé) déclenchent, après contact, une parade nuptiale et des tentatives d'accouplement chez les mâles de n'importe quelle espèce. Dans la réalité, les phéromones minoritaires sont masquées par les phéromones majoritaires, et l'association des deux assure que les accouplements n'ont lieu qu'entre des individus d'une même espèce.

traitées continuaient à stimuler une parade nuptiale chez les mâles de leur espèce, mais aussi chez les mâles d'espèces différentes.

Dans une seconde expérience, des drosophiles femelles ont été «nettoyées» de toutes leurs phéromones par un solvant, puis recouvertes de phéromones majoritaires d'une espèce différente. Elles n'ont eu aucun succès auprès des mâles de leur espèce qui refusaient de les courtiser. Ces phéromones majoritaires



constituent donc un rempart qui empêche les croisements et les accouplements interspécifiques (les accouplements sont parfois possibles, mais la descendance est stérile). Les phéromones majoritaires éliminent les partenaires d'espèces différentes. C'est ensuite aux phéromones minoritaires de déclencher la parade sexuelle du mâle choisi.

Les phéromones minoritaires de plusieurs espèces de drosophiles sont très semblables, et les entomologistes

supposent qu'elles ont une origine commune. Elles seraient des phéromones primitives, caractéristiques des drosophiles ancestrales, tandis que la synthèse des phéromones majoritaires serait un caractère récent, apparu pour renforcer la spéciation.

Les êtres humains s'inspireront peut-être de ces résultats en diminuant la quantité du parfum – de majoritaire, cette phéromone artificielle deviendra minoritaire – qu'ils utilisent comme arme de séduction.

L'espion et l'ADN

Des biologistes utilisent de l'ADN pour transmettre un message secret.

Je suis très émue de vous dire que j'ai bien compris, l'autre jour, que vous avez toujours une envie folle de me faire danser. Je garde un souvenir de votre baiser et je voudrais que ce soit là une preuve que je puisse être aimée par vous...

G. Sand à A. de Musset

Par un matin d'hiver brumeux, deux voitures s'arrêtent sur une place déserte. Deux hommes en descendant après les appels de phares de circonstance. Une fois face à face, l'un sort de sa poche un petit tube glacé qu'il donne à l'autre. Puis sans un mot, tous deux retournent vers leur véhicule. Soudain, un troisième homme court, renverse un des hommes et lui dérobe le tube avant de disparaître dans le brouillard. Les deux hommes ne semblent pas émus. Ils savent que le voleur aura fort à faire pour déchiffrer le message contenu dans le tube, et plus précisément dans la molécule d'acide désoxyribonucléique (ADN) qui y est conservée. Ils ont dissimulé leur message dans un mélange de molécules d'ADN grâce à la technique mise au point par Carter Bancroft, Viviana Risca et Catherine Clelland, de l'École de médecine de New York.

L'ADN est composé de deux chaînes en vis-à-vis dont les maillons, nommés nucléotides, se caractérisent par un groupe chimique (une base azotée) ; les bases sont l'adénine (A), la cytosine (C), la guanine (G) et la thymine (T). Une cellule traduit un segment d'un brin d'ADN en une protéine (par l'intermédiaire d'une molécule d'ARN) grâce au code génétique qui associe un acide aminé à chaque triplet de nucléotides. Une protéine est constituée d'une succession d'acides aminés.

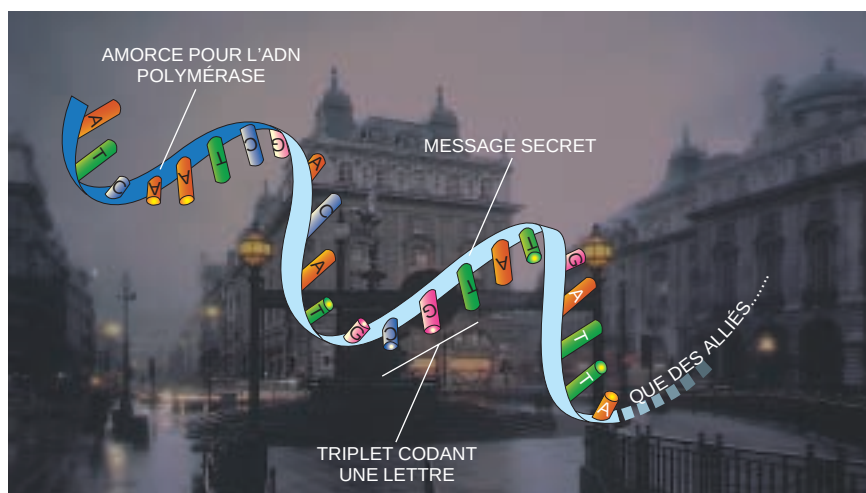
Les biologistes ont détourné ce code en associant à chaque triplet de l'alphabet, une marque d'espace ou un signe de ponctuation. À chaque caractère correspond une combinaison unique de trois des quatre nucléotides. Avec $I = ATG$, $N = TCT...$, on peut coder le mot «INVASION», par la séquence $ATG-TCT-CCT-CGA-ACG-ATG-GGC-TCT$. On dispose de $4^3 = 64$ combinaisons.

Comment dissimuler, puis déchiffrer le brin d'ADN ? À chaque extrémité du brin signifiant, on place deux amorces, c'est-à-dire deux petites séquences d'environ 20 nucléotides, qui seront reconnues par une enzyme, l'ADN polymérase, qui multipliera à volonté le brin porteur de cette amorce, grâce à la technique d'amplification nommée PCR. Il existe environ 10^{20} amorces possibles, mais seul le receveur du message sait laquelle utiliser pour la PCR. Le brin secret est dissimulé parmi une multitude de brins d'ADN, par exemple, de l'ADN humain dénaturé (en simple brin) et découpé en fragments de même longueur. Un message moyen de 100 nucléotides est ainsi caché dans environ 60 millions de fragments, puisque l'ADN

humain est composé de 6 milliards de nucléotides. Après l'action de l'ADN polymérase, le message devenu largement prédominant est décodé par des techniques biochimiques classiques.

Le message peut être doublement caché grâce à la technique du micropoint, inventée par M. Zapp, à la fin des années 1930, qui consiste à réduire un texte secret à la taille d'un point et à le cacher dans un caractère quelconque d'un texte innocent. Cette technique a été très utilisée pendant la Seconde Guerre mondiale, au point de devenir la pièce maîtresse de l'espionnage. L'échantillon des brins d'ADN et le message secret qu'il contient pourraient être dissimulés dans un point d'un texte. Une personne qui souhaiterait intercepter le message devrait, d'une part, trouver le point et, d'autre part, déchiffrer le message sans connaître la séquence de l'amorce.

Ces travaux constituent une version moderne de la stéganographie où un message destiné à rester secret est dissimulé dans un autre, nettement plus volumineux, qui peut être rendu public. George Sand aurait pu déclarer ses désirs à Alfred de Musset grâce à un brin d'ADN.



Dissimulé dans de nombreux éléments qui lui ressemblent, un fragment d'ADN codant un message secret est reconnu par une enzyme nommée ADN polymérase grâce à une amorce spécifique. Le message ainsi multiplié à volonté est facilement identifié et déchiffré par le destinataire.