

Des billes, modèles de cohabitation

Pour prévoir les interactions entre objets microscopiques, on étudie le comportement de billes macroscopiques chargées.

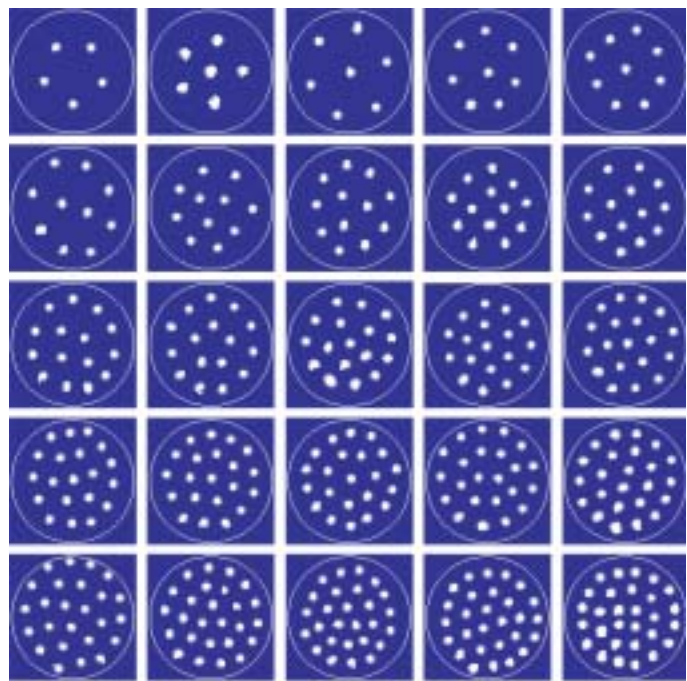
Comment s'organisent des êtres qui se détestent, mais qui sont condamnés à vivre sous le même toit? Loin des tribunaux, cette question se pose dans les systèmes physiques chaque fois que des objets qui se repoussent sont confinés à l'intérieur d'un espace clos. Michel Saint Jean, Catherine Even et Claudine Guthmann, du Groupe de physique des solides des Universités Paris VI et VII, ont réalisé un dispositif à l'échelle macroscopique qui permet d'observer pour la première fois les arrangements possibles de tels objets.

M. Saint Jean et ses collègues placent des billes d'acier de quelques millimètres de diamètre au centre d'un anneau métallique pris en sandwich entre deux plaques horizontales, l'une en métal et l'autre en verre, dont la surface a été rendue conductrice. Un potentiel électrique positif est appliqué sur la surface du verre, ce qui attire les électrons de la plaque inférieure vers les billes. L'espace qui sépare les billes de l'électrode supérieure interdit la circulation du courant et les charges restent piégées dans les billes: elles se chargent négativement et se repoussent. L'anneau, isolé des deux plaques

conductrices et soumis à un potentiel négatif, crée un champ électrique qui confine les billes à l'intérieur de l'anneau et les repousse vers son centre.

On ajoute des billes progressivement à l'intérieur de l'anneau et l'on observe les structures qu'elles forment. On observe que la première bille se place au centre; avec une seconde, elles forment une paire centrée; avec une troisième, un triangle isocèle; avec une quatrième, un carré. Quand le nombre de billes atteint cinq, il existe deux motifs possibles: un pentagone ou un carré avec une bille au centre. Avec six billes, le nombre de motifs possibles passe à trois. L'un est un pentagone avec une bille au centre, un autre est un hexagone, et le dernier est une situation intermédiaire entre les deux, où la bille qui se trouvait au centre du pentagone se décale légèrement en direction de la position qu'elle prend au sein de l'hexagone. Le nombre d'organisations possibles augmente à chaque fois que l'on ajoute de nouvelles billes.

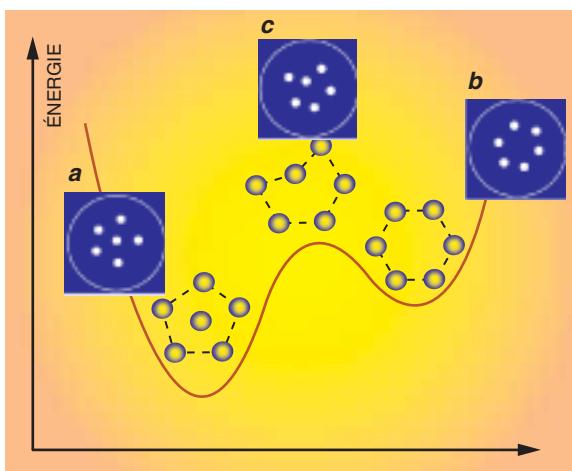
Pour un même nombre de billes, quelle est la configuration la plus stable parmi toutes celles observées? Pour le savoir, un système mécanique fait vibrer les plaques. L'agitation ne doit pas être trop intense, sinon le «cristal de billes» fond, c'est-à-dire que toute organisation macroscopique disparaît: les billes quittent leur position définie et retrouvent leur liberté comme dans un liquide ou dans un gaz. Plus la configuration résiste à l'agitation, plus elle est stable. Pour six billes, le résultat est par ordre décroissant de stabilité: le pentagone centré, l'hexagone, puis l'arrangement intermédiaire, le pentagone décentré. Pour qu'une structure existe, c'est-à-dire qu'elle persiste dans le temps, il faut qu'elle résiste à de petites variations de la position des billes. Autrement dit, les structures stables sont situées dans «les vallées de stabilité», où l'énergie est minimale. Le pentago-



Des billes métalliques chargées qui se repoussent et qui sont confinées à l'intérieur d'un anneau par un champ électrique radial adoptent diverses configurations. On fait varier ici le nombre de billes de 5 à 29. L'anneau est figuré par le cercle blanc. Pour un même nombre de billes, plusieurs organisations sont observées, mais seule la plus stable a été représentée.

ne centré, l'état le plus stable des trois configurations observées, correspond au minimum global de l'énergie. L'hexagone est également dans une vallée de stabilité, dont «l'altitude» est supérieure à la vallée du pentagone: c'est un état métastable. Sur la courbe d'énergie, le pentagone centré et l'hexagone se situent dans deux vallées mitoyennes, l'une étant plus basse que l'autre. Pour passer d'une vallée à l'autre, on doit franchir le col qui les sépare. Ce col correspond au troisième état observable: le pentagone décentré.

Peut-on prévoir les différentes organisations adoptées par les billes? Les billes sont partagées entre deux tendances: celle de s'arranger en réseau le plus régulier possible en se plaçant aux sommets de triangles équilatéraux, et celle de respecter la symétrie axiale du champ de confinement. Les états les plus stables seront ceux qui satisfont au mieux ces deux tendances simultanément. Pour six billes, le pentagone centré et l'hexagone respectent tous les deux la symétrie du confinement, mais le pentagone centré est plus proche du réseau triangulaire que l'hexagone, ce qui lui confère une plus grande stabilité. Pour un grand nombre de billes, on découvre progressivement tous les arrangements autorisés.



Pour un nombre de billes égal à six, il existe trois structures stables. La première (a), le pentagone, correspond à un minimum de l'énergie du système; la deuxième, l'hexagone (b), également, mais sa «vallée de stabilité» est plus élevée que la première. La troisième configuration (c), instable, est un état intermédiaire dont l'énergie correspond au col qui sépare les vallées des deux autres états.

Anxiété et équilibre

Chez la souris, quand on soulage l'anxiété, on améliore l'équilibre. C'est le premier modèle animal pour l'étude des liens entre anxiété et troubles de l'équilibre chez l'homme.

Certaines personnes qui souffrent de crises d'angoisse ou de panique, ont des perturbations de l'équilibre. Inversement, des personnes souffrant de troubles de l'équilibre présentent souvent des épisodes d'anxiété. Elles ont des sensations de vertige, d'instabilité, ont l'impression qu'elles vont s'évanouir. Toutefois, le lien entre un dysfonctionnement du système qui assure l'équilibre et un trouble anxieux n'était pas encore établi, chez l'animal. Avec nos collègues, nous avons mis au point un modèle animal qui confirme ce lien.

Un contrôle efficace de la locomotion dépend de l'interaction de trois systèmes, le système visuel, le système vestibulaire et le système du toucher. Le système vestibulaire, localisé dans l'oreille interne, assure le contrôle de l'équilibre, l'orientation spatiale et le maintien de la posture. Quand l'un de ces systèmes est déficient, les autres systèmes compensent parfois le déficit. Par ailleurs, on dispose aujourd'hui de divers modèles animaux d'anxiété. Différents tests permettent de décrire précisément les composantes de

l'anxiété chez l'animal. On a ainsi détecté des lignées de souris « anxieuses ». Pour ce faire, on utilise des tests de comportement : par exemple, les souris anxieuses se réfugient dans des boîtes noires et évitent de séjourner dans les espaces ouverts. De plus, on vérifie que ces comportements disparaissent quand on leur administre des anxiolytiques.

Dans notre étude, nous avons cherché à évaluer les relations entre anxiété et contrôle de l'équilibre. L'étude a été conduite avec une souche de souris anxieuses et avec une souche de souris témoins (non anxieuse).

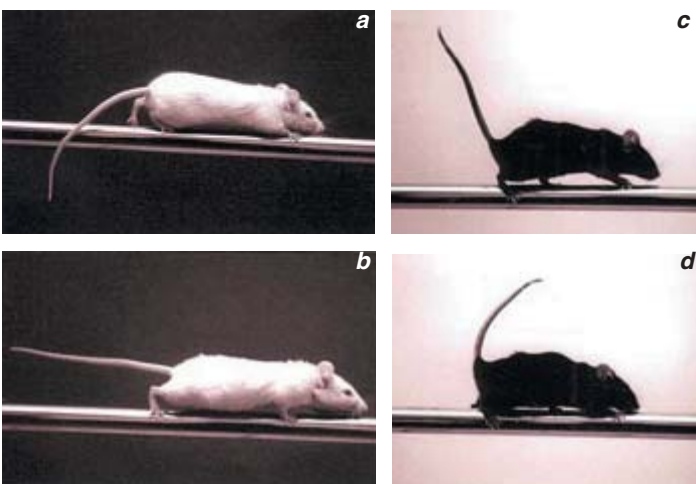
Les souris ont été soumises au test de la barre tournante : elles doivent se déplacer sur une barre en rotation. On constate que les souris anxieuses adoptent une position qui n'est pas adaptée : elles ont le tronc proche de la barre et la queue en position basse. Elles perdent souvent l'équilibre et tombent de la barre. Au contraire, les souris non anxieuses ont le tronc arqué au-dessus de la barre et la queue bien dressée. Elles ne tombent quasiment pas de la barre.

Quand on administre aux souris anxieuses un traitement qui soulage leur anxiété (un anxiolytique, tel le diazépam), on constate que leur équilibre s'améliore. Elles se déplacent mieux sur la barre et leur posture révèle un meilleur positionnement de la queue et du tronc. Au contraire, les souris normales à qui l'on administre une substance anxiogène ont un équilibre perturbé : elles s'affaissent sur la barre et tombent souvent.

Ainsi, nous avons mis en évidence un

lien entre anxiété et troubles de l'équilibre chez la souris, lien modulable par les substances pharmacologiques. Notre modèle sera utile pour l'étude des mécanismes et des neuromédiateurs qui participent au contrôle de l'équilibre et de la posture dans des conditions anxiogènes. Nous espérons comprendre comment la perception de l'environnement, l'action et l'anxiété sont liées dans les situations normales et dans les situations pathologiques, les crises de panique, par exemple.

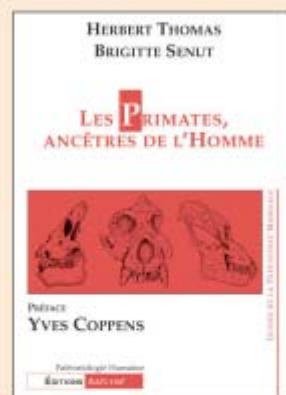
Ève LEPICARD et
Georges CHAPOUTHIER
Unité CNRS UMR 7593



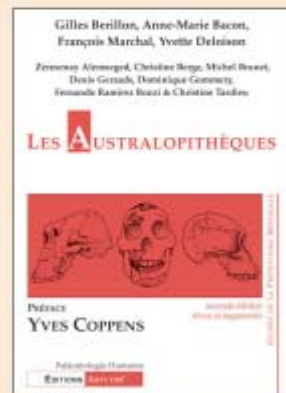
Sur une barre en rotation, les souris anxieuses s'agrippent à la barre (a), ont le tronc proche de la barre, la queue baissée et tombent souvent. Quand on leur administre un anxiolytique, elles retrouvent leur équilibre (b). Elles ont alors quasiment la position des souris non anxieuses (c). En revanche, quand on administre aux souris non anxieuses une substance anxiogène, elles s'affaissent sur la barre comme des souris anxieuses (d).



ISBN 912741-04-1 128 p., 90 F



ISBN 912741-22-X 184 p., 90 F



ISBN 912741-21-1 256 p., 90 F



ISBN 912741-07-6 344 p., 230 F

ÉDITIONS ARTCOM
53, rue Boissière 75116 - Paris

Les premiers outils en os

Les hominidés d'Afrique du Sud utilisaient des fragments osseux pour fouiller les termitières.

Dans les grottes de Sterkfontein, Swartkrans et Drimolen, en Afrique du Sud, des restes d'australopithèques, puis d'*Homo habilis*, ont été découverts au milieu d'autres restes de mammifères. Les premières trouvailles remontent aux années 1920 et 1930. Certains fragments d'os d'animaux associés aux restes d'hominidés étaient-ils des outils? À quoi servaient-ils et quels hominidés les ont utilisés? Nous avons voulu répondre à ces questions en étudiant des os d'animaux fossiles retrouvés dans deux de ces trois sites, Swartkrans et Sterkfontein. Nos analyses confirment que les hominidés Sud-africains utilisaient bien des fragments d'os longs et des chevilles osseuses (les os situés au-dessous des cornes des bovidés) comme outils.

Dans les années 1940, les paléontologues pensaient que les australopithèques avaient ramassé et utilisé ces os d'animaux pour se défendre des prédateurs. Ils réalisèrent bientôt que ces accumulations d'os étaient le fait de carnivores, qui traînaient leurs

proies dans les grottes pour les dévorer. Les hominidés devaient faire partie de ces proies. Dans les années 1970, une autre hypothèse fut émise : les australopithèques robustes de Swartkrans auraient utilisé des os d'animaux pour fouiller le sol à la recherche de tubercules. Toutefois, l'érosion ou d'autres processus naturels d'usure peuvent également modifier la surface des os et leur donner l'aspect d'objets façonnés intentionnellement. Cela aurait pu être le cas des ossements de Swartkrans et Sterkfontein décrits comme des outils.

Nous avons comparé les traces d'usure sur ces objets à celles de 13 300 os altérés par différents agents naturels, découverts dans 35 sites africains et européens. Ces derniers ne présentent pas le même émoussé ni les mêmes stries d'usure que les traces observées sur les extrémités des os découverts dans les gisements d'hominidés, ce qui semble exclure que l'usure résulte d'une dégradation par les agents d'érosion naturels. De plus, ces traces d'usure ne sont présentes que sur les fragments les plus allongés et les plus robustes retrouvés dans les grottes Sud-africaines.

L'analyse microscopique et l'étude par analyse d'image de l'orientation et de la largeur des stries d'usure révèlent que ces fragments n'ont pas été utilisés pour déterrer des tubercules. Des outils expérimentaux ont été utilisés par les paléontologues dans les années 1970, puis par notre équipe pour fouiller le sol ; ces outils présentent des stries d'usure dont l'orientation et la largeur varient. L'usure résulte des impacts répétés de l'extrémité des outils contre de petits blocs calcaires présents dans

le sous-sol à proximité des sites étudiés. Les stries fines et parallèles que l'on observe sur les pièces archéologiques sont identiques à celles qui sont produites expérimentalement sur des fragments d'os utilisés pour fouiller les termitières. Dans ces dernières, constituées de sédiments très fins, aucun obstacle n'arrête le geste de celui qui fouille.

Les termites constituent une source importante de protéines pour les chimpanzés et font encore partie de l'alimentation de plusieurs groupes humains. Nos résultats semblent indiquer que les hominidés Sud-africains en mangeaient aussi. Certains chimpanzés extraient les termites des termitières à l'aide de fines branches, mais d'autres utilisent des bâtons en bois, selon une technique semblable à celle que nous pensons avoir été utilisée par les hominidés Sud-africains.

Ces outils étaient-ils utilisés par les australopithèques ou par *Homo habilis*? La question reste ouverte, car les restes de ces deux hominidés ont été découverts dans les trois sites d'où viennent les outils en os. Les australopithèques sont généralement considérés comme une espèce végétarienne, mais la récente analyse des proportions des différents isotopes stables du carbone dans les os des australopithèques et d'*Homo habilis* a révélé que les proportions de protéines animales dans leur alimentation étaient presque les mêmes, de sorte qu'il sera difficile d'identifier l'utilisateur potentiel des plus anciens outils en os connus.

Francesco D'ERRICO, CNRS-Université Bordeaux I et Lucinda BACKWELL, Université de Witwatersrand, Afrique du Sud



Des stries d'usure ont été observées au microscope (avec un grossissement environ égal à 10). Un des objets étudiés est un outil en os découvert dans la grotte de Swartkrans, en Afrique du Sud (en haut). Ses stries (en bas, à gauche) ont la même largeur et la même orientation que celles produites expérimentalement sur des fragments d'os

utilisés pour fouiller dans des termitières (au centre). En revanche, elles diffèrent de celles que l'on obtient en fouillant le sol à la recherche de tubercules (à droite). Ainsi les objets découverts en Afrique du Sud étaient sans doute utilisés pour extraire les termites dont se nourrissaient les australopithèques ou *Homo habilis*.

Francesco D'Errico et Lucinda Backwell

Le picoplancton

L'océan continue de révéler sa diversité et sa richesse sous forme d'organismes inconnus.

L'océan regorge d'une vie insoupçonnée. Le plancton en est la preuve par sa diversité et son abondance. Il est composé de deux types d'organismes. Les eucaryotes, des organismes évolués, tels que les algues capables de photosynthèse, parmi lesquelles on trouve les diatomées et les dinoflagellés. Les procaryotes, des organismes plus simples, telles les bactéries, représentent le deuxième type de ces micro-organismes. Le plancton se divise aussi en deux groupes selon la taille des organismes : ceux dont la taille est inférieure à deux micromètres constituent le picoplancton.

L'équipe de Seung Yeo-Moon-van der Staay et de Daniel Vaulot, du Centre d'études d'océanographie et de biologie marine de Roscoff, et celle de Rupert De Wachter, de l'Université d'Anvers, ont identifié dans le picoplancton de nombreux groupes d'eucaryotes inconnus jusqu'alors.

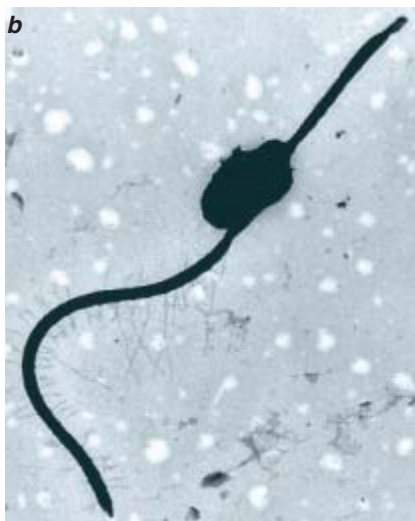
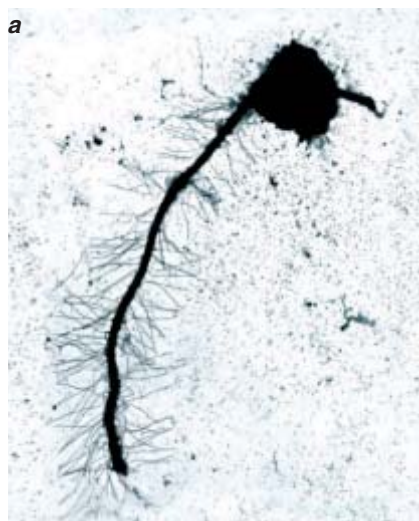
Jusque vers 1980, on pensait le plancton uniquement composé de grosses cellules, visibles au microscope, voire à l'œil nu. Toutefois, lorsque les océanographes analysaient de l'eau de mer débarrassée des micro-organismes connus, ils continuaient à détecter de la chlorophylle (le pigment grâce auquel la photosynthèse est possible) : il restait donc des micro-organismes plus petits,

le picoplancton. Puis, celui-ci a été mis en évidence avec l'avènement de la microscopie par fluorescence.

De par sa taille, les océanographes ont cru que ce picoplancton était principalement constitué d'organismes procaryotes. Or, à partir d'un échantillon d'eau de mer prélevé dans l'océan pacifique équatorial, ils ont extrait l'ADN, puis étudié les gènes de l'ARN ribosomal (l'ARN est une molécule cousine de l'ADN et les ribosomes sont les éléments cellulaires qui fabriquent les protéines). Ces ARN existent dans toutes les espèces : on peut les utiliser pour distinguer les espèces et établir des liens de parenté.

La comparaison avec des banques de données mondiales a montré que la plupart des séquences obtenues ne correspondent à aucune classe connue. Les organismes de l'échantillon appartiennent à des groupes nouveaux. Parmi eux, on trouve des Bolidophycées (leur nom évoque la vitesse à laquelle ils se déplacent grâce à leur flagelle), des Prasinophycées (des algues vertes primitives) et des Chrysophycées avec leurs nombreux flagelles.

Alors que l'on pensait le picoplancton surtout constitué de procaryotes, beaucoup des nouveaux groupes sont des eucaryotes. De plus, beaucoup ne fabriquent pas de chlorophylle et sont donc incapables de photosynthèse. Ces découvertes remettent en cause une répartition couramment admise : les eucaryotes sont photosynthétiques, tandis que les procaryotes se nourrissent de déchets. Ainsi, de nombreux eucaryotes du picoplancton seraient des prédateurs et participeraient, comme les procaryotes, au recyclage et à la dégradation des matières organiques.



Ces micro-organismes ont été découverts récemment. Ce sont des eucaryotes qui appartiennent au picoplancton (la partie renflée mesure moins de deux micromètres) : *Picophagus flagellatus*, du groupe des Chrysophycées (a) et *Bolidomonas mediterranea*, du groupe des Bolidophycées (b). Les organismes du picoplancton seraient des prédateurs, qui participeraient au recyclage et à la dégradation des matières organiques.