

La fureur de vivre

La théorie des jeux appliquée au comportement des délinquants.

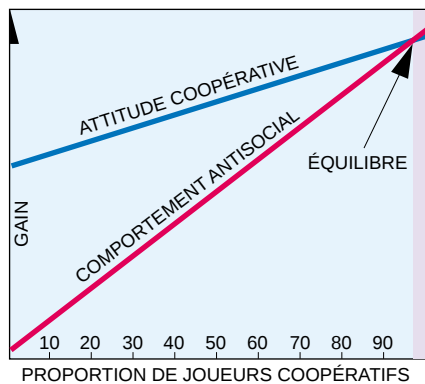
Pour diminuer la criminalité, doit-on tolérer la petite délinquance ? Andrew Colman et Clare Wilson, du département de psychologie de l'Université de Leicester, ont appliqué la théorie des jeux pour modéliser l'évolution d'une population qui comprend des individus asociaux. Ils montrent que l'on ne peut réduire le nombre d'individus asociaux en les enfermant : d'autres personnes occupent alors la « niche écologique » abandonnée. En revanche, on réduirait la criminalité en augmentant les peines.

Bien que la définition précise d'un comportement asocial varie selon les cultures, ses principales caractéristiques sont claires : rejet des normes sociales, agressivité, absence de remords, etc. Deux pour cent de la population des États-Unis, dont près de la moitié de la population incarcérée, présenterait ce comportement.

Pour modéliser le comportement des individus asociaux, A. Colman et C. Wilson utilisent un jeu analogue à celui auquel joue James Dean dans le film *La fureur de vivre* : deux voitures foncent vers un précipice et le dernier à sauter de la voiture l'emporte. De même, dans le modèle, chaque joueur peut choisir entre une attitude coopérative et prudente (attitude C), ou bien une attitude asociale et dangereuse (attitude D). Selon les attitudes relatives, les gains (avantages personnels, possibilité de se reproduire) varient (voir la figure 1). Le gain d'un joueur est maximal quand il choisit une attitude dangereuse et que son adversaire choisit de coopérer ; le gain est inférieur lorsque les deux joueurs coopèrent, et il est encore inférieur pour un joueur qui coopère tandis que son adversaire choisit l'attitude dangereuse ; enfin le gain est minimal

J1 \ J2	C	D
C	3 3	2 4
D	4 3	1 1

1. Gains dans un jeu à deux joueurs J1 et J2 qui peuvent choisir de coopérer (C) ou non (D). Par exemple, quand le joueur J1 coopère et que le joueur J2 ne coopère pas (en haut, à droite), J1 reçoit 2 tandis que J2 reçoit 4.



J1 \ J2	C	D
C	99 99	50 100
D	100 50	1 1

2. Gain moyen (en haut) d'un joueur face à une multitude d'autres joueurs en fonction de la proportion d'adversaires coopératifs (les gains des interactions pour chaque couple de joueurs sont indiqués dans le tableau). Les gains d'un joueur coopératif sont représentés par la droite bleue, et les gains d'un joueur asocial par la droite rouge.

lorsque les deux joueurs ne coopèrent pas. Ce jeu paraît adapté pour modéliser le comportement asocial, car, dans la vie quotidienne, les interactions avec prises de risques sont fréquentes. De surcroît, on est obligé de jouer, car le refus de confrontation revient à adopter une attitude prudente.

Pour modéliser correctement l'évolution d'une population comprenant une minorité d'individus antisociaux, on utilise une version de ce jeu à plusieurs joueurs. On suppose que les membres d'une communauté interagissent par paires, chaque personne interagissant soit avec tous les membres de la communauté, soit avec un échantillon choisi au hasard. En outre, on donne aux individus qui gagnent le plus la possibilité de se reproduire, c'est-à-dire d'augmenter la population avec des descendants ayant les mêmes comportements qu'eux.

Plaçons-nous du point de vue d'un joueur et considérons la proportion des autres joueurs qui choisissent l'attitude coopérative. On peut alors calculer, en fonction de cette proportion, le gain moyen d'un joueur, face à tous les autres joueurs. Selon que le joueur choisit plutôt une attitude coopérative ou plutôt une attitude dangereuse, on obtient deux droites.

Première constatation, ces deux droites sont sécantes : pour une certaine proportion de joueurs coopératifs, les gains de ceux qui sont en général coopé-

BRÈVES

Poignée de main fatale

Sur la scène d'un crime, les policiers n'auront plus besoin de rechercher de cheveux, ou de sang du criminel : Roland van Orschot et Maxwell Jones des laboratoires de la police de MacLeod, en Australie, ont montré que le simple fait de toucher un objet avec ses mains laissait des cellules dont on pouvait séquencer l'ADN. Des objets tenus par différents individus ont ainsi révélé les profils d'ADN de tous les porteurs de l'objet. De même, lors d'une poignée de mains, on échange de l'ADN. Attention à qui vous serrez la main !

La bicyclette de Léonard

Dans les années 1960, les restaurateurs du *Codex Atlanticus* de Léonard de Vinci ont découvert un croquis de bicyclette, resté caché :

au verso d'une feuille volante collée dans l'album, il montre deux roues de charrettes fixées à un châssis rudimentaire, avec des pédales trop longues reliées par une chaîne à une roue dentée.



Da. Leonardo, Mondadori, Milan, 1974

Est-ce un faux ? Il est peu probable que quelqu'un ait pu décoller certaines feuilles du *Codex Atlanticus* pour dessiner derrière. En outre, un faux reproduirait probablement une bicyclette en état de fonctionnement, et non un véhicule sans guidon et dont les pédales sont impossibles à actionner. En outre, la feuille 10 du *Codex Madrid I* contient un dessin de chaîne et de roue dentée, identique à celui qui figure sur le croquis de bicyclette.

Jeune disque

Pour comprendre la formation des systèmes planétaires, les astrophysiciens recherchent, autour d'étoiles jeunes, des disques de gaz et de poussières susceptibles de donner naissance à des planètes. À l'aide d'une étude à des longueurs d'onde de quelques millimètres, une équipe américaine vient de découvrir un disque de gaz autour de MWC480, une étoile âgée de moins de six millions d'années. La masse de ce disque serait supérieure au minimum requis pour donner naissance à un système planétaire analogue au nôtre.

Suite page 22

Nanoguitare

Curieux d'explorer les limites des nanotechnologies, Dustin Carr et Harlod Craighead, de l'Université Cornell, ont



D. Carr/H. Craighead

fabriqué une guitare dont la largeur est le vingtième de l'épaisseur d'un cheveu. Pour réaliser ce mini-instrument, les physiciens ont sculpté du silicium cristallin sur un substrat à l'aide d'un canon à électrons. Puis, ils ont ôté chimiquement une partie du substrat, laissant six cordes de 100 atomes de large chacune. On joue de cette guitare avec la pointe d'un microscope à force atomique, mais l'oscillation des cordes est si faible et leur fréquence si élevée, que l'oreille n'entend rien.

Champs innocents

Les champs électromagnétiques créés par les équipements électriques ne sont pas à l'origine de leucémies infantiles. Une équipe américaine a, pour la première fois, mesuré les champs électromagnétiques auxquels avaient été exposés les enfants atteints. L'exposition dans les précédents domiciles et même celle de la mère pendant la grossesse ont été prises en compte, sans qu'aucune relation ne soit détectée.

Obésité et restauration rapide

Aux États-Unis, 33 pour cent des adultes et 20 pour cent des adolescents dépassent leur poids idéal de 120 pour cent. Le développement de la restauration rapide est souvent désigné comme coupable. C'est une erreur, selon J. Binkley, de l'Université Purdue : en comparant les données des 52 états des États-Unis, il n'a trouvé aucun lien entre le pourcentage d'obèses et la consommation moyenne de hamburgers, pizzas ou tacos.

Souvent vache varie...

Les qualités gustatives du Saint-Nectaire varient selon la race et l'alimentation des vaches. Au Laboratoire de recherches fromagères d'Aurillac, Isabelle Verdier et ses collègues ont montré que les fromages au lait de foin de seconde coupe se distinguaient de ceux réalisés avec du lait d'ensilage d'herbe ou de maïs, et un jury les a jugés meilleurs que les autres fromages. De même, les fromages réalisés à partir du lait de vaches Montbéliardes et Tarentaises ont été mieux notés que ceux produits par des vaches Holstein.

Suite page 24

ratifs et de ceux qui choisissent plutôt l'attitude dangereuse sont égaux. Ce point représente un équilibre stable : lorsque la proportion de personnes qui coopèrent est inférieure à celle du point d'équilibre, le gain moyen d'une attitude coopérative est supérieur au gain moyen d'une attitude dangereuse. La population de joueurs coopératifs se reproduit alors plus vite et, si l'on suppose que les caractères de ces personnes sont héréditaires ou imitables, leur proportion augmentera. En revanche, après ce point, le gain moyen de l'asocialité est supérieur, de sorte que la reproduction des asociaux réduit la proportion de coopératifs.

Le modèle décrit une particularité de l'asocialité qui était restée méconnue et qui résulte de la nécessaire relation entre le tableau des gains et la position d'équilibre : si la proportion

d'individus asociaux est faible, alors le gain d'une personne ayant un comportement asocial est en moyenne bien inférieur à la perte subie par ses victimes. Un voyou des rues, par exemple, gagne peu lorsqu'il agresse un passant au hasard, mais ce dernier perd beaucoup lors de cette agression (jusqu'à la vie).

De surcroît, dans l'hypothèse où ce modèle s'applique bien au monde réel, on n'éliminera pas les individus asociaux en retirant de la société un nombre croissant de délinquants, car la proportion d'individus asociaux correspond à un point d'équilibre fixé par la matrice des gains relatifs. En revanche, tout changement social ou législatif qui augmente les gains de l'attitude coopérative ou qui diminue les gains associés aux comportements asociaux réduira la proportion d'individus anti-sociaux à l'équilibre.

Cristal livresque

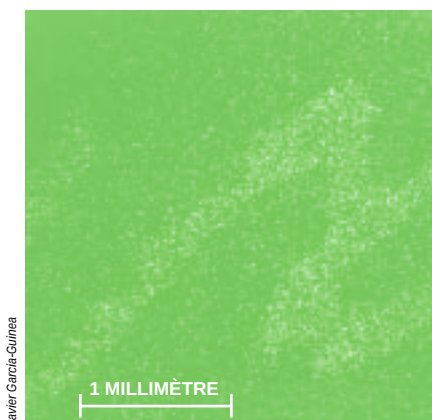
Des amas de pyrite retrouvés dans des livres anciens.

Les pyrites framboïdales sont de petits agrégats sphériques de microcristaux de sulfure de fer. Ces framboïdes sont abondants dans diverses formations géologiques, telles les veines hydrothermales ou les roches sédimentaires, mais on les trouve aussi... dans des livres. Lors d'un programme de restauration d'ouvrages du XVI^e et du XVII^e siècle, Javier Garcia-Guinea et ses collègues du Muséum de sciences naturelles de Madrid ont découvert des framboïdes qui se sont formés à partir de l'encre ancienne.

On ignorait les conditions de formation des framboïdes. La détection du

mécanisme de minéralisation des pyrites, dans les livres restaurés, montre que des framboïdes de grande taille peuvent être formées à l'issue de siècles d'alternance entre des conditions riches en oxygène et pauvres en oxygène.

Les responsables du programme de restauration avaient remarqué la présence d'une poussière noire et brillante sur les coutures, entre les pages et le dos de certains livres. L'étude de cette poudre révéla qu'il s'agissait de restes d'encre solide, ce qui fut corroboré par la présence de cette même poussière sur les pages, aux endroits écrits (voir la figure 1). Cette poussière contient de nombreux cristaux, dont le quartz, l'hématite, le feldspath, le gypse, des additifs utilisés naguère pour améliorer l'aspect de l'encre. En plus de ces cristaux, les cristallographes ont découvert des pyrites framboïdales.



Javier Garcia-Guinea

1. Analyse d'une page d'un livre ancien. Les poussières, visualisées à l'aide d'un microscope électronique, suivent le contour des lettres.



Javier Garcia-Guinea

2. Framboïde de pyrite trouvée au cœur de livres anciens, dans des archives madrilènes.

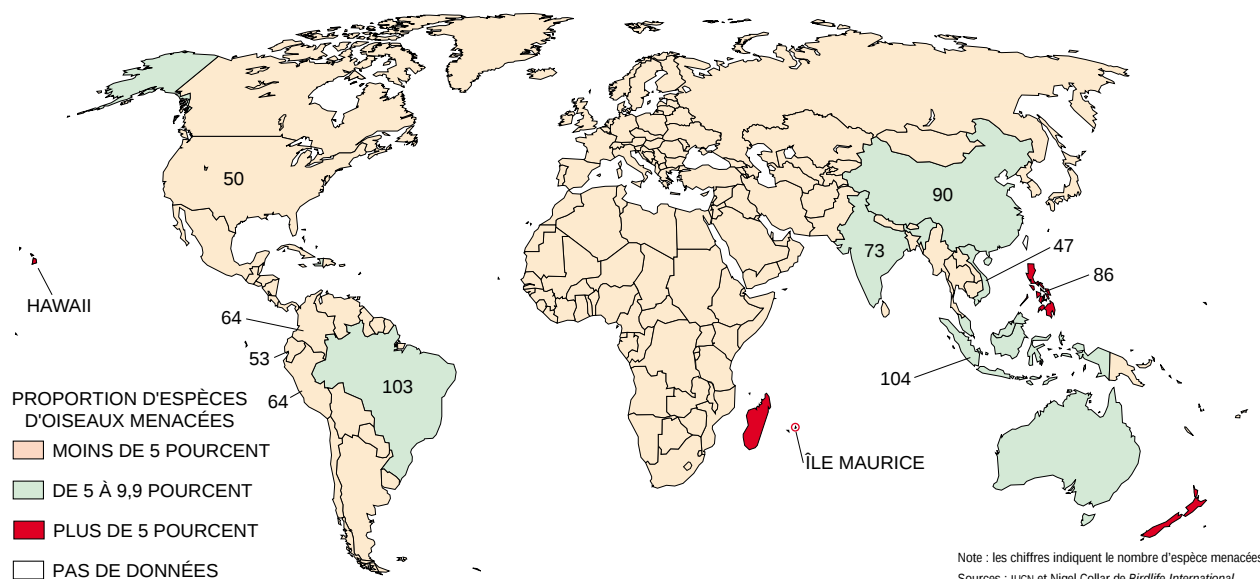
Ces framboïdes sont sphériques, avec une surface légèrement irrégulière due à la coalescence des microcristaux de pyrite, c'est-à-dire de sulfure de fer (*voir la figure 2*). Durant le stockage des livres, l'absence d'oxygène a favorisé la réduction des sulfates de fer contenus dans l'encre. Ceux-ci se sont alors transformés en cristaux de sulfure, qui se sont agrégés.

À quelle vitesse croissent ces agrégats? Dans les milieux marins sans circulation verticale, où les eaux pro-

fondes ne sont donc pas réapprovisionnées en oxygène, des framboïdes se forment en moins de trois mois ; leur diamètre augmente de quatre micromètres par an. La grande taille des agrégats retrouvés dans les livres (140 micromètres) indique que les conditions de croissance optimales, déterminées par une très faible quantité d'oxygène, se sont maintenues durant des dizaines d'années, peut-être en raison des variations de températures à Madrid (entre -10°C et 40°C).

Les éléments chimiques de ces pyrites framboïdes proviennent certainement des constituants de l'encre : tannin, gomme arabique, sels de fer, additifs et solvants (les encres au fer gallique utilisées autrefois s'obtenaient par la réaction de tannins, dérivés de l'acide gallique, avec du sulfate de fer). De plus, la cellulose du papier et la gomme arabique utilisée dans l'encre alimentent des bactéries qui réduisent le fer et les sulfates. Ces bactéries contribueraient ainsi à la formation des framboïdes.

Les oiseaux menacés



Note : les chiffres indiquent le nombre d'espèce menacées.
Sources : IUCN et Nigel Collar de *Birdlife International*.

Les oiseaux doivent être protégés pour plusieurs raisons, mais rappelons-nous surtout l'empereur de Chine et son rossignol! Or, 1 107 espèces d'oiseaux, soit onze pour cent des espèces du Globe, sont en voie de disparition.

Ce constat émane de deux études publiées par le Fond pour la nature (IUCN) et par *Birdlife International*, l'organisme le plus important qui s'occupe des oiseaux en voie de disparition. Les données recueillies montrent que, pour 168 espèces, la menace est grave : nous risquons de les voir disparaître de l'habitat naturel dans un «futur immédiat».

Comme pour les autres espèces animales, le danger de disparition est supérieur dans les habitats insulaires : parmi les 104 espèces qui ont disparu depuis 400 ans, 90 pour cent vivaient sur des îles. Comme les espèces insulaires, particulièrement dans la zone intertropicale, sont souvent uniques, on ne peut éviter l'extinction par l'importation de nouveaux individus. Ces espèces sont en général sensibles à des prédateurs importés, comme les chiens et les chats, et leur habitat peut être réduit par des herbivores non indigènes, tels les chèvres. De surcroît, ces oiseaux sont sensibles aux maladies introduites. Ainsi, il n'est pas surprenant que les deux pays où le risque d'extinction est maximal soient la Nouvelle-Zélande et les Philippines. Dans ces pays, 15 pour cent des espèces sont menacées. Cependant, de toutes les îles comprenant une population d'oiseau importante, Hawaii possède, avec 33 pour cent, la proportion d'espèces menacées la plus élevée.

Des espèces sont également menacées dans les zones continentales, comme l'Amérique du Sud, où le déboisement fait rage. Bien que la proportion d'espèces menacées y soit relativement faible, cette région contient un grand nombre d'espèces d'oiseaux, de sorte que le nombre absolu d'espèces menacées est élevé (*voir la carte*). Les proportions importantes enregistrées en Chine et en Inde résultent probablement de la pression démographique.

Sur les autres continents, le risque est faible, ce qui ne signifie pourtant pas l'absence d'inquiétudes majeures. En Europe, par exemple, où seulement quelques pour cent des espèces sont menacées, un quart de toutes les espèces recensées comme étant non menacées ont décliné de manière notable ces 20 dernières années.

Dans certains ordres d'oiseaux, plus de 20 pour cent des espèces sont menacées. Ainsi le faisan, la caille, le perroquet ou l'ara sont tous menacés par la restriction de leur habitat, par la chasse et par le commerce. L'albatros et le pétrel, qui se reproduisent sur de petits îlots océaniques, sont également en danger. De nombreuses espèces, telles le râle, la grue et le cagou sont menacées en raison de la longueur de leur cycle reproductif : ils sont ainsi très sensibles aux perturbations sur les lieux de reproduction et sur les zones d'hivernage. Les oiseaux chanteurs qui représentent presque 60 pour cent de toutes les espèces, tirent leur épingle du jeu : leur risque d'extinction est légèrement inférieur à la moyenne ; la leçon du rossignol a porté.

Do ré mi

Les spécialistes de la préhistoire ont étudié un os, découvert en 1995, qui pourrait être une partie de flûte utilisée par les Néandertaliens il y a 43 000 ans.



Bonnie Blackwell

En étudiant l'espacement des trois trous, Bob Fink de l'Université de Saskatoon au Canada, a conjecturé que les trois premières notes de la gamme néandertalienne étaient *do-ré-mi*. Selon le musicologue, la flûte complète aurait jouée toute la gamme.

Rhododendrons envahissants

Le rhododendron, apprécié des jardiniers, l'est moins des exploitants forestiers : il entrave le développement des jeunes plants d'arbres, tels le chêne ou le pin du Canada. Ces derniers extraient du sol les nutriments nécessaires à leur croissance grâce à une association symbiotique avec des champignons présents sur leurs racines. Une équipe dirigée par B. Clinton et O. Miller, de l'Université technique de Virginie, a démontré que le rhododendron nuit à la relation symbiotique, limitant l'alimentation des arbres et leur développement.

Canne guide

Une canne guide d'aveugle a été mise au point par une équipe du Laboratoire de robotique du Michigan. Munie d'un sonar, la canne roulante détecte les obstacles situés sur le chemin et surtout, les contourne automatiquement. Cette canne de quatre kilogrammes, est moins lourde, moins onéreuse et procure un meilleur guidage que les systèmes aver-



Johann Borenstein

L'odeur des tigres

La population de tigres de Sibérie a été surestimée d'un facteur deux par les recensements fondés sur le décompte des traces dans la neige que l'on aurait compté plusieurs fois. Les scientifiques ont entraîné des bergers allemands à reconnaître les odeurs spécifiques émanant de la dizaine de tigres de la réserve de Lazovsky, en Sibérie. En décomptant les traces et en les comparant aux nombres détectés par les odeurs, les naturalistes ont extrapolé cette étude au recensement des tigres de Sibérie orientale et ont estimé que la population totale s'élevait à 250 individus et non 450.

La musique des mers

Les sismologues entendent une note pure dans l'océan

Lorsque Jacques Talandier, du Commissariat à l'énergie atomique, et Émile Okal, de l'Université Northwestern, examinèrent les grondements sous-marins enregistrés par le réseau de stations sismiques de Polynésie française, il découvrirent avec surprise une onde acoustique monochromatique – une note pure – qui se propageait dans l'océan. Provenait-elle d'un animal? D'une expérience militaire secrète? Ces suppositions furent rapidement rejetées, et les chercheurs se perdaient en conjectures. Aujourd'hui, les géophysiciens célèbrent l'explication... mais ils auraient peut-être dû le faire plutôt, car l'ouverture d'une bouteille de champagne les aurait aidés à résoudre le mystère.

Les signaux qui attirèrent leur attention étaient composés chacun d'une seule fréquence, comprise entre 3 et 12 hertz, et dépourvus d'harmoniques (à des fréquences multiples de la fréquence du son fondamental). Ils étaient ainsi plus purs qu'une note d'un instrument de musique, laquelle, en plus de la fréquence fondamentale, contient plusieurs harmoniques (les intensités relatives des différents harmoniques distinguent une note jouée par un hautbois d'une même note jouée par un piano, par exemple). Ces ondes sonores sous-marines étaient particulièrement nombreuses et intenses en 1991 et durant les premiers mois de 1992. Chaque émission durait entre quelques secondes et plusieurs minutes. Les séismes auraient produit des signaux plus complexes, tandis que les baleines auraient émis des signaux de fréquences

supérieures, avec des variations saisonnières (les baleines se déplacent).

Bien que des signaux similaires, nommés tremblements, proviennent de magma qui se presse sous certains volcans, ils sont toujours riches en harmoniques. La pureté observée résultait-elle d'une insuffisance des instruments de mesure, qui n'auraient pas capté les signaux de fréquences supérieures? Pour s'en assurer, les géophysiciens utilisèrent des réseaux militaires de microphones sous-marins, conçus pour étudier les hautes fréquences, telles celles produites par les sous-marins : aucun harmonique ne fut décelable.

Un premier indice fut toutefois donné par la position de la source : une région peu étudiée du Pacifique Sud. D'anciens relevés indiquant la présence d'une ride volcanique en cet endroit, les sismologues demandèrent à des collègues de se rendre sur place pour effectuer de nouveaux sondages : ceux-ci révélèrent une chaîne continue de volcan, dont le sommet était situé à 130 mètres sous la surface de l'océan. Cette chaîne continue ne montrait pas de signes d'activité au moment de l'exploration, mais des échantillons prélevés contenaient de la lave solidifiée depuis peu, révélant une activité volcanique récente.

Les volcans sous-marins sont plus profonds que cette chaîne très originale, de sorte que des bulles ne se forment pas au-dessus de leur lave brûlante : en profondeur, la pression gêne la vaporisation. En revanche, dans le cas de la chaîne continue qui culmine à 130 mètres de profondeur, on observe une effervescence sous-marine : de la vapeur semble se former.

Spécialiste des tremblements, Bernard Chouet suggéra d'étudier la propagation des ondes acoustiques dans un mélange d'eau et de vapeur. Les ondes sonores, qui se propagent à 1 500 mètres par seconde dans l'eau, sont



Bob Talbot

D'étranges sons ont été enregistrés sous la mer. Proviennent-ils d'ondes acoustiques produites par les volcans sous-marins et piégées dans une colonne de vapeur?

considérablement ralenties en présence de vapeur, ce qui isole acoustiquement la colonne effervescente du reste de l'océan : l'effet est le même que dans une fibre optique, où les ondes – lumineuses – sont confinées.

Une telle colonne pouvait-elle se comporter comme une cavité résonante, à la manière d'un tuyau d'orgue ? B. Chouet modélisa le comportement de ces ondes sonores en présence de vapeur et il montra qu'elles montent et descendent entre

la surface de l'océan et le volcan à une vitesse fixée. De plus, l'énergie reste concentrée et la fréquence fondamentale demeure constante, quelle que soit l'étendue latérale de la colonne. Ce résonateur à bulles produirait, comme un instrument de musique, des harmoniques, mais celles-ci seraient dissipées sous forme de chaleur. Les prochaines campagnes sismiques de la région confirmeront si, tels des géants sous-marins, certaines structures volcaniques font de la musique.

Des embryons de dinosaures carnivores

Découverte d'une centaine d'œufs de dinosaures.

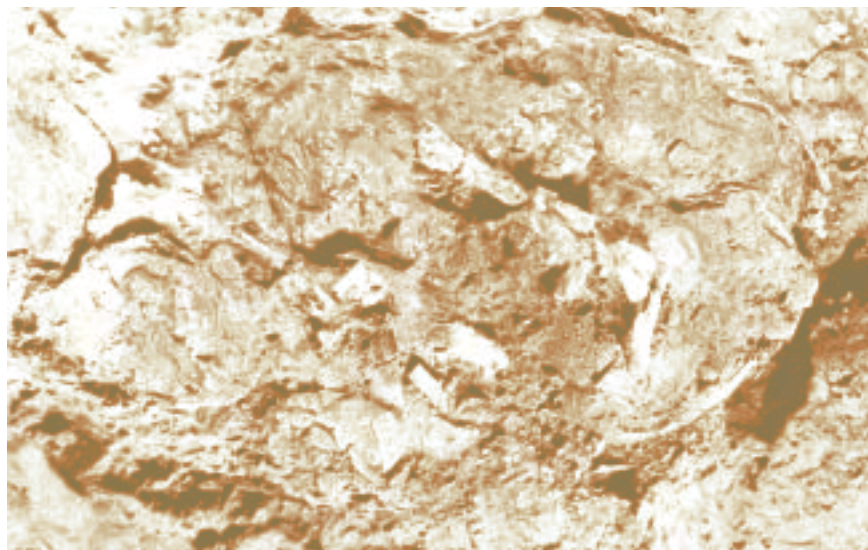
Les paléontologues traquent les œufs de dinosaures depuis plus d'un siècle. Sauf exception, ces œufs ne contiennent pas d'ossements. Pour identifier les pondeuses, on se fonde alors sur une difficile taxinomie des coquilles d'œufs. En revanche, au Portugal, des œufs contenant des os de dinosaures anciens ont permis une identification directe : les os étaient ceux de petits dinosaures carnivores, ou théropodes.

C'est après la découverte de nombreux fragments de coquilles, à Paimogo, en 1993, qu'Isabel et Horatio Mateus entreprirent la fouille d'un niveau sédimentaire datant du Jurassique supérieur (entre 140 et 150 millions d'années). En 1995 et 1996, ces fouilles révélèrent plusieurs pontes qui renfermaient une centaine d'œufs bien conservés, tandis que le lavage du sédiment livrait un grand

nombre de petits os provenant des œufs, mais aussi des restes de vertébrés contemporains des pontes.

Au Muséum d'histoire naturelle de Paris, Philippe Taquet a analysé ces œufs. Leur coquille est noire, lisse sur sa face externe et percée de pores bien visibles. La face interne est rongée, résultat, semble-t-il, d'une dissolution comparable à celle qui se produit chez les oiseaux actuels, lorsque les substances de la coquille sont utilisées pour la construction du squelette de l'embryon. Des dizaines de petits os ont été récoltés à proximité immédiate des œufs, et l'un des œufs fracturés contenait des os des membres ainsi qu'une vertèbre en place, à l'intérieur. Les caractéristiques des os et, en particulier, les arcs des vertèbres, non encore soudés à leur corps vertébral, témoignent de l'état juvénile des individus auxquels ils appartenaient.

La solidité et l'épaisseur des parois de ces os les ont fait attribuer à des reptiles. La forme des extrémités, l'allure rectiligne des fémurs et des tibias, ainsi que d'autres caractéristiques permettent d'affirmer que ces éléments osseux sont ceux d'un théropode.



Œuf de dinosaure où l'on distingue les restes osseux d'un embryon.

Denis Serrette/MNHN

La découverte portugaise est exceptionnelle à plus d'un titre. C'est d'abord la première fois que l'on trouve un embryon de dinosaure en Europe. Ensuite, les œufs retrouvés ont 50 millions d'années de plus que la plupart des œufs connus. Enfin, à l'intérieur de plusieurs œufs, les restes osseux caractéristiques et liés montrent que des

embryons sont présents dans cette ponte. À l'aide de ces éléments, on a reconstitué l'histoire de ces œufs.

À Paimogo, il y a près de 140 millions d'années, des théropodes ont pondu leurs œufs dans un sol meuble, propre à l'incubation et à l'éclosion de leur progéniture. Suite à une inondation, les pontes ont été recouvertes d'un sédi-

ment qui fit périr les embryons peu avant l'éclosion des œufs. Le dégagement d'autres œufs et la comparaison avec des restes de dinosaures retrouvés récemment dans la même région devrait permettre de comparer les os des théropodes adultes à ceux des embryons et de préciser l'espèce exacte à laquelle appartiennent ces embryons.

Les petits corps du Système solaire

Une planète éloignée et un compagnon de la Terre

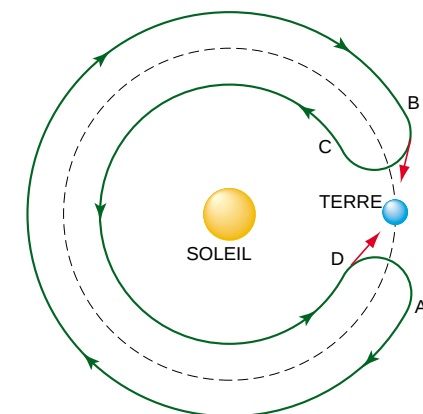
Les Grecs identifièrent les cinq astres Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, parce que ceux-ci se déplaçaient par rapport aux étoiles : ils les nommèrent planètes, ce qui signifie «astre errant». Par la même technique de recherche, des astronomes viennent de découvrir deux nouveaux corps. L'un d'eux, 1996TL66, tourne très loin du Soleil, au-delà de l'orbite de Pluton. Le second est beaucoup plus proche, puisqu'il suit la Terre dans son mouvement autour du Soleil et peut ainsi

être considéré comme un compagnon de la Terre.

Depuis la découverte de Pluton, en 1930, les astronomes ont recherché une dixième planète à notre Système solaire. En 1992, leurs efforts ont été récompensés par la découverte des premiers objets de la ceinture de Kuiper : de petites planètes gelées situées au-delà de l'orbite de Neptune. On estime que 35 000 objets de la ceinture de Kuiper ont un diamètre compris entre 100 et 400 kilomètres. Ces objets sont beaucoup plus petits que Pluton ou que son satellite Charon (2 300 kilomètres et 1 100 kilomètres de diamètre), mais l'excentricité de leurs orbites sont semblables. C'est pourquoi les astronomes considèrent aujourd'hui que Pluton fait partie de la ceinture de Kuiper, plutôt que du cortège planétaire.

En octobre 1996, lorsque Jane Luu et ses collègues du Centre d'astrophysique d'Harvard découvrirent 1996TL66, ils pensèrent que cet objet appartenait à la ceinture de Kuiper, mais ils remarquèrent bientôt ses particularités : son orbite allongée s'éloigne à plus de 130 unités astronomiques du Soleil, soit le triple de la distance de Pluton au Soleil. De plus, cet astre réfléchit bien la lumière solaire ; c'est même l'objet le plus brillant découvert dans le Système solaire depuis la découverte de Charon en 1978.

D'où provient-il ? Selon Martin Duncan, de l'Université Queens, au Canada, il serait le premier d'une nouvelle ceinture d'objets, distincte de la ceinture de Kuiper, ayant des orbites plus allongées et inclinées par rapport à l'écliptique (le plan de l'orbite de la Terre autour du Soleil). Au cours de la formation du Système solaire, des perturbations gravitationnelles avec Neptune auraient éjecté de nombreuses petites planètes présentes dans ce voisinage sur des orbites allongées et inclinées sur l'écliptique. Cette nouvelle population d'objets s'étendrait jusqu'au nuage de Oort, le réservoir de

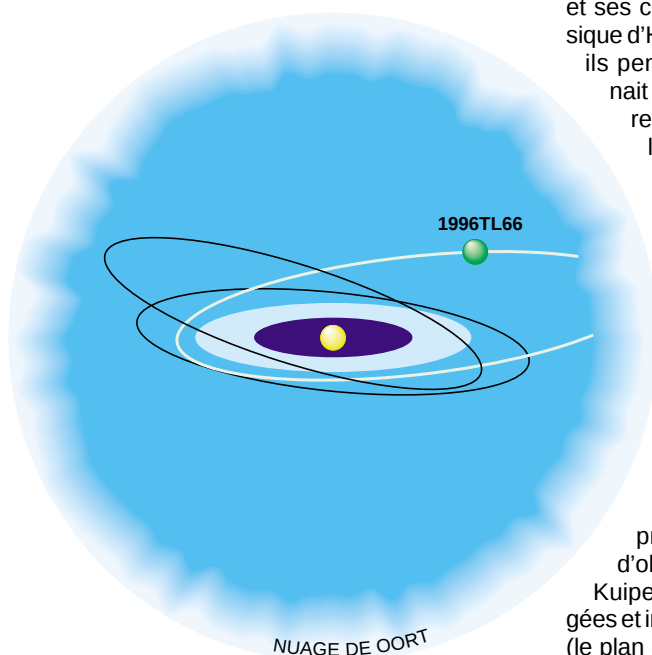


2. Orbite en fer à cheval idéalisée (toutes les trajectoires sont circulaires) du nouvel astéroïde, représentée dans un référentiel tournant avec la Terre (la Soleil et la Terre y sont fixes).

comètes qui entoure le Système solaire, à plusieurs centaines d'unités astronomiques de la Terre (plusieurs dizaines de milliards de kilomètres).

Le second objet découvert, un astéroïde de cinq kilomètres de diamètre, est à une distance du Soleil voisine de celle de la Terre, dans le disque contenant les neuf planètes. Pour représenter son mouvement, plaçons-nous dans un référentiel centré sur le Soleil et qui tourne avec une période de un an. Dans ce référentiel tournant, la Terre et le Soleil sont fixes, et l'astéroïde tourne autour du Soleil en suivant une orbite en forme de fer à cheval (voir la figure 2).

Pourquoi une telle trajectoire ? Selon la troisième loi de Kepler, la période de révolution d'un corps augmente avec le rayon de l'orbite. Ainsi, sur la partie extérieure de la trajectoire (arc de cercle AB), l'astéroïde tourne autour du Soleil sur une orbite circulaire dont la période est légèrement supérieure à un an. L'astéroïde rattrape donc la Terre et arrive au point B. Là, attiré par la Terre, il est transféré sur une orbite circulaire de rayon inférieure à un an (arc CD). Cette fois il est rattrapé par la Terre et arrive au point D, où, attiré par la Terre, le rayon de son orbite augmente. Finalement l'astéroïde rejoint le point A et l'orbite est bouclée.



1. Plus éloignés du Soleil que les planètes (qui sont dans le disque violet), des milliers de petits corps sont confinés dans la ceinture de Kuiper (disque bleu clair). Les astronomes soupçonnent l'existence d'objets aux orbites allongées et inclinées entre la ceinture de Kuiper et le nuage de Oort ; 1996TL66 serait le premier de ces nouveaux objets.