

Des crustacés, de l'oxygène et du sel

Même avec un sang bien oxygéné, des crustacés peuvent mourir asphyxiés.

La mortalité des poissons ou autres espèces aquatiques, attribuée au manque d'oxygène, dans les eaux saumâtres des estuaires et des baies, a augmenté partout dans le monde. Naguère, seules les zones confinées, tels les fonds de lagunes, étaient en proie au printemps et en été à des « crises d'asphyxie » résultant d'une trop forte production de végétaux marins. Aujourd'hui, les rejets excessifs de fertilisants contenus dans les engrais et les détergents phosphatés entraînent une surproduction de matières organiques qui, après dégradation par les bactéries, aboutit à une surconsommation d'oxygène.

Cette augmentation de la mortalité est d'autant plus impressionnante que l'on a découvert que, chez de nombreux animaux aquatiques (crustacés, mollusques et poissons), la concentration en oxygène dissous dans le sang est bien inférieure à celle des animaux qui respirent de l'air, même lorsque l'eau est

bien oxygénée. En revanche, nous avons montré que certaines espèces sont menacées quand la concentration en oxygène de l'eau et sa salinité sont simultanément faibles, car le peu d'oxygène présent dans le sang n'est pas toujours disponible pour les tissus.

On savait que, lorsqu'il y a beaucoup d'oxygène dans l'eau et que les animaux sont au repos et à jeun, leur ventilation (le passage de l'eau dans les branchies) diminue pour que leur sang ne soit pas mieux oxygéné. La question se posait : la concentration en oxygène dissous dans le sang participe-t-elle à la modulation du comportement des animaux aquatiques ? Pour le savoir, nous avons étudié le homard *Homarus gammarus*, en travaillant sur une partie de son système nerveux central, le ganglion stomatogastrique, qui contient 30 neurones parfaitement connus. Ce ganglion commande les mouvements de mastication de l'estomac et ceux de filtrage du pylore avant l'entrée des aliments dans les intestins. Chacun des 30 neurones agit sur des muscles spécifiques de ces deux organes.

Avec des collègues de l'Unité CNRS-UMR 5816, nous avons enregistré l'activité des muscles qui commandent l'estomac et le pylore en y implantant des électrodes de façon permanente, sur des animaux libres. Lorsque l'animal est au repos et à

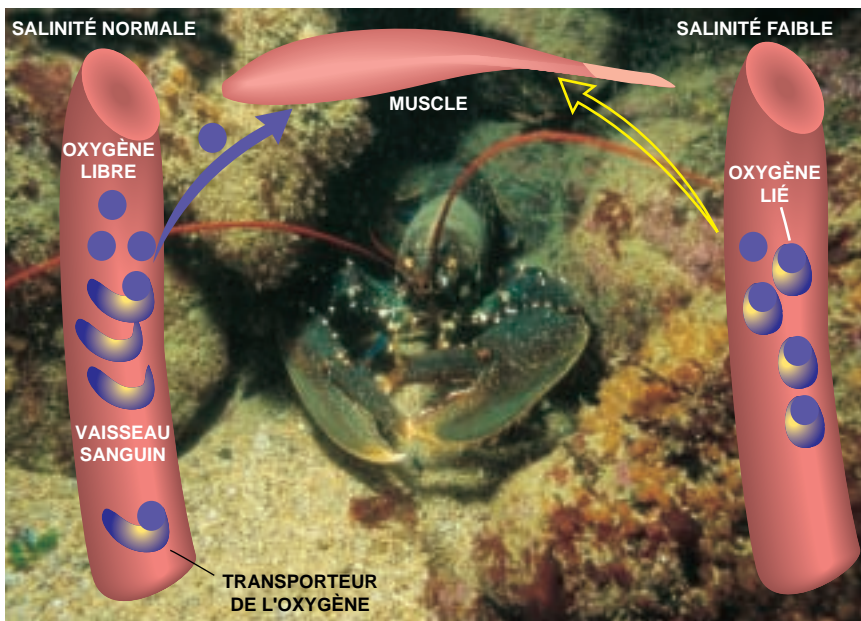
jeun, son métabolisme est lent, les concentrations en oxygène sont faibles et les activités de l'estomac et du pylore sont lentes et synchronisées. Lorsqu'il mange, différents paramètres augmentent : la ventilation, la concentration en oxygène dans le sang et dans le cerveau, l'activité des muscles masticateurs de l'estomac et filtres du pylore qui sont alors désynchronisées (comme en témoigne l'enregistrement des électrodes).

Quand on diminue modérément la concentration en oxygène du milieu où baigne le homard, après la prise de nourriture (en enrichissant, par exemple, l'eau en azote), on constate que l'activité des muscles du pylore ralentit et redevient synchronisée avec celle des muscles de l'estomac, comme avant le repas.

Nous avons également étudié le fonctionnement du ganglion stomatogastrique isolé *in vitro* et placé dans une artère en verre perfusée par une solution physiologique adaptée. Nous avons placé des microélectrodes sur les neurones correspondant aux muscles gastriques et pyloriques que nous avons étudiés sur l'animal libre, et nous avons enregistré leur activité électrique en reproduisant les modifications d'oxygénation qui existent avant et après un repas. Ces enregistrements sont identiques à ceux que nous avons obtenus sur l'animal vivant. Ainsi, l'oxygénation modifie l'activité de réseaux de neurones et, par conséquent, celle des muscles qu'ils commandent : l'oxygène est un neuromodulateur du comportement qui agit sur le cerveau au même titre que d'autres médiateurs connus, telles la sérotonine ou les catécholamines.

Bien que la quantité d'oxygène disponible dans certaines eaux saumâtres soit suffisante, divers crustacés, tels le crabe vert *Carcinus maenas*, qui peuple les côtes françaises, et la crevette *Peneaus japonicus* (notamment étudiée par Claude Soyez d'IFREMER Tahiti) risquent de mourir par manque d'oxygène. Pourquoi ? Par manque de sel ! Jean-Paul Truchot, dans notre laboratoire, a montré que leur pigment respiratoire a une affinité pour l'oxygène qui augmente quand la salinité diminue : sa configuration change et l'oxygène y est plus fortement fixé.

Lorsque la salinité décroît jusqu'à dix grammes de chlorure de sodium par litre, et que l'eau est peu oxygénée, cette affinité assure une concentration totale en oxygène (fixé et dissous) éle-



Jacama

Chez de nombreux crustacés, l'oxygène est véhiculé dans le sang par un transporteur (à gauche), dont la configuration change quand la salinité de l'eau devient trop faible (à droite) : l'oxygène, piégé, n'est plus relargué dans les tissus et l'animal risque de mourir asphyxié.

vée, et l'animal au repos dispose d'une réserve sanguine d'oxygène suffisante. Pourtant, lorsque la salinité continue à diminuer et que l'affinité du transporteur pour l'oxygène continue à augmenter, il y a un sérieux revers à la médaille!

Il faut que l'animal puisse libérer l'oxygène dans ses tissus : cette tâche est d'autant plus difficile que la fixation sur le transporteur est forte. Quand l'affinité est excessive, l'oxygène est si fortement fixé à sa molécule transporteuse qu'il ne peut plus quitter les artérioles en quantité suffisante pour approvisionner les tissus. Avec un métabolisme activé, un crabe peut mourir asphyxié même si sa concentration sanguine totale en oxygène est normale.

Ainsi, pour le crabe vert, lorsque la salinité est égale au quart de la normale (environ neuf grammes de chlorure de sodium par litre) et qu'il est à jeun, la quantité d'oxygène libérée du sang vers les cellules est suffisante. Au contraire, après une prise alimentaire où la demande cellulaire double, l'oxygène n'est plus libéré à une vitesse suffisante. Sans augmentation de salinité, laquelle diminue l'affinité du transporteur pour l'oxygène, ou réoxygénation de l'eau, qui entraîne une augmentation de la concentration sanguine d'oxygène libre, la mort est alors inévitable.

J.-C. MASSABUAU et A. LEGEAY
CNRS - UMR 5805- Université Bordeaux I

BRÈVES

Empilement de sphères

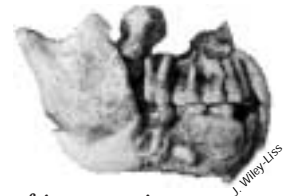
La plus vieille conjecture de la géométrie semble démontrée : après quatre siècles de recherche, T. Hales et M. Ferguson, de l'Université du Michigan, ont annoncé la résolution du problème de Kepler : l'empilement le plus dense de sphères identiques dans tout l'espace est l'empilement régulier cubique à faces centrées, celui des boulets de canons et des oranges. La démonstration – de 350 pages – qui utilise l'informatique pour partie, est aujourd'hui proposée pour vérification.

Un nouveau VIH

Un nouveau variant de virus responsable du SIDA a été identifié par F. Simon et ses collègues de l'Hôpital Bichat. Les virus VIH1 se répartissent en deux groupes, le M et le O. Les isolats du groupe M sont les principaux agents responsables de la pandémie mondiale, tandis que ceux du groupe O sont cantonnés quasi exclusivement au Cameroun. D'après les analyses phylogéniques, le nouveau virus, découvert au Cameroun, est un virus intermédiaire entre le VIH1 et le virus SIV qui infecte le chimpanzé ; il aurait franchi la barrière d'espèce.

Grand puzzle

En 1983, l'équipe d'A. Hughes avait découvert une quarantaine de fragments d'os et de dents à Sterkfontein, en Afrique du Sud, dans un terrain daté entre 2 et 2,6 millions d'années. J. Moggi-Cecchi, à l'Université de Florence, a reconstitué le puzzle : tous ces fragments appartiennent à un australopithèque de l'espèce *Australopithecus africanus*, qui était âgé de cinq ans environ.



J. Wiley-Liss

Le temps de demain

Aujourd'hui, ce sont les horloges atomiques qui égrènent les secondes avec le plus de précision. Toutefois, les atomes de césium de ces horloges, qui oscillent entre deux configurations, interagissent, ce qui finit par modifier le rythme. Une équipe de l'Université de Boulder vient de concevoir la première horloge fondée sur les battements d'un condensat de Bose-Einstein : les atomes sont tous dans le même état quantique, de sorte qu'aucune perturbation ne rompt le rythme imperturbable de l'horloge.

Suite page 24

Vitraux visqueux ?

Contrairement à une idée répandue, le verre ne coule pas à température ambiante.

Si les vitraux sont plus épais dans leur partie inférieure, c'est que le verre dont ils sont constitués se comporte comme un liquide très visqueux : il coule. Cette affirmation répandue, au point qu'on la retrouve dans certains ouvrages scolaires et dans des cours d'histoire de l'art, est erronée. À température ambiante, la viscosité du verre est telle que ce matériau peut être considéré comme un solide et ne s'écoule pas, même après des milliers d'années.

La viscosité mesure la vitesse d'écoulement d'un fluide. Par un trou de diamètre donné, un fluide coulera d'autant

plus lentement qu'il est visqueux. Le miel, par exemple, est plus visqueux que l'eau.

Quelle est la différence entre la viscosité du verre liquide, et celle du fer liquide ? Dans du fer en fusion, la viscosité est quasi constante. Si l'on refroidit un tel liquide à une température inférieure à la température de fusion, la cristallisation se produit brusquement : les molécules s'organisent en un réseau rigide. Aux températures inférieures au point de fusion, les molécules oscillent autour de leur point d'équilibre, mais les liaisons sont rigides, même à proximité du point de fusion.

En revanche, à mesure que le verre liquide refroidit, sa viscosité augmente. Lorsque la température diminue, un sirop épais se forme et l'on obtient finalement un solide amorphe. Dans ces solides, les molécules ne sont pas rangées de manière ordonnée, comme dans un cristal, mais la cohésion est suffisante pour maintenir la rigidité. Le solide amorphe est donc caractérisé par une viscosité qui croît rapidement lorsque la température diminue.

Comment mesure-t-on une viscosité à température ambiante ? Pour les «objets» liquides à température ambiante, la tâche est plutôt aisée : il suffit de mesurer la vitesse d'écoulement. Pour un matériau comme le verre, la tâche est plus délicate : on ne peut pas attendre des millions d'années qu'un litre de verre daigne s'écouler. Aussi, estime-t-on la viscosité du verre en extrapolant la viscosité mesurée à haute température, lorsqu'il est liquide, ou par l'utilisation de modèles empiriques.

En pratique, les mesures de la viscosité du verre liquide utilisent un visco-élastomètre : cet appareil enregistre la réaction du fluide à une vibration mécanique. En répétant la mesure avec du verre liquide à plusieurs températures



CNRS-Dereimble

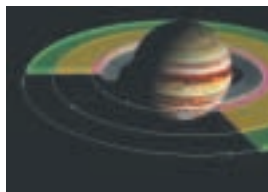
L'épaisseur des vitraux est variable, mais la partie inférieure de chaque morceau n'est pas toujours la plus épaisse.

La Terre gelée

Il y a 700 millions d'années, les océans terrestres auraient été, à plusieurs reprises, entièrement pris par les glaces : c'est l'hypothèse qu'avancent Paul Hoffman et ses collègues de l'Université Harvard pour expliquer le quasi arrêt de l'activité biologique qu'ils observent dans des sédiments de cette période prélevés en Namibie. La Terre ne serait sortie de son hibernation que grâce à une intense activité volcanique qui aurait augmenté la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone, gaz à effet de serre.

Les anneaux de Jupiter

Les sondes *Voyager*, lancées dans les années 1970, avaient révélé l'existence d'anneaux autour de Jupiter. La sonde



Galileo, en orbite depuis deux ans et demi autour de la planète géante, les a observés de plus près : les poussières qui composent les quatre anneaux proviennent des

plus petits satellites de Jupiter, Adrasteé, Métis, Amalthée et Thébé. Elles en ont été arrachées par les nombreuses collisions météoritiques qu'ils subissent.

Tourbe conservatrice

Une tourbière du Jura suisse a enregistré la concentration en plomb dans l'atmosphère depuis plus de 12 000 ans. W. Shotyk et ses collègues de l'Université de Berne y ont retrouvé les dates d'événements climatiques, telle la glaciation du Dryas récent, il y a 10 000 ans ; géologiques, telles les dernières éruptions volcaniques du Massif central, il y a 8 200 ans ; et historiques, telle l'apparition de la métallurgie du plomb, il y a 3 000 ans. On trouve aussi des traces de l'importation massive de minerai australien en Europe, depuis le début du XX^e siècle : le rapport des différentes formes du plomb varie.

Fausse gueule de bois

Comment réduire les accidents de la route dus à l'alcool ? En trompant le consommateur sur la quantité d'alcool absorbée. Deux chimistes suisses ont découvert que le galangal, une racine qui pousse en Asie occidentale, renforce le degré d'alcool apparent des boissons peu alcoolisées. Ils ont synthétisé des molécules identiques au composé actif de la racine. Lors de tests, les volontaires ont déclaré que les boissons qui contenaient ces molécules semblaient plus fortes que des boissons qui en étaient exemptes.

Suite page 26

et à plusieurs fréquences de vibration, on obtient une courbe de la viscosité en fonction de la température que l'on peut prolonger vers la température ambiante.

L'autre méthode consiste à modéliser, à l'aide de lois empiriques, le comportement fluide du verre à basse température. Ainsi, Edgar Zanetto, de l'Université de Sao Carlos, au Brésil, utilise l'expression empirique de la viscosité de Vogel-Fulcher-Tamman, établie dans les années 1930. Dans cette expression, le logarithme de la viscosité augmente de manière inversement proportionnelle à la température, avec des coefficients qui dépendent de la composition du verre. E. Zanetto a alors calculé ces coefficients numériques pour un verre médiéval qui provient de la cathédrale Saint-Gatien, à Tours.

Quelle que soit la méthode utilisée, les résultats sont semblables : on n'observe pas d'écoulement notable, à moins de chauffer le vitrail à plus de 400 °C. À température ambiante, le temps de relaxation visqueuse, c'est-à-dire le temps après lequel on observe un écoulement, est égal à 10^{32} ans, bien supérieur à l'âge de l'Univers !

Même si l'on considère que l'adjonction d'impuretés diminue la viscosité de quelques ordres de grandeur, le temps de relaxation reste trop grand. Le fait que dans les musées, les vases de verre, parfois vieux de 2 000 ans, ne coulent pas, corrobore ce résultat.

La caractéristique principale des vitraux médiévaux est leur irrégularité et le fait que leur épaisseur n'est pas constante, car, à l'époque de leur fabrication, ils étaient aplatis à la main. L'observation d'une épaisseur supérieure dans la partie inférieure des vitraux est-elle fondée ? Selon Jean-Jacques Burck, du Laboratoire des monuments historiques, à Champs-sur-Marne, on observe que les morceaux de vitraux sont placés dans tous les sens, avec la partie épaisse tantôt vers le haut, tantôt vers le bas ou sur le côté. Le mythe des vitraux coulant est mort.

Des expériences montrent cependant que le verre peut se déformer à température ambiante, de la même façon qu'un cristal, mais par un mécanisme élastique réversible, différent de la relaxation visqueuse. Au laboratoire de recherche de Saint-Gobain, René Gy a posé une charge de 400 kilogrammes sur une plaque de verre de quatre mètres de long et de 19 millimètres d'épaisseur. La plaque s'est initialement déformée, puis, au fil des jours, la déformation a augmenté de un pour cent de la flèche initiale. Après 200 jours, la charge a été retirée et la plaque est revenue lentement à son état de départ, quand aucune charge ne pesait sur elle.

Du soleil... sous les vignes

Les vignes reçoivent de la lumière solaire réfléchie par un revêtement posé sur le sol.

Les vendanges seront-elles bonnes ? L'ensoleillement a-t-il été suffisant ? Chaque année à la même époque, les viticulteurs se posent ces questions et y répondent en général positivement. Une innovation récente, la «solarisation artificielle», amplifie la quantité de lumière solaire reçue par les grappes. La lumière qui atteint le sol est renvoyée vers la plante par un revêtement réfléchissant.

Depuis 1991, le Laboratoire de biochimie métabolique de l'Institut des produits de la vigne, à Montpellier, étudie la maturation des grappes de raisin. Une partie de la lumière solaire est absorbée par le sol sans servir à leur maturation. Comment recycler cette lumière perdue, la renvoyer vers la plante ? Des viticulteurs, dans certaines régions, posaient traditionnellement sur le sol



Le revêtement réfléchissant est posé au pied des vignes.

des galets qui accumulaient de la chaleur pendant la journée pour la restituer durant la nuit.

Une première tentative sur des plants en pots, à l'aide de plaques métallisées, a été concluante : les propriétés gustatives et esthétiques des baies ont été améliorées. La méthode restait toutefois peu pratique et inapplicable à grande échelle. Jean-Pierre Robin et François-Xavier Sauvage, de l'INRA, ont alors utilisé des plaques souples de polystyrène, tapissées de papier d'aluminium, identiques à celles utilisées pour l'isolation thermique des bâtiments. Les fruits récoltés confirmaient les bons résultats, mais la mise en œuvre était très difficile et les plaques trop fragiles pour une utilisation en exploitation agricole.

Le revêtement doit être léger, impu-trescible, et diffuser la lumière dans toutes les directions pour que la lumière atteigne les grappes enfouies dans le feuillage. Il doit aussi être perméable à la pluie pour ne pas priver d'eau les pieds de vigne. Le passage d'engins agricoles ne doit pas l'endommager et son utilisation doit être simple, car il n'est pas placé en permanence et réutilisé plusieurs années consécutives. Le *Vitexsol* (abréviation de vigne, textile, sol et soleil), créé par la Société *MDB Texinov*, répond



à ces exigences. Il s'agit d'un revêtement mêlant fibres de polyéthylène et lamelles d'aluminium de trois millimètres de largeur. Fixé au pied des vignes par de petits piquets, il est placé entre l'éclosion des bourgeons et la maturation des fruits.

Lors des premiers essais, sur de petites parcelles, l'amélioration constatée par rapport à des parcelles témoins, porte à la fois sur le rendement et la qualité. Les baies sont plus grosses et moins acides, les grappes plus homogènes, la concentration en pigments responsables de la couleur est accrue, les tanins sont plus abondants, la quantité de sucre augmente de 20 à 30 grammes par kilogramme et, pour certains cépages comme le muscat, la quantité de substances aromatiques est supérieure. Les chercheurs supposent que l'augmentation de la photosynthèse due au surcroît d'ensoleillement (on gagne plus de 20 pour cent d'énergie lumineuse) amplifie l'activité des voies métaboliques, notamment la synthèse des composés aromatiques. Pour le raisin de table, les grappes sont plus attrayantes, plus appétissantes et plus sucrées. Pour le raisin de cuve, la couleur est plus intense et le titre alcoolimétrique augmente de un à deux degrés grâce au supplément de sucre dans le raisin.

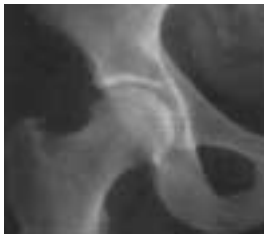
Ce revêtement empêche la prolifération des mauvaises herbes en occultant la lumière nécessaire à leur croissance de sorte que les quantités d'herbicide pulvérisées sur les vignes sont restreintes. La propagation de certaines maladies et du *Botrytis*, un champignon qui provoque la putréfaction des baies, en particulier, semble ralentie. Selon une étude réalisée sur le chardonnay de Limoux, le gain de fruits sains peut atteindre 40 pour cent. Le revêtement renvoie les ultraviolets qui, plus abondants, repousseraient les insectes vecteurs de ces maladies. La hausse de la température diminuerait l'humidité propice au développement du *Botrytis*.

Nombre de questions restent en suspens. Quels sont les relations entre la quantité de lumière et l'évolution de la vigne ? Existe-t-il une date optimale de pose ? La solarisation a-t-elle des effets sur les caractéristiques individuelles de chaque cépage ?

Les viticulteurs ne sont pas les seuls intéressés par ce procédé. Certains horticulteurs en envisagent l'utilisation pour la culture des roses. Il semble nécessaire d'éviter tout contact entre les feuilles et le revêtement sous peine de grave brûlure, mais, cette précaution prise, rien ne semble interdire d'étendre le procédé à d'autres cultures.

Réduction de fractures

Un traitement contre l'ostéoporose réduit de plus de moitié les risques de fractures de la hanche. Une étude réalisée auprès de 6 000 personnes a montré que l'alendronate réduit de 56 pour cent les risques de fractures de la hanche et de



49 pour cent ceux de la colonne vertébrale. Au Congrès européen sur l'ostéoporose, des épidémiologistes ont également annoncé que le raloxifène, un médicament de la classe des modulateurs sélectifs des récepteurs des estrogènes (SERM) réduit de moitié les risques de fractures de la colonne vertébrale chez les femmes atteintes d'ostéoporose.

Le comportement social du ver

Les vers *Caenorhabditis elegans* ont parfois un comportement solitaire, parfois un comportement grégaire. Une équipe de San Francisco a rassemblé des vers de 17 souches : mis en présence de bactéries, certains vers se ruent, ensemble, pour les dévorer, tandis que d'autres s'en détournent. L'équipe américaine a montré que les 12 voraces grégaires et les cinq solitaires ont deux versions différentes d'un même gène : les protéines codées par ces deux gènes ne diffèrent que par un seul acide aminé. La sociabilité des individus ne repose-t-elle que sur cette différence?

Peinture et métallurgie

La métallurgie est-elle la fille de la peinture? C'est l'hypothèse que A. Oddy, du *British Museum*, a proposé lors du congrès *Art & chimie* qui a eu lieu à l'École du Louvre. Les pigments utilisés par les hommes préhistoriques sont en effet surtout des oxydes minéraux et du charbon de bois. Le chauffage des oxydes, au départ sans doute pour faire varier les couleurs, permet, en présence de charbon de bois, leur réduction en métaux.

Mithridatisation par la lumière

Avec l'avènement de lasers de plus en plus puissants, les physiciens recherchent des matériaux qui résistent aux rayonnements lumineux intenses. Les physiciens du CEA ont découvert que certains matériaux, dont la silice, résistent mieux après avoir été soumis à des flux lumineux croissants. Ce conditionnement éliminerait les impuretés responsables de la dégradation.

Vieux jeu

Un jeu de balle pratiqué depuis 3 500 ans.

Les Espagnols qui conquièrent le Mexique, au début du XVI^e siècle, y découvrent un jeu, appelé tlachtli ou ulama, où deux équipes s'affrontent pour faire passer une balle de caoutchouc dans des anneaux en pierre, en la frappant du coude, de l'épaule, de la hanche ou du genou. Les quelques dizaines de joueurs qui le pratiquent encore aujourd'hui, sous une forme légèrement modifiée, savent-ils qu'ils perpétuent une tradition plusieurs fois millénaire? Un terrain, construit spécialement pour l'ulama, atteste qu'on y jouait déjà il y a 3 400 sur la côte Pacifique du Mexique et du Guatemala.

L'ulama se pratiquait sur un terrain plat, aménagé avec des structures maçonnées. Une allée centrale, de quelques dizaines de mètres de long sur quelques mètres de large, est longée par deux talus, de 30 à 80 centimètres de haut et de quelques mètres de large, dont les côtés extérieurs sont eux-mêmes surmontés de murets. Les probables modifications des règles au cours du temps n'ont jamais altéré profondément ce plan. Tout au plus des anneaux de pierre (des «buts»), sont-ils parfois fixés sur les deux murets, perpendiculairement à l'axe principal du terrain, notamment chez les Aztèques. En outre, l'interdiction du jeu par les Espagnols l'a aussi fait évoluer là où il a survécu : le terrain est devenu une simple esplanade sommairement délimitée. La



P.S. d'après E. Tallachire et T. Leyenaar



Wardwell/Chicago, Art Museum

Les joueurs d'ulama, jeu de balle apparu il y a plus de 3 400 ans au Chiapas, sur la côte Ouest du Mexique, ne frappaient la balle que du coude, de l'épaule, de la hanche ou du genou.

disparition des talus latéraux, qui permettaient de récupérer la balle avec le genou, ou la hanche en se baissant, a sans doute rendu plus acrobatique la pratique moderne.

En pratiquant ce jeu, les souverains accomplissaient des rites de fertilité agricole. Ainsi, chaque année, le roi de Copàn (ville aujourd'hui au Honduras) y affrontait-il symboliquement les puissances de l'infra-monde ; sa victoire, prévue, assurait la germination du maïs. Le terrain remplaçait parfois le champ de bataille : des récits espagnols racontent la partie qui opposa l'empereur aztèque Moctezuma à un roi voisin, pour le contrôle de chinampas, jardins artificiels très fertiles construits sur des lacs du bassin de Mexico. Moctezuma, mauvais perdant, fit assassiner son rival pour s'approprier ce qu'il n'avait pu acquérir par son agilité. Le jeu avait aussi une fonction divinitaire : Moctezuma joua pour connaître l'avenir de l'empire aztèque à l'arrivée des Espagnols.

Souverains et élites n'étaient probablement pas les seuls pratiquants : on a retrouvé des terrains près de sites de garnison à Oaxaca, dans une zone frontalière. Servaient-ils à l'entraînement militaire, à la distraction des soldats ou au règlement de conflits avec les populations frontalières voisines? Ces trois usages ne sont pas incompatibles.

À partir de 200 avant notre ère, on suit la diffusion et l'existence de l'ulama, par la construction de terrains, dans les nombreuses civilisations qui coexistent ou qui se succèdent dans la région. Où et quand le jeu est-il apparu? Les Olmèques, établis sur la côte Est du Mexique, utilisaient le caoutchouc dès 1200 avant notre ère, mais rien ne prouve qu'ils en aient fait des balles, et on n'a identifié aucun terrain sur leur territoire. En revanche, le terrain le plus ancien que nous connaissions, et qui vient d'être découvert par une équipe américaine, est à Paso de la Amada, dans le Chiapas, au Sud-Ouest du Mexique. Le seul autre terrain antérieur à 200 avant notre ère est dans la même région, à Abaj-Takalik au Guatemala : il est daté de 800 avant notre ère.

Selon Éric Taladoire, de l'Université Paris 1, cette localisation confirme l'importance culturelle des groupes Mixé-Zoque qui occupaient l'Ouest du Mexique et du Guatemala à l'époque.

Ces populations, qui ont par ailleurs perfectionné le système d'écriture en usage en Mésoamérique, auraient diffusé l'ulama au gré de leurs contacts avec les populations voisines,

y compris, en suivant la côte du Pacifique, jusqu'en Amérique du Nord.

Dopage bénéfique

Un nouveau matériau dopé assure la conservation des mémoires holographiques.

L'explosion de la quantité d'information numérique a stimulé la recherche des nouvelles méthodes de stockage des données. Une idée prometteuse date des années 1970 : elle consiste à utiliser des hologrammes, des motifs d'interférences «gelés» sur un support, ici créés par un laser dans un cristal. Un cristal de la taille d'un morceau de sucre pourrait emmagasiner sous forme d'hologrammes des milliers de milliards de bits d'informations, une densité de stockage bien supérieure aux possibilités actuelles des meilleurs disques magnétiques.

De surcroît, le temps d'accès aux données est très rapide. Pourtant, les mémoires holographiques ne sont pas encore viables commercialement. Une percée d'un groupe de l'Institut de technologie de Californie pourrait remédier à la situation. Un hologramme est créé lorsque deux lasers, dont l'un code les données, interfèrent. La figure d'interférence est enregistrée par un matériau photosensible, c'est-à-dire dont les propriétés optiques sont modifiées par les faisceaux lumineux. Pour lire l'hologramme, on envoie sur le cristal un faisceau laser. L'hologramme diffracte alors la lumière selon une figure qui contient l'information stockée. Toutefois, en lisant l'information, le laser «use» l'hologramme dont la mémoire s'efface peu à peu.

Toutes les méthodes élaborées pour faire durer les hologrammes sont imparfaites : l'une de ces techniques nécessite que le cristal soit chauffé, une autre requiert des lasers de forte puissance. Le groupe de l'Institut de technologie de Californie, dirigé par Demetri Psaltis, a découvert une méthode d'utilisation plus simple, fondée sur l'utilisation d'un cristal de niobate de lithium dopé au fer et au manganèse.

Lorsqu'ils sont excités par un rayonnement de longueur d'onde spécifique, ces atomes dopants libèrent des électrons qui sont captés par les atomes dopants voisins. Le champ électrique interne est alors modifié, et les atomes dopants enregistrent ainsi le champ électrique de l'hologramme. Le fer et le manganèse ne réagissent pas à la même longueur d'onde : le fer libère des électrons lorsqu'il est soumis à la lumière rouge ou ultraviolette, tandis que

Rallye-concours

Samedi 10 et dimanche 11 octobre

50 lots à gagner

dans le cadre de

La Semaine de La Science



Jeu : Sur la piste de la Science

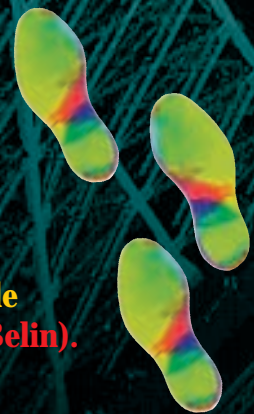
Découvrez, en marchant, un Paris scientifique inédit

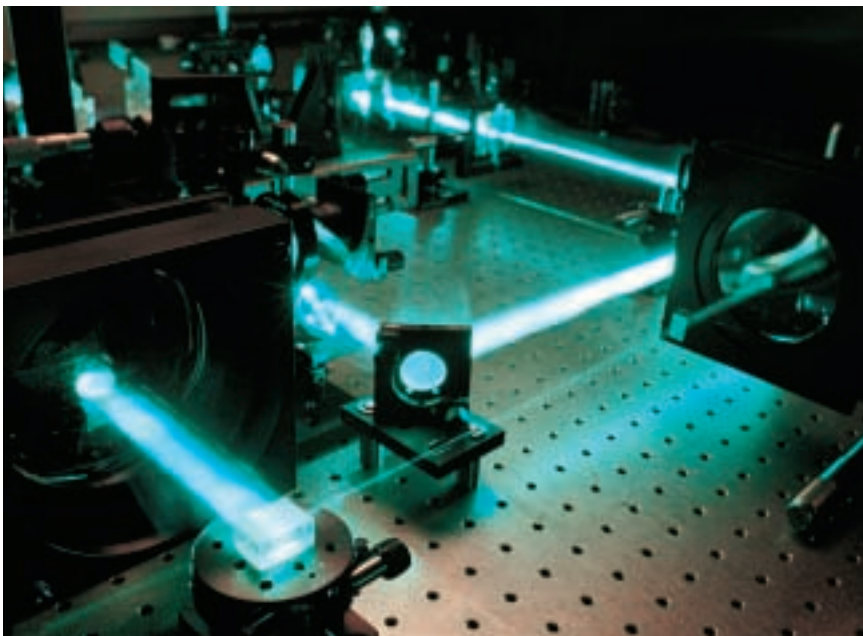
Départ entre 12 h 30 et 16 h
Square René Viviani, Paris 5^e

Participation gratuite

**Renseignements (répondeur) :
01 40 46 76 59**

**Un jeu conçu par
Sciences-ressources et inspiré par le
Guide du Paris savant (Éditions Belin).**





Charles O'Rear

L'enregistrement des mémoires holographiques est durable avec des cristaux de niobate de lithium (*bloc translucide, en bas*) dopés par des métaux.

le manganèse ne réagit qu'à la lumière ultraviolette.

Les physiciens ont découvert qu'ils pouvaient enregistrer des données durablement dans leur cristal en les éclairant par de la lumière ultraviolette en même

temps qu'ils enregistreraient l'hologramme avec deux faisceaux laser. Cette méthode assure que l'hologramme créé par les faisceaux laser rouges est enregistré à la fois par les atomes de fer et par les atomes de manganèse – bien

que le manganèse soit insensible à la lumière rouge.

Après cet enregistrement, la lumière ultraviolette est éteinte. L'hologramme résultant est lu par un faisceau laser rouge. La lumière rouge ne fait pas réagir les atomes de manganèse, de sorte qu'ils retiennent les données sans perte. Comme prévu le signal émanant des atomes de fer diminue durant la lecture, mais le nombre suffisant d'atomes de manganèse préserve l'intensité de l'hologramme même après de nombreuses lectures. On enregistre un nouvel hologramme en rallumant la source ultraviolette. Si la découverte de cette méthode est un pas important, le matériau n'est pour l'instant sensible qu'à de trop fortes intensités pour que la commercialisation soit envisageable. De surcroît, l'épaisseur d'un cristal nécessaire pour enregistrer de grandes quantités de données aggrave cette difficulté.

Cependant, D. Psaltis est confiant. Les cristaux doublement dopés utilisés jusqu'ici ont été fabriqués il y a 20 ans, et de meilleurs cristaux, en cours d'élaboration, centuplèrent les performances. Des cristaux doublement dopés au cérium à la place du fer sont particulièrement intéressants.

Tim BEARDSLEY

La plus ancienne tortue marine connue

Elle pleurait son sel.

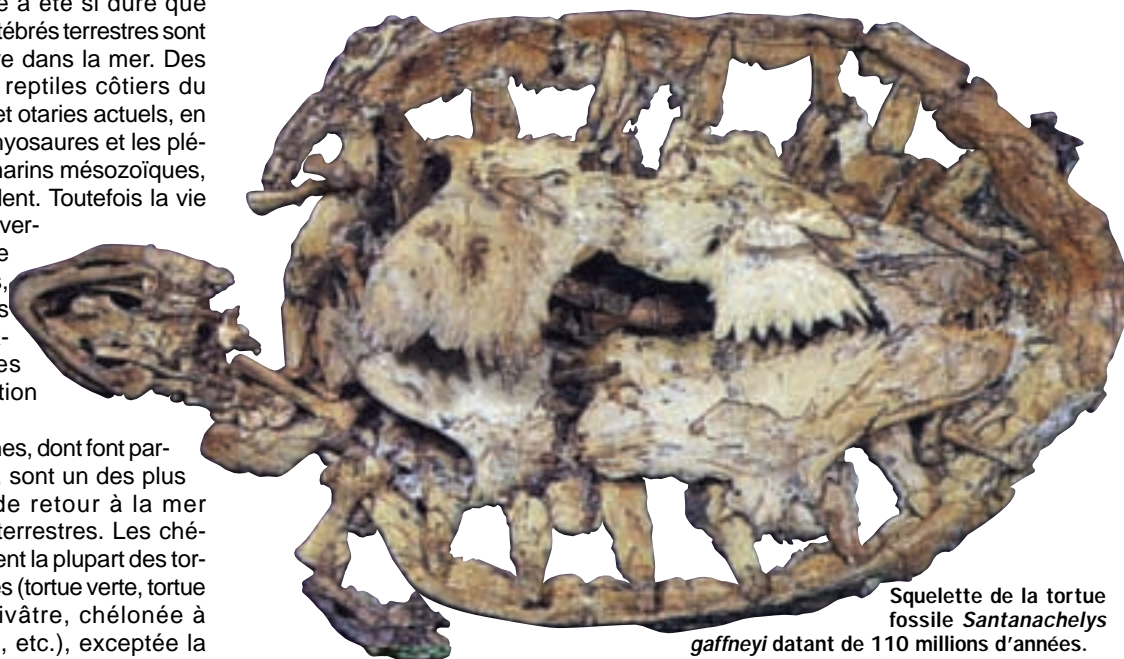
La vie sur terre a été si dure que nombre de vertébrés terrestres sont retournés vivre dans la mer. Des placodontes, reptiles côtiers du Trias, aux phoques et otaries actuels, en passant par les ichthyosaures et les plésiosaures, reptiles marins mésozoïques, les exemples abondent. Toutefois la vie dans la mer, pour les vertébrés terrestres, pose bien des problèmes, parmi lesquels les plus importants sont l'excrétion du sel et les moyens de locomotion aquatiques.

Les tortues marines, dont font partie les chélonioïdes, sont un des plus beaux exemples de retour à la mer chez les vertébrés terrestres. Les chélonioïdes comprennent la plupart des tortues marines actuelles (tortue verte, tortue caret, chélonée olivâtre, chélonée à dos plat, caouanne, etc.), exceptée la

tortue luth. On sait que les chélonioïdes se sont diversifiés au cours du Crétacé supérieur (il y a 100 à 65 millions d'années), mais les données fossiles antérieures au Crétacé supérieur étaient rares. La nouvelle découverte d'une tortue marine fossile, récem-

ment décrite par Ren Hirayama, de l'Université Teikyo Heisei au Japon, a repoussé de quelque dix millions d'années dans le passé l'histoire des chélonioïdes et précisé leur évolution.

Cette nouvelle tortue chélonioïde fossile, provenant de la for-



J. Tong

Squelette de la tortue fossile *Santanachelys gaffneyi* datant de 110 millions d'années.

mation Santana (Crétacé inférieur, il y a 110 millions d'années) dans la partie Nord-Est du Brésil, représente un nouveau genre et une nouvelle espèce, *Santanachelys gaffneyi*. C'est une petite tortue dont le squelette ne mesure que 20 centimètres de longueur. Le squelette fossile, presque complet, est parfaitement conservé.

L'examen de ce chélonioïde primitif révèle deux aspects liés à des phénomènes évolutifs d'importance capitale. Premièrement, cette petite tortue crétacée du Brésil possède un grand foramen interorbitaire. Cette cavité contient, chez les tortues marines, les glandes lacrymales, situées en arrière du cerveau. La plupart des vertébrés marins sont confrontés en permanence à des problèmes de perte d'eau et d'excès de sel. Les vertébrés marins qui ont eu des ancêtres terrestres ont des liquides corporels moins salés que l'eau de mer, et la réalimentation en eau de mer augmente la teneur en sel du corps. Or les reins des reptiles marins, les tortues marines par exemple, ne sont pas capables d'éliminer cet excès de sel. Pour survivre dans la mer, y manger et y boire, les tortues marines ont un ingénieux dispositif d'excrétion du sel résultant d'une importante modification des glandes lacrymales situées autour de l'œil : ces glandes sont beaucoup plus grandes que le cerveau. La présence d'un grand foramen interorbitaire chez la tortue brésilienne indique le développement des glandes lacrymales, et donc l'apparition de ce dispositif d'excrétion du sel.

Deuxièmement, les membres de cette tortue brésilienne constituent des palmes primitives, dont les doigts sont encore mobiles, comme chez les tortues d'eau douce. Chez les tortues marines actuelles, les membres antérieurs et postérieurs sont transformés en véritables nageoires et les doigts sont devenus rigides pour rendre la nage plus efficace.

Ce chélonioïde primitif est le plus ancien représentant connu de la famille des Protostegidae, dans laquelle on place la fameuse *Archelon* du Crétacé supérieur d'Amérique du Nord, la plus grande tortue marine connue, qui vivait il y a environ 75 millions d'années et dont la carapace peut dépasser deux mètres de longueur. Il est aussi le premier représentant de cette famille à être signalé en Amérique du Sud. L'étude de ce spécimen remarquable indique qu'au cours de l'évolution des tortues marines, le dispositif d'excrétion du sel, et donc l'occupation d'un habitat marin, est apparu avant l'apparition de nageoires rigides.

Haiyan TONG

Un virus de cheval

Certaines personnes atteintes de schizophrénie ou de dépression ont, dans leur sang, des anticorps dirigés contre le virus de la maladie de Borna.

Un agent pathogène est généralement spécifique d'une espèce : une « barrière d'espèce » protège chaque espèce des micro-organismes qui infectent les autres espèces. Pourtant, des rongeurs, des oiseaux ou encore de petits primates peuvent être contaminés par un même virus, le virus de la maladie de Borna ou Bornavirus, agent pathogène qui franchit les barrières d'espèces.

À la fin du XIX^e siècle, une épidémie a dévasté l'écurie de Borna, une ville de garnison de Saxe, en Allemagne. La maladie frappe de façon sporadique, notamment dans les fermes du Sud-Ouest de l'Allemagne, et l'infection a été identifiée chez d'autres animaux domestiques, tels le mouton, la vache ou le chat. Le virus responsable de la maladie, nommé BDV (d'après l'anglais *Borna Disease Virus*, c'est-à-dire le virus de la maladie de Borna), a été isolé en 1972 et séquencé en 1994. Selon l'animal, les symptômes varient, mais une infection par le virus de la maladie de Borna déclenche des mouvements anormaux, un comportement agressif ou une hyperactivité. Cette phase est suivie d'une phase apathique et somnolente. Certains animaux deviennent obèses. En phase terminale, l'animal est totalement paralysé. Toutefois, une infection par le Bornavirus ne signifie pas nécessairement que l'animal soit malade : il existe une proportion notable de porteurs sains, des animaux asymptomatiques, chez qui l'on détecte des anticorps contre le virus.

Diverses données expérimentales indiquent que le virus pénètre dans l'organisme par la voie respiratoire et infecte d'abord l'épithélium neuro-olfactif. Il gagne ensuite le système nerveux central en cheminant par les neurones. Il se multiplie surtout dans la région limbique du cerveau, qui participe au contrôle des comportements. Il infecte les neurones, puis les autres cellules du cerveau (les cellules gliales et les astrocytes). Il déclenche des réactions immunitaires violentes dans le cerveau des animaux malades, ce qui serait la principale cause des symptômes observés. Quand on marque le virus par des anticorps, on le trouve localisé sur les neurones qui por-

tent les récepteurs de certains neuromédiateurs, notamment ceux du glutamate. De plus, le virus perturbe le système de signalisation chimique utilisé par les neurones pour communiquer, notamment le système de la dopamine.

Après avoir été infectés, les neurones expriment à leur surface des molécules du complexe majeur d'histocompatibilité de classe I. Ces molécules du soi, associées aux antigènes viraux présents à la surface des neurones infectés, rendent ces neurones sensibles à l'action destructrice des lymphocytes T cytotoxiques. Le Bornavirus est un virus persistant et, même quand le système immunitaire s'épuise et que l'inflammation cesse, le virus continue à se multiplier. De surcroît, comme l'ont montré Daniel Gonzalez-Dunia et ses collègues de l'Institut Pasteur, le Bornavirus perturbe directement le fonctionnement des neurones, indépendamment de leur destruction par les réactions inflammatoires.

On ignore généralement l'origine des maladies psychiatriques et notamment des deux les plus fréquentes, la schizophrénie et la maladie maniaco-dépressive. Or, plusieurs études ont montré, d'une part que le Bornavirus infecterait l'homme et que, d'autre part, près d'une personne sur cinq, en hôpital psychiatrique, a des anti-



À la fin du XIX^e siècle, les chevaux de Borna, une ville de garnison allemande, ont été anéantis par un virus encore inconnu alors et qui fut nommé Bornavirus.

corps dirigés contre le Bornavirus ; cette proportion atteindrait même 37 pour cent chez les personnes ayant un syndrome dépressif grave (dans la population générale, moins de deux pour cent des personnes ont des anticorps contre le Bornavirus).

Ces maladies psychiatriques ont une origine complexe qui fait intervenir de nombreux facteurs. Elles se déclencheraient chez des personnes génétiquement prédisposées (plusieurs gènes sont vraisemblablement nécessaires). Des facteurs environnementaux, tels des agents pathogènes, pourraient intervenir. Cela expliquerait pourquoi deux « vrais » jumeaux (homozygotes) n'ont pas la même susceptibilité à ces maladies.

Plusieurs questions restent ouvertes : quel est le mode d'infection ? Existe-t-il un réservoir animal à l'origine de la contamination humaine, et de quel animal s'agirait-il ? Le Bornavirus est-il en cause dans les maladies psychiatriques ? Le virus n'infecte-t-il que les neurones ou a-t-il d'autres cibles, notamment des cellules sanguines ? Ainsi certaines personnes ont des anticorps dirigés contre le Bornavirus, ce qui indique un contact ancien avec le virus ; chez d'autres on détecte de l'ARN viral dans le sang, ce qui révèle une contamination récente, le virus continuant à

se multiplier, donc à produire de l'ARN qui sert à la fabrication de protéines virales, assemblées en nouvelles particules virales. Si le virus est persistant, on devrait trouver sans cesse des traces d'ARN viral ce qui n'est pas le cas (à moins qu'on ne le recherche pas là où il se trouve).

Les réponses s'accumulent, mais ne font souvent qu'éliminer certaines hypothèses. Ainsi, selon une étude menée au Japon, les personnes qui consomment de la viande de cheval peu cuite n'ont pas d'anticorps contre le Bornavirus, bien que certains chevaux soient porteurs du virus : la consommation de viande de cheval ne favorise pas la contamination.

Marie-Édith LAFON, Laboratoire de virologie, CHU Pellegrin - Bordeaux II



EAS-TOP

Des détecteurs répartis sur le sol (ici au Gran Sasso, en Italie) enregistrent les particules créées par les rayons cosmiques de haute énergie qui percutent les atomes de l'atmosphère. Le détecteur Auger, en construction en Argentine et aux États-Unis, couvrira une surface au sol de 5 000 kilomètres carrés.

Désintégration de cryptons

La désintégration de particules primitives produirait les rayons cosmiques les plus énergiques.

Depuis 30 ans, l'observation de rayons cosmiques aux énergies extrêmes déroutent les physiciens. D'où viennent ces particules dont l'énergie est des dizaines de millions de fois celle des particules produites dans les accélérateurs les plus performants ? Selon Michael Birkel et Subir Sarkar, de l'Université d'Oxford, elles résulteraient de la désintégration de particules très massives créées après le Big Bang : les cryptons.

Les rayons cosmiques les moins énergiques, très nombreux, sont détectés directement par des satellites. En revanche, les rayons cosmiques de haute énergie

sont rares, et on les détecte indirectement en analysant les gerbes de particules qu'ils produisent par collision avec les atomes de la haute atmosphère. Depuis 1962, seulement douze gerbes correspondant à des particules d'énergie supérieure à 10^{20} électronvolts (soit 16 joules, du même ordre de grandeur que l'énergie d'un ballon de football lors d'un penalty) ont été enregistrées. Sur cette base, les astrophysiciens estiment que moins d'un rayon cosmique d'énergie supérieure à cette énergie pénètre dans un kilomètre carré d'atmosphère chaque siècle.

Ces rayons cosmiques de haute énergie sont peut-être des protons, mais on ignore leur nature. Proviennent-ils d'objets cosmiques lointains, tels les quasars et les galaxies radio ? Vraisemblablement pas : en raison des interactions (donc des pertes d'énergie) avec les photons du fond diffus cosmologique, l'Univers devient opaque aux rayons cosmiques de haute énergie à partir d'une distance de 300 millions d'années-lumière. Ainsi, ces rayons cosmiques doivent provenir d'une distance inférieure à 300 millions d'années-lumière. Or, aucune source plausible n'a été observée jusqu'à ces distances.

Pour contourner ce problème, les astrophysiciens ont imaginé que ces rayons cosmiques proviennent de la désintégration de particules massives proches, créées au début de l'Univers. À la fin de l'inflation, la période d'expansion très rapide qui a suivi le big-bang, des particules massives se sont formées. Prévues par la théorie des cordes, selon laquelle toutes les particules sont décrites comme des vibrations d'objets à une dimension, ces particules massives formeraient la plupart de la matière noire de l'Univers.

De la même manière que les quarks s'assemblent pour former les protons ou les neutrons, ces particules à la charge électrique fractionnaire s'assemblent pour former des cryptons, de charge entière. Il est difficile de prédire exactement combien de ces particules survivent depuis le big-bang, mais les théoriciens estiment que si leur masse est égale à environ 1 000 milliards de fois la masse du proton, leur désintégration expliquerait la répartition des rayons cosmiques de très haute énergie détectés sur Terre.

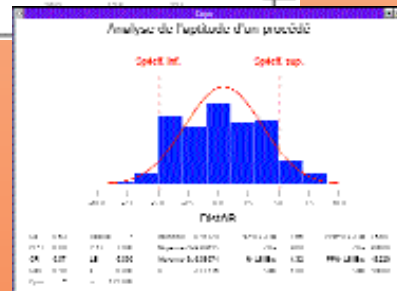
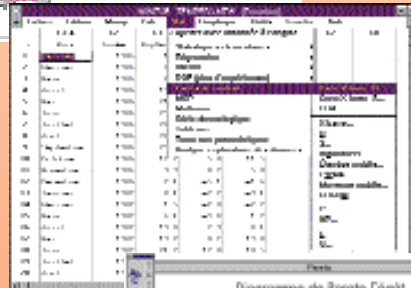
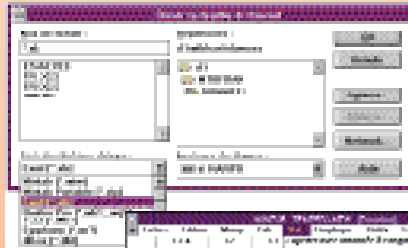
Depuis trois ans, de nombreux théoriciens cherchent à expliquer l'origine des rayons cosmiques de haute énergie par la désintégration de particules massives. Ces supputations de théoriciens subiront l'épreuve de l'expérience à l'aube du prochain millénaire : à l'aide de l'Observatoire international Auger, le gigantesque détecteur de rayons cosmiques en construction en Argentine et aux États-Unis, les astrophysiciens seront en mesure de tester leurs théories.

MINITAB®

Logiciel de Statistiques

Analysez facilement vos données.

Contactez nous:
08 00 77 72 00
 E-Mail: bienvenue@minitab.fr
<http://www.minitab.com>



MINITAB SARL 
 L'analyse des données simplifiée

Minitab SARL, 1 Cité Paradis, 75010 Paris
 Tél: 01 55 33 12 36 Fax: 01 55 33 12

Toutes les noms produits et les marques déposées sont de leurs compagnies respectives
 © Minitab Inc., 1996 MINITAB est une marque déposée de Minitab Inc.

Les manchots

Coopération sous-marine?

Les manchots sont aussi populaires, que mal connus, même des naturalistes. Les explorateurs ont décrit les manchots comme des êtres hybrides, mi-poissons, mi-oiseaux, incapables de voler. Au début du XIX^e siècle, Jules Dumont d'Urville nous livre ses impressions : «Cet oiseau-poisson, [...] est organisé de façon à pouvoir plutôt nager que voler. Au lieu d'ailes, il a deux nageoires aplaties, et son corps est couvert d'un feutre serré, plutôt semblable à de la soie qu'à de la plume ; on dirait même que ses petites rames sont couvertes d'écailles.» L'étude des manchots a révélé un comportement de recherche de nourriture inattendu.

L'observation de ces oiseaux montre qu'il faut rapprocher les manchots non pas des Ratites (autruches, émeus...), comme leur inaptitude au vol l'inciterait à supposer, mais plutôt des Procellariiformes (albatros et pétrels), qui sont d'excellents voiliers. En effet, les manchots ne volent

pas dans l'air, mais dans l'eau : toutes leurs caractéristiques contribuent à leur adaptation à ce milieu : leur morphologie, musculature, ossature, plumage, vue, ainsi que leur physiologie. Les manchots ne sont plus envisagés comme des êtres hybrides, mais comme des spécialistes du milieu marin, issus de 50 millions d'années d'évolution.

Cette capacité à plonger leur offre la possibilité de rechercher leur nourriture (poissons, crustacés, calmars) là où les autres oiseaux ne vont pas. L'acquisition de nouvelles ressources a sans doute constitué une pression de sélection importante, probablement à l'origine de la divergence de ce groupe d'oiseaux par rapport à leurs cousins Procellariiformes.

Les manchots passent plus de 70 pour cent de leur temps en mer, ce qui rend leur étude très difficile. Depuis une décennie, la miniaturisation de l'électronique permet d'enregistrer les comportements à distance à l'aide de différents appareils électroniques miniaturisés (balises ARGOS, sondes stomacales, émetteurs VHF, capteurs de pression, enregistreurs d'activités...). Pour cette étude, nous avons utilisé des enregistreurs de plongée, dont nous récupérons les informations à l'aide d'un ordinateur. L'enregistreur est profilé et collé au bas du dos des animaux afin de minimiser les perturbations hydrodynamiques, puis il est délicatement récupéré, sans abîmer le plumage, lorsque l'oiseau regagne sa colonie. Nous avons ainsi équipé plusieurs femelles de gorfous sauteurs d'une même colonie à la veille de l'un de leurs départs en mer journaliers.

L'île d'Amsterdam (37°50' Sud, 77°31' Est – zone subtropicale de l'océan Indien) n'abrite qu'une seule espèce de manchots : le gorfou sauteur, *Eudyptes chrysocome moseleyi* (voir la photographie). C'est l'un des plus petits manchots (environ deux à trois kilogrammes pour 50 centimètres de hauteur). Après la ponte, lors de l'élevage des jeunes poussins, seules les femelles chassent pour les

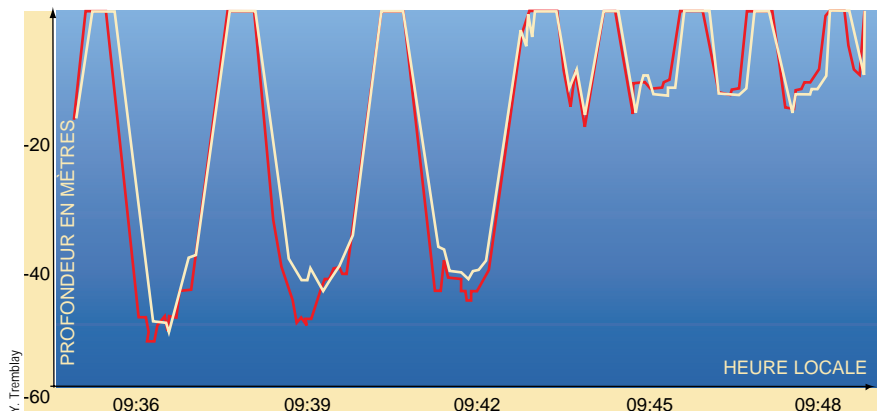
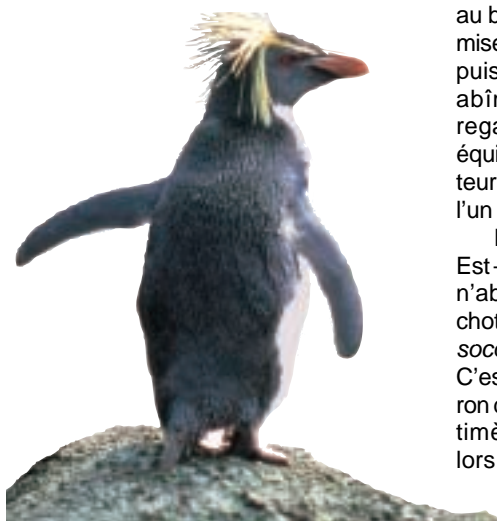
nourrir, les mâles restant sur la colonie pour les protéger. Les femelles se rassemblent le matin au lever du jour, partent en mer par petits groupes, et reviennent le soir pour régurgiter leur pêche à leur progéniture.

Sur cinq femelles que nous avons équipées en même temps d'enregistreurs de plongée, deux ont effectué ensemble près de 300 plongées. Elles ne sont pas partie de la colonie en même temps, mais elles se sont rejointes en mer après une heure de déplacement et ont alors plongé ensemble pendant sept heures (60 pour cent du temps passé en mer). L'écart entre deux plongées synchrones était rarement supérieur à quatre secondes, et la différence de profondeur qui les séparait était souvent inférieure à un mètre, qu'elles plongent à 10 mètres ou à 50. Elles sont donc restées en contact visuel sous l'eau tout au long de leur période de chasse, et lors de la plongée, leurs positions respectives étaient intangibles. L'une d'elles plongeait la première et se trouvait quasi systématiquement au-dessous de l'autre au-delà de 25 mètres. Ainsi, les manchots sont très coordonnés et coopèrent quand ils plongent pour chasser ; les deux femelles se nourrissent des mêmes types de proies, essentiellement des crustacés de petite taille (du krill) et quelques petits poissons et calmars.

Ces expériences montrent pour la première fois que certains manchots se comportent collectivement sous l'eau, probablement pour déjouer les tactiques antiprédatrices de leurs principales proies. Celles-ci échappent à leurs prédateurs en se sauvant brusquement et de façon imprévisible, créant une confusion chez le prédateur. La coopération augmente probablement l'efficacité individuelle de capture des manchots en maintenant, par leur présence concertée, la cohésion des proies au sein d'un banc (cette tactique a été observée chez les orques).

Ces résultats complètent les observations de manchots à la surface de l'eau, où ils sont souvent observés en petits groupes. Le coût des enregistreurs diminuant, il sera bientôt possible d'équiper tous les membres d'une petite colonies de manchots et de compléter cette étude afin d'approfondir notre connaissance des comportements coopératifs et de leur évolution dans le monde animal. En effet, ces comportements ne se rencontrent pas seulement chez l'homme ou les mammifères ; ils ont été observés aussi chez des oiseaux, des insectes, des poissons, des batraciens et même des crustacés terrestres (cloportes) qui n'ont pourtant que quelques centaines de cellules nerveuses dans leurs ganglions cérébraux !

Yann TREMBLAY et Yves CHEREL
Centre d'études biologiques de Chizé



Les plongées de deux femelles gorfous sont synchrones (en bas). En haut, un Gorfou sauteur (océan Indien).