

Le chant d'amour des drosophiles

Pour séduire leur partenaire, les drosophiles mâles chantent avec leurs ailes.

Les drosophiles mâles séduisent les femelles... en chantant. Le chant de cour, grésillement ténu inaudible pour l'oreille humaine, ne résulte pas d'une improvisation romantique mais suit, au contraire, un rythme précis et propre à chaque espèce. Depuis les années 1960, de nombreuses équipes, notamment celle de H. Bennet-Clark, en Angleterre, s'intéressent à la communication acoustique chez ces mouches. Pour «chuchoter des mots doux», le mâle déploie une aile – parfois les deux – et la fait vibrer. La femelle «écoute» par l'intermédiaire d'un segment d'antenne sensible aux variations de pression de l'air. Quel est le rôle du signal acoustique dans la parade nuptiale ? Fanny Rybak, Bruno Moulin et Thierry Aubin, du laboratoire de neurobiologie de l'apprentissage et de la mémoire du CNRS, à la Faculté des sciences d'Orsay, ont mis au point une technique d'enregistrement du chant de cour, et montré que la communication acoustique joue un rôle essentiel dans la reconnaissance des partenaires.

Le rituel de la parade nuptiale de la drosophile, qui dure de une à dix minutes, est très précis et comporte divers signaux, visuels, tactiles, chimiques et acoustiques. Le mâle commence par s'orienter vers la femelle, puis, avec une patte antérieure pourvue de récepteurs gustatifs, se renseigne sur son identité, en touchant l'abdomen qui porte des substances chimiques, les phéromones. Il écarte alors une aile et la fait vibrer. Après quelques refus, la femelle finit par écarter ses plaques génitales et accepter l'accouplement.

Le chant de cour du mâle est constitué de deux types de signaux distincts, le chant pulsé et le chant sinusoïdal. Le chant pulsé est une succession d'unités sonores simples émises en rafales. C'est toujours la même unité qui est répétée, une douzaine de fois au plus. L'intervalle qui sépare deux unités est caractéristique de l'espèce : il est égal à



35 millisecondes chez *Drosophila melanogaster*, et à 56 millisecondes chez *Drosophila simulans*, par exemple. Le chant sinusoïdal est une onde sinusoïdale régulière, une sorte de bourdonnement. Les deux signaux peuvent être émis isolément, successivement ou, parfois même, simultanément.

Le chant de cour ne porte qu'à très courte distance, tout juste à quelques millimètres. Au laboratoire, les deux partenaires sont placés dans une petite chambre acoustique bien isolée : l'équipe d'Orsay enregistre, d'une part, les bruits émis par le couple de drosophiles et le bruit de fond, et, d'autre part, uniquement ce bruit de fond. La soustraction des signaux des deux enregistrements simultanés permet à F. Rybak et à T. Aubin d'isoler les signaux spécifiquement émis par le couple. Ils ont ainsi confirmé que les femelles sont presque insensibles aux variations de fréquences des deux types de chants, mais qu'elles sont très sensibles à l'intervalle de temps qui sépare les unités sonores à l'intérieur d'une même rafale du chant pulsé et à la durée de chaque rafale, c'est-à-dire au nombre d'unités sonores par rafale.

Toutefois, une question restait ouverte : lors de la parade nuptiale, l'attitude des femelles est-elle dictée plutôt par les signaux acoustiques (le chant) ou par les signaux chimiques (les phéromones) ? Pour dissocier odeurs et chant, l'équipe d'Orsay a réussi à obtenir des mâles muets et des mâles sans odeurs. S'il est aisé d'obtenir des mâles muets – il suffit de leur couper les ailes –, l'élimination des substances responsables des odeurs était plus difficile.

On a montré que le gène «transformeur», participe à la différenciation sexuelle et à la production des phéromones. Son expression peut être inhibée à volonté lorsqu'il est associé à un gène codant une protéine de choc thermique. Ce dernier n'existe pas naturellement dans le génome des drosophiles. F. Rybak, Gilles Sureau et T. Aubin l'ont inséré dans le génome des parents des mâles utilisés pour l'expérience : en faisant subir aux drosophiles un choc thermique à 37 °C, on déclenche l'expression de la protéine de choc thermique, laquelle inhibe la synthèse des phéromones : ils ont ainsi obtenu des mâles sans odeurs, mais qui ont une parade normale, chantent et s'accouplent.

Les expériences ont révélé que les femelles sont plus sensibles aux signaux acoustiques qu'aux signaux chimiques. La communication acoustique semble être un mécanisme clé de reconnaissance de l'espèce, qui évite les accouplements entre espèces différentes.

Marie-Thérèse LANDOUSY

Éclaircies sur Titan

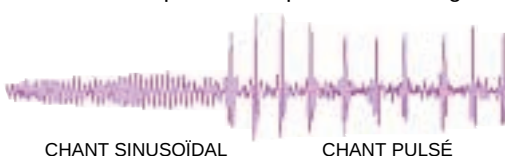
Bulletin météo sur Titan : importants passages de nuages de méthane.

Une partie du voile vient de se lever sur Titan, la plus grosse des 22 lunes de Saturne, jusqu'à présent masquée par d'épaisses brumes orange, opaques en lumière visible. Caitlin Griffith, de l'Université d'Arizona, a observé son atmosphère grâce au télescope infrarouge Keck, à Hawaii : des gros nuages s'y forment, y circulent, et se dissipent en quelques heures. Il pleut sur Titan, mais les pluies qui s'y abattent sont des pluies de méthane !

L'atmosphère de Titan se compose d'azote (95 pour cent), d'argon, d'hydrogène et d'hydrocarbures, ce qui la rend similaire à l'atmosphère de la Terre primitive. Elle contient en outre deux à quatre pour cent de méthane, ce qui intriguait les astronomes. En effet, Titan est bombardée de photons, dont la densité est cent fois inférieure à celle qui atteint la Terre. Ils sont toutefois assez nombreux pour décomposer le méthane en molécules organiques, des aérosols qui retombent sur Titan. Le méthane aurait dû disparaître peu à peu de l'atmosphère, et les réserves devraient être épuisées depuis 4,5 milliards d'années d'après les estimations des astronomes ! Or ce n'est pas le cas.

La partie basse de l'atmosphère (la troposphère) contient dix pour cent de méthane et les couches supérieures environ deux pour cent. Par conséquent, les réserves de méthane atmosphérique se renouvellent. Comment ? La découverte de nuages montrerait l'existence d'un cycle du méthane, similaire au cycle de l'eau sur Terre. Le méthane s'évaporerait du sol, peut-être de lacs ou de réserves dans un sol poreux. Il se condenserait dans la troposphère et formerait des nuages à une altitude de 15 kilomètres. Puis, il pleuvrait.

Toutefois, les nuages se condensent sur la Terre grâce à des germes (pollens, sels...) bien sûr inexistantes sur Titan. Les astronomes expliquent alors le cycle du méthane grâce à une autre hypothèse, proposée par Régis Courtin, à l'Observatoire de Meudon. Selon lui, les couches basses de l'atmosphère seraient saturées en méthane, et lorsque la tension de vapeur saturante serait atteinte, le méthane passerait de l'état gazeux à l'état liquide et de grosses gouttes retomberaient sur le sol. Enfin, selon d'autres astronomes, l'atmosphère de Titan serait tellement instable



La structure du chant est un signe de reconnaissance chez les drosophiles.

Adam et Ève ne se sont pas croisés

Notre «père» ancestral aurait 80 000 ans de moins que notre «mère», d'après une étude génétique de l'équipe de Peter Oefner, de l'Université Stanford. L'ADN contenu dans de petits organites cellulaires nommés mitochondries est uniquement transmis par la mère, tandis que le chromosome sexuel Y est transmis de père en fils. En analysant ces deux marqueurs, les généticiens ont retracé notre arbre généalogique. Aujourd'hui, tous les êtres humains ont un ADN mitochondrial issu de l'Ève mitochondriale, qui vivait il y a 140 000 ans. En revanche, l'Adam porteur du premier chromosome Y, dont est issu le chromosome sexuel de l'homme moderne, a vécu bien plus tard, il y a 50 000 à 70 000 ans.

La température de la couronne

Les astronomes savaient que l'atmosphère externe du Soleil, la couronne, est des centaines de fois plus chaude que la surface solaire, mais s'interrogeaient sur le mécanisme de chauffage. Des images



de cette couronne enregistrées par la sonde TRACE ont apporté des indices. Elles révèlent que chaque boucle (des «geysers» de gaz d'atomes de fer ionisés qui jaillissent et s'élèvent à des centaines de milliers de kilomètres) est constituée de

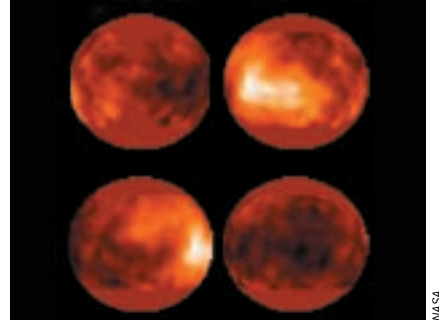
nombreuses boucles fines. Contrairement à ce que l'on pensait, ces boucles seraient chauffées par leur base, près de la surface solaire, passant de 5 800 °C à plusieurs millions de degrés.

Synthèse vocale et accents

Un ordinateur saura-t-il prononcer *Debreuil* quand il lira *De Broglie*? La synthèse vocale est mise en défaut aussitôt qu'elle traite des noms propres, par exemple des noms de rues lors de la navigation assistée en voiture. Afin de tenir compte des particularités de prononciation, une Société belge la *Phonetic Topographics* a introduit une étape supplémentaire dans le procédé de synthèse vocale. Au lieu de transcrire directement les noms propres écrits en codes lus, puis énoncés par l'ordinateur, chacun des noms est transcrit en phonétique par des linguistes. On a demandé à des personnes de reconnaître des noms propres énoncés par l'ordinateur : avec le nouveau traitement, la reconnaissance des noms propres est notablement améliorée.

qu'elle s'effondrerait périodiquement avant de se recréer.

Le vaisseau *Cassini* devrait apporter des informations sur ce phénomène. Il a quitté la Terre le 15 octobre 1997 en direction de Saturne et transporte le module *Huygens* destiné à être parachuté à la surface de Titan en 2004. Outre la question de la présence de méthane dans l'atmosphère de Titan, c'est aussi celle de l'origine de la vie qui est en suspens. Même si les basses températures et l'absence d'eau liquide sur Titan ne semblent pas permettre l'apparition de la vie telle que nous la connaissons, Titan constitue néanmoins un



Vues de la surface de Titan photographié en infrarouge par Hubble. Les zones les plus brillantes, seraient des régions de relief élevé.

laboratoire naturel où s'élaborent et évoluent des molécules organiques complexes, qui, sur la Terre ont été le préambule à l'apparition de la vie.

Virus canin, tueur de phoques

Un virus canin a été responsable de la mort de 20 000 phoques, l'été dernier.

Un virus canin, responsable de la maladie du jeune chien, la maladie de Carré, a causé la mort de 20 000 phoques de la mer Caspienne, l'été dernier. Comment ce virus s'est-il transmis ? Comment a-t-il franchi la barrière qui sépare des espèces si éloignées ? Est-il le seul facteur de l'épidémie ? Autant de questions qui agitent la communauté des biologistes.

Les phoques de la mer Caspienne, *Phoca caspica*, étaient environ un million, au début du XX^e siècle ; ils ne seraient plus aujourd'hui que 400 000. Répertoriés par l'organisation mondiale de la protection de la vie sauvage comme une espèce menacée, les phoques ont commencé à mourir par centaines dès le mois d'avril,



après leur hivernage au Nord de la mer Caspienne. Cette mer, la plus grande mer intérieure du monde, est aussi l'une des plus polluées : de fortes concentrations de substances toxiques telles que des métaux lourds, des pesticides (DDT, PCB) et des dioxines issues de diverses activités industrielles et agricoles, y ont été enregistrées. À tel point que les biologistes ont d'abord accusé les usines qui bordent les côtes de la mer Caspienne. Cependant, les experts sont formels : la pollution ne peut être tenue pour seule responsable de la mortalité observée.

Une équipe conduite par le biologiste irlandais, Seamus Kennedy a étudié des échantillons de tissus prélevés sur 16 phoques morts : les examens ont révélé la présence d'un morbillivirus, dont le représentant le plus connu est celui de la rougeole. Une étude approfondie a révélé que le génome du virus ravageur est identique à celui du virus de la maladie de Carré, appartenant au genre morbillivirus. Les morbillivirus connus infectent les cellules épithéliales, les cellules nerveuses et les cellules du système immunitaire des animaux.

De précédentes contaminations de phoques par des morbillivirus provenant du chien domestique ont déjà été observées. Ces précédents, d'une moins grande ampleur, semblent indiquer la présence du virus à l'état latent dans la population des phoques de la mer Caspienne, ou des transmissions répétées à partir d'un «réservoir».

La sensibilité des phoques à ce virus a sans doute été favorisée par la pollution qui règne dans les eaux de la mer Caspienne et qui entraîne une baisse des défenses immunitaires augmentant leur vulnérabilité. Cette infection est un nouvel exemple non pas de l'émergence de nouvelles maladies, mais de la transmission d'anciennes maladies à de nouvelles espèces, qui ne sont pas préparées pour combattre ces micro-organismes.

Porcelaines vietnamiennes

La spectroscopie Raman révèle les techniques de fabrication des céramiques anciennes.

Les porcelaines vietnamiennes anciennes sont réputées pour leur finesse et leur fraîcheur, mais leurs techniques de fabrication restaient méconnues. Pour les retrouver, Philippe Colomban et ses collègues, du Laboratoire de dynamique, interactions et réactivité de Thiais en ont analysé des tessons ramassés au Nord du Vietnam et datés des XIII^e, XIV^e et XV^e siècles, d'après les données stratigraphiques des fouilles.

Après la fin de la domination chinoise, qui dure tout le premier millénaire de notre ère, un style original apparaît sur les porcelaines vietnamiennes, sous les dynasties Ly (1009-1225) et Tran (1225-1400). Les décors des jarres, plats, coupes et autres bols sont moins figés que ceux des pièces chinoises de la même époque et dégagent une impression d'harmonie. Comment ces porcelaines étaient-elles fabriquées ?

P. Colomban et ses collègues vietnamiens ont analysé des céramiques provenant de trois fours en activité au Nord du Vietnam, au cours des dynasties Ly et Tran : le four de Ha Lan, le four de Chu Dau et le four de Hop Lê. Les physico-chimistes ont utilisé la spectroscopie Raman. Cette méthode d'analyse est fondée sur la détection des modifications de la lumière diffusée par un objet éclairé par un laser monochromatique. Les lon-

gueurs d'ondes des raies de lumière diffusées sont caractéristiques des constituants de l'objet analysé et de leur état — amorphe ou cristallisé — imposé par les conditions de cuisson.

Les porcelaines analysées contiennent deux phases formées dans le four pendant la cuisson : la mullite (un aluminosilicate qui a cristallisé à partir du kaolin, l'argile réfractaire utilisée comme matière première) et du verre (le produit de la réaction entre du feldspath, du calcaire et des cendres). Elles contiennent aussi du sable qui n'a pas fondu pendant la cuisson et qui était ajouté à l'argile (avant la cuisson). Le sable joue le rôle structural de l'eau en maintenant les feuillets de l'argile écartés, une fois que les molécules d'eau se sont évaporées, de sorte qu'il diminue la fissuration des pièces lors du séchage.

Parmi les échantillons de Ha Lan et de Hop Lê, certains sont des protoporcelaines, ainsi nommées car leur cycle de cuisson ou la préparation du kaolin étaient imparfaits. Ce manque de maîtrise des techniques de fabrication se traduit par le fait que les protoporcelaines contiennent peu de mullite (qui se forment vers 1300 °C) et qu'elles renferment encore des minéraux présents dans l'argile (probablement apportés par les alluvions), qui n'ont pas été complètement éliminés par la décantation. Progressivement, ces deux défauts ont été corrigés. À Ha Lan, la porosité augmente : plutôt que vers des porcelaines, les céramiques évoluent vers des faïences fines, plus légères et d'un blanc plus pur.

La plupart des porcelaines analysées sont recouvertes d'un émail vert, qui imite le jade. Cette coloration est due à la présence d'ions ferreux (bleus) et ferriques (jaunes), dont les proportions variaient en fonction du caractère oxydant ou réducteur de l'atmosphère du four, c'est-à-dire du réglage de l'alimentation en bois. La cuisson était lente (elle durait parfois une semaine), de sorte que des bulles microscopiques libérées par la réaction de l'émail sur le substrat restaient piégées à l'interface, diffusant la lumière et donnant une impression de profondeur.

Les physico-chimistes ont comparé les spectres Raman de l'émail d'une porcelaine ancienne et d'une copie moderne. Leur aspect diffère, car le premier indique que l'émail est entièrement vitreux, tandis que le second révèle la présence de petites cristaux que forment les pigments utilisés pour la coloration. La spectroscopie Raman est non destructive, rapide et depuis peu, réalisable avec un instrument portatif. Ainsi, elle autorise l'authentification des porcelaines anciennes et intéresse les archéologues, notamment pour étudier les pièces récemment mises au jour lors de fouilles en Mer de Chine.



La méthode de fabrication de cette porcelaine vietnamienne daté du XV^e siècle a été reconstituée grâce à son analyse par spectroscopie Raman.

La danse des liquides

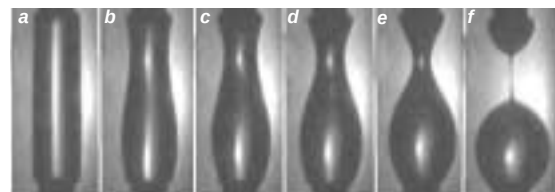
Des liquides magnétiques lévitent.

Comment étudier les phénomènes de microgravité à peu de frais ? En utilisant des liquides magnétiques. À l'Université Case Western, le groupe de Charles Rosenblatt fait varier la force gravitationnelle qui s'exerce sur ces milieux en les soumettant à une force magnétique qui s'oppose à la force de gravitation. Ainsi, on simule des conditions de gravité différentes, rencontrées lors des missions spatiales ou sur d'autres planètes.

Que se soit sur la navette spatiale ou dans des avions en vol parabolique, les expériences en microgravité sont onéreuses. Peut-on obtenir les mêmes conditions, ou des conditions voisines, sur Terre, en laboratoire ? Oui, à condition d'utiliser des liquides qui réagissent à un champ magnétique : on utilise des mélanges de glycérol et d'un liquide paramagnétique (le tétrahydure de chlorure de magnésium). Lorsque le mélange est soumis à un champ magnétique, les moments magnétiques élémentaires s'orientent parallèlement et confèrent à l'ensemble un champ magnétique intrinsèque.

Quand le champ magnétique appliqué est judicieusement choisi, il engendre une force sur le liquide qui, s'opposant à la force de gravitation, le place en impesanteur artificielle : le liquide lévite. En faisant varier le champ magnétique appliqué, on simule des variations de la gravité avec le temps. Or, des variations temporelles de la gravité correspondent à des accélérations. Ainsi, au lieu de se contenter de l'étude statique des liquides magnétiques, les physiciens peuvent étudier leur dynamique.

On obtient une colonne de liquide — encore nommée pont liquide — suspendue entre deux points, comme si aucune force ne s'exerçait sur lui. En modulant le champ magnétique, on arrive même à faire danser le liquide avec un rythme dicté par la gravité et par les propriétés du



Un liquide magnétique est maintenu entre les pôles d'un électroaimant (a). Lorsque l'on coupe le champ magnétique, le pont liquide (la zone centrale étroite, s'effondre (de b à f).

fluide : le liquide entre en résonance. De ce mouvement, les physiciens déduisent les propriétés physiques du pont liquide, notamment sa tension superficielle, lorsque le liquide est en mouvement. Par cette méthode, on peut mesurer la tension de surface dynamique de solutions aqueuses contenant différentes molécules tensioactives.

Le contrôle doit être fin : si l'on fait trop varier la force magnétique, le pont s'effondre. En répétant cette expérience avec

diverses longueurs de pont et avec des forces magnétiques différentes, les physiciens ont montré que le temps que met un pont pour s'effondrer ne dépend pas directement de sa longueur.

Les conditions d'impesanteur obtenues ici sont moins «pures» que dans l'environnement spatial – il reste toujours une faible gravité résiduelle – mais ces méthodes sont bien moins onéreuses que les expériences spatiales et elles permettent aux chercheurs de simuler des

changements brusques d'accélération sans déplacer le fluide. Cette technique peut être utilisée pour simuler les effets des vibrations dues aux tremblements de Terre, le comportement des liquides à bord d'un vaisseau qui se pose sur une autre planète ou encore les fluides biologiques : la tension de surface des fluides qui tapissent les alvéoles pulmonaires varie au cours de la respiration et la méthode permet d'étudier les conditions d'une éventuelle rupture de ce film liquide.

La cartographie de l'espace

Les amas de galaxies se donnent rendez-vous aux carrefours de l'Univers.

Le satellite XMM-Newton de l'Agence spatiale européenne, qui scrute le ciel dans la gamme des rayons X, est en orbite depuis bientôt un an. Mis en place pour observer les phénomènes de haute énergie (où les températures sont élevées), tels que la physique des trous noirs, les restes de supernovae ou encore la nature du fond diffus (l'émission continue de rayonnement X observé dans l'ensemble de l'espace interstellaire), il a récemment fourni ses premières données. Notamment, le satellite a fait des observations inédites sur les amas de galaxies, que l'équipe de Monique Arnaud et Philippe Ferrando, du Commissariat à l'énergie atomique de Saclay, a analysées (l'exploitation de l'ensemble

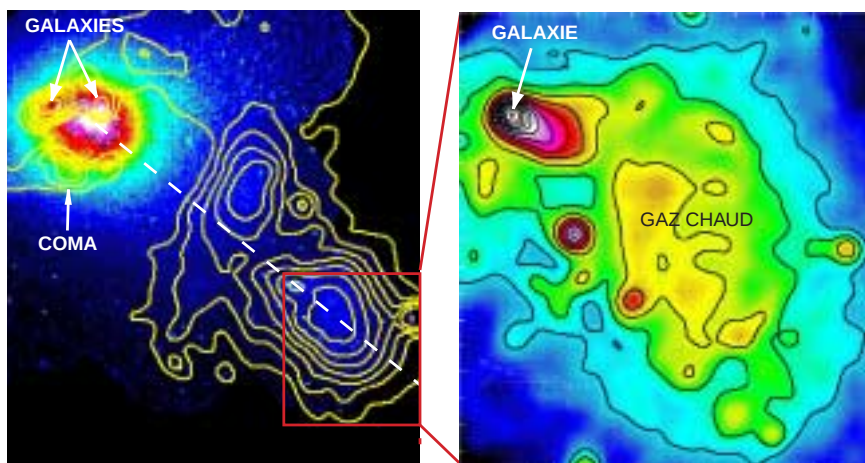
des données transmises par XMM-Newton occupe plus de 150 équipes de recherche dans le monde).

Les amas de galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers. Ils sont constitués de quelques dizaines à plusieurs milliers de galaxies liées par leur propre attraction gravitationnelle. Ils se trouvent aux croisements de filaments, le long desquels la matière est répartie dans l'Univers, et qui forment une gigantesque toile d'araignée. Au cours du temps, la matière s'écoule le long des filaments et converge vers les intersections où se forment les amas de galaxies. Les galaxies émettent des rayons X, ainsi que le gaz chaud qui les entoure (dont la température atteint 10 à 100 millions de degrés).

Le satellite XMM-Newton a observé l'amas de galaxie Coma, situé dans notre «voisinage», à 400 millions d'années-lumière. Coma est un grand amas, dont la masse est 20 000 fois supérieure à celle de la Voie Lactée. Les rayons X, qui renseignent sur la température dans l'amas, ont révélé de grandes différences thermiques en son sein. Celles-

ci indiquent que l'amas est le siège de vastes mouvements de matière. Pour les comprendre, les astrophysiciens ont reconstruit la carte d'émission X de Coma telle qu'elle serait s'il était au repos et l'ont soustraite de la carte obtenue avec XMM-Newton : ils disposent ainsi d'une carte des régions où la matière est en mouvement. Elle révèle plusieurs zones d'émission X intense. Le cœur de Coma est principalement composé de deux galaxies. Une seconde zone d'émission intense correspond à une structure filamentaire (un groupe de galaxies) attirée par Coma. C'est la première fois que ce filament est détecté avec une telle précision dans le domaine X. Les deux extrémités du filament sont orientées vers des amas de galaxies, ce qui confirme que les amas se forment au croisement des filaments. Dans l'équipe de M. Arnaud et Ph. Ferrando, Doris Neumann a étudié en détail le voisinage d'une galaxie qui se trouve à la frontière entre Coma et le filament. Elle est plus proche de l'amas que le gaz chaud du groupe de galaxies auquel elle appartient, car elle tombe plus vite que ce dernier, ralentit par le gaz chaud de l'amas.

Ces observations font partie de la phase de vérification de XMM-Newton, qui vient de s'achever. Elles montrent le bon fonctionnement du satellite, dont les résolutions spatiale et spectrale sont conformes aux prévisions. En outre, le satellite a bien résisté aux deux éruptions solaires qui se sont produites depuis son lancement (grâce à un système de filtres qui le protège des particules émises), laissant présager que sa durée de fonctionnement sera effectivement de dix ans, comme prévu. Cela suffira aux astronomes pour observer l'état dynamique d'autres amas de galaxies, ce qui nous éclairera sur la formation des grandes structures de l'Univers. Les prochains résultats sont d'autant plus attendus que XMM-Newton, sorti de sa phase de test, sera pointé vers des objets moins bien connus des astrophysiciens.



Cartes de la matière en mouvement (l'intensité de l'émission X augmente du bleu au rouge) dans l'amas de galaxies Coma. Son cœur est formé de deux galaxies (image de gauche). Cet amas se trouve à l'extrémité d'un filament (sa direction est celle des pointillés blancs) le long duquel un groupe de galaxies tombe vers lui. La galaxie de l'image de droite (en rouge) tombe vers l'amas Coma, mais moins vite que le gaz chaud qui l'entoure (en jaune et en vert).

La fonction du prion

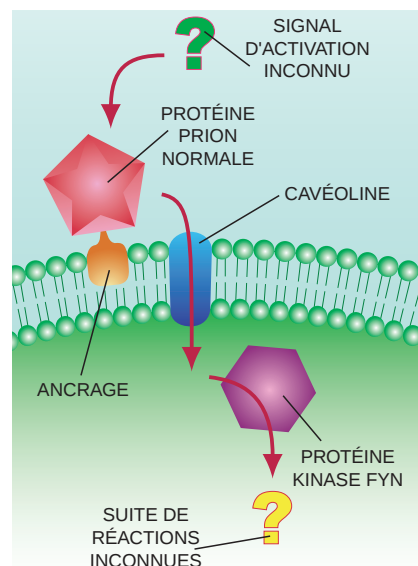
Le rôle de cette protéine se précise

Maladie de la vache folle, tremblante du mouton, maladie de Creutzfeldt-Jakob, ces maladies qui sont toutes des encéphalopathies spongiformes subaiguës transmissibles, c'est-à-dire des maladies qui, au bout de plusieurs années, finissent par transformer le cerveau en «éponge» sont très préoccupantes depuis l'épidémie britannique de la vache folle du début des années 1990. Elles auraient en commun le prion. Il s'agirait d'une protéine pathogène dont seul le repliement la distinguerait de la protéine prion normale. Or, on ignorait le rôle de cette protéine normale, rôle que l'équipe CNRS-Institut Pasteur d'Odile Kellermann vient de préciser.

Lors d'une contamination, la protéine prion anormale pénètre dans le système nerveux central et perturbe le repliement des protéines prions normales nouvellement synthétisées par les neurones. Les protéines mal repliées qui s'accumulent entraînent la dégénérescence et la mort des neurones, donnant ainsi au système nerveux cet aspect d'éponge. Des expériences antérieures avaient mon-

tré que cette protéine n'est pas vitale : des souris qui en sont dépourvues ont des anomalies mineures. Pour élucider la fonction de la protéine prion normale, les biologistes ont donc utilisé des cellules souches embryonnaires qui se différencient *in vitro* en neurones fonctionnels. La protéine prion est présente à la surface de ces cellules, et particulièrement dans les neurites (des extensions des neurones). Les biologistes ont observé que lorsque la protéine prion reçoit un signal d'activation (dont on ignore encore la nature), l'activité d'une enzyme intracellulaire, une tyrosine kinase nommée FYN, augmente. Cette enzyme ajoute ou retire des groupes phosphate à la tyrosine, un acide aminé des protéines. La protéine kinase FYN est connue pour son rôle dans les cascades de signalisation, c'est-à-dire dans les successions de réactions enzymatiques qui transmettent les signaux extérieurs, tel celui que déclenchent les hormones ou les neuromédiateurs, jusqu'au cœur des cellules, où les ordres véhiculés par ces signaux sont accomplis.

Comment le signal passe-t-il de l'extérieur à l'intérieur de la cellule ? L'équipe de O. Kellermann a identifié le partenaire de la protéine prion normale : il s'agit d'une autre protéine, la cavéoline, encastrée dans la membrane cellulaire. Ainsi, la protéine prion intervient dans une cascade de signalisation dont on a élucidé trois étapes. Toutefois, le signal qui l'a



Ancrée dans la membrane des cellules grâce à une molécule (en orange), la protéine prion normale (en rouge) est activée par un signal encore inconnu. Ce signal (flèches rouges) active une protéine, la cavéoline (en bleu), puis une enzyme, une protéine kinase nommée FYN (en violet). Seuls trois maillons de la chaîne ont été découverts.

déclenchée en amont, et la suite de réactions en aval, sont encore inconnus.

Ces résultats constituent, d'ores et déjà, un pas vers l'élucidation du processus à l'origine des encéphalopathies spongiformes subaiguës transmissibles.

Bateau romain... coulé

Depuis 1 500 ans, un bateau romain repose sur le fond de la mer Noire : il est en parfait état de conservation.

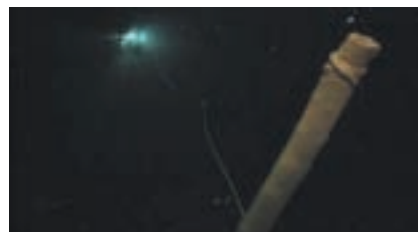
Le robot sous-marin *Argus* descend dans l'obscurité à 300 mètres sous la surface. Le fond n'est plus qu'à quelques mètres quand le spot lumineux accroche un objet. Dans la salle de contrôle, tous sont fascinés. Un mât de bois se dresse dans les eaux. Long de 11 mètres, ce mât est celui d'un navire de 15 mètres de longueur posé sur le fond de la mer Noire depuis 1 500 ans. Il vient d'être découvert par des archéologues et des océanographes américains, embarqués sur le navire d'exploration *Northern Horizon*.

Outre son intérêt archéologique, la trouvaille confirmerait le scénario d'une brusque invasion de la mer Noire par les eaux méditerranéennes. Selon les géologues américains William Ryan et Walter Pitmann, cette mer fut un lac d'eau

douce, il y a plus de 7 500 ans. Pour ces chercheurs de l'Université Columbia, la fonte des glaciers a fait monter les eaux de la mer Méditerranée, qui ont envahi ce lac. Certains archéologues suspectent que la région de la mer Noire était habitée par l'homme néolithique. Le déluge évoqué dans la bible correspondrait à la naissance de la mer Noire.

C'est aussi lors de cet événement que la couche d'eau sans oxygène qui garnit le fond de cette mer se serait constituée : les eaux salines provenant de la mer Méditerranée auraient coulé, sous les eaux douces. La zone située à plus de 100 mètres de profondeur est pauvre en oxygène, dépourvue de vie et de micro-organismes. Stable depuis la naissance de la mer Noire, cette «zone morte» serait un réservoir de trésors archéologiques bien conservés, puisque les matières organiques, le bois notamment, n'y auraient pas été dégradées.

C'est parce qu'il était à l'abri de la décomposition, dans cette zone morte, que le bateau romain semble intact. Les datations au carbone 14 situent la construction du navire entre 410 et 520, peu de temps après le déplacement de



Le mât du bateau romain découvert au fond de la mer Noire apparaît dans la lumière du robot sous-marin *Argus*.

la capitale de l'empire romain de Rome à Constantinople, en 330. Les archéologues, qui ignorent encore ce que transportait le bâtiment, espèrent y retrouver des restes de vivres ou de tissus.

Trois bateaux marchands romains dans un état de conservation plus habituel ont également été découverts lors de cette expédition. Les vaisseaux reposent à 100 mètres de profondeur, où les eaux pauvres en oxygène se mêlent aux eaux de la surface. Les amphores qu'ils contiennent proviennent de la ville de Sinope, un port de la mer Noire, qui avait une grande importance dans l'économie locale, il y a 1 500 ans.

Poisson fumé à la néandertalienne

Il y a 50 000 ans, on faisait déjà fumer les saumons en Dordogne.

Les hommes ont occupé la vallée de la Dordogne de façon continue de 300 000 à 12 000 ans avant notre ère. Ils y ont laissé de nombreux vestiges, notamment dans des grottes de la falaise de Conte. La grotte 16 (la falaise en contient 23 au total), qui renferme à la fois des restes laissés par les Néandertaliens et par les hommes modernes (*Homo Sapiens Sapiens*) offre l'occasion rare de comparer leur mode de vie dans un même environnement. L'équipe de Jean-Philippe Rigaud, de l'Université Bordeaux I, et celle de Jan Simek de l'Université du Tennessee, ont découvert que ces deux espèces d'hominidés appréciaient le poisson et avaient des comportements voisins.

La grotte 16 mesure environ 10 mètres de largeur, 9 de hauteur et 20 de profondeur. Les sédiments qui recouvraient le sol ont livré des restes d'animaux (dans les foyers et aux alentours) et des outils de pierre, notamment des bifaces. Ils indiquent que des groupes de chasseurs (Néandertaliens ou hommes modernes) auraient occupé la grotte pendant de courtes périodes.

Ces hominidés semblent avoir pratiqué la pêche de façon intensive, si l'on en juge par l'abondance des vertèbres de saumon, de truite, de brochet... Cette découverte confirme le fait que les Néandertaliens exploitaient les ressources halieutiques de leur environnement. L'entrée de la grotte 16 domine la confluence de la Dordogne et d'une petite rivière, le Céou, où se trouve un

gué : les conditions de pêche y sont favorables.

On pensait que les Néandertaliens utilisaient le feu de façon rudimentaire, car, contrairement aux hommes modernes, leurs foyers ne comportaient pas de cercle de pierres, tels ceux que les archéologues ont retrouvés dans les niveaux du paléolithique supérieur de la grotte 16. Cependant, dans les foyers datant de 66 000 à 54 000 ans (les mieux préservés que l'on connaisse de cette époque), des restes de lichen, de mousse et d'herbes indiquent que les Néandertaliens utilisaient ces combustibles, avec du bois. Les herbes brûlent mal, mais produisent beaucoup de fumée : elles ont probablement servi à fumer le poisson ou la viande, ce qui assurait une meilleure conservation. Ce comportement semble plus évolué que celui que l'on attribue généralement aux Néandertaliens. Peut-être tiraient-ils parti des périodes de migration des animaux (surtout des poissons et des rennes), comme semblent l'avoir fait l'homme moderne : ils en auraient alors pris beaucoup sur une courte période, ce qui aurait justifié l'emploi de techniques de conservation, tel le fumage, pour les denrées qu'ils ne consommaient pas immédiatement. Les archéologues reconstituent aujourd'hui les stratégies de chasse et de pêche des deux types d'hominidés, afin de confirmer cette hypothèse.

Dans la grotte 16, les vestiges laissés par les Néandertaliens datent de 75 000 à 36 000 ans, tandis que les vestiges les plus anciens laissés par les hommes modernes datent de 30 000 ans environ. Ils ne s'y seraient donc pas rencontrés et un remplacement rapide des uns par les autres, dû à leur affrontement, est exclu. Selon J.-P. Rigaud, les hommes modernes auraient progressivement remplacé les Néandertaliens car leur croissance démographique aurait été plus forte ou leur structure sociale plus solide.

Dunes en liberté

Quand on laisse la mer regagner le terrain conquis sur la terre.

Sur la côte atlantique de la France existent des vastes champs de dunes. Certaines, comme en Bretagne, sont fixées depuis longtemps par une végétation naturelle de pelouse ou de taillis. Ailleurs, surtout en Picardie et en Aquitaine, elles avaient conservé leur mobilité jusqu'à ce que l'homme décide de les stabiliser parce que, dans leur déplacement (parfois plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres), elles menaçaient d'ensevelir habitations, champs, chemins et routes. Au XVII^e siècle déjà, des intendants recommandaient de planter des graminées, nommées oyats, pour freiner l'avancée des sables sur les rivages du Nord de la France. Au cours du XIX^e siècle, à la suite du décret impérial du 14 décembre 1810, les dunes vives de la côte atlantique firent l'objet de travaux de fixation de grande ampleur. Ainsi, la vaste forêt de pins maritimes qui s'étend sur plus de 80 000 hectares, en arrière de la côte d'Aquitaine, est un environnement artificiel que l'on a substitué à un écosystème naturel de grandes dunes mobiles. Les étendues de sable blanc étaient le symbole de la misère des sociétés rurales et, dans les Landes, les ressources fournies par l'exploitation du bois et de la résine, ont favorisé le développement économique et social de la région.

Aujourd'hui, en Europe, la tendance est au contraire à la conservation des dunes mobiles là où elles existent encore, comme en Espagne, au Danemark ou en Pologne. Sur des côtes où la pression démographique n'a cessé de s'amplifier, elles constituent des espaces vides qu'il convient de préserver. Ne faudrait-il pas aussi, là où il n'y a pas de risques, redonner une liberté de mouvement à des dunes artificiellement entravées ? Un premier pas vient d'être fait, en France, dans ce sens : dans le département du Pas-de-Calais, sur une réserve biologique domaniale de 450 hectares, on ne procède plus, depuis 1996, à aucuns travaux de fixation des dunes.

Déjà des langues de sable vif apparaissent et des dunes de forme parabolique évoluent. Les photographies aériennes du site montrent une remise en mouvement du sable. Ce nouveau type de gestion d'un espace naturel a été validé par la branche française de l'Union européenne pour la conservation des côtes (EUCC), une organisation qui s'attache à la sauvegarde de la richesse paysagère,



Cette coupe des sédiments de la grotte de la falaise de Conte, en Dordogne, montre des bandes noires, rouges, jaunes et blanches. Dans les foyers des Néandertaliens qui ont occupé la grotte, les matières ferrugineuses initialement présentes dans le sable recouvrant le sol ainsi que les cendres ont été oxydées par les feux ou réduites par le charbon de bois. Les produits de ces réactions sont responsables des différentes couleurs.

écologique et culturelle des littoraux du vieux continent. Cette approche innovante est assumée par l'Office national des forêts, qui, jusqu'à présent, contrôlait strictement le déplacement des sables sur les rivages maritimes. Cette perception renouvelée de la valeur des espaces littoraux conduit à restituer à la mer des terrains autrefois conquis par l'homme. Ainsi, deux polders, l'un dans l'Aber de Crozon, en Bretagne, l'autre dans la baie des Veys, en Normandie ont déjà été «rendus» à la mer par le Conservatoire du littoral.

Roland PASKOFF,
Université Lumière, Lyon



Roland Paskoff

Près de Merlimont, sur le littoral du Pas-de-Calais, on laisse les dunes se déplacer à leur gré, à condition que cela ne menace pas les aménagements côtiers. Des langues de sable vif s'avancent aujourd'hui sur des dunes que l'homme avait naguère stabilisées par des plantations.

Un rat artificiel

En prenant le rat comme modèle, biologistes, et «roboticiens» créent des animaux artificiels.

Les robots des premières générations étaient limités à des tâches répétitives, par exemple, peindre une portière de voiture ou visser un boulon. Ces machines n'avaient rien de commun avec les êtres vivants. Aujourd'hui, les biologistes, les informaticiens et les roboticiens s'associent pour créer des «animats», c'est-à-dire des animaux artificiels simulés sur ordinateur ou des robots réels, qui ont des comportements adaptatifs. Il s'agit en somme de construire des machines dont le comportement est proche de celui d'animaux vivants. Différents travaux semblent prouver que ce n'est pas de la science fiction.

Une nouvelle espèce est née : le *Ratus computatrix* issu des connaissances acquises sur la neurophysiologie et le comportement du rat. Cela ne signifie pas que la fabrication d'un robot, dont le système de contrôle et le comportement seraient identiques à ceux de l'animal, sera possible dans un avenir proche. En revanche, la combinaison de mécanismes et de capacités souvent étudiés isolément contribue à une meilleure compréhension des synergies et des compromis que l'évolution a inventés et mis en œuvre pour faire du rat l'un des animaux les mieux adaptés.

Angelo Arleo et Wulfram Gerstner, de l'Institut fédéral de technologie de Lausanne, ont élaboré un système de navigation pour un robot autonome fondé sur l'utilisation de «cellules de lieu» et de «cellules de direction de la tête». De telles cellules s'activent respectivement selon le lieu et la direction de la tête. Le robot miniature *Khepera*, doté d'une caméra, de capteurs infrarouges et de deux roues, est commandé par deux

modules ; l'un permet la représentation spatiale et sert au robot à rejoindre un lieu où il a déjà été «récompensé» (l'expérimentateur lui a octroyé une «valeur» élevée parce que c'était le «bon chemin»), tout en évitant les obstacles et les endroits où il a été «puni». Mouvements propres du robot et informations visuelles externes se complètent.

Ce résultat conforte celui qui a été obtenu par l'équipe d'Alain Berthoz, du Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action, du Collège de France. L'équipe a montré que chez le rat les cellules de direction de la tête sont principalement sensibles aux informations visuelles, mais qu'elles dépendent également d'informations internes lorsque les informations visuelles ne sont pas fiables.

Jean-Arcady Meyer et David Filliat, de l'AnimatLab au Laboratoire d'Informatique de l'Université Paris 6, ont étudié les stratégies de déplacement utilisées par des rats. Leur robot explore son environnement et en élabore une carte cognitive, constituée des informations topologiques et des informations métriques. À partir d'une telle carte, lorsqu'un robot est transporté d'un endroit à un autre, il se trompe temporairement sur sa localisation, mais se repositionne vite. Pour ce faire, il utilise un système de vision active et oriente sa caméra, soit vers les endroits où il a enregistré la présence de certains éléments caractéristiques qui lui servent de repères, soit vers les endroits qu'il n'a pas encore explorés visuellement.

Enfin, l'organisation des neurones que le rat utilise lorsqu'il doit choisir une action parmi plusieurs a inspiré l'équipe de Fernando Montes Gonzales, de l'Université de Sheffield, dans la conception d'un système de contrôle de robot. Muni d'un tel système, un robot *Khepera*

équipé d'un bras préhensile choisit correctement quelle action effectuer : à l'image d'un rat placé dans un environnement inconnu et capable d'alterner de façon pertinente des déplacements exploratoires, des déplacements destinés à consommer de la nourriture et des retours vers une zone sombre sécurisante, leur robot, doté de motivations codées, tels la «faim» et le «stress», décide d'aller chercher de la nourriture (saisir un cylindre), de consommer cette nourriture (déposer le cylindre), et d'aller explorer l'environnement (déplacement aléatoire).

Ainsi, *Ratus computatrix* combine plusieurs sources d'informations sensorielles pour élaborer une représentation interne de son environnement. Il exploite cette information pour rejoindre des lieux où il peut satisfaire de façon cohérente des motivations simples, et choisir l'action la plus pertinente. Dans une prochaine étape, les relations sociales des rats seront appliquées à une collectivité de robots. Nous sommes, d'ores et déjà, dans l'ère de l'informatique murine.



Angelo Arleo et T.J. Prescott

Grâce à une caméra, un robot *Khepera* explore son environnement. Il en établit progressivement une représentation spatiale interne.