

Les brousses tigrées

Au Niger, la végétation des zones sahéliennes adopte des profils différents selon l'abondance de l'eau et la pente du terrain.

En vol au-dessus de la zone sahélienne du Niger, les tons pastel aperçus attestent de l'aridité de la région. Cependant la végétation n'est pas absente. Plus encore, on distingue différents motifs d'organisation : ici, des bosquets forment des taches, plus loin la végétation présente des bandes parallèles et ailleurs encore les deux motifs coexistent. À quoi sont dues ces diverses organisations? Aboubacar Ichaou, de l'Université de Toulouse, en collaboration avec le CIRAD-Forêt, a étudié la structure et le fonctionnement de ces morphologies végétales.

Une cinquantaine de parcelles de 1 000 mètres carrés ont été étudiées. La diversité des organisations végétales reflète la pente du terrain et l'abondance des pluies. Lorsque les précipitations

varient de 250 à 450 millimètres par an et que la pente est d'environ un pour cent, la végétation adopte un profil, dit de brousse tigrée, c'est-à-dire où alternent des bandes végétales et des bandes de sol nu. Sur des pentes inférieures, avec 500 à 600 millimètres de pluie par an, les bandes alternent avec des massifs aux formes plus variées. Enfin, entre 600 et 800 millimètres et des pentes quasi nulles, la végétation est diffuse.

Quelle est l'origine de la structure particulière d'une brousse tigrée? Les bandes végétales de ces brousses sont constituées de trois zones alignées perpendiculairement au sens de la pente du terrain : en amont, une zone de plantes annuelles, des graminées et des herbacées, puis une zone d'arbres vivants et enfin une zone d'arbres morts. À la saison des pluies, l'eau ruisselle sur la croûte dure du sol, puis, s'infiltre dans le sol aux abords de la bande végétale. Toutefois, cette infiltration de l'eau n'est pas homogène sous les bandes végétales : elle est maximale au centre.

En amont de la végétation, la zone nue, où un peu d'eau stagne, est colonisée par des graminées. Ce front progresse chaque année. Plus en aval, des arbres «peu exigeants» s'installent. Progressivement, les arbres qui se développent sont de plus en plus avides d'eau, mais ils finissent par être dans la zone où la profondeur humide est faible (en aval). L'apport en eau est alors insuffisant, et ils meurent. Ainsi, la brousse tigrée n'est pas immobile : toutes les bandes végétales se déplacent d'environ 50 centimètres chaque année vers l'amont.

Ces structures végétales traduisent une adaptation naturelle et efficace à la raréfaction de l'eau. Plus cette dernière est rare, plus la végétation est contrainte d'adopter une organisation de brousse tigrée, qui assure sa survie. Afin d'améliorer la gestion à long terme des ressources végétales et forestières, A. Ichaou a comparé les rendements en bois des différentes structures végétales, et a étudié leur fonctionnement selon les pluies. Il détermine des paramètres simples, tels la proportion de recouvrement végétal, l'identification des espèces principales ou encore le nombre de bosquets par unité de surface. Rappelons qu'au Niger, ces brousses fournissent 80 pour cent de l'énergie consommée par le pays.

BRÈVES

Une fine mouche

Lorsque vous entendez le bourdonnement d'une mouche, vous localisez rapidement l'insecte, car vos deux oreilles, éloignées l'une de l'autre, ne perçoivent pas le son simultanément. La mouche peut-elle aussi vous localiser au son de votre juron agacé? Oui, si l'on en croit l'étude de Ron Hoy, de l'Université Cornell, sur l'appareil auditif d'*Ormia ochracea*, une mouche parasite du criquet. Posée sur une balle de ping-pong en sustentation sur un jet d'air, la mouche se déplaçait dans la direction des chants de criquets qui étaient émis. En observant les mouvements de la balle, les zoologistes ont montré que l'insecte suivait les chants à deux degrés près, une précision étonnante si l'on considère que ses deux tympans ne sont distants que de 0,5 millimètre.

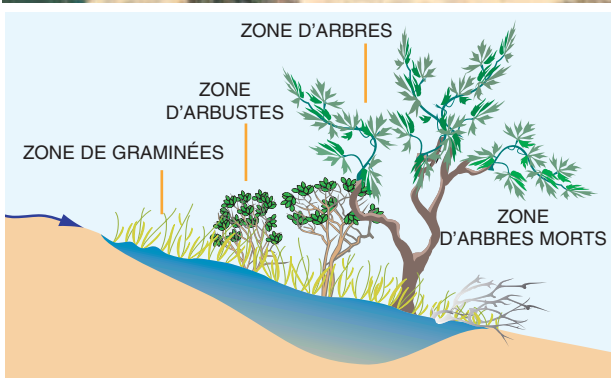


Des étoiles à neutrons forgeronnes

Où se forment les atomes lourds, tels que l'or ou le platine? Les astrophysiciens doutent que ce soit dans les supernovae, issues de l'explosion d'étoiles massives, qui ne produisent sans doute que des éléments plus légers. Un creuset plus vraisemblable serait les étoiles à neutrons. Une équipe anglaise a simulé sur ordinateur la collision de deux étoiles à neutrons et a montré que, outre la formation d'un trou noir, le choc rejetait de grandes quantités de matière extrêmement chaude et riche en neutrons, où auraient lieu les réactions nucléaires de synthèse des éléments lourds.

La momie de la femme du gouverneur

Une mission archéologique égyptienne a découvert la momie de Naassa, la femme du gouverneur des oasis, sous la XXVI^e dynastie pharaonique, aux VII^e et VI^e siècles avant notre ère. Elle reposait dans un sarcophage en pierre calcaire, entourée d'une centaine d'amulettes et de mascottes en or, dans la vallée des momies de l'oasis de Bahariya, à 400 kilomètres au Sud-Ouest du Caire. Cette vallée mise au jour en 1999 est une immense nécropole de près de 10 000 sépultures, où reposent plus de 200 momies recouvertes de plastrons en or. Le tombeau du gouverneur des oasis a été découvert il y a un an dans cette même vallée, où les fouilles se poursuivent.



Les brousses tigrées (en haut) poussent dans les zones de faible pente, où les pluies sont rares. L'eau de ruissellement est d'abord tout juste suffisante pour des graminées. Ces dernières retiennent l'eau, de sorte que des arbustes qui consomment peu d'eau peuvent se développer en aval (en bas). L'eau continue à s'accumuler, des arbres poussent, mais ils absorbent toute l'eau disponible et ceux qui croissent en aval meurent. Ce mécanisme se manifeste par des bandes d'espèces végétales, séparées par des bandes de sol nu : c'est la cause de l'aspect tigré de la brousse.

Des conifères paléoclimatologues

L'analyse de carottes de glace ou de sédiments renseigne sur l'histoire du climat, mais n'en donne qu'une image moyennée sur de longues périodes. Certains conifères du Sud du Chili vivent jusqu'à 3 600 ans. On a retrouvé des souches de ces conifères fossilisées et conservées dans des terrains volcaniques depuis 50 000 ans. On en a analysé les cernes de croissance que l'on a comparés avec ceux des arbres qui poussent aujourd'hui. Cette comparaison semble indiquer que le climat actuel ressemble à celui qui régnait dans cette région au Sud du Chili, il y a 50 000 ans.

Champ de nanobosses

De minuscules dômes poussent désormais sur le silicium. Leur hauteur atteint 25 atomes pour un diamètre de 100 atomes (25 nanomètres). Ils sont six fois plus fins que les motifs obtenus dans l'industrie microélectronique. Des chimistes de l'Université de Cornell ont mis au point une technique dite d'«attaque contrôlée des dislocations».



Ils assemblent une tranche de silicium très mince sur une plus épaisse. Les deux tranches sont légèrement décalées. Quand les atomes de la tranche mince sont superposés avec ceux de l'autre tranche, ils forment des liaisons fortes, alors que les atomes de silicium décalés forment des liaisons faibles. Une solution chimique détruit alors les liaisons les plus faibles, faisant apparaître ces nanodômes.

La Pompéi des Salamandres

En Chine du Nord, 500 salamandres vieilles de plus de 150 millions d'années ont été découvertes. Elles ont été conservées grâce à une éruption volcanique qui avait rempli un étang de cendres chaudes et l'avait transformé en une sorte de «Pompéi des amphibiens». Mises au jour par des paléontologues du Muséum d'histoire naturelle de New York et de l'Université de Chicago, toutes les salamandres étaient pétrifiées sur une surface de 10 mètres carrés. Les squelettes de ces petits contemporains des dinosaures, qui ont reçu le nom de *Sinerepeton fengshanensis*, du grec *sino* pour Chine, et *hepeton*, pour rampant (Fengshan est le nom du site de la découverte), diffèrent à peine de leurs équivalents modernes : leur morphologie est restée à peu près stable depuis le Jurassique supérieur.

Bon pied, bon œil

La perception visuelle de l'espace est plus efficace quand nous sommes en mouvement.

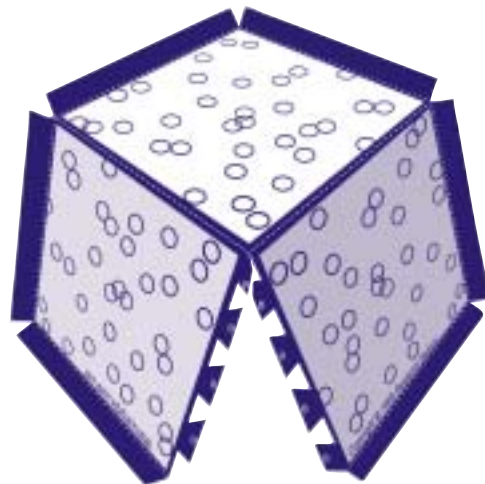
« On ne voit bien qu'avec son cœur ; l'essentiel est invisible pour les yeux », révèle le Renard au Petit Prince.

Voit-on avec le cœur ? Peut-être. Avec les yeux ? Évidemment, mais ce n'est pas tout. Avec Ivan Lamouret, Francesco Panerai et Jacques Droulez, nous venons de montrer que la vision n'est pas seulement rétinienne, mais que la perception visuelle du relief provient aussi des informations captées par le cerveau sur nos propres mouvements. En d'autres termes, nous voyons le monde d'une façon différente quand nous nous déplaçons autour d'un objet immobile ou quand nous sommes immobiles et que l'objet bouge par rapport à nous.

Notre cerveau se sert de plusieurs moyens pour voir le relief. L'un d'eux est la vision binoculaire : notre cerveau reconstruit la forme en trois dimensions d'un objet ou le relief d'un paysage à partir du décalage entre les deux images perçues par chaque œil. Nous étudions un autre mode de perception du relief, fondé sur le mouvement. Chacun a déjà constaté que les objets les plus proches semblent se déplacer plus vite que les objets éloignés. Quand nous marchons dans une forêt, les arbres proches défilent apparemment plus vite que les arbres lointains. En fait, nous ignorons, à partir des seules informations captées sur la rétine de l'œil, si nous nous déplaçons dans une forêt stationnaire, ou si nous sommes immobiles et que la forêt défile autour de nous.

Jusqu'à présent, les psychophysiciens pensaient que la forme d'un objet fixe perçue par un observateur en mouvement était identique à celle perçue par un observateur immobile qui regarde l'objet en mouvement. Selon eux, le cerveau reconstruirait l'objet en trois dimensions à partir des seules informations captées par la rétine, en mettant en œuvre des algorithmes complexes. Si les informations rétinienne étaient équivalentes, alors les perceptions seraient forcément identiques. C'est faux ! Nous avons montré que la perception diffère, même quand des informations identiques parviennent sur la rétine.

Dans l'expérience que nous avons menée, deux observateurs sont placés dans un dispositif de réalité virtuelle où



un écran affiche l'image d'un objet virtuel. L'un des observateurs bouge la tête et la déplace devant l'écran. L'image qu'il observe change, réactualisée en permanence en fonction du mouvement, grâce à des capteurs qui détectent les mouvements de sa tête. Le second observateur est immobile. Il regarde sans bouger l'objet qui tourne sur l'écran. Les deux observateurs reçoivent exactement les mêmes informations visuelles.

L'objet virtuel a, par exemple, une forme réelle concave, mais parce qu'on y a dessiné des cercles qui semblent vus en perspective, il donne l'illusion d'être un cube (voir l'encart). Ce type de trompe-l'œil – introduit en psychologie par Albebert Ames il y a 50 ans – est proche des «anamorphoses» découvertes par Léonard de Vinci et aussi utilisées par les artistes Georges Rousse et Patrick Hughes. Cet objet est source de conflit, car le cerveau peut avoir deux interprétations de la forme de l'objet à partir des informations rétinienne : l'observateur perçoit la vraie forme de l'objet, ou la forme erronée, le faux relief.

Bien que les signaux rétinienne soient identiques pour l'observateur actif qui déplace sa tête et pour celui qui reste immobile, la perception qu'ont les deux observateurs du relief de l'objet est différente. Les observateurs en mouvement voient beaucoup plus souvent la vraie forme de l'objet virtuel que les observateurs passifs. Ce résultat démontre que l'observateur en mouvement utilise des informations sur son déplacement pour créer une perception du relief. Ces informations ne sont pas de nature visuelle, mais elles concernent la position et le déplacement. En effet, le cerveau dispose de capteurs d'accélération localisés dans l'oreille interne. Il utilise, dans un des modes de perception du relief, les informations qu'ils produisent. Notre propre mouvement est donc très important dans la perception du relief. On ne voit bien le relief qu'avec ses pieds, aurait rajouté le Petit Prince.

Mark WEXLER, Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action du Collège de France.

Naufrage antique

Le navire transportait une cargaison d'amphores à vin grecques vers l'Égypte.

A la recherche d'un sous-marin israélien disparu en Méditerranée orientale il y a 31 ans, la Société américaine *Nauticos*, spécialisée dans l'exploration des grands fonds, a détecté par sonar un groupe de cinq «objets» qui gisaient à plus de 3 000 mètres de fond, entre Rhodes et Alexandrie. Les images vidéo obtenues grâce à un robot sous-marin ont confirmé que l'un d'eux était une épave. Quelle est l'histoire de cette mystérieuse épave? Le film enregistré par le robot a révélé qu'elle contient des amphores grecques, dont la forme caractéristique indique qu'elles datent de la fin du III^e ou du début du II^e siècle avant notre ère. Aucune épave antique n'avait jamais été découverte à une si grande profondeur.

Le navire a coulé, puis s'est couché sur le flanc gauche, qui s'est aplati sous le poids des amphores. Ces dernières se sont renversées, ont roulé et se sont

entassées dans le flanc gauche. L'épave mesure environ 20 mètres. Six types d'amphores à vin ont été identifiées, dont l'un est celui de Rhodes et un autre est celui de Kos, une île voisine. Les archéologues estiment à 2 500 le nombre d'amphores transportées.

La zone correspondant à la proue a été identifiée grâce à la présence de cinq ancres. Dans l'Antiquité, les ancres étaient en plomb et en bois. Les restes métalliques reposaient sur l'avant du pont, où les ancres sont généralement rangées pendant les voyages en haute mer. Il n'est pas rare d'en trouver six, voire davantage, sur les épaves de cette époque, car elles étaient souvent endommagées, ou même perdues lors de leur utilisation. À l'arrière du bateau, dans la zone qui servait à l'équipage, reposent quelques ustensiles de cuisine.

Un chaudron de métal se trouve sur un amas d'amphores en désordre. Des sédiments s'y sont déposés depuis 2 000 ans. Les océanographes cherchent un moyen de les récupérer afin d'étudier les changements qu'a connus la Méditerranée durant cette période.

À cause de la grande profondeur où gît l'épave et du froid qui y règne, certains morceaux de la coque de bois semblent avoir été conservés : une

poutre du pont et un petit morceau de planche dépassant des sédiments ont été repérés. L'ensemble du côté gauche de la coque serait intact.

Les archéologues supposent que le navire faisait route vers l'Égypte, parce que l'épave a été retrouvée à mi-chemin entre Rhodes, autrefois un grand centre commercial, et Alexandrie, et qu'il transportait une cargaison de vin grec. Le naufrage aurait été causé soit par une avarie, soit par une tempête. Aujourd'hui, on ignore si les navigateurs de l'Antiquité se contentaient de suivre les côtes ou traversaient la Méditerranée. Cette épave semble indiquer que les marins grecs naviguaient en pleine mer pour acheminer des marchandises jusqu'en Égypte.



Avec l'amable autorisation de Nauticos Corporation

Tam-tam d'éléphant

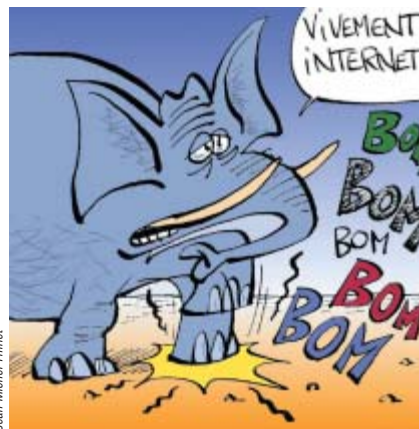
Les éléphants communiquent par des ondes sismiques qui se propagent dans le sol.

P rès d'un point d'eau, à la tombée du jour, une partie des troupes du colonel Hathi se désaltèrent après une longue journée à la recherche infructueuse de Mowgly. Leur comportement est étrange : sans raison apparente, ils se penchent en avant, ils lèvent une de leurs pattes et se figent, ou bien ils martèlent le sol de leur patte. Pour quelles raisons? Caitlin O'Connell-Rodwell, de l'Université de Stanford, a observé plusieurs fois cette scène, non pas dans *Le livre de la jungle*, mais dans le Parc national Etosha, en Namibie. Selon elle, les pachydermes répondent aux messages émis, via le sol, par des congénères qui s'approchent d'un point d'eau.

Depuis les années 1980, on sait qu'outre les barrissements, les éléphants utilisent un deuxième moyen de communication : des grondements à très basse fréquence (20 hertz), inaudibles, qui se propagent dans l'air jusqu'à envi-

ron 10 kilomètres. Grâce à ces ondes, des animaux éloignés coordonnent leurs déplacements. Pour étudier le troisième moyen de communication des pachydermes, la zoologiste et ses collègues ont tout d'abord enregistré trois messages sonores connus pour signifier *Bonjour*, *Alerte* et *On y va*. Puis, ils les ont convertis en ondes sismiques qu'un émetteur a propagées dans le sol, à proximité d'un groupe d'éléphants. À chaque fois que le message d'alerte était émis, une des femelles étudiées entraînait dans un état d'extrême agitation.

À l'aide de microphones et d'enregistreurs d'ondes sismiques enterrés,



Jean-Michel Thiriet

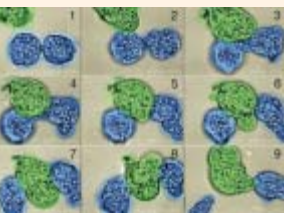
C. O'Connell-Rodwell a estimé que ces signaux, émis simultanément avec les grondements à basse fréquence, étaient perceptibles jusqu'à plus de 30 kilomètres. Les vibrations sont captées par la corne des ongles et relayées jusqu'à l'oreille interne par les os du squelette. Ainsi, les éléphants indiquent sur de longues distances la présence d'un prédateur, recherchent des partenaires, et repèrent même les orages : lorsqu'un orage éclate en Angola, les éléphants du Parc Etosha, à 160 kilomètres au Sud, se dirigent vers la zone arrosée, probablement en réponse aux vibrations que l'orage transmet par le sol.

Une autre observation confirme ces résultats. En Afrique du Sud, où l'habitat naturel des éléphants est de plus en plus restreint, les responsables des parcs nationaux tuent les éléphants en sur-nombre. Quand cette chasse en hélicoptère a lieu dans le Nord du parc Kruger, les éléphants, à plusieurs dizaines de kilomètres au Sud, sont agités et nerveux : sans doute perçoivent-ils les appels de détresse de leurs congénères pourchassés, ou bien les vibrations des pales de l'hélicoptère.

Faut-il isoler les éléphants des zoos des sources urbaines de vibrations, afin d'améliorer leurs conditions de captivité?

Les amibes accoucheuses

Lors de la naissance d'un bébé, une sage-femme attentionnée coupe le cordon ombilical. Les amibes, des organismes unicellulaires qui se reproduisent par division de la cellule en deux cellules filles, jouissent des mêmes soins. L'équipe d'Elisha Moses, de l'Institut Weizmann,



a montré que, lorsque les deux cellules filles ne se séparent pas complètement et restent reliées par un fil, une troisième amibe est sollicitée pour couper le fil, en exerçant une pression. Cette accoucheuse uni-

cellulaire répondrait à un signal chimique libéré par la membrane des deux siamoises sous l'effet de la tension exercée à l'endroit du fil, quand il ne parvient pas à se rompre tout seul.

Le plaisir de l'inattendu

Une étude américaine a révélé quelques-unes des bases biologiques de l'attraction qu'exercent les événements inespérés. On a enregistré les images de l'activité cérébrale de sujets dans la bouche desquels on déversait de petites quantités d'eau ou de jus de fruit (l'objet du plaisir). Dans un type de tests, la séquence des boissons était connue, dans l'autre non. On a constaté que le circuit de la récompense ou encore l'un des «centres du plaisir» (le noyau accumbens) est notablement plus activé par le jus de fruit quand ce dernier est délivré sans être annoncé. Les plaisirs inattendus sont plus forts que les plaisirs prévisibles. Cette étude éclairera peut-être notre compréhension des mécanismes de dépendance aux drogues, dont on sait qu'elles perturbent le fonctionnement du noyau accumbens.

Une bague contraceptive

Les femmes devraient bientôt disposer d'un nouveau moyen contraceptif : une bague en plastique souple à insérer dans le vagin une fois par mois. Elle délivrerait chaque jour, à un rythme régulier, les mêmes hormones qu'une pilule classique. Les hormones traversent la muqueuse vaginale pour atteindre la circulation sanguine, où leur concentration y serait suffisante pour bloquer l'ovulation, mais deux fois inférieure à celle délivrée par les pilules. La bague a déjà été testée sur plus de 1 000 femmes ; le taux d'échec (un pour cent) est quasiment le même qu'avec la pilule. Ce moyen contraceptif devrait être disponible dès cette année aux États-Unis et, en 2002, en Europe.

Étoiles alcoolisées

Des astronomes ont imaginé une méthode pour évaluer l'âge des étoiles massives en fonction de la concentration en alcool dans leur voisinage.

Après l'ivresse des profondeurs et celle des sommets, voici l'ivresse de l'espace : des astronomes de l'Observatoire de Leyde, aux Pays-Bas, viennent de développer une méthode de datation des étoiles massives fondée sur la mesure de la concentration en alcool contenu dans le nuage moléculaire qui entoure l'étoile. Il ne s'agit pas de l'éthanol que l'on trouve dans les boissons alcoolisées, mais du méthanol qui s'évapore de particules de glace d'un mélange d'eau, de dioxyde de carbone et d'alcool présentes dans les nuages où sont plongées les étoiles massives. Une piste pour suivre l'évolution de ces mastodontes de l'espace ?

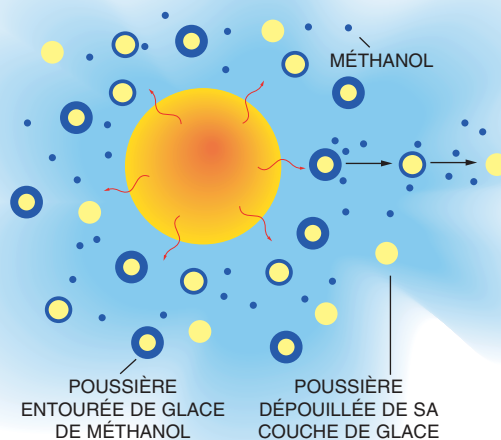
Les étoiles dites massives sont les plus grosses connues dans l'Univers. Leur masse atteint parfois 50 fois celle du Soleil, alors que la majorité des étoiles a une masse inférieure à 10 fois la masse solaire. Plus riches en hydrogène, les étoiles massives brillent plus intensément que les autres, mais elles s'éteignent aussi plus vite, quand elles ont brûlé tout leur «carburant». Par exemple, les étoiles dont la masse est 10 fois supérieure à celle du Soleil brillent 1 000 fois plus intensément, mais meurent au bout de 100 millions d'années. En comparaison, notre Soleil brillera encore plusieurs milliards d'années.

Les étoiles massives se forment au cœur d'un nuage de gaz, composé essentiellement d'hydrogène, d'hélium et de traces d'azote et de monoxyde de carbone. On ignore si les couches gazeuses se contractent pour former une seule étoile massive ou alors plusieurs petites étoiles qui fusionnent par la suite. Le nuage peu dense qui entoure la jeune étoile et son atmosphère est un résidu du nuage initial. Il contient aussi des poussières, des silicates et du graphite, qui représentent à peine un pour cent de sa composition. Ces poussières sont beaucoup plus petites que celles que l'on trouve sur la Terre : quelques dixièmes de micromètre, soit la taille des particules dans la fumée de cigarette. Elles fixent pourtant des molécules gazeuses et sont alors enveloppées d'une fine pellicule de glace,

qui contient de l'eau, du dioxyde de carbone et de l'ammoniaque. Ce givre constitue un catalyseur pour de nombreuses réactions chimiques, dont les produits se retrouvent alors piégés dans la glace, et parmi eux, des molécules d'alcool.

Après leur naissance, la température des étoiles massives augmente et atteint plusieurs milliers de degrés en quelque 50 000 ans. Elles émettent alors un rayonnement ultraviolet suffisant pour que le méthanol piégé dans les enveloppes de glace se sublime (dans le voisinage des étoiles massives où règne une faible pression, les astronomes ont estimé qu'il se sublime vers -180°C). Peu à peu, la concentration en méthanol dans les pellicules de glace diminue, alors qu'elle augmente avec le temps dans le nuage stellaire. Plus l'étoile est vieille, plus la concentration en alcool dans le nuage est élevée.

Floris van de Tak et son équipe de l'Observatoire de Leyde ont analysé le rayonnement émis par dix très jeunes étoiles massives de la Voie lactée et notamment les raies spectrales du méthanol, à partir de mesures effectuées au télescope Maxwell, à Hawaï. Ils en ont déduit que la concentration en alcool représente un indicateur de l'âge de l'étoile. Il n'existe aucune méthode pour mesurer l'âge des jeunes étoiles massives et, grâce à cet indicateur, les astronomes pourront comparer les âges de jeunes étoiles massives situées dans une même région. Ils pourront déterminer si elles se sont formées ensemble ou non, et lever ainsi un peu le voile sur leur formation.



Les poussières contenues dans le nuage de l'étoile sont entourées d'une couche de glace contenant notamment du méthanol. Sous l'effet du rayonnement de l'étoile, la glace se sublime progressivement, libérant le méthanol : la concentration en alcool augmente dans le nuage stellaire, à mesure que l'étoile vieillit. En mesurant cette concentration, on a une idée de l'âge de l'étoile.

Aphrodite en couleurs

Un ver marin velu sert de modèle aux physiciens qui étudient les cristaux photoniques.

Entre 1 000 et 2 000 mètres de profondeur, vous explorez les fonds marins à bord d'un sous-mersible : tout n'est que nuances de bleu dans le monde du silence. Tout? Non, au détour d'un récif, votre regard est attiré par un étrange ver velu, d'environ 20 centimètres de longueur sur cinq centimètres de largeur, et dont les soies, au gré de leurs mouvements, se parent de rouge, de bleu et de vert, selon l'angle d'incidence de la lumière. Cet animal est une aphrodite, un ver polychète, c'est-à-dire poilu, qui vit dans les vases et les sables sous-marins.

Cette apparence multicolore n'est pas due à une pigmentation comme chez de nombreux animaux : à une telle profondeur, la faible luminosité en atténuerait l'effet. L'équipe de G. Rouse, de l'Université de Sydney, a montré que ces soies iridescentes tirent leurs propriétés d'une structure identique à celle des cristaux photoniques. Ces cristaux sont des matériaux composites opaques à certaines longueurs d'onde, mais transparents à d'autres. Cette propriété est due à l'agencement régulier des éléments constitutifs : une fibre de silice percée de canaux creux régulièrement espacés selon un réseau hexagonal est un cristal photonique. Le motif répété, ici un canal entouré de ses six plus proches voisins, a une taille de l'ordre



des longueurs d'onde de la lumière visible (entre 450 et 800 nanomètres). Dans un tel cristal, selon la longueur d'onde et l'angle d'incidence, la lumière est complètement réfléchi ou, à l'inverse, pénètre dans le cristal et y est piégée, en raison de phénomènes complexes de réflexion et de diffraction. Ainsi, selon l'angle d'incidence de la lumière, les longueurs d'onde piégées diffèrent, de sorte que la couleur observée, celle qui s'échappe, varie, de la même façon que celle de l'opale, elle-même un cristal photonique.

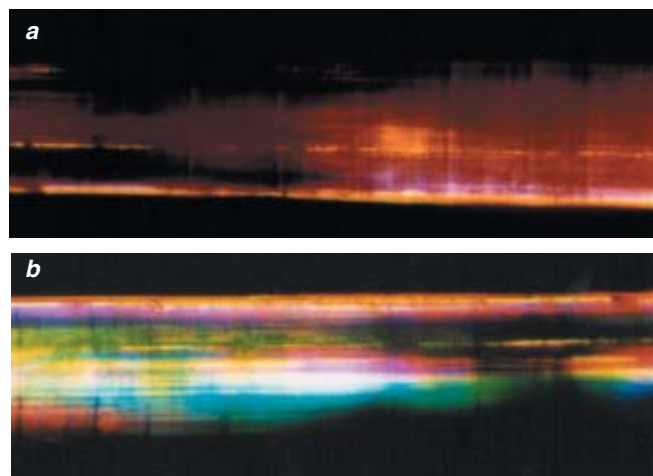
L'observation au microscope électronique d'une soie d'aphrodite a montré qu'elle ressemble aux fibres de silice décrites précédemment. Cette soie est constituée d'une série de cylindres creux dont la paroi est composée de chitine, une protéine présente dans la carapace des arthropodes. Ces cylindres sont agencés en un réseau hexagonal (chacun a six plus proches voisins), lui-même cylindrique, de 210 micromètres de diamètre. La distance qui sépare chaque

petit cylindre de son plus proche voisin est remarquablement constante le long de la soie.

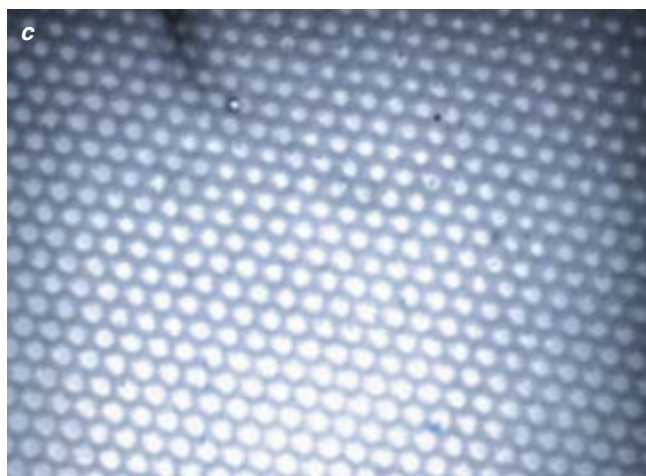
Dans une seconde étape, les zoologistes ont modélisé une soie afin d'en déterminer les caractéristiques optiques. Confirmant les observations sur l'animal, le modèle réfléchit les longueurs d'onde du rouge, du vert et du bleu, tandis que celles comprises entre 520 et 580 nanomètres sont complètement absorbées par la soie : elles ne sont pas transmises.

On ignore encore quels avantages des soies iridescentes apportent aux aphrodites : est-ce pour reconnaître leurs congénères, trouver un partenaire ou attirer les proies?

L'aphrodite n'est pas le seul animal doté d'une parure aux couleurs changeantes : les papillons en sont un autre exemple. Toutefois, à l'inverse de la structure complexe des ailes des lépidoptères, la simplicité géométrique des soies du ver marin en fait un modèle de choix pour les physiciens qui souhaiteraient en copier la structure.



L'aphrodite (en haut) est un ver marin qui mesure environ 20 centimètres de longueur et dont les soies latérales sont iridescentes : selon l'angle d'incidence de la lumière, les soies réfléchissent des couleurs différentes. Le diamètre des soies est de l'ordre de 200 micromètres. Elles apparaissent ainsi rouges (a), ou vertes et bleues (b). Cette pro-



priété est due à la structure périodique des soies qui sont composées d'une série de cylindres creux dont les parois sont en chitine (c). Chaque cylindre a un diamètre de un micromètre. Certains rayons lumineux sont piégés dans les soies, tandis que d'autres sont réfléchis : leurs couleurs changent selon l'angle d'observation.

Agent double protéique

Une protéine essentielle pour le fonctionnement des muscles, la dystrophine, commande aussi le débit du sang dans les artères.

Pendant une course, le rythme cardiaque s'accélère, le flux sanguin augmente dans les organes qui participent à l'effort, mais ralentit dans les autres. Ces variations sont commandées par les petites artères périphériques alimentant les capillaires qui irriguent les organes. Ces petites artères ont presque le même diamètre chez tous les mammifères ; seul leur nombre varie. Pour augmenter ou, au contraire, réduire le flux sanguin, elles se dilatent ou se contractent. Daniel Henrion et son équipe, dans l'Unité INSERM 541, à l'Hôpital Lariboisière, à Paris, ont constaté que la dystrophine, une protéine essentielle du muscle, intervient dans la régulation du diamètre des artères qui commandent l'afflux de sang pendant l'effort.

Les vaisseaux sanguins sont constitués d'un endothélium, c'est-à-dire d'une couche de cellules en contact avec le sang, et de cellules musculaires lisses, qui entourent les vaisseaux et en autorisent la contraction. Pour une pression et un débit sanguin donnés, un équilibre s'établit entre le muscle lisse, prêt à réduire le diamètre du vaisseau, et l'endothélium, qui tend, au contraire, à le faire augmenter. Les physiologistes s'interrogent depuis longtemps sur l'identité de la molécule qui active les signaux biochimiques de la contraction ou de la relaxation musculaire, selon le débit sanguin perçu par les cellules endothéliales ou la pression détectée par les cellules du muscle lisse. L'équipe de l'INSERM a eu l'idée d'évaluer le rôle de la dystrophine,

une protéine du cytosquelette qui confère leur forme aux cellules. Dans les muscles striés, la dystrophine relie des protéines de la membrane cellulaire et les filaments d'actine. L'absence de dystrophine est à l'origine de la myopathie de Duchenne.

Pour élucider le rôle de la dystrophine, les biologistes ont prélevé des petites artères sur des souris dont les tissus sont dépourvus de dystrophine en raison d'une mutation du gène correspondant, puis ils ont étudié leurs réactions à des augmentations de la pression ou du débit sanguin. Chez des souris normales, quand le débit augmente, les vaisseaux se dilatent, mais quand la pression augmente, c'est le «tonus myogénique», c'est-à-dire la contraction, qui croît. Chez les souris sans dystrophine, les artères se dilatent très peu quand le débit augmente, mais le tonus des vaisseaux s'accroît normalement avec la pression sanguine. En revanche, en présence d'agents qui déclenchent la dilatation, l'acétylcholine, par exemple, les vaisseaux se dilatent, même chez les souris qui ne produisent pas de dystrophine : les cellules musculaires restent fonctionnelles, malgré l'absence de dystrophine, mais les messages de dilatation ne leur sont plus transmis.

Lorsque le débit sanguin augmente, l'endothélium libère des agents qui déclenchent la dilatation des vaisseaux. Le monoxyde d'azote (NO) est le principal d'entre eux. D. Henrion et ses collègues ont comparé la libération de monoxyde d'azote par l'endothélium de souris normales ou de souris mutées ; ils ont constaté que l'absence de dystrophine diminue notablement la synthèse de monoxyde d'azote, comme si l'endothélium était moins sensible à l'action mécanique du cisaillement. Normalement, la paroi des artères est soumise à deux types de forces : une force perpendiculaire à la paroi qui est due à la pression sanguine et une force de cisaillement, qui s'exerce dans le sens du flux et qui résulte des frottements des cellules sanguines sur la paroi. Ceci montre, pour la première fois, que la dystrophine est un maillon indispensable entre le signal physique, le cisaillement, qui est associé au débit sanguin, et le signal biologique responsable de la dilatation, la synthèse de monoxyde d'azote. La dystrophine serait un «détecteur» de cisaillement et, une fois activée, elle déclencherait la synthèse de monoxyde d'azote par les cellules endothéliales, médiateur qui agit sur les cellules musculaires pour qu'elles relâchent ou, au contraire, resserrent leur contrainte. Ainsi, la dystrophine adapte le débit sanguin aux besoins des tissus.

Marie-Thérèse LANDOUSY

Des piles à eau de mer

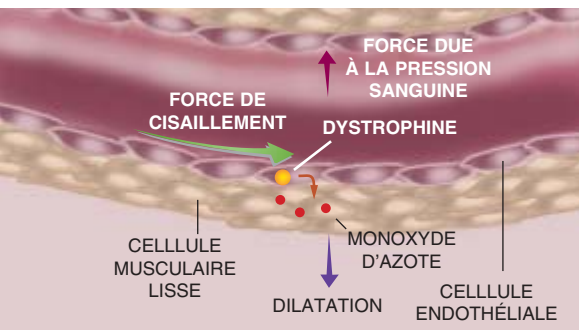
Une source d'énergie qui utilise l'eau de mer fait avancer des robots sous-marins.

La mer n'a pas fini de livrer ses richesses, et l'homme d'y puiser son énergie. Après les usines marémotrices qui produisent de l'énergie grâce aux marées, les prototypes de centrales qui convertissent l'énergie des vagues ou de la houle, des physiciens ont mis au point une pile qui fonctionne avec l'oxygène présent dans l'eau de mer.

Les robots autonomes, militaires ou civils, sont de plus en plus utilisés pour le contrôle d'installations sous-marines. On dépose le robot au fond de l'océan, où il se déplace lentement pour surveiller des câbles, des pipelines ou pour détecter des mines, par exemple. Pour que le robot soit autonome, il doit fonctionner avec peu d'énergie. On limite au maximum les opérations qui consistent à le remonter en surface pour changer ses piles ou pour recharger ses batteries ; l'intervention est fastidieuse et coûteuse, car elle nécessite le déplacement d'un navire. Les piles au lithium, les plus performantes aujourd'hui, ont une durée de vie trop courte. Les piles à eau de mer sont une nouvelle possibilité : elles sont bon marché et durent longtemps.

Elles ont été inventées par des ingénieurs russes dans les années 1970, mais se développent véritablement depuis les années 1990. Elles contiennent une anode composée d'un alliage métallique (magnésium ou aluminium) et une cathode formée d'un matériau inerte, du cuivre ou des fibres de carbone, le plus souvent. L'oxygène dissous dans l'eau de mer sert d'oxydant à la réaction électrochimique, et l'eau de mer est l'électrolyte. Le principe est simple, mais la mise en œuvre l'est moins. La concentration en oxygène dans l'eau de mer est faible (0,3 mole par mètre cube en moyenne). La circulation d'eau de mer dans la pile doit être suffisante pour fournir assez d'oxygène à la cathode.

L'eau de mer, corrosive, débarrasse les électrodes des produits de la réaction (oxyde de magnésium...) qui s'accumulent et réduisent le courant dans la pile. Toutefois, des couches de calcaire se déposent sur la cathode et diminuent le rendement de la pile. Des «biofilms» se forment aussi : des bactéries ou des micro-organismes colonisent la surface de la cathode. Certaines détériorent la pile assez rapidement, lorsque le robot



La dystrophine, dans les cellules endothéliales, détecte le cisaillement dû aux frottements des globules rouges sur la paroi des vaisseaux et déclenche la production de monoxyde d'azote, lequel entraîne la dilatation de ces vaisseaux.