

Cécité et vieillissement

Les radicaux libres semblent participer à la dégénérescence de la rétine liée à l'âge, une maladie qui touche de nombreuses personnes âgées.

L'espérance de vie augmente régulièrement, mais, avec elle, les pathologies liées au vieillissement et, notamment, la cécité : sept pour cent des personnes de plus de 75 ans ont une vision dégradée. Si l'on sait assez bien corriger la cataracte (l'opacification du cristallin) et le glaucome (une tension trop élevée dans le globe oculaire), on ignore comment combattre la dégénérescence maculaire liée à l'âge, encore nommée DMLA. La macula est la zone centrale de la rétine essentielle à la vision. Toutefois, l'étude menée par Cécile Delcourt, dans l'équipe de Laure Papoz, de l'unité INSERM 500, à Montpellier, semble conforter l'hypothèse d'une dégradation de la rétine par les radicaux libres, des molécules très oxydantes, qui endommagent le matériel cellulaire, notamment les membranes et l'ADN ; les cellules soumises à de telles oxydations meurent, et le vieillissement est accéléré. Cette hypothèse ouvrira-t-elle une nouvelle piste thérapeutique ?

Au centre de la rétine, dans la région de la macula, la densité des photorécepteurs est maximale, tout comme l'acuité visuelle. C'est également dans cette zone que les pigments jaunes sont les plus denses. Cette pigmentation a donné son nom à la région – macula lutea, ou tache jaune. Quand la macula dégénère, la vision des détails est

détériorée, et les personnes atteintes ne peuvent plus lire ni conduire, et ne reconnaissent plus les visages des personnes qu'elles rencontrent, même lorsque ce sont des proches. La vision périphérique, qui permet de se repérer dans son environnement, reste correcte, mais, au centre de l'image, une tache noire masque les images. Pour dépister et, éventuellement, prévenir cette maladie, on doit d'abord en élucider les mécanismes et trouver des facteurs de prédisposition.

Sur la rétine de la quasi-totalité des personnes âgées (80 pour cent), on observe de petites taches jaunâtres, nommées drusen : ce sont des débris de cellules de l'épithélium pigmentaire (une des couches constituant la rétine) qui s'accumulent et ne sont plus éliminés par les «éboueurs» de l'organisme. Lorsqu'ils sont de petite taille, les drusen ne troublent pas la vision. Quand la pathologie évolue, les photorécepteurs (les cônes et les bâtonnets) dégèrent aussi, car leur intégrité dépend de celle des cellules de l'épithélium pigmentaire. Lorsque les débris accumulés sont trop abondants, le contact entre l'épithélium pigmentaire et la couche juxtaposée (la choroïde) se dégrade : l'épithélium pigmentaire n'est plus alimenté et commence à dégénérer. Pour pallier cette insuffisance, de petits vaisseaux prolifèrent, irriguant la zone en péril. Toutefois, la prolifération est excessive, et du sérum suinte de ces vaisseaux : un film liquide accélère le décollement de l'épithélium pigmentaire. Les drusen grossissent, la vascularisation s'accélère et les taches s'étendent : simultanément l'acuité visuelle décroît.

Deux pour cent des personnes qui ont des drusen finissent par avoir une

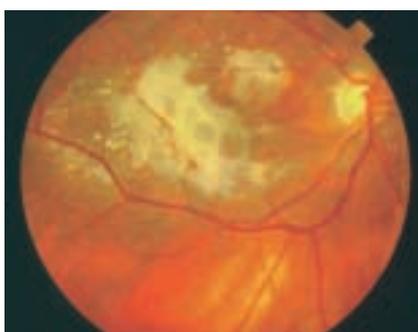
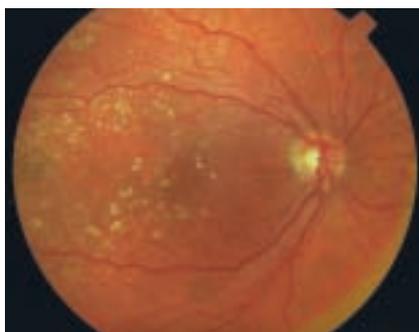
dégénérescence maculaire. Pourrait-on, d'après l'aspect ou le nombre des drusen, prévoir la survenue de la maladie et sa gravité ? On commence à identifier quelques facteurs de risques. Ainsi, d'après diverses études épidémiologiques, les personnes qui fument et celles qui ont des plaques d'athérome (un rétrécissement des artères souvent à l'origine d'accidents vasculaires cérébraux) sont plus souvent exposées. Le risque est multiplié par cinq chez les gros fumeurs.

Or on sait que la fumée de cigarette libère des radicaux libres et que le stress oxydant est déjà incriminé dans diverses pathologies, telles les maladies cardiovasculaires et la maladie d'Alzheimer. La rétine contenant beaucoup d'acides gras polyinsaturés, très sensibles aux radicaux libres, peut-on lier le stress oxydant et la dégénérescence de la macula ?

L'étude POLA, coordonnée par C. Delcourt à Sète, vise à étudier l'impact des maladies oculaires liées à l'âge. Plus de 2 500 personnes dont la moyenne d'âge est égale à 70,4 ans participent à cette étude épidémiologique : elles ont subi un examen oculaire approfondi et des tests biologiques, notamment un dosage de la glutathion peroxydase, une enzyme présente dans le sang et qui intervient dans les mécanismes de lutte contre les radicaux libres.

L'étude a révélé que les personnes ayant une concentration plasmatique élevée en glutathion peroxydase ont neuf fois plus de risques que les autres d'avoir une dégénérescence maculaire tardive. L'équipe de Montpellier suppose que la concentration en glutathion peroxydase augmente pour lutter contre les radicaux libres en excès dans l'organisme. Pourtant, malgré une forte production de l'enzyme qui piège les radicaux libres, le système antiradicalaire deviendrait inefficace et le stress oxydant poursuivrait son action destructrice. Une augmentation de la concentration en glutathion peroxydase pourrait-elle servir de facteur prédictif ? Pour le savoir, les personnes qui participent à l'étude vont être suivies pendant trois ans.

Aujourd'hui, on ne dispose d'aucun médicament, et les traitements par laser n'améliorent généralement pas l'acuité visuelle. L'utilisation d'antioxydants, par exemple de vitamines, préviendrait-elle l'apparition des dégénérescences maculaires liées à l'âge et en réduirait-elle la gravité ?



C. Delcourt

Les drusen (les petites taches jaunes, à gauche) témoignent de l'accumulation de débris cellulaires. Quand les taches grossissent (à droite), elles indiquent que la personne a une dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Météo dans les grottes

Une stalagmite montre l'évolution du climat et des cycles climatiques, et renseigne sur les activités humaines.



Bien à l'abri dans une grotte, peut-on être informé du climat et des activités humaines qui se déroulent à la surface, quelques centaines de mètres au-dessus ? Oui, il suffit d'être patient et d'attendre que l'eau traverse les couches calcaires du sol et forme des stalactites et des stalagmites. En étudiant un échantillon de 140 centimètres de longueur d'une stalagmite prélevée dans les grottes de Choranche, dans le Vercors (Isère), Yves Perrette et Jean-Jacques Delannoy, de l'Université de Savoie, avec Jean-Luc Destombes, du Laboratoire de physique des lasers, atomes et molécules, de Lille, ont retracé l'histoire climatique, environnementale et humaine des 9 000 dernières années.

L'eau des précipitations s'infiltré dans un sol calcaire après s'être enrichie en dioxyde de carbone au contact des débris organiques de l'humus. Par percolation, l'eau ainsi acidifiée progresse et dissout le calcaire jusqu'à saturation. Lorsque cette eau débouche dans une cavité, une grotte par exemple, la concentration en dioxyde de carbone dans l'air est inférieure à celle de dioxyde de carbone dissous, un équilibre tend à s'établir ; du dioxyde de carbone repasse à l'état gazeux et les ions carbonates dissous, en excès par rapport au dioxyde de carbone, cristallisent en calcite. Peu à peu, les dépôts de ces cristaux forment une stalactite. La goutte tombe, perd encore du dioxyde de carbone, une stalagmite s'érige à l'aplomb de la stalactite en quelques siècles.

Les dépôts successifs de calcite plus ou moins poreuse, nommés lamines, enregistrent l'intensité des précipitations. Les géophysiciens ont analysé la structure cristalline de l'échantillon en mesurant l'intensité de diffusion, c'est-à-dire la quantité de lumière réfléchiée dans toutes les directions, en éclairant sa surface avec un faisceau laser.

Pendant les mois pluvieux (d'octobre à avril), l'eau est abondante et la fraîcheur empêche l'évaporation : la percolation est alors rapide, les carbonates cristallisent rapidement en une couche de calcite poreuse constituée de petits cristaux qui croissent dans toutes les directions. La lumière diffusée est importante, et la calcite apparaît blanche et laiteuse lorsqu'elle est éclairée. En revanche, pendant le



L'échantillon de stalagmite (à gauche), de six centimètres de hauteur, provient des Grottes de Choranche. L'alternance de lamines claires et sombres, ainsi que les particules organiques qu'elles contiennent, retracent près de 400 ans d'activités humaines à la surface. Ainsi, sont enregistrées les faibles activités rurales actuelles (a) avec peu d'inclusions, la production de charbon de bois des forges à canon de Saint-Gervais entre 1750 et 1900 (b), et le défrichement des Chartreux de la Bourne pendant le XVII^e siècle (c).

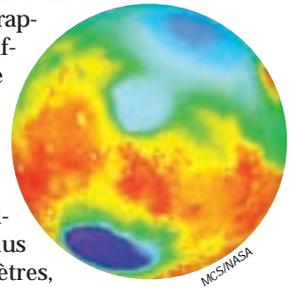
BRÈVES

Mettez-le dans le coffre!

Dans les films de gangsters, le bon ou le méchant est enfermé dans un coffre de voiture. Grâce à un mécanisme de détection de présence, cette personne pourra maintenant s'échapper : un dispositif mis au point par les ingénieurs de la *General Motors* utilise un capteur infrarouge qui détecte les mammifères par la chaleur qu'ils dégagent. Ce mécanisme servira à éviter les accidents : au cours de l'été 1998, 11 enfants sont morts des suites d'enfermement dans un coffre de voiture.

Mars en 3D

La sonde *Mars Global Surveyor* a fourni la première image tridimensionnelle globale de la surface martienne. Après avoir rassemblé près de 27 millions de mesures d'élévation durant deux années, les astronomes ont établi la carte. La caractéristique la plus frappante de Mars est la différence entre le lisse hémisphère Nord et l'hémisphère Sud, couvert d'impacts de météorites. L'écart d'altitude entre le point culminant et le point le plus bas est de 30,6 kilomètres, une fois et demie la valeur sur Terre. Enfin, la planète a une forme de poire : l'hémisphère Nord est à une altitude globalement inférieure à celle de l'hémisphère Sud. Au début de l'histoire martienne, l'eau avait un mouvement du Sud vers le Nord.



Ordinateur et mots croisés

Les ordinateurs gagnent au backgammon, aux échecs... et ils font aujourd'hui des mots croisés : Michael Littman, de l'Université Duke, a apporté son programme *Proverb* au Tournoi de mots croisés de Stamford. Si la machine avait été classée, elle aurait été 147^e sur 254. *Proverb* est exécuté en parallèle par plusieurs ordinateurs personnels ; il résout les mots croisés très différemment de nous. Quand il rencontre une définition telle que « cracheur sicilien » (pour évoquer l'Etna), il envoie toutes les indications qu'il analyse, ainsi que la longueur du mot cherché, à ses 30 modules. Chacun de ceux-ci renvoie une liste de possibilités, assorties de probabilités, issues des bases de données compilées à partir de 14 années de mots croisés publiés dans les journaux.

La nébuleuse Papillon

En recherchant des étoiles jeunes massives dans le Grand nuage de Magellan, l'une des galaxies les plus proches de la nôtre, une équipe de l'Observatoire de Paris a découvert une nébuleuse aux formes étranges. Nommée nébuleuse Papillon, cet objet est à 170 000 années-lumière. Des étoiles massives, très chaudes, éjectent des arcs et des filaments qui dessinent un vaste nuage de 150 années-lumière de diamètre. Au centre (*détail, en haut à droite*), on distingue la nébuleuse en forme de papillon. C'est la première fois que l'on observe une pareille forme, qui résulterait de l'éjection de gaz par une étoile très massive, enfouie dans la zone d'absorption centrale.



HST

Engrenage brûlant

La forêt amazonienne est menacée par les incendies allumés la plupart du temps par l'homme, volontairement ou non. La menace est insidieuse : un premier incendie ne consume souvent que les feuilles mortes et les plantes situées au ras du sol, mais il entraîne la mort de nombreux autres arbres, qui deviennent autant de combustible facilement inflammable dans un second incendie. Selon une équipe américano-brésilienne qui a étudié plusieurs parcelles de forêt près du delta de l'Amazone, l'intensité et la vitesse de diffusion des incendies successifs au même endroit augmentent, jusqu'à la disparition complète des arbres. Les zones récemment brûlées, mais pas complètement détruites, devraient donc être particulièrement surveillées.

0,0449 litre pour 100 kilomètres...

...soit 2 227 kilomètres avec un litre d'essence, performance établie par l'équipe du lycée La Joliverie de Nantes, avec leur véhicule Micro Joule lors du *Shell Eco-Marathon 1999*, sur le circuit du Castellet. Chaque année, des équipes de professionnels ou d'amateurs testent la consommation de leurs prototypes sur une distance d'environ 20 kilomètres, avec comme seule contrainte pour le pilote de rouler à plus de 25 kilomètres par heure. La barre des 2 000 kilomètres par litre d'essence a été franchie cette année.



J.-F. Galleron

printemps et l'été, peu d'eau s'infiltré, les cristaux de calcite sont compacts et bien ordonnés. La lumière les traverse facilement : ils réfléchissent peu de lumière et ont un aspect sombre. Ainsi, comme les cerne concentriques d'un arbre renseignent sur son âge, l'alternance de lamines blanches et sombres permet aux géophysiciens de remonter dans le temps, à raison d'un couple de lamines par année.

L'analyse des proportions relatives des lamines sombres et claires a mis en évidence des cycles de précipitations sur le Vercors de 2,5, 6 et 8,7 années. De telles oscillations n'avaient jamais été observées dans les Alpes françaises. À l'abri de l'érosion dans leurs cavités souterraines, les stalactites et les stalagmites enregistrent les variations du climat sur tous les continents.

L'eau ne charrie pas que des carbonates, mais aussi des grains de pollen

et des molécules organiques dont l'analyse fournit de précieuses indications sur la végétation et sur les activités humaines. Ainsi, les particules de charbon de bois et d'argile observées au microscope dans les lamines attestent de l'essartage — une technique de défrichage par brûlis — pratiqué par les moines Chartreux de la Bourne aux XVII^e et XVIII^e siècles, et de l'activité de la forge à canons de Saint-Gervais, au pied du plateau du Vercors entre environ 1750 et 1900. Pendant deux siècles, les inclusions de charbon de bois sont si nombreuses que les lamines sont grises (*voir la figure*).

Par ailleurs, la taille des molécules organiques entraînées par l'eau de percolation nous indiquera le degré de dégradation des débris végétaux et la qualité du sol. Les stalactites et les stalagmites racontent l'histoire de la surface.

Mosaïque paléolithique

Neandertal et Cro-Magnon se seraient mélangés.

Lorsque les hommes modernes arrivent en Europe, il y a 40 000 ans, le continent est occupé par un autre type d'hommes, les Néandertaliens. Une dizaine de milliers d'années plus tard, ces derniers ont disparu. Que sont-ils devenus ? Les deux populations se sont-elles rencontrées ? Se sont-elles affrontées ? Selon une équipe dirigée par Erik Trinkaus, de l'Université Washington de Saint-Louis, et Joao Zilhao, de l'Institut portugais d'archéologie, non seulement

les deux populations ont coexisté, mais elles se sont mélangées, au moins localement. La preuve ? Le squelette d'un enfant mort il y a 24 500 ans, trouvé en décembre dernier au Portugal, présente à la fois des caractères néandertaliens et des caractères modernes.

Il y a un million d'années, des *Homo erectus*, dont l'espèce est apparue en Afrique, arrivent en Europe, en passant par le Proche-Orient. Soumis à une alternance de brèves périodes chaudes et de longues glaciations qui isolent l'Europe de l'Asie, ces hommes évoluent et deviennent, il y a un peu plus de 100 000 ans, des Néandertaliens. Bien adaptés pour résister au froid, ils sont trapus, robustes et vigoureux : leurs



IPA

À la base de cette falaise (*à droite*), située à une centaine de kilomètres au Nord de Lisbonne, un enfant (*à gauche*) a été inhumé, enroulé dans des peaux couvertes d'ocre, il y a 24 500 ans, par une population qui descendrait à la fois des Néandertaliens et des hommes modernes.

proportions corporelles «hyperarctiques» les rapprochent des Esquimaux actuels. En plus d'un front et d'un menton fuyants, avec un bourrelet au-dessus des orbites, hérités des *Homo erectus*, leur crâne a des caractères spécifiques : un nez proéminent, de larges orbites, des pommettes fuyantes et un crâne allongé.

Les hommes modernes de cette époque, dont le type le plus connu est l'homme de Cro-Magnon, sont comparativement plus graciles : les premiers qui arrivent en Europe (probablement d'Afrique) ont même des proportions corporelles subtropicales (ils ressemblent aux Hottentots). Cette caractéristique exceptée, ils nous ressemblent en tous points.

À partir d'il y a 40 000 ans, ils envahissent progressivement tout le territoire occupé auparavant par les Néandertaliens, dont les derniers représentants connus s'éteignent il y a 30 000 à 28 000 ans, au Portugal et dans le Sud de l'Espagne. C'est donc d'un homme moderne que les archéologues pensaient avoir trouvé la sépulture à Lagar Velho, à une centaine de kilomètres au Nord de Lisbonne : une lentille de charbons de bois sous les jambes du squelette et deux os de cerf associés à celui-ci ont été datés de 24 500 ans, et de l'ocre, saupoudré probablement sur des peaux qui enveloppaient le corps, couvre les os, comme dans d'autres sépultures de cette période en Europe. Le squelette est celui d'un enfant d'environ quatre ans, selon son

développement dentaire. Son crâne a malheureusement été détruit par l'engin de terrassement qui a révélé le site. Sa mâchoire, bien conservée, porte un menton très proéminent, qui, avec les tailles relatives de ses incisives et de ses molaires, est caractéristique de l'homme moderne.

Toutefois, les proportions relatives de ses membres ainsi que la robustesse de ses jambes lui donnent une corpulence plutôt néandertalienne. L'orientation de la symphyse mentonnière (la suture entre les deux côtés de la mandibule) ressemble aussi à celle des Néandertaliens, tout comme les marques d'accrochage des muscles sur le bras. D'autres dimensions corporelles sont intermédiaires entre celles des Néandertaliens et celles des hommes modernes anciens.

Cet enfant semble donc issu du croisement des deux populations. La date de son inhumation, postérieure d'environ 4 000 ans aux derniers Néandertaliens connus, démontrerait qu'il ne s'agit pas d'un cas isolé, produit unique des improbables amours entre un Roméo néandertalien et une Juliette Cro-Magnon (ou réciproquement) : il y a eu, dans cette région, une population «hybride» pendant plusieurs milliers d'années.

Cette interprétation est, bien sûr, contestée : les caractères retenus sont-ils vraiment spécifiques de l'une ou de l'autre population ? En outre, les étapes

de la croissance des Néandertaliens comme des hommes modernes anciens sont mal connues : les restes humains de cette époque sont rares et, plus encore, ceux d'enfants. La variabilité interindividuelle augmente aussi les incertitudes : ne serait-on pas en présence d'un individu exceptionnel (on rencontre, aujourd'hui encore, des individus porteurs de caractères «néandertaliens») ?

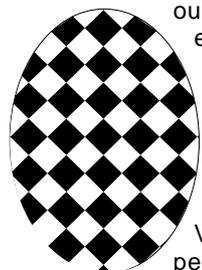
Que signifierait l'existence d'une hybridation entre Cro-Magnon et Neandertal ? Sur le plan biologique, cela prouverait que les deux espèces ne sont pas très différentes : leur croisement a produit une descendance viable et fertile. En outre, cela confirmerait la similitude de leurs capacités cognitives, que de nombreux archéologues déduisent aujourd'hui de l'étude des comportements. Enfin, si les hommes modernes et les Néandertaliens se sont ainsi mélangés, c'est aussi qu'ils étaient culturellement assez proches pour établir des relations sociales de groupe à groupe. Neandertal, notre ancêtre ?



Voir sans voir

Une brève perturbation risque de masquer une modification importante dans le champ visuel.

Au volant d'une voiture, vous êtes concentré sur la route et sur les véhicules qui vous précèdent. Soudain, une mouche vient finir ses jours sur votre pare-brise ou une tache de boue est projetée. Pendant cette brève perturbation, les feux de stop de la voiture qui est juste devant se sont allumés : vous ne les avez pas vus ! Votre cerveau n'a pas perçu ce changement dans votre champ de vision. Que s'est-il passé ? Kevin O'Regan,



Kevin O'Regan

1. Regardez cette image pendant trois secondes, puis tournez la page et observez l'autre image durant trois secondes, revenez à cette image, et continuez tant que vous n'avez pas découvert l'élément modifié. En passant d'une image à l'autre, vous vous approchez des conditions d'autres expériences où les images sont séparées par un clignement d'œil ou un écran blanc. Vous pouvez aussi tenter l'expérience avec les exemples d'animations vidéo disponibles sur le site internet <http://nivea.psycho.univ-paris5.fr>

Gare aux petits pois!

Des chercheurs de l'INRA ont découvert les propriétés insecticides d'une protéine du petit pois en étudiant les charançons des céréales qui prospéraient sur les châtaignes et sur les glands, mais pas sur les pois cassés. Les biologistes

ont analysé les pois cassés et identifié une protéine dont on ignorait les propriétés insecticides. Sommes-nous

aussi menacés? Les tests montrent que la protéine conserve son activité insecticide après cuisson, mais qu'elle n'est ni toxique ni allergénique pour l'homme : nous ne sommes pas des charançons, malgré les allégations de Kafka.



C. Nardon, LBA INRA-INSIA, Lyon, UA 203

Peinture fractale

Dans les années 1940, s'inspirant de Max Ernst, le peintre américain Jackson Pollock développe une technique d'«égouttage» : la peinture tombe sur la toile, posée à terre, par les trous percés dans un récipient ou est projetée à l'aide d'une seringue. Selon trois physiciens de l'Université de Nouvelle-Galles du Sud, à Sydney, les mathématiques permettent de suivre l'évolution de sa technique, de dater les toiles et de confondre d'éventuels faussaires : ils ont en effet découvert que les motifs peints par Pollock sont fractals et que leur dimension fractale a augmenté au fil des années, de un en 1943, à 1,72 en 1952.

Pas de la petite bière...

Pourquoi les bières sans alcool ont-elles un goût désagréable? Parce qu'elles contiennent un aldéhyde nommé méthional. Telle est la conclusion des travaux de l'équipe de Philippe Perpète, de l'Université de Louvain, qui a comparé la composition des bières traditionnelles à celle des bières sans alcool. La méthode de production la plus courante de ces bières consiste à utiliser des levures avec un moult à environ 1° C. À cette température, les enzymes des micro-organismes sont inefficaces pour transformer les aldéhydes en alcool, et le méthional, dont le seuil de détection est très bas, s'accumule. Les microbiologistes espèrent améliorer le goût des bières sans alcool en supprimant le gène qui code l'enzyme produisant le méthional.

du Laboratoire de psychologie expérimentale du CNRS, à Paris, et ses collègues de la Société Nissan ont montré que le cerveau n'utilise pas tous les éléments d'une scène pour en construire une représentation mentale et la mémoriser. Ainsi, certaines modifications importantes passent inaperçues lorsqu'elles se produisent pendant une perturbation, même minime.

Les psychologues ont montré à 10 volontaires 48 paires d'images identiques à l'exception d'un élément important, par exemple un avion de chasse qui se pose sur un porte-avions (voir la figure 1). Au cours d'une de ces expériences, les images se succèdent à des intervalles réguliers de trois secondes. Lors du passage d'une image à l'autre, quelques petites formes parasites (ovales ou carrés) sont superposées pendant 80 millisecondes sur la photographie, mais ne recouvrent pas l'élément modifié. Le diamètre de ces ovales est inférieur à trois pour cent de la largeur de l'image. Les observateurs avertissent les expérimentateurs dès qu'ils ont décelé le changement. Pourquoi est-ce parfois long?

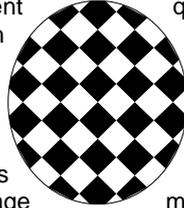
Les éléments visuels d'une scène sont de deux types : les éléments d'intérêt central et les éléments d'intérêt marginal. Par exemple, dans un portrait, l'identité pourrait être centrale tandis que la couleur de la chemise serait marginale. Les observateurs repèrent dès le premier changement d'image les modifications des éléments d'intérêt central. En revanche, les variations des éléments d'intérêt marginal ne sont détectées qu'à la deuxième projection, voire plus tard. Parfois, le changement n'est pas repéré à l'issue de l'essai qui dure 40 secondes.

L'attention des observateurs a été détournée par les petites formes et la modification n'a pas été détectée. Cette cécité au changement a lieu même quand les changements sont importants. Les psychologues en déduisent que le cerveau n'utilise qu'une faible partie de l'information visuelle disponible – les éléments d'intérêt central – pour représenter une scène complexe.

Pour confirmer que les éléments centraux d'une scène sont mémorisés alors que les éléments marginaux sont négligés, une seconde expérience a été effectuée. Cette fois, une seule forme parasite apparaît pendant le changement d'image, toujours pendant 80 millisecondes, mais elle recouvre l'élément modifié. Les observateurs identifient immédiatement la nature de la modification lorsqu'elle concerne un élément d'intérêt central, mais ils ne peuvent l'identifier quand elle touche un élément d'intérêt marginal. Seuls les éléments fondamentaux sont mémorisés.

Lors d'une modification de l'image sans perturbation, l'œil n'est pas distrait : il est attiré vers le changement et le voit. En cas de perturbation, le regard a été détourné et ne peut compter que sur quelques éléments centraux mémorisés pour comparer les images avant et après la perturbation.

Selon K. O'Regan, le cerveau n'a pas besoin d'une représentation complète du champ visuel puisque le monde extérieur est immédiatement accessible par la vue. Le champ visuel est une sorte de mémoire externe dont le contenu est directement accessible par un mouvement de l'œil ou de l'attention. L'impression de voir un riche panorama serait illusoire.



Kevin O'Regan

2. Passez de cette image à celle de la page précédente et identifiez l'élément qui a changé.

Éponges vitreuses

Des verres poreux piègent les déchets radioactifs.

En France, les déchets radioactifs proviennent essentiellement du retraitement des combustibles issus de la production d'électricité d'origine nucléaire. En mettant à profit les propriétés des aérogels, des matériaux très poreux, nous avons mis au point un verre mieux adapté au confinement des déchets radioactifs à vie longue.

Certains noyaux radioactifs, essentiellement les actinides (la famille de l'uranium), ont une demi-vie (le temps nécessaire pour que l'activité radioactive soit réduite de moitié) parfois supérieure à un million d'années. Comment peut-on conserver ces déchets pour qu'ils restent confinés le plus longtemps possible ? En les intégrant dans une matrice de verre.

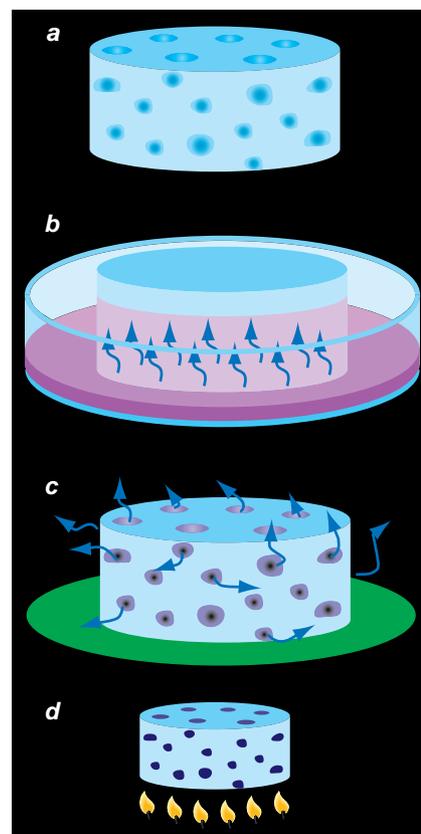
Le verre possède maints avantages. Il est solide, stable lorsqu'il est soumis à l'irradiation ou à des contraintes mécaniques, chimiques et thermiques. Les verres habituellement utilisés sont des borosilicates, composés de silice (SiO_2) et d'une multitude d'éléments, qui représentent 13 pour cent en poids du matériau. Avec les actinides, les nouveaux verres de confinement devront avoir une meilleure stabilité chimique que celle des borosilicates. En particulier, lorsque les verres seront enfouis dans les sites de stockage, on veut éviter que, dans l'éventualité d'un contact avec l'eau, les éléments radioactifs soient dissous.

On améliore la durabilité chimique par l'utilisation de la silice pure, car les éléments qu'on y ajoute habituellement, tels le bore et le sodium qui facilitent la fusion du verre, sont plus solubles dans l'eau que la silice, de sorte que la matrice de verre résiste moins à la corrosion par l'eau. Or, l'obtention de silice pure par un procédé de fusion classique nécessite des températures supérieures à 2 000 °C, qui constituent un obstacle technique et économique. De surcroît, la matrice de verre obtenue par fusion de la silice pure et des éléments radioactifs n'est pas une structure vitreuse de silice pure où seraient piégés les éléments radioactifs, mais une structure vitreuse moins stable dont les composants incluraient les éléments radioactifs.

Pour tourner ces difficultés, nous avons, en collaboration avec J.-L. Duchossoy, du CEA, utilisé des gels de silice, des sortes d'éponges très poreuses. Depuis 1982, on sait fabriquer des aérogels de silice très poreux (contenant plus de 95 pour cent de vide) et dont la surface interne est très grande : jusqu'à 1 000 mètres carrés, dans un gramme d'aérogel. De surcroît, ces matériaux ont la remarquable propriété de se contracter : lorsqu'on les chauffe, les pores se referment.

Comment confine-t-on les éléments radioactifs à l'aide de ces gels ? On commence par dissoudre les substances radioactives dans un solvant dont on imprègne l'éponge de silice. Dans nos essais, nous avons remplacé les actinides, trop radioactifs, par des lanthanides, éléments chimiques aux propriétés analogues. Une fois le solvant évaporé et les éléments déposés à la surface

des pores, il ne «reste plus» qu'à densifier l'éponge imprégnée en la chauffant à une température de l'ordre de 1 100 °C (voir la figure). On obtient alors un ensemble de domaines de silice qui enrobent les éléments radioactifs.



Après fabrication d'un aérogel de silice pure, très poreux (a), on l'imprègne d'une solution de sels d'éléments à confiner (b). On laisse ensuite le liquide s'évaporer (c). Finalement, après chauffage (d), le gel se contracte et enrobe les éléments radioactifs dans une matrice de silice vitreuse.

Les propriétés physico-chimiques de ce matériau vitreux sont prometteuses. Non seulement sa résistance mécanique et sa stabilité thermique sont bonnes (jusqu'à 650 °C), mais les tests de durabilité chimique montrent que la vitesse de dissolution de ce matériau est 60 fois inférieure à celle du verre de confinement borosilicate et plus de 10 fois inférieure à celle de nouvelles matrices de confinement à l'étude (tels les verres basaltiques).

Ces résultats encourageants ne suffisent pas à valider un tel procédé et d'autres aspects doivent être pris en considération. L'auto-irradiation du matériau peut l'endommager, car, même pour des teneurs en éléments radioactifs modérées, des concentrations locales importantes pourraient altérer les propriétés de la matrice au voisinage des domaines de confinement : le rayonnement induit endommagerait la structure du réseau de verre par des

déplacements atomiques, par la formation possible de bulles d'hélium et par une dilatation du matériau.

Ce type de recherches ne concerne pas uniquement les déchets nucléaires. D'autres déchets, tels les résidus d'épuration qui résultent de l'incinération des ordures ménagères, pourraient bénéficier d'un confinement par un procédé analogue.

J. REYNES, Th. WOIGNIER, J. PHALIPPOU, Laboratoire des verres, CNRS, Montpellier

Horloge biologique

De nouveaux photorécepteurs apparentés à des pigments végétaux sont responsables de la perception des cycles quotidiens.

Du matin jusqu'au soir, les jeunes tournesols vrillent leurs tiges et orientent leurs fleurs vers le soleil pour un éclairage optimal. Cependant, quand on place entre la fleur et le soleil un filtre absorbant le bleu, la fleur ne pivote plus. Cette observation, contée par Charles Darwin, montre que des pigments sensibles à la lumière bleue captent les variations d'intensité lumineuse et renseignent la plante sur le nyctémère, c'est-à-dire sur l'alternance du jour et de la nuit. De cette perception des rythmes quotidiens dépendent la germination, la croissance et la floraison. Les animaux



et les êtres humains sont-ils sensibles à ces variations de luminosité ?

L'équipe de Russell Foster, au Collège impérial de Londres, a montré que les mammifères perçoivent les rythmes journaliers grâce à une horloge biologique dont le mécanisme repose sur des pigments qui n'interviennent pas dans la vision. Plus précisément, l'équipe d'Akira Yasui, à l'Université Tohoku, a mis en évidence, chez la souris, le rôle de deux protéines apparentées aux pigments bleus des végétaux dans la perception du nyctémère.

Les biologistes britanniques ont étudié des souris dépourvues, après mutations génétiques, des cellules de la rétine responsables de la vision (les cônes et les bâtonnets). Totalement aveugles, elles continuaient néanmoins à percevoir les rythmes journaliers : leur comportement, mesuré par le nombre de tours de roues d'exercice effectués en fonction du moment de la journée, était identique à celui d'une souris normale.

Puis, sur ces mêmes souris, ils ont étudié l'influence d'une lumière monochromatique bleue sur la production de mélatonine, une hormone synthétisée par une région de la base du cerveau, nommée le noyau suprachiasmatique, qui commande la température corporelle et les cycles veille/sommeil. Chez une souris normale, la synthèse de mélatonine est inhibée par la lumière : elle l'est également chez les souris dépourvues de cônes et de bâtonnets. De ces deux expériences, on conclut que la perception du nyctémère est indépendante des pigments de la vision et nécessite la présence d'autres récepteurs sensibles aux variations de lumière.

L'équipe japonaise s'intéressait aux photolyases, des protéines qui réparent l'ADN endommagé par une exposition aux ultraviolets B : elles sont activées par une lumière bleue ou par des ultraviolets A. Ils ont découvert les protéines Cry1 et Cry2, synthétisées dans toutes les cellules et qui, outre leur fonction réparatrice, ressemblent aux cryptochromes, des pigments végétaux sensibles aux variations de lumière. Les biologistes ont alors créé trois espèces de souris mutantes chez qui, soit Cry1, soit Cry2, soit les deux protéines n'étaient pas synthétisées. Ils ont étudié le comportement circadien de ces souris par leur activité locomotrice dans une roue à exercice. Dans des conditions de laboratoire, où le jour et la nuit durent chacun 12 heures, les trois espèces ont un cycle régulier de 24 heures.

En revanche, dans l'obscurité totale, alors que les premières ont un cycle d'activité réduit d'environ une heure, le rythme des deuxièmes augmente d'une heure. Les protéines Cry1 et Cry2 ont des fonctions antagonistes qui dérèglent l'horloge biologique : Cry1 accélère le cycle, Cry2 le retarde. Les souris de la troisième espèce perdent tout périodicité de comportement et n'ont plus aucun «rythme de vie». Les biologistes concluent que les protéines Cry1 et Cry2 captent les variations lumineuses du jour et de la nuit.



Les végétaux et les animaux vivent au rythme de l'alternance du jour et de la nuit. Ces deux règnes ont des récepteurs photosensibles qui appartiennent à la famille des cryptochromes.

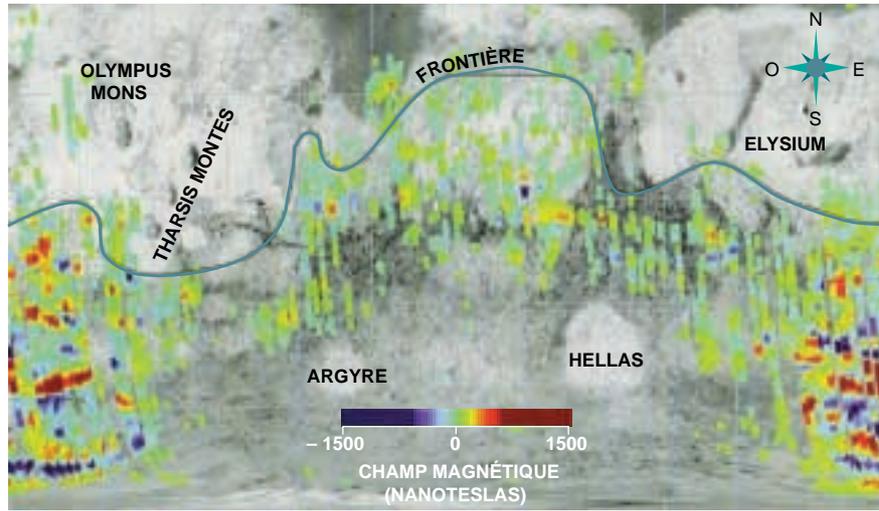
Relique de tectonique

Les hauts plateaux de Mars seraient-ils des restes de la croûte océanique primitive?

Depuis septembre 1997, la sonde américaine *Mars Global Surveyor* est en orbite autour de la planète Mars. À bord de cette sonde, une expérience de mesure du champ magnétique, menée conjointement par des équipes américaines et notre laboratoire, a montré que la planète Mars n'a pas de champ magnétique global, contrairement à la Terre et aux planètes géantes.

En revanche, cette expérience a révélé de fortes sources magnétiques localisées dans la croûte martienne, indice que, par le passé, la planète Mars engendrait son propre champ magnétique par un phénomène de dynamo interne résultant de mouvements dans un cœur métallique en fusion. Afin de visualiser ces « anomalies magnétiques », nous avons enregistré la composante radiale (verticale) du champ magnétique lors des survols de la sonde à des altitudes inférieures à 200 kilomètres (*voir la figure*).

D'où proviennent ces anomalies? Lorsque l'on superpose la carte des anomalies et celle de la géologie martienne, on constate que la plus grande partie des sources magnétiques de la croûte est située sur les terrains riches en cratères d'impact, sur les hauts plateaux de



Carte géologique de Mars superposée aux mesures de la composante radiale du champ magnétique à des altitudes inférieures à 200 kilomètres. La frontière géologique caractéristique est représentée par une ligne continue. La majorité des sources magnétiques crustales se trouvent au Sud de la frontière qui sépare les terrains cratérisés du Sud des terrains du Nord (le bassin *Hellas* a un diamètre de 2 000 kilomètres).

l'hémisphère Sud, près de la frontière qui sépare ces hauts plateaux et les plaines relativement jeunes et peu épaisses, au Nord.

La plupart de ces anomalies magnétiques sont associées aux terrains les plus marqués par les cratères, donc les plus anciens. Aucune source magnétique n'est associée à *Tharsis*, *Elysium*, *Valles Marineris*, ni aux ensembles volcaniques principaux de Mars, tel *Olympus Mons*, ni aux grands impacts des bassins *Hellas* et *Argyre*, plus jeunes. La dynamo martienne avait sans doute déjà cessé de fonctionner lorsque ces bassins ont été creusés par l'impact de météorites, il y a environ 3,9 milliards d'années.

Autre propriété étonnante de ces sources magnétiques intenses : elles sont alignées selon une direction Est-Ouest. Ces sources peuvent être représentées par un groupe d'une vingtaine de bandes uniformément aimantées de 200 kilomètres de large, de 30 kilomètres de profondeur et de grande extension longitudinale. Leur polarité s'inverse d'une bande à l'autre. Cette aimantation très ancienne a dû se former lorsque la croûte de Mars était encore mince.

Sur Terre, de telles bandes de polarité alternée sont observées sur les dorsales médio-océaniques, près des épanchements magmatiques au fond des océans. Elles se sont formées à

partir des laves qui remontent en surface. Les cristaux de magnétite contenus dans la lave s'orientent dans la direction du champ magnétique ambiant, juste avant que la lave ne se solidifie en une croûte océanique. Ainsi se crée, au cours de l'évolution de la Terre et des inversions de son champ magnétique, une série de bandes d'aimantation alternée.

Les plaques terrestres se meuvent de quelques centimètres par an et il y a quelques inversions par million d'années, d'où une largeur de bande de l'ordre de dix kilomètres. Mars pourrait avoir produit de la même façon les

bandes observées (200 kilomètres de large) à condition que son champ magnétique ait inversé sa polarité beaucoup plus lentement qu'aujourd'hui sur Terre ou que la vitesse d'épanchement de la croûte martienne ait été bien supérieure à ce qu'elle est sur Terre aujourd'hui.

Forts de cette comparaison, nous pensons que ces bandes magnétiques se seraient formées très tôt dans l'histoire de la planète, lors d'un épisode de tectonique des plaques et d'épanchement magmatique. Les hauts plateaux de Mars constitueraient alors les restes de la croûte océanique primi-

tive, modifiée par des impacts postérieurs et par des événements thermiques, telle l'activité engendrée lors du refroidissement de la croûte martienne.

Toutefois, l'évolution de la planète Mars reste mal connue : aucune théorie n'explique, par exemple, l'origine de la frontière. S'il se vérifie que ces bandes magnétiques résultent d'une tectonique des plaques martiennes, il faudra remplacer le modèle de la plaque unique admis jusqu'à aujourd'hui.

Didier VIGNES et Christian MAZELLE, CESR/CNRS-Univ. Paul Sabatier, Toulouse

Le jongleur d'eau

Certaines fontaines présentent un étrange comportement oscillatoire.

Dans la mythologie grecque, les fontaines sont le royaume des naïades. Ces dernières sont des êtres fantasques et imprévisibles : d'où les oscillations que l'on observe parfois dans les jets d'eau. Comment expliquer les variations périodiques de hauteur d'eau de certaines fontaines? Le physicien marseillais Christophe Clanet a percé le mystère des fontaines oscillantes : l'eau se comporte comme les balles d'un jongleur.

En 1997, à Grenoble, Emmanuel Villiermaux effectua les premiers enregistrements de fontaines oscillantes et identifia une périodicité, dans certains cas. Lesquels? Pour répondre à cette question, Ch. Clanet a repris l'étude en étudiant l'influence du diamètre de l'injecteur et de la vitesse d'éjection.

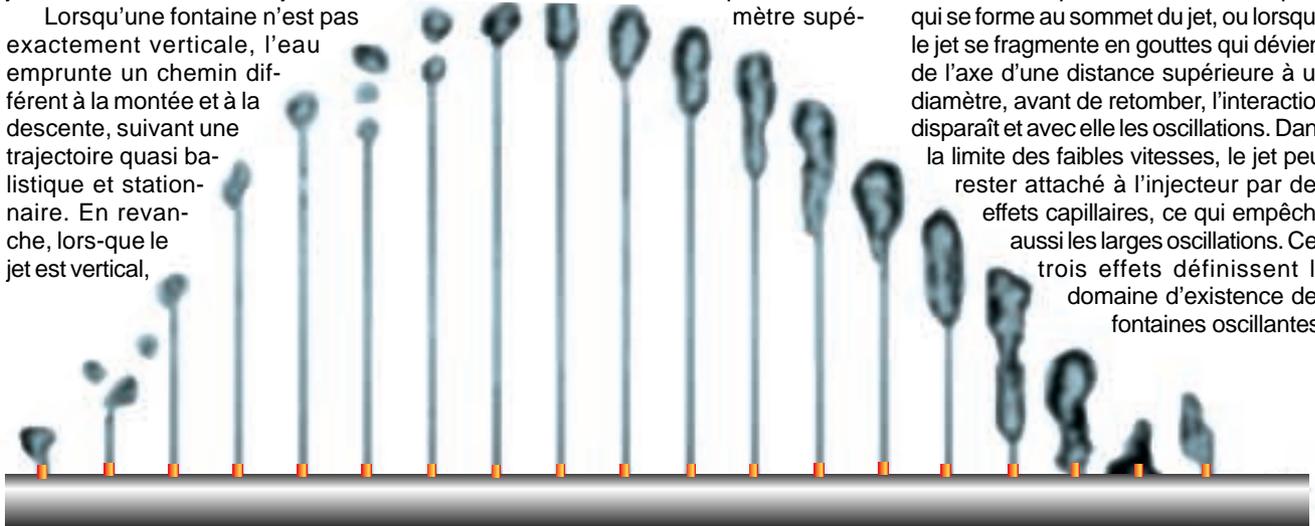
Lorsqu'une fontaine n'est pas exactement verticale, l'eau emprunte un chemin différent à la montée et à la descente, suivant une trajectoire quasi balistique et stationnaire. En revanche, lorsqu'elle est verticale,

le fluide qui redescend interagit avec le fluide qui monte ; ces interactions engendrent parfois des oscillations dont l'amplitude est de l'ordre de la hauteur de la fontaine.

Comment savoir quand ces oscillations sont périodiques? Ch. Clanet enregistra l'évolution du sommet du jet au cours du temps. En répétant la procédure pour différentes vitesses et différents diamètres, on observe que la fréquence caractéristique des oscillations diminue avec la vitesse d'éjection de l'eau et varie peu avec le diamètre tant que celui-ci reste de l'ordre de la longueur capillaire. Cette longueur est la distance pour laquelle les forces de capillarité sont du même ordre d'intensité que les forces de gravité. Pour l'interface eau/air, la longueur capillaire est d'environ quatre millimètres. La capillarité a pour conséquence que, lorsqu'une paille de diamètre inférieur à quatre millimètres est approchée de la surface de l'eau dans un verre, l'eau monte dans la paille, tandis que pour une paille de diamètre supé-

rieur, l'eau reste au même niveau que la surface. Afin de comprendre l'origine physique des oscillations, Ch. Clanet a analysé l'influence des divers facteurs et il propose aujourd'hui le «modèle du jongleur» : imaginons que le jet soit composé de gouttes isolées, lancées successivement vers le haut, comme le sont les balles par un jongleur. Si la période de lancer des balles est suffisamment courte, lorsque la balle supérieure redescend, elle heurte la balle qui la suit ; en utilisant la conservation de la masse et de l'impulsion lors de la collision, on détermine le temps de retour des balles dans la main du jongleur. En faisant tendre vers zéro l'intervalle de temps entre deux balles successives, on peut comparer la fréquence calculée à celle qui est mesurée expérimentalement sur les fontaines. Cette comparaison révèle un bon accord entre la théorie et l'expérience.

Cet accord perdure tant que le fluide ascendant interagit avec le fluide descendant. Lorsque l'inertie du jet est suffisamment forte pour briser la masse liquide qui se forme au sommet du jet, ou lorsque le jet se fragmente en gouttes qui dévient de l'axe d'une distance supérieure à un diamètre, avant de retomber, l'interaction disparaît et avec elle les oscillations. Dans la limite des faibles vitesses, le jet peut rester attaché à l'injecteur par des effets capillaires, ce qui empêche aussi les larges oscillations. Ces trois effets définissent le domaine d'existence des fontaines oscillantes.



États successifs d'une fontaine oscillante.

Origine extraterrestre ?

Des bactéries résistent aux impacts de météorites.

La vie a-t-elle vu le jour sur Terre, dans une soupe primitive, ou, au contraire, a-t-elle commencé ailleurs, puis essaimé sur Terre, transportée par les météorites ? Cette question lancinante déchire les exobiologistes depuis des décennies. À l'aide d'expériences de balistique, nous avons montré que même des micro-organismes complexes, telles les levures, résistent à des accélérations analogues à celles qui sont subies par les météorites qui atteignent la Terre.

Dans la Grèce antique, Anaxagore postule déjà la dissémination du vivant dans l'Univers, mais c'est seulement au XIX^e siècle, après que Pasteur a montré l'absence de génération spontanée, que l'hypothèse de la panspermie est élaborée. Hermann Richter, Hermann von Helmholtz et Lord Kelvin proposent que des cellules vivantes voyagent à l'intérieur de météorites (lithopanspermie). Dans l'impossibilité d'expliquer comment des germes peuvent être logés dans une météorite, le concept est modifié par le chimiste Svante Arrhenius : poussées par la pression du rayonnement (radiopanspermie), les bactéries seraient échangées entre systèmes planétaires.

Au cours du XX^e siècle, la constatation que le rayonnement solaire ultraviolet tue rapidement les bactéries relègue la panspermie dans l'oubli, mais, depuis la découverte de météorites martiennes sur Terre, la lithopanspermie est à nouveau débattue : des fragments de surface, arrachés à une planète par un impact météorique explosif, véhiculeraient la vie.

Les météorites arrachées à la croûte martienne sont captées par la Terre et s'y écrasent après quelques millions d'années. Des expériences montrent que, logées dans une météorite, les bactéries survivent durant une telle durée aux particules solaires et aux rayonnements spatiaux, tel le rayonnement solaire ultraviolet. De surcroît, des spores et des bactéries isolées dans de l'ambre vieux de 25 à 40 millions d'années ont un chromosome encore fonctionnel. Enfin, le froid et le vide de l'espace sont des conditions idéales pour un stockage durable. Seule la résistance bactérienne aux stress mécaniques d'un tel transport n'avait pas encore été testée.

Retraçons le scénario de capture : un rocher de l'ordre du kilomètre de diamètre percute Mars et met en orbite des fragments de la planète. Les accélérations subies lors de la mise en orbite sont égales à plus de 10 000 fois l'accélération de la pesanteur (g).

Ces fragments sont ensuite captés par la Terre à une vitesse comprise entre 11 et 70 kilomètres par seconde. Des objets de plusieurs tonnes, peu ralentis par l'atmosphère, gardent une vitesse supersonique et explosent au moment de l'impact, libérant leur formidable énergie cinétique sous forme de chaleur, fatale aux éventuelles bactéries transportées. De même, les objets de quelques centimètres de diamètre se consomment intégralement pendant la traversée de l'atmosphère (les étoiles filantes), stérilisant toute forme de vie.

En revanche, les micrométéorites d'un diamètre inférieur à quelques millimètres convertissent leur énergie cinétique en rayonnement et tombent très lentement ; elles constituent un vecteur potentiel pour le transfert de matière organique. De même, une météorite de diamètre compris entre quelques centimètres et un mètre est suffisamment ralentie par l'atmosphère pour que son énergie cinétique soit dissipée, principalement par chauffage de l'air, et aussi par fusion d'une couche de moins d'un centimètre d'épaisseur. L'intérieur de la météorite reste alors froid. La vitesse résiduelle est



Chute d'une météorite dans l'océan.

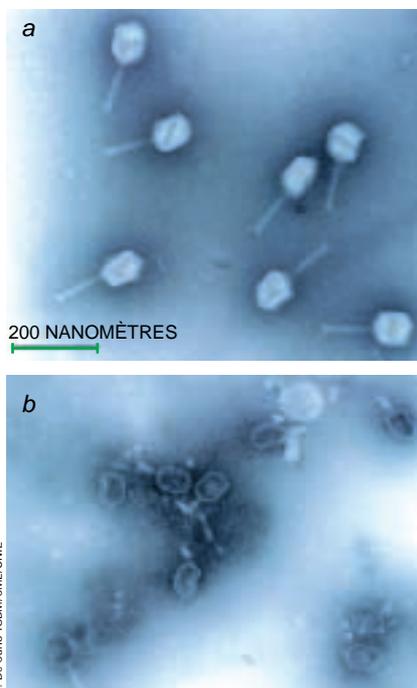
celle d'une chute libre (100 à 250 mètres par seconde) et si la météorite heurte, par exemple, une surface de sable, elle subit une décélération de quelques milliers de g , lors de laquelle les bactéries pourraient être préservées.

Pour reproduire le stress mécanique subi par de petites météorites, nous avons procédé à des expériences balistiques. Dans une carabine à air comprimé, le projectile subit une accélération de 100 000 g , bien supérieure à celle d'un transfert planétaire. Nous avons déposé des levures, des bactéries en croissance, des bactéries sans paroi et des virus qui s'attaquent aux bactéries (bactériophages) sur les projectiles de la carabine. Après avoir tiré ces projectiles à une vitesse de 300 mètres par seconde dans des bouteilles contenant du sable stérile, nous avons vérifié la survie et l'intégrité physique de ces micro-organismes : les levures et les bactéries ont, pour la plupart, résisté au choc de décélération de 300 000 g . Seules les bactéries sans paroi et les bactériophages ne résistent pas à ces violentes décélération. Ces résultats balistiques montrent que des organismes unicellulaires, logés à l'intérieur de petites météorites, survivraient aux contraintes mécaniques d'un transfert interplanétaire.

L'ensemencement de notre planète expliquerait la rapidité de l'émergence de la vie terrestre. Si cette hypothèse est confirmée, la vie que nous connaissons proviendrait soit d'une autre planète de notre Système solaire, soit d'un autre système planétaire. Les étoiles naissent par centaines en amas et les échanges de comètes sont intenses durant la période initiale de l'accrétion planétaire, ce qui aurait favorisé une diffusion galactique de la vie.

Indépendamment de la question de l'origine de la vie terrestre, cette capacité a certainement permis aux premiers organismes terrestres de survivre aux violents impacts des débuts de la Terre, capables de vaporiser les océans : mises en orbite par de tels événements, les bactéries auraient réensemencé la surface de notre planète dès la réapparition de conditions favorables à leur prolifération.

C.-A. ROTEN, Institut de génétique et de biologie microbiennes, Lausanne



On compare la survie des micro-organismes à celle de virus qui servent de «contrôles négatifs». Alors que les levures résistent aux impacts, les virus T4 sont détruits : avant le tir, ils sont intacts (a), mais après le choc (b), ils sont cassés et leur ADN est dispersé.