

manent. Il a l'avantage de s'effectuer sur des supports très bon marché : des feuilles de matière plastique. Aux débuts de l'informatique, les cartes perforées étaient un moyen populaire, quoique bruyant, de mémoriser des informations. Aujourd'hui, l'idée mécanique a été conservée, mais réduite à des dimensions minuscules. Ainsi, la Société IBM a récemment mis au point un prototype, nommé *Millipede*, qui stocke jusqu'à 80 milliards de bits par centimètre carré (soit 15 fois plus que le meilleur disque dur magnétique), sous la forme d'entailles microscopiques sur une surface plane de polymère.

Le *Millipede* est composé de pointes dont l'extrémité (d'un diamètre de 40 nanomètres) repose légèrement sur une surface plastique lisse en mouvement. Lorsqu'un courant électrique passe dans la pointe, celle-ci est brièvement chauffée à 400 °C : elle fond le polymère, créant une série d'entailles qui codent les informations.

Pour lire ces informations, on chauffe l'extrémité de la pointe à une température constante de 350 °C (inférieure à la température de fusion du plastique) tout en la déplaçant sur la surface du polymère. Lorsque la pointe tombe dans une entaille, sa chaleur se dissipe : la baisse de température est alors détectée par un changement de résistance électrique de la pointe.

De fabrication simple, le *Millipede* est constitué de 32 rangées de 32 pointes qui se déplacent sur une surface de neuf millimètres carrés (voir la figure 8). Ces pointes sont en silicium et fonctionnent simultanément, gravant leurs entailles sur une mince couche de plastique qui recouvre un substrat de silicium. Le nombre de pointes peut encore augmenter, et l'utilisation de nanotubes de carbone réduirait leur taille.

Plusieurs problèmes subsistent cependant : l'usure mécanique émousse les pointes et élargit les entailles gravées sur la surface plastique ; les marques ins-

crites risquent alors de se chevaucher et de brouiller les informations.

La plupart des nouvelles mémoires sont encore en début de mise au point, et des prototypes réalistes ne seront construits que si des innovations majeures résolvent les problèmes techniques éventuels. D'ici là, les fabricants de disques durs continueront d'apporter encore quelques améliorations aux disques durs magnétiques classiques.

Aujourd'hui, le prix du bit de mémoire diminue de 1,5 pour cent chaque semaine. L'industrie ne maintiendra un tel rythme que si elle parvient à remplacer les disques durs magnétiques. Néanmoins, personne ne sait quelle technique s'imposera. Les grandes sociétés, prudentes, explorent simultanément plusieurs systèmes.

La plupart des experts pensent que l'effet superparamagnétique ne bloquera pas le développement de l'informatique. Une arrivée tardive de produits de stockage plus performants sera sans doute compensée par l'association intelligente de plusieurs disques. De telles associations existent depuis les années 1980, utilisées lorsqu'un seul disque ne peut répondre aux besoins de certaines sociétés.

Une autre approche prometteuse consiste à placer les disques et les grappes de disques dans des réseaux de systèmes de mémoire, que l'on peut modifier afin de répondre aux appétits de stockage croissants. Ce «service de stockage» livrera automatiquement aux utilisateurs des applications avec la taille et le type de mémoire dont ils ont besoin.

Malgré l'extension des coûts de gestion, ces améliorations constituent un moyen de répondre à court terme aux besoins des sociétés et des consommateurs en matière d'espace de stockage pour leurs informations, en attendant que les dispositifs de haute capacité soient disponibles sur le marché.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

Des cailloux
dans les choses sûres



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F
Code 1897

POUR LA
SCIENCE
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 90

Jon TOIGO est consultant en informatique.

John C. MALLINSON, *Magneto-Resistive Heads : Fundamentals and Applications*, Electromagnetism Series, contributions by Isaak D. Mayergoyz, Academic Press, 1995.

Kanu G. ASHAR, *Magnetic Disk Drive Technology : Heads, Media, Channel, Interfaces and Integration*, IEEE Press, 1997.

Shan X. WANG, et A.M. TARATORIN, *Magnetic Information Storage Technology*, Electromagnetism Series, Academic Press, 1999.

Magnetic Recording : The First 100 Years, sous la direction de Eric D. Daniel, C. Denis Mee et Mark H. Clark, IEEE Press, 1999.

Holographic Data Storage, sous la direction de Hans J. Coufal et Demetri Salitis, Springer-Verlag TELOS, 2000.

Les myxines, charognards océaniques

FREDERIC MARTINI

Naguère confondues avec les lamproies, les myxines ressemblent probablement aux premiers animaux qui ont possédé un crâne, précédant ainsi les plus anciens animaux ayant une colonne vertébrale.

Après une heure de descente dans une obscurité quasi complète, notre sous-marin de recherche glisse sur le fond vaseux de l'océan, environ 1 700 mètres sous la surface du Pacifique, au large des côtes californiennes. Le pilote allume les projecteurs, éclairant un épais nuage de sédiment soulevé par notre arrivée. Pendant quelques minutes, nous attendons que les particules se redéposent, mais le sonar indique une grosse masse à environ 240 mètres devant nous. En nous approchant, nous découvrons le cadavre d'une baleine grise de 30 tonnes. Il grouille de centaines de myxines, longues d'une cinquantaine de centimètres, qui rongent méthodiquement le lard blafard.

Ces scènes cauchemardesques fascinent les biologistes qui s'intéressent aux myxines, car elles donnent un aperçu saisissant de la vie de ces créatures étranges et visqueuses. Pendant des années, les habitudes des myxines et leur place dans l'arbre évolutif de la vie sont restées mystérieuses. Aujourd'hui, on sait que les myxines semblent avoir peu changé au cours des 330 derniers millions d'années ; par plusieurs aspects, elles ressemblent aux premiers craniates (les ani-

1. LES MYXINES grouillent sur cette baleine morte, au fond de l'océan Pacifique, au large des côtes californiennes. Les biologistes découvrent que les myxines, qui ont peu changé pendant les 330 millions d'années de leur évolution, jouent un rôle important dans les écosystèmes des fonds océaniques, à la fois comme prédateurs et comme charognards.



maux possédant un crâne). La lignée évolutive conduisant à l'homme (et à tous les autres vertébrés) s'est probablement séparée de celle des myxines il y a environ 530 millions d'années. En outre, on sait aujourd'hui que les myxines sont abondantes dans les fonds océaniques et qu'elles y jouent un rôle écologique important.

Boules gluantes de la mer

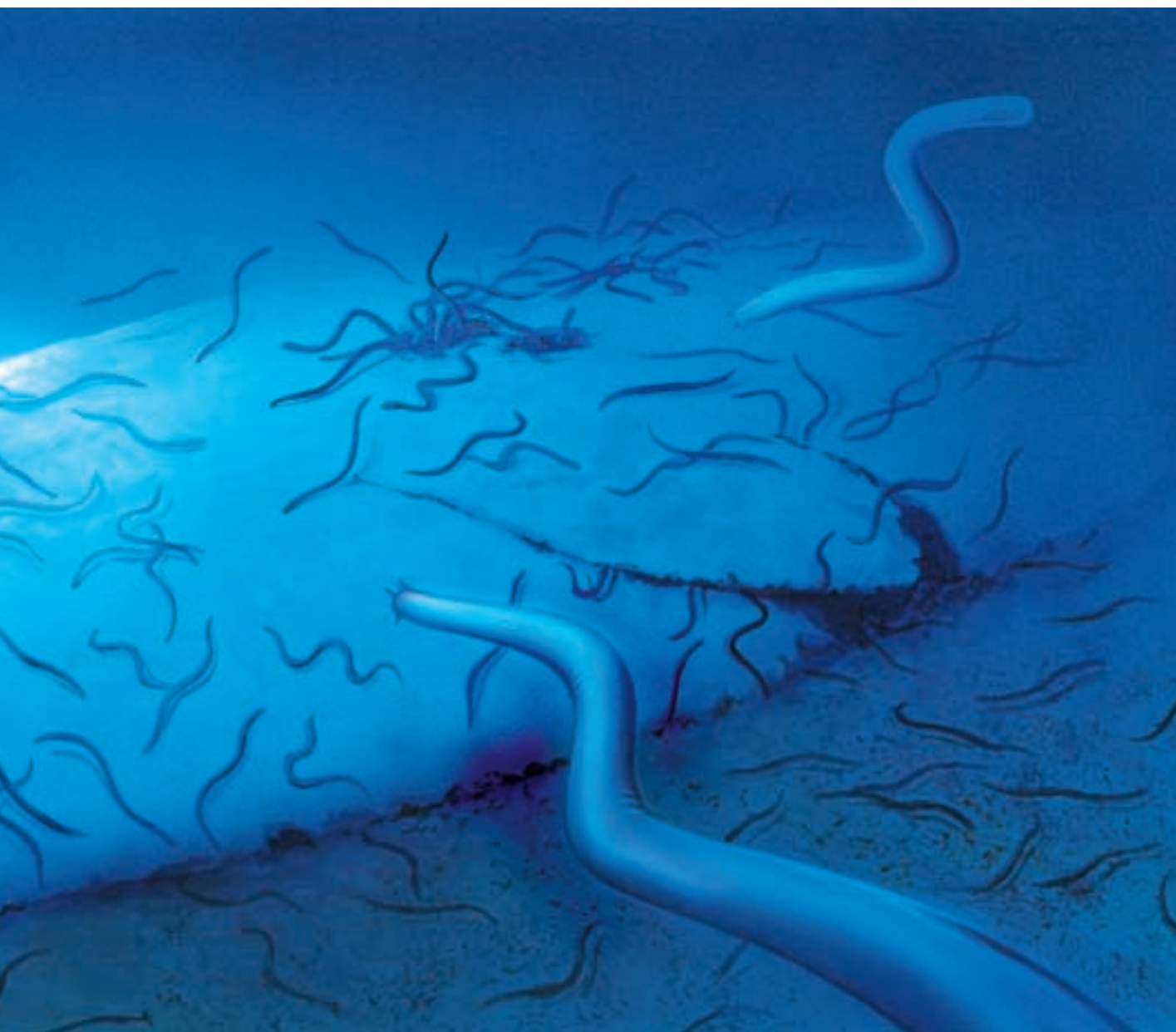
Les myxines sont étonnamment visqueuses : grâce à leurs 200 glandes à mucus, les adultes sécrètent, en quelques minutes, assez de mucus pour transformer un seau de sept litres d'eau en une bouillie gélatineuse. Les animaux s'adaptent aux

circonstances : ils produisent peu de mucus quand ils se nourrissent sur un cadavre, mais, quand ils sont attaqués ou capturés, toutes leurs glandes sont actives. Le mucus blanc et visqueux qu'elles sécrètent gonfle plusieurs centaines de fois en absorbant l'eau de mer, formant une boule gluante qui enrobe les branchies de poissons prédateurs et les étouffe ou, au moins, les chasse. Cependant, malgré cette fonction, le mucus semble aussi gêner les myxines ; pour s'en débarrasser, elles font avec leur queue un nœud qu'elles font glisser vers la tête.

On confond souvent les myxines et les anguilles, car ces deux animaux sont allongés et cylindriques. Toutefois les myxines ne sont pas des anguilles ; ces

dernières sont des poissons osseux, aux yeux proéminents, qui ont des paires de nageoires pectorales et pelviennes, un squelette rigide, des écailles osseuses et de fortes mâchoires. Comme les autres poissons osseux, les anguilles respirent par des branchies attachées à des os, nommés arcs branchiaux, et recouvertes par un volet osseux, l'opercule.

Les myxines sont de constitution et de fonction bien plus simples (voir les figures 2 et 3). Elles n'ont pas de véritables yeux ni de nageoires paires, et leur ébauche de squelette comprend seulement un axe longitudinal rigidifié (la corde), fait d'un tissu qui ressemble au cartilage, et plusieurs éléments cartilagineux plus petits, dont un crâne rudimentaire. Les myxines



Rob Wood

n'ont pas d'écailles ; elles ont une peau épaisse et glissante, et de grosses glandes à mucus. Elles n'ont pas de mâchoires et elles respirent grâce à une série de petites poches qui diffèrent des branchies de tous les autres poissons actuels.

Les myxines occupent les eaux marines de l'ensemble du Globe, à l'exception des mers arctiques et antarctiques. Bien que vivant toujours près du fond des océans, ces animaux peuvent vivre à différentes profondeurs. La température de l'eau semble limiter l'habitat des myxines, qui préfèrent des eaux à moins de 22 °C. Dans les froides zones côtières au large de l'Afrique du Sud, du Chili et de la Nouvelle-Zélande, les myxines montent en surface : elles ont été retrouvées dans des bassins formés par la marée sur le littoral. Cependant, dans les mers tropicales, les myxines sont rarement à moins de 600 mètres de profondeur.

On connaît 60 espèces de myxines, dont la plupart appartiennent à deux genres principaux : *Eptatretus* et *Myxine* (de nombreuses espèces de ces genres ne sont connues que par un seul spécimen). Le genre *Eptatretus*, avec environ 37 espèces, comprend la plus grande myxine connue, *Eptatretus carlhubbsi*, qui atteint 1,4 mètre de long et pèse plusieurs kilogrammes. Les espèces d'*Eptatretus* ont, sous la peau, des vestiges d'yeux, recouverts par une peau translucide. Leur tête porte également la trace de lignes latérales, des structures sensorielles qui s'étendent sur

toute la longueur des faces latérales des poissons osseux. Les *Eptatretus* occupent individuellement des terriers permanents creusés dans le fond océanique, et rôdent parmi les fonds rocheux, sableux ou vaseux.

Les individus du genre *Myxine*, qui comprend une vingtaine d'espèces, ont un habitat plus spécialisé qu'*Eptatretus*. Ils sont plus minces, ont des yeux encore plus dégénérés, sans tache translucide, et ne présentent pas de ligne latérale. Ces animaux vivent dans des terriers transitoires, et on les trouve toujours près d'un sédiment meuble et vaseux.

Les myxines mangent de petites proies vivantes ou se comportent en charognards. Pour se nourrir, elles avancent un appareil buccal très efficace, formé de deux plaques dentaires portant chacune deux rangées courbes de pointes cornées. Articulées sur la ligne médiane, ces plaques s'ouvrent et se ferment comme un livre. Pour saisir une proie (vers marin, poisson mort ou main du pêcheur), la myxine déploie son appareil buccal, provoquant ainsi l'ouverture du «livre», puis presse les plaques dentaires contre la proie. Quand la myxine rétracte son appareil buccal, le «livre» se referme, et les pointes se faisant face saisissent et déchirent la chair, la portant dans la bouche ; le crochet placé au-dessus des plaques dentaires évite que les proies vivantes ne s'échappent en se tortillant entre deux morsures.

Ce type de comportement convient bien lorsque la myxine

attaque des vers marins au corps mou et à la peau mince, mais les pointes cornées ne percent pas les écailles des poissons ou la peau des baleines. Lorsqu'elles se nourrissent sur un gros cadavre, et à moins que d'autres charognards n'aient déjà ouvert la voie, les myxines empruntent le chemin le plus simple, pénétrant dans le corps par la bouche, les branchies ou l'anus. Elles consomment alors les tissus mous de l'intérieur, pour ne laisser que la peau et les os. Plus d'un pêcheur a sorti une belle prise qui s'est révélée être une enveloppe vide pleine de myxines.

On connaît mal la reproduction des myxines. Les gonades se forment dans un repli de tissu, du côté droit de la cavité abdominale. Un ovaire s'élabore dans les deux tiers antérieurs du repli chez les femelles ; chez les mâles, le testicule apparaît dans le tiers postérieur (on a observé des individus comportant les deux types de gonades). Les femelles, qui, chez certaines espèces, sont 100 fois plus nombreuses que les mâles, produisent en une fois 20 à 30 œufs, riches en vitellus et protégés par une coquille. Les œufs mûrs sont directement libérés dans la cavité abdominale. Ces œufs, dont le diamètre est compris entre deux et sept centimètres selon les espèces, ont en général un filament recourbé à chaque extrémité ; grâce à ce crochet, ils s'accrochent les uns aux autres et sont expulsés en chaîne. Chez les mâles, le testicule produit du sperme qui est ensuite libéré dans la cavité abdominale. Les œufs ou le

2. LES VUES ANATOMIQUES de la partie antérieure (à gauche) et postérieure (à droite) d'une myxine du Pacifique soulignent à la fois les spécificités de l'animal et les autres caractères plus généraux (comme le crâne) qui persistent chez des animaux plus évolués (la

partie centrale, environ un tiers de la longueur de l'animal, n'a pas été représentée). Comme chez plusieurs espèces de myxines, ce spécimen possède à la fois un ovaire et un testicule, qui libèrent œufs et spermatozoïdes dans le cloaque.

