

Néandertal cannibale?

Les ossements d'hommes ayant vécu il y a 130 000 ans découverts au début du siècle dans la grotte de Krapina, en Croatie, sont-ils les reliefs d'un repas de Néandertaliens anthropophages? Marylène Patou-Mathis, de l'Institut de paléontologie humaine, a réexaminé ces restes, qui appartenaient à environ 80 individus: ils portent des marques de décharnement analogues à celles que l'on trouve habituellement sur le gibier, et des os longs ont été fracturés, comme pour en extraire la moelle. En outre, cette population est anormalement jeune: les individus jeunes étaient-ils plus faciles à capturer?

Autoréplication

La vie passe par la reproduction. Takanori Shibata, de l'Université de Tokyo, a observé la reproduction, non de cellules, mais de molécules: des molécules de la classe des 1,2-amino-alcools participent à des réactions où elles sont dupliquées. Ces réactions conservent la «chiralité» des molécules. Est chirale une molécule qui n'est pas superposable à son image dans un miroir, comme un gant gauche n'est pas superposable à un gant droit. La chiralité est une importante caractéristique de la vie: pourquoi tous les acides aminés, par exemple, sont-ils chiraux? Les réactions observées à Tokyo nous éclairent sur l'apparition de la vie et confèrent aux chimistes un nouveau moyen de synthétiser des molécules chirales, importantes en pharmacie.

Pas d'oscillations des neutrinos

Selon les résultats de l'expérience menée à la centrale nucléaire de Chooz, dans les Ardennes, les neutrinos électroniques n'«oscillent» pas. Les neutrinos existent en trois «saveurs»: électronique, muonique et tauique. Si les neutrinos ont une masse, ils peuvent se changer les uns en les autres, autrement dit «osciller». Pour le vérifier, les physiciens ont enregistré le flux de neutrinos à un kilomètre du réacteur de la centrale, une puissante source de neutrinos électroniques. Le flux mesuré fut celui qui était attendu: aucun neutrino électronique ne s'était perdu en route, en changeant sa saveur. Toutefois, il est possible que les neutrinos muoniques oscillent, ce qui expliquerait que l'on observe moins de neutrinos solaires muoniques qu'attendu.

propriété énoncée, une propriété «approchée» extraite de l'analyse serait que i est un entier impair, compris entre un et dix (on a abandonné la contrainte que i est premier).

Le système résolu, on utilise ces propriétés du programme pour vérifier l'absence d'erreurs. Aux points du programme où ces propriétés approchées sont vérifiées, il n'y aura pas d'erreur. Par exemple, l'analyse permet d'affirmer qu'il n'y aura pas d'erreur lorsque le programme utilise i comme indice d'un tableau à neuf éléments, car, dans ce cas, l'ensemble des valeurs que peut prendre i , {1, 3, 5, 7, 9}, est inclus dans l'ensemble des indices licites du tableau {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}. En revanche, si i est utilisé en un point du programme comme indice d'un tableau à huit éléments, l'erreur en ce point est possible, car l'ensemble {1,

3, 5, 7, 9} n'est pas inclus dans l'ensemble des valeurs licites {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}. L'existence d'une incorrection aux points du programme où les propriétés ne sont pas vérifiées sert de signal d'alarme: il faut vérifier les passages du programme incriminés. Ces analyses limitent le travail de vérification «manuelle» à quelques pour cent du programme.

Contrairement aux tests qui vérifient un programme dans un nombre fini de cas, cette analyse dite statique vérifie le bon fonctionnement d'un programme pour un nombre de cas non borné. Cette étude constitue une première, car elle est appliquée à des programmes industriels de grande taille: elle a contribué à l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des logiciels d'Ariane 5.

M. TURIN, *Aéropatiale*, Les Mureaux
A. DEUTSCH, G. GONTHIER, INRIA, Paris.

Toxines de serpent

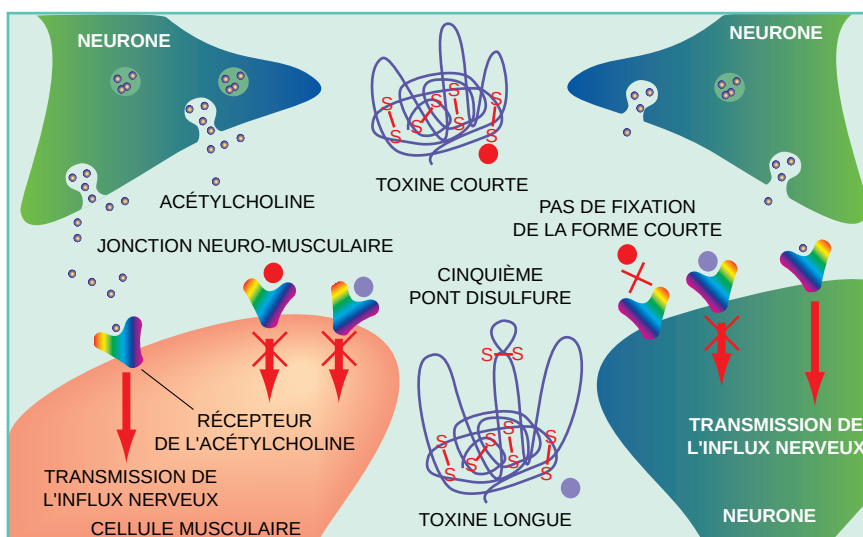
L'identification des cibles des toxines permettra de mieux prévenir leurs effets.

Les serpents capturent leurs proies et les immobilisent grâce aux toxines de leur venin. Certaines toxines endommagent les capillaires, nécrosent les tissus ou déclenchent des hémorragies; d'autres bloquent le fonctionnement des systèmes nerveux et cardiovasculaire ou encore des muscles. Certains serpents produisent deux types de toxines

qui semblaient avoir la même fonction, redondance qui laissait les biologistes perplexes. En collaboration avec une équipe suisse, André Ménez et ses collègues du CEA ont montré qu'une des classes de toxines a une propriété dont l'autre classe est dépourvue.

L'acétylcholine est un neuromédiateur qui assure la transmission de l'influx nerveux entre les neurones, et entre les neurones et les cellules des fibres musculaires. L'acétylcholine transmet l'influx nerveux aux récepteurs des muscles et déclenche leur contraction.

Les venins des serpents hydrophiidés (des serpents des mers chaudes) et éla-



L'acétylcholine est un neuromédiateur qui assure la transmission de l'influx nerveux vers les cellules musculaires (à gauche). Quand les toxines (sphères rouges pour les courtes et sphères bleues pour les longues) se fixent sur les récepteurs de l'acétylcholine, le neuromédiateur n'agit plus, les contractions musculaires sont bloquées, notamment les contractions spontanées du diaphragme, qui assurent la respiration. Les toxines longues agissent sur les récepteurs des muscles et des neurones, les toxines courtes uniquement sur les récepteurs des muscles.

Suite page 24

pidés (le cobra, par exemple) produisent des toxines qui, comme le curare, se fixent sur les récepteurs de l'acétylcholine des jonctions neuro-musculaires, où elles bloquent la transmission nerveuse et, par conséquent, la contraction musculaire ; elles paralysent l'ensemble des muscles, dont le diaphragme, ce qui entraîne un arrêt respiratoire.

Les toxines curarisantes sont classées en deux familles : les toxines à chaîne courte et celles à chaîne longue. Les deux types de toxines agissent sur les récepteurs de l'acétylcholine des cellules musculaires.

A. Ménez et ses collègues ont découvert que les toxines longues ont une deuxième cible : elles se fixent aussi sur un autre type de récepteurs de l'acétylcholine présent sur la membrane des neurones (pour le moment, on l'a isolé chez le poulet, mais il existe vraisemblablement chez tous les vertébrés). En se liant à ce second type de récepteurs, la toxine bloque la transmission du message nerveux entre les neurones. Les toxines à chaîne courte ne reconnaissent pas ce récepteur.

Cette différence tient à la structure des toxines : elles sont constituées de trois boucles adjacentes qui émergent d'une zone centrale stabilisée par quatre ponts disulfure (des liaisons entre deux atomes de soufre) ; le site curarisant des toxines courtes ou longues, c'est-à-dire la région qui reconnaît les récepteurs musculaires, est constitué d'une dizaine d'acides aminés. Seules les chaînes longues ont une petite boucle supplémentaire maintenue par un cinquième pont disulfure au bout de la boucle centrale (voir la figure). C'est le site de reconnaissance des récepteurs neuronaux. En éliminant ce pont, les biologistes ont obtenu une toxine à chaîne longue qui se comporte comme une toxine à chaîne courte : elle agit toujours sur les récepteurs musculaires, mais ne reconnaît plus les récepteurs neuronaux.

Si la fixation des toxines sur les récepteurs des jonctions neuro-musculaires entraîne une paralysie musculaire, la fixation des chaînes longues sur les récepteurs de type neuronaux serait, peut-être, partiellement responsable de l'état de prostration des personnes mordues par un cobra.

Cette découverte devrait aider les neurobiologistes à identifier d'autres récepteurs de l'acétylcholine neuronaux : en réalisant des mutations aléatoires sur la toxine longue, ils espèrent créer toute une série de molécules «hameçons» qui se fixeront sur des récepteurs neuronaux encore inconnus.

Catherine PERRIN

Modélisation de la baie du Mont-Saint-Michel

Une maquette de la baie évalue les variations de l'ensablement.

Intégré au patrimoine mondial par l'UNESCO, le Mont-Saint-Michel est menacé par la progression de la végétation. Progressivement, les sables rapportés par la mer risquent de combler la baie. Or, les principales constructions de l'abbaye datent des XII^e et XIII^e siècles, mais l'ensablement est récent. Quelle en est la cause ? La digue construite il y a une centaine d'années pour faciliter l'accès à l'abbaye est-elle responsable de l'ensablement progressif ? Le cours du Couesnon qui se jette dans la baie a été perturbé par la digue ; l'élimination de cette dernière permettrait-elle au Couesnon d'évacuer à nouveau les sédiments ? Pour le savoir, les ingénieurs de la Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques, la SOGREAH, ont construit une maquette de la baie ; ils modélisent les courants et l'évolution des fonds de la maquette.

La maquette de la baie – la zone ensablée et la côte – mesure 48 mètres sur 24. Si l'échelle sur le plan est au 1/400, elle est supérieure pour les dénivellations verticales (1/65). En effet, les ingénieurs ont dû adapter les dimensions de la maquette et les matériaux utilisés pour que les phénomènes de turbulence soient convenablement modélisés.

Ainsi, la densité et la granulométrie du «sable» et des sédiments utilisés ont été adaptées aux débits d'eau : le sable aurait été trop lourd, si bien que des particules de nacre, plus légères, mais de diamètre voisin, simulent le sable et que de la sciure simule les sédiments

en suspension transportés par la mer. À chaque «marée», 150 mètres cubes d'eau sont déversés par des pompes dont le débit est constant et évacués par des vannes de débit variable (l'eau est recyclée). Grâce à ces vannes, on simule le flot (la marée montante, dont le débit est rapide) et le jusant (la marée descendante, plus lente). Si, dans la baie du Mont-Saint-Michel, la mer monte en cinq heures, elle descend en plus de sept heures ; sur la maquette, 15 minutes séparent deux marées hautes. Les pompes d'alimentation et les vannes d'évacuation sont pilotées par un micro-ordinateur qui impose une loi de variation de la hauteur de l'eau dans la baie. Sur un cycle annuel, on simule aussi les périodes de vives eaux et celles de mortes eaux.

Au cours de la période de validation du modèle, Éric de Crouette et ses collègues de la SOGREAH ont adapté les différents paramètres pour que les courants, qui ont été relevés en 1975, soient correctement reproduits. Ils ont notamment adapté la charge de sédiments à injecter dans l'eau «montante» pour reproduire la situation réelle. En comparant le relevé des fonds réalisés en 1997 et celui de 1975, ils ont vérifié que le sol de la maquette évolue comme les fonds de la baie du Mont-Saint-Michel.

Lorsque le modèle aura été définitivement validé, les ingénieurs évalueront l'évolution de la baie d'ici 40 ans, si la digue reste en l'état. Puis, ils étudieront comment la baie se comporterait dans diverses configurations, notamment le retrait partiel de la digue, le remplacement de la digue actuelle par une digue sur piles (un pont passerelle) ou encore une nouvelle gestion du barrage du Couesnon, augmentant l'entrée d'eau de mer dans le fleuve. Les résultats de ce projet, partenariat entre l'État et diverses collectivités locales, devraient être connus au cours de l'été 1998.



Eric de Crouette/SOGREAH

La maquette de la baie du Mont-Saint-Michel, à «marée basse».

Froids les dinosaures!

Les dinosaures avaient-ils le sang chaud? Non, répond une équipe dirigée par John Ruben, de l'Université Corvallis, qui a examiné les poumons miraculeusement fossilisés d'un dinosaure



théropode découvert l'an dernier en Chine. Ils ressemblent à ceux des crocodiles actuels : ils sont formés d'une seule po-

che, dont le gonflement est assuré par un mouvement de piston du diaphragme. Cet appareil respiratoire n'est pas assez efficace pour assurer les fonctions musculaires vitales d'un animal à sang chaud.

Ordinateur cérébral

Les programmes informatiques aideront-ils à comprendre le fonctionnement du cerveau humain? C'est ce qu'espèrent Stanislas Dehaene, de l'INSERM, et Jean-Pierre Changeux du CNRS. Ils ont programmé un réseau de neurones numérique dont l'architecture est proche de celle du cerveau : ce programme résout facilement un casse-tête très simple, la Tour de Londres, où il faut déplacer des boules de différentes couleurs enfilées sur des tiges, mais surtout, lorsque l'on altère certaines fonctions de ce programme, il se trompe comme les personnes qui ont des lésions cérébrales analogues.

Nouvelle confirmation

En physique classique, l'effet d'une masse sur son satellite est identique, que la masse tourne sur elle-même ou qu'elle ne tourne pas. En relativité générale, en revanche, l'espace temps est entraîné, ce qui modifie les effets gravitationnels. Des astronomes ont analysé les rayons X émis par les disques de matière, autour de trous noirs ou d'étoiles à neutrons, et ils pensent avoir observé les effets de la rotation du corps massif sur la matière du disque d'accrétion. Ils ont observé une variation des émissions X du disque, et cette variation de luminosité résulterait d'une oscillation des disques d'accrétion. L'oscillation correspond à celle prévue par la théorie de la relativité. Si cette observation est confirmée, elle constitue une nouvelle confirmation de la relativité générale.

Prévoir les cultures

L'agriculture assistée par ordinateur.

Comment les rendements des champs évolueront-ils quand changeront les conditions de production? Au Centre INRA de Grignon, J.-M. Attonaty, C. Aubry, M.-H. Chatelin et F. Garcia mettent au point des programmes qui simulent le déroulement d'une culture et permettent de tester de nouveaux modes de conduite des cultures agricoles.

L'agriculture est bouleversée : les quotas de production et les charges financières que la réglementation impose pour rénover l'environnement, par exemple, forcent les agriculteurs à changer, parfois rapidement, leurs méthodes de travail. Cela ne s'improvise pas! Gustave Flaubert a montré comment *Bouvard et Pécuchet* en firent la dure expérience : «Partant de ce principe qu'on ne saurait avoir trop de blé, ils supprimèrent la moitié environ de leurs prairies artificielles ; et, comme ils n'avaient pas d'engrais, ils se servirent de tourteaux qu'ils enterrèrent sans les concasser, si bien que le rendement fut pitoyable. L'année suivante, ils firent les semailles très dru. Des orages survinrent. Les épis versèrent (...) Après force méditations, Bouvard eut le délire de l'engrais (...) Le colza fut chétif, l'avoine médiocre, et le blé se vendit fort mal, à cause de son odeur.» Plus prudents, les agriculteurs de métier s'en tiennent à des recettes éprouvées, qu'ils font évoluer.

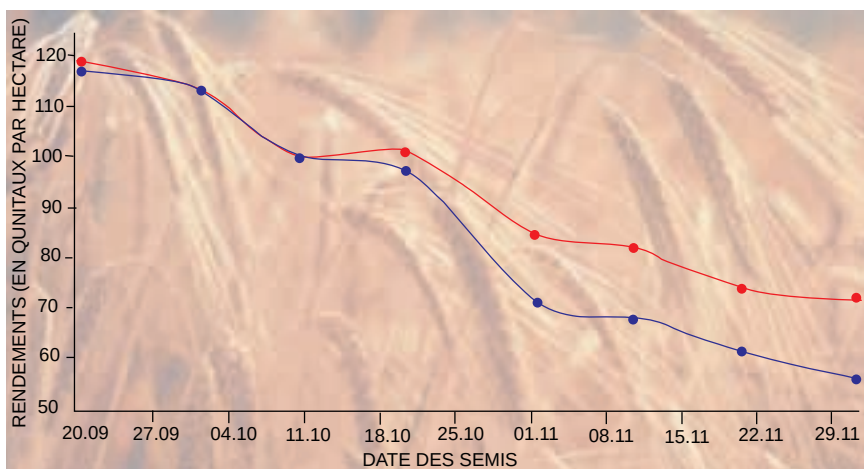
Toutefois les changements sont aujourd'hui si rapides que cette pratique est insuffisante. Comment décider la densité de semis pour les nouvelles varié-

tés? Comment prévoir l'effet sur les rendements, la qualité et les risques de pollution, d'un décalage de l'épandage d'engrais azotés? J.-M. Attonaty et ses collègues se sont d'abord intéressés à la culture du blé d'hiver : le premier programme qu'ils ont construit simule la culture de ce blé, en tenant compte des diverses conditions de production.

Ce programme a été établi sur la base de connaissances agronomiques et d'observations faites en France dans les champs d'expérimentation ou lors des tests réalisés pour les inscriptions au Catalogue des variétés (qui recense toutes les variétés disponibles). Il intègre différents sous-modèles, par exemple un sous-modèle de constitution de la biomasse aérienne dû à Jean-Marc Ménard, de Grignon : pour diverses régions et pour de nombreuses années, ce sous-modèle indique comment la masse hors de terre du blé d'hiver dépend de la densité du semis, de la somme des températures enregistrées depuis le semis, de la durée entre le semis et la récolte, de la quantité d'azote apportée, de la variété semée...

Ce premier programme, enrichi de modèles analogues pour le maïs et pour le colza, a servi de base à la constitution d'un second programme, d'aide au pilotage agronomique. Dans ce dernier, couplé au précédent, les agronomes représentent sous forme de règles de décision les connaissances des agriculteurs ou des agronomes qui avaient été réunis et dont on avait formalisé le raisonnement. Une règle sur la densité de semis, par exemple, stipule que, pour une date du semis postérieure au 15 octobre, la densité de semis doit être augmentée ; une règle de fertilisation azotée préconise de réduire la dose d'engrais apporté aux blés qui risquent de se coucher.

Quand on interroge le programme par une question du type : «Que se passe-



Rendements en fonction des dates de semis, pour deux stratégies d'apport d'engrais azotés : apports à dates fixes (en bleu), ou apports calés sur le développement du blé (en rouge).