

Décaper au blé

Comment décaper sans altérer le support? Avec de la farine! Fort de ce constat, la Direction générale de l'armement a mis au point un robot qui utilise ce végétal amylacé respectueux du support. La structure du grain de blé est modifiée par un processus de cuisson et d'extrusion. En faisant varier la dureté et la granulométrie des grains, on décape la peinture sur des matériaux composites, très fragiles, sans les abîmer. La forme de l'objet à décaper est préalablement numérisée ; un robot assure ensuite le travail.

Un système extrasolaire

La vie n'a pas encore été découverte sur une planète extrasolaire, mais des astronomes américains viennent d'annoncer la découverte de deux planètes autour d'une étoile qui en comptait déjà une. Autour d'upsilon de la constellation



d'Andromède, située à une cinquantaine d'années-lumière de la Terre, tournent ainsi trois planètes : c'est le premier système planétaire autour d'une étoile analogue au Soleil. La planète déjà découverte, à 0,059 unité astronomique de l'étoile (la Terre est à une unité astronomique du Soleil), est aussi massive que Jupiter. Les nouveaux candidats sont à 0,83 et 2,5 unités astronomiques de l'étoile centrale et ont une masse plusieurs fois supérieure à celle de Jupiter.

Le virus de la variole

Faut-il détruire les échantillons du virus de la variole? En 1980, lorsque l'Organisation mondiale de la santé a déclaré l'éradication de la variole, elle a promis une destruction des souches existantes pour le 30 juin 1999. Aujourd'hui, le débat reste ouvert. Les partisans de la destruction des souches virales estiment que leur conservation ferait planer un risque : des terroristes qui s'empareraient des souches pourraient déclencher une pandémie, car ce virus est extrêmement contagieux. Au contraire, des biologistes prônent la conservation des souches en vue d'étudier les atteintes virales voisines, telles le monkeypox et le cowpox qui frappent maintenant l'homme.

caractères persistent dans des lignées dont l'environnement a changé. Ainsi les conifères, qui ont émergé sous des climats arides, ont-ils conservé l'épaisse cuticule qui les protège de l'évaporation, alors qu'ils vivent aujourd'hui à des latitudes tempérées, où l'eau abonde. L'assemblage des espèces trouvées dans le même gisement fossilifère ou la composition des sédiments dans lesquels elles sont enfouies donnent aussi des informations, mais toujours indirectes.

En revanche, les proportions relatives des isotopes stables du carbone nous informent directement sur l'environnement où la plante a vécu. Le carbone présente deux isotopes stables : le carbone 12, le plus abondant, dont le noyau contient six protons et six neutrons, et le carbone 13, dont le noyau contient un neutron supplémentaire et qui est donc un peu plus lourd. Lors de la photosynthèse, qui permet aux plantes de fabriquer les molécules nécessaires à leur croissance à partir du dioxyde de carbone de l'atmosphère, celles-ci utilisent plutôt le carbone 12, plus léger donc plus facile à incorporer. Cette préférence est moins marquée en cas de stress, en période de sécheresse par exemple : les teneurs en carbone 13 d'une plante sont donc plus grandes lorsqu'elle pousse en milieu aride que lorsqu'elle pousse en milieu humide.

En mesurant leur teneur en carbone 13, nous avons reconstitué l'écologie des plantes qui poussaient il y a environ 100 millions d'années au bord d'une lagune, à quelques kilomètres au Nord d'Angers. Outre les restes de nom-

breux exemplaires d'un ginkgo fossile, *Eretmophyllum andegavense*, ce gisement contient plusieurs autres plantes : un thuya de Berbérie fossile, deux autres conifères, un cycas et deux lauriers fossiles. Ces plantes sont très bien conservées : lorsqu'ils ont vu les feuilles fossiles, les fouilleurs ont d'abord cru que le vent avait apporté des feuilles mortes de l'automne précédent. Après un court transport dans des ruisseaux, les tissus végétaux se sont fossilisés, au fond de la lagune, dans de l'eau saturée en sel et dépourvue d'oxygène. Leur composition en carbone n'a pas changé depuis leur mort.

Les fortes teneurs en carbone 13 du thuya montrent qu'il était très stressé : il vivait juste au bord de la lagune, là où le sol était très salé. Pour chacune des autres espèces, tous les individus étaient aussi étroitement regroupés autour d'une valeur moyenne de salinité, variable selon l'espèce. Seul le ginkgo fossile fait exception : la diversité des teneurs en carbone 13 des individus montre que l'espèce vivait aussi bien sur un sol salé que sur un sol «doux».

Cette adaptabilité ne lui a pourtant pas permis de subsister jusqu'à aujourd'hui. Le Ginkgo biloba lui-même n'existe plus à l'état naturel que dans une petite région de Chine. La faible efficacité du mode de reproduction des Ginkgoales (leurs graines ne sont protégées ni par un ovaire ni par un fruit, et ils ne possèdent pas d'organe qui retienne le pollen) ne leur a sans doute pas permis de résister à l'invasion des plantes à fleurs.

T.T. NGUYEN TU et H. BOCHERENS,
Lab. de biogéochimie isotopique,
Université Paris 6.

Le tout et les parties

Parmi les primates, seuls les hommes perçoivent plus vite une forme globale que ses détails.

Comment reconnaissons-nous visuellement un objet? Sommes-nous plutôt attentifs à l'identité des parties qui le composent ou, au contraire, à leur arrangement spatial? Lorsqu'on nous présente des formes construites par assemblage de formes plus petites (par exemple, un grand cercle construit avec de petits carrés), nous identifions plus vite la grande forme (le cercle) que la petite (le carré). Ce traitement prio-

ritaire des attributs globaux est certainement un avantage : la structure générale des objets ou des scènes visuelles est souvent une meilleure source d'identification et de discrimination que la structure des parties qui les composent. Pourtant, parmi les primates, nous seuls avons cette capacité.

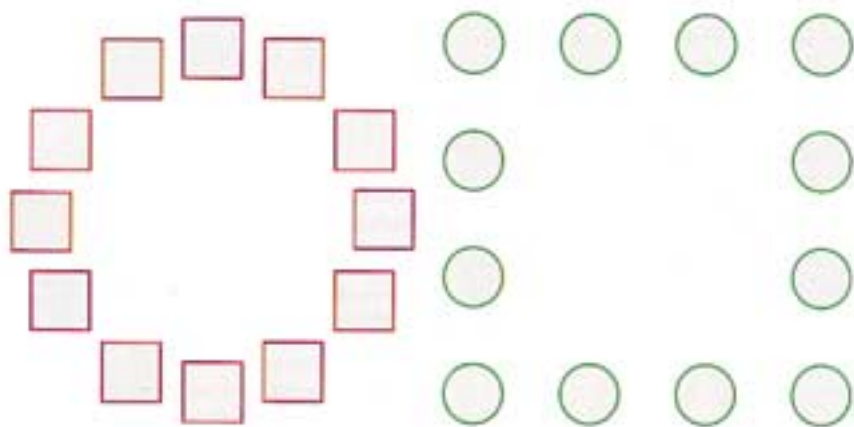
Des singes perçoivent-ils plutôt le tout d'un objet, ou plutôt ses parties? Nous avons placé des babouins devant un écran d'ordinateur sur lequel étaient affichées des formes composites, tels des carrés composés de petits cercles ou, à l'inverse, des cercles composés de petits carrés. Les singes devaient actionner le plus rapidement possible une manette de jeu dès que la forme présentée contenait un cercle, grand ou petit. Chaque bonne réponse était

récompensée par une friandise au goût de banane.

Contrairement à l'homme, les babouins détectent plus rapidement le cercle lorsqu'il est un constituant de la forme que lorsque c'est la forme globale. Cette perception préférentielle des constituants, qui s'applique à une grande variété d'objets, semble révéler un principe général du traitement visuel chez le babouin ; on la retrouve pour d'autres combinaisons de formes géométriques.

La différence entre l'homme et le babouin suggère qu'il y a eu une évolution des traitements visuels des objets chez les primates, notamment au sein de la lignée des singes dits de «l'Ancien Monde» qui a donné les singes anthropoïdes et l'homme. Avec Masaki Tomonaga, du Centre de recherche sur les primates d'Inuyama au Japon, nous avons confirmé cette hypothèse évolutive, en réalisant les mêmes expériences avec des chimpanzés, qui se situent, du point de vue de la phylogénèse, entre l'homme et le babouin. Le chimpanzé reconnaît les formes à la même vitesse, quel que soit le niveau de présentation : sa perception des objets et des scènes visuelles semble donc, comme sa position dans l'évolution, intermédiaire entre celle du babouin et la nôtre.

Des travaux utilisant les techniques récentes d'imagerie cérébrale ont montré que les zones du cerveau impliquées dans le traitement de la globalité des



Lorsque nous observons ces deux formes, nous percevons d'abord le cercle (à gauche) ou le carré (à droite) : nous sommes plus sensibles à la forme globale qu'aux détails. Au contraire, les babouins sont d'abord sensibles aux détails, sans doute parce qu'ils n'ont pas appris à associer automatiquement les constituants d'un objet.

images sont différentes de celles mises en œuvre pour le traitement des détails. La diversité dans la manière de percevoir les objets proviendrait-elle alors de différences neurobiologiques entre les cerveaux du babouin, du chimpanzé et de l'homme ? Probablement pas : toutes les données disponibles indiquent une grande ressemblance entre les voies visuelles et les aires corticales mises en jeu dans la perception des objets chez ces différentes espèces.

Nous proposons au contraire que ces variations entre espèces reflètent des différences dans la capacité à relier entre elles les parties pour percevoir

le tout. Le groupement des éléments locaux en une structure globale s'effectue de manière automatique chez l'homme, alors qu'il requiert une attention soutenue chez le singe, en particulier chez le babouin. Il est possible que certains apprentissages propres à l'homme, tel celui de la lecture, favorisent le caractère automatique de ce processus de groupement. Pourrait-on, par des apprentissages analogues, favoriser un traitement prioritaire de la structure globale chez le singe ?

Joël FAGOT et Christine DERUELLE, Centre de recherches en neurosciences cognitives, CNRS, Marseille

Nœuds et ADN

Les nœuds de l'ADN éclairent la réplication.

La voie la plus directe n'est pas toujours la plus rapide. Ainsi, les biologistes doivent-ils inventer des approches indirectes pour explorer les cellules vivantes. Nous avons utilisé une méthode qui se fonde sur les nœuds de l'ADN pour déterminer la structure de la molécule au cours de sa réplication.

L'étude de l'ADN dans les bactéries vivantes ne peut se faire par examen de minces coupes de bactéries, au microscope électronique : comment pourrions-nous alors discerner les molécules d'ADN, parmi les autres constituants cellulaires ? Même si nous localisions une molécule d'ADN, ce serait grand miracle que de l'avoir tout entière dans la coupe. Pourrions-nous

alors extraire l'ADN entier des cellules, et observer ensuite des micrographies électroniques de molécules en cours de réplication ? Nous ne verrions alors pas la structure tridimensionnelle des molécules, car elle aurait été modifiée par les manipulations.

Nous avons contourné cette difficulté en regardant l'ADN noué *in vivo* : les nœuds de l'ADN subsistent alors au cours des manipulations, de sorte qu'ils permettent de suivre à la trace la structure de l'ADN au cours de la réplication.

Les nœuds de l'ADN apparaissent au cours de la réplication. Lors de cette opération, les deux brins de la double hélice sont localement séparés par des enzymes, chaque brin constituant un modèle pour la synthèse du brin complémentaire. La région de séparation des deux brins, nommée «bulle de réplication», grossit à mesure que les brins complémentaires sont synthétisés.

Quand les hélices se détordent, la torsion des brins est reportée sur les

extrémités de la bulle de réplication ; pour dix bases répliquées, un tour de la double hélice d'ADN doit être éliminé par des enzymes nommées topo-isomérases. Celles-ci coupent l'ADN et laissent passer une autre partie de la molécule à travers la coupure, puis elles ressoudent ensuite les brins. Les erreurs qui ont lieu lors de ces passages conduisent à la formation de nœuds dans les parties répliquées de l'ADN.

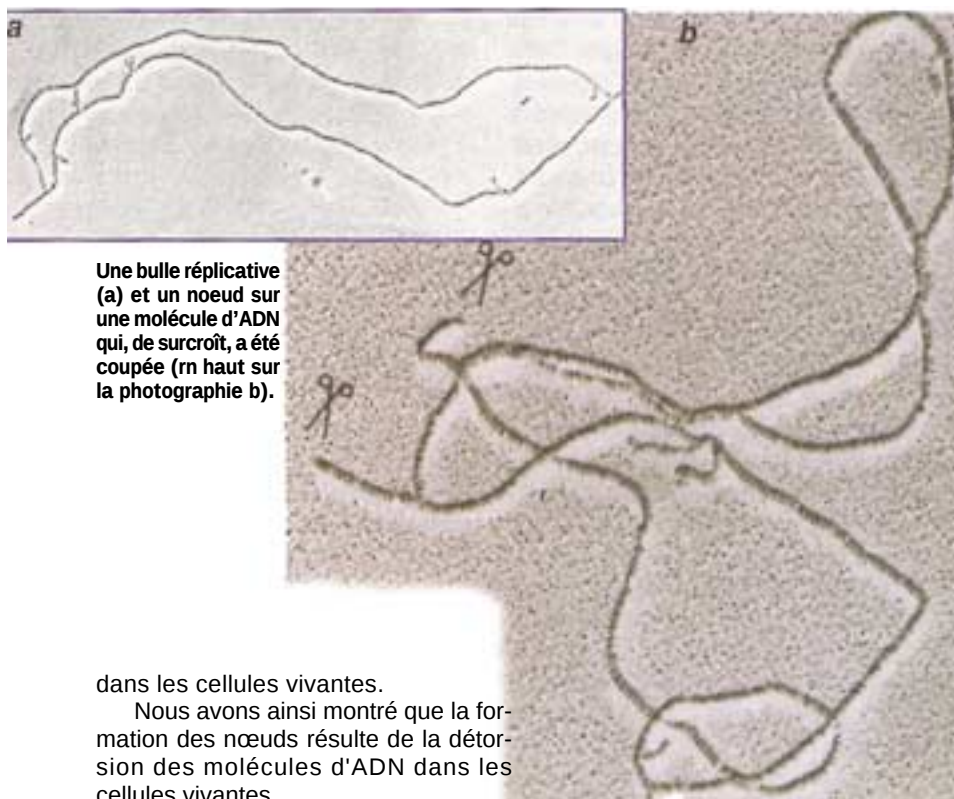
Ces nœuds nous intéressent. Pour les étudier, nous avons introduit des séquences à des points particuliers de l'ADN. Ces séquences bloquaient la réplication. Ainsi nous avons préparé des échantillons d'ADN qui étaient enrichis en bulles de réplication toutes de même taille. Puis, à l'aide d'«enzymes de restriction» (qui reconnaissent des séquences de l'ADN et coupent à ces séquences particulières), nous avons coupé les molécules d'ADN des deux côtés des bulles de réplication et obtenu des fragments que nous avons sépa-

rés par la technique d'électrophorèse sur gel (on dépose les molécules sur un gel et l'on applique un champ électrique, qui force la migration des molécules).

Nous avons alors observé une bande qui correspondait à des bulles de réplication non nouées. Cette bande était accompagnée de bandes satellites, moins nettes, composées de bulles de réplication qui portaient des nœuds de divers types.

Nous avons initialement étudié ces nœuds par microscopie électronique, mais, Comme l'ADN est une molécule très fine, leur observation directe ne permettait pas de voir correctement les croisements. Une autre méthode, indirecte, s'imposait : nous avons recouvert l'ADN d'une protéine, la protéine ReCA, afin de l'épaissir et de raidir les filaments d'ADN.

Ainsi nous avons réussi à observer les nœuds (voir la figure b) et à analyser les bulles de réplication : tous les nœuds sont de simples nœuds de trèfle, de même «chiralité» (un objet est chiral quand il se distingue de son image dans un miroir, comme une main gauche et une main droite). Quand des nœuds de ce type se forment par un procédé aléatoire, il en existe autant de chaque chiralité. Si l'on n'observe que des nœuds d'un seul type, c'est que leur mode de formation n'est pas aléatoire



Une bulle répllicative (a) et un nœud sur une molécule d'ADN qui, de surcroît, a été coupée (rn haut sur la photographie b).

dans les cellules vivantes.

Nous avons ainsi montré que la formation des nœuds résulte de la déformation des molécules d'ADN dans les cellules vivantes.

Pourquoi tous ces efforts ? La compréhension de la structure tridimensionnelle de l'ADN est importante en biologie et en médecine, parce que les inhibiteurs des enzymes topoisomérases sont utilisées pour bloquer la prolifération des cellules cancéreuses. Comprendre les mécanismes pathogènes de la réplication, nous pourrions chercher de nouveaux moyens de bloquer la réplication de l'ADN dans

les cellules cancéreuses ou dans les bactéries pathogènes.

J. SCHVARTZMAN, CIB-CSIC, Madrid,
J. SOGO, École polytechnique de Zurich
A. STASIAK, Université de Lausanne

Entre l'arbre et l'écorce

Contorsions d'une plaque entre deux supports rigides.

Les œuvres d'Edgar Poe regorgent de situations terrifiantes créées par des mécanismes diaboliques. Ainsi, dans *Le puits et le pendule*, les murs d'une cellule se rapprochent-ils inexorablement d'un prisonnier, le menaçant d'écrasement. Pour celui-ci, l'issue serait à coup sûr fatale, si les armées révolutionnaires n'intervenaient pas. Qu'en serait-il pour une plaque ainsi comprimée ?

Les plaques dévoilent de surprenantes capacités d'adaptation à l'écrasement. En se déformant, elles évitent de passer du régime élastique (la plaque reprend sa forme initiale après qu'on a supprimé la contrainte) au régime plastique (la déformation est définitive) ; quand les contraintes élastiques sont supprimées, les plaques

reprennent spontanément leur forme initiale.

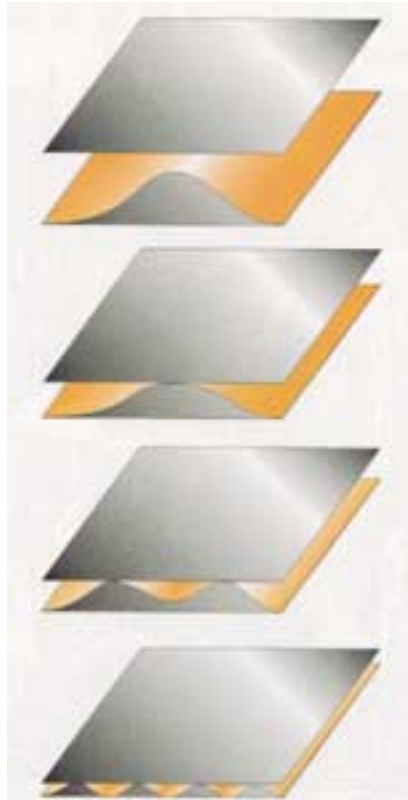
L'adaptation des plaques se traduit par leur déformation, et l'analyse de cette adaptation est aujourd'hui élucidée. Bien que la loi de Hooke de l'élasticité linéaire (la déformation est proportionnelle à la contrainte) reste valable en tout point de la plaque, elle est mise en défaut pour la réaction de la plaque sur les murs : celle-ci est fortement non linéaire.

Pour observer ce phénomène, posons une feuille de papier sur un support plan. Plissons-la légèrement en rapprochant deux bords opposés de cinq pour cent environ. Collons ceux-ci sur le support afin de maintenir le plissement, puis écrasons la feuille lentement à l'aide d'une plaque rigide. Le contact se fait d'abord suivant une ligne, puis selon un plan, jusqu'à ce qu'un flambage engendre un petit pli de courbure inversée. Écrasons davantage : le petit pli grossit, son sommet descendant vers la plaque inférieure, qu'il finit par toucher,

formant alors deux plis complets. La même évolution se répète ensuite pour chacun des deux plis formés.

Quelle force doit-on appliquer pour obtenir ces déformations ? Si la feuille était un ressort, sa réaction sur l'étau qui l'enferme augmenterait avec l'écrasement. Toutefois nos mesures montrent que cette intuition est erronée : la force croît et décroît alternativement au cours de l'écrasement. La réaction augmente, en moyenne, comme l'inverse du cube de la hauteur du pli, soit bien plus qu'un ressort, et avec des variations considérables, la force s'annulant même entre chaque flambement. Les accroissements de la réaction sur la plaque et le support correspondent à un comportement type ressort, et les diminutions à un comportement type «anti-ressort» : comme quand un matériau fragile se rompt, la réaction diminue ici avec l'écrasement.

Revenons au début de l'écrasement : lorsque le petit pli né d'un flambement vient



Les premières étapes de la déformation d'une feuille entre deux plaques rigides.

juste de toucher le support, la feuille est composée de deux plis jumeaux dont la hauteur est moitié de la hauteur initiale avant écrasement. Que vaut alors sa force de poussée sur la plaque ? Pour la déterminer, agrandissons un des deux plis : nous retrouvons une situation identique à la situation initiale. Comme au début de l'opération, le pli ne poussait pas sur la plaque d'écrasement, chacun des plis jumeaux ne pousse pas non plus : la réaction de la feuille sur la plaque qui l'écrase est nulle. Le même raisonnement appliqué aux plis des générations successives conduit à la même conclusion : la réaction de la feuille s'annule par intermittence au cours de l'écrasement !

Ce raisonnement s'étend aux autres états de la feuille (à l'exception de ceux où un petit pli reste en suspens). Pour cela, comparons les états présentant des plis de tailles différentes, mais de même forme. Un calcul mécanique montre qu'à forme donnée, un pli de longueur moitié pousse quatre fois plus ; comme les plis sont alors deux fois plus nombreux que les plis initiaux, une feuille écrasée de moitié pousse donc au total non pas deux fois, mais huit fois plus fort !

Lorsque la plaque se déforme, chacune de ses parties reste ainsi élastique, mais la réaction globale est non linéaire : une succession de petits ressorts ne fait pas ici un grand ressort. Les systèmes lamellaires (contreplaqués, matériaux composites), les dépôts de films sur des substrats ou les couches géologiques se comportent probablement ainsi.

Alain POCHÉAU et Benoît ROMAN
Université Aix-Marseille 1, Marseille

Aucun repunit n'est une puissance pure

L'ordinateur est un atout décisif en théorie des nombres.

Jean-Paul Delahaye nous a récemment fait voyager dans l'univers enchanteur des nombres dont l'écriture décimale possède de belles propriétés de symétrie, et, en particulier, parmi les repunits, ces nombres, comme 11 et 111111, constitués d'une chaîne de 1 (voir *Les chasseurs de nombres premiers*, *Pour la Science*, avril 1999, page 100)

Outre la question de leur primalité, thème central de l'article de J.-P. Delahaye, d'autres problèmes intéressent les mathématiciens, notamment le suivant : un repunit peut-il être un carré, un cube, ou, plus généralement, une puissance parfaite ? À première vue, si de tels nombres existent, ils semblent beaucoup plus rares que les repunits premiers, car seuls environ $x^{1/2}$ entiers compris entre 0 et x sont des puissances pures, (ce sont pour la plupart des carrés, les autres puissances étant nettement moins nombreuses), alors que, selon la loi de raréfaction des nombres premiers, $x/\log x$ d'entre eux, environ, sont des nombres premiers inférieurs à x .

Depuis une vingtaine d'années, on sait qu'aucun repunit différent de 1, est un carré, ni un cube, ni même une puissance p -ième pour tout entier p inférieur ou égal à 19, mais le résultat général n'a été démontré que l'an dernier : mis à part 1, aucun entier ne s'écrivant qu'avec le chiffre 1 en base dix n'est une puissance parfaite. En outre, la même conclusion s'applique à tous les nombres de la forme $10(k)10(k)1$, où $0(k)$ désigne le bloc formé de k fois le chiffre 0.

Le problème revient à résoudre l'équation diophantienne (cet épithète signifie que l'on ne s'intéresse qu'aux solutions qui sont des nombres entiers), $10^n - 1 = 9y^q$, où les inconnues n , y et q sont des entiers au moins égaux à 2. En effet, le nombre $10^n - 1$ s'écrit avec n chiffres 9, et donc $(10^n - 1)/9$ s'écrit avec n chiffres 1.

La première étape consiste à montrer que l'entier q , que l'on peut sans restriction supposer premier, n'est pas trop grand. Pour cela, décomposons un nombre de la forme $9y^q + 1$ en produit de facteurs premiers, et notons u l'exposant de 5 dans cette décomposition ; on travaille ici avec le nombre 5 mais on pourrait également choisir le nombre 2, l'essentiel est de considérer un diviseur premier de 10. Bien sûr, u peut être nul