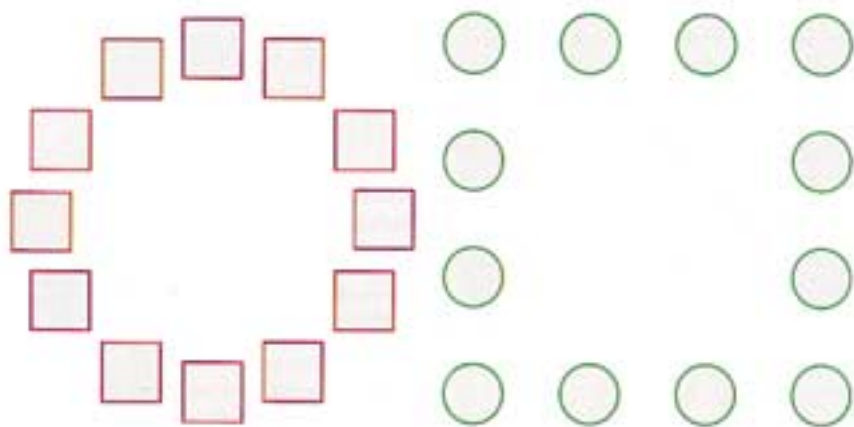


récompensée par une friandise au goût de banane.

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 phylogenèse, 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.

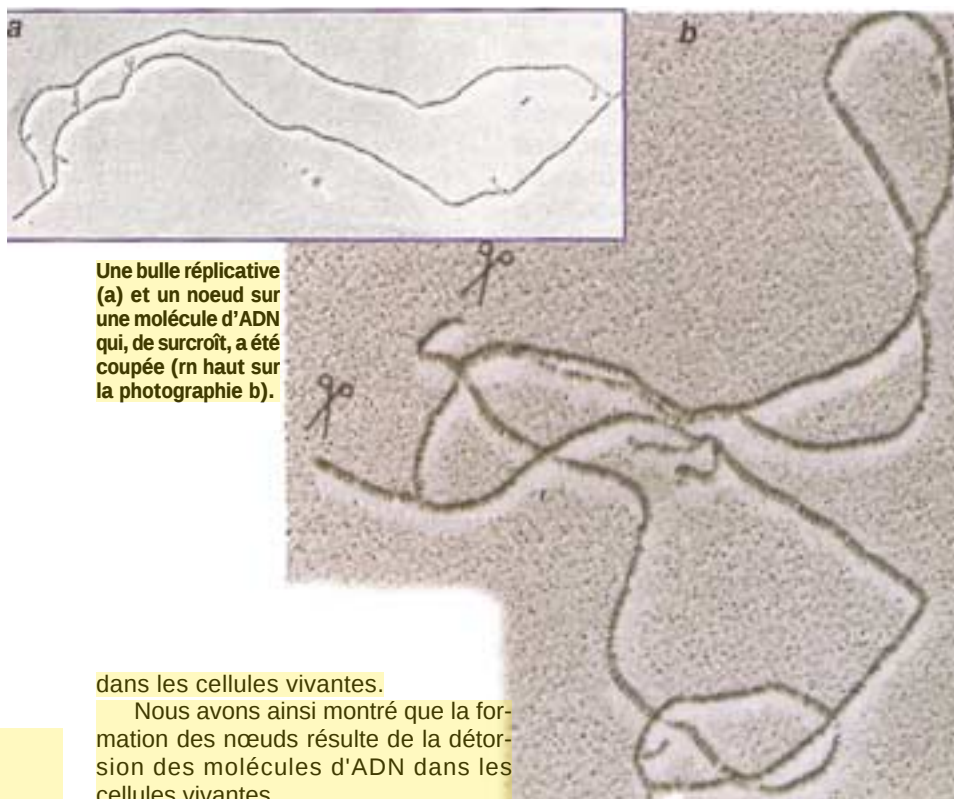
Ces nœuds nous intéressent. Pour les étudier, nous avons introduit des séquences à des points particuliers de l'ADN. Ces séquences bloquaient la réplication. Ainsi nous avons préparé des échantillons d'ADN qui étaient enrichis en bulles de réplication toutes de même taille. Puis, à l'aide d'«enzymes 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 répliquative (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 détorsion 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. Comprenant 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