

Rendez-vous

Dans cette végétation luxuriante se cachent de nombreuses espèces animales : des paresseux, des jaguars, des ocelots, des aras, des alligators, des singes hurleurs, des papillons, des grenouilles dendrobates, des fourmis coupe-feuilles, des tapirs et même quelques humains.

Un œil attentif peut également repérer ce qui s'apparente à des plaisanteries. Par exemple, l'espèce d'un oiseau bariolé reste à ce jour indéterminée. Sur une branche, on distingue deux condors loin de leurs sommets habituels. Enfin, plusieurs opossums un tantinet moqueurs émergent de-ci de-là.

En repartant, après vous être perdu dans ce tableau géant, regardez de près la toile. Vous pourrez déceler deux artifices qui ont aidé à vous faire voyager en un instant, juste en grimpant quelques marches.

D'abord, l'œuvre a été en partie construite à la façon des anamorphoses cylindriques, où un dessin qui apparaît déformé à l'extrême sur une feuille de papier ne se révèle que dans son reflet sur un miroir en cylindre.

De même, certaines zones, notamment les plans d'eau, sont représentées vues du dessus alors que les plantes, les arbres, les fougères... situés juste à côté, sont vus de

face. En gros plan, l'assemblage déroute, mais une fois en hauteur, sur la structure centrale, l'illusion fonctionne et donne de la profondeur, de la perspective, à l'ensemble.

Amazonia perpétue une tradition qui date de la fin du XVIII^e siècle, quand l'Écossais Robert Barker créa le premier panorama à Édimbourg. Le principe, aidé par les techniques du numérique, connaît une nouvelle jeunesse depuis le début du XXI^e siècle. Il permet de voyager sans (trop) se déplacer !

.....
Amazonia, du 26 septembre 2015
au 22 mai 2016, Panorama XXL,
Quai de Boisguilbert, Rouen.





LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE

AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
14H - 15H



© RADIO FRANCE / CHRISTOPHE ABRAMOWITZ

en partenariat avec **POUR LA SCIENCE**

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



IDÉES DE PHYSIQUE

Petite force deviendra grande

Le jeu des forces de frottement et de la courbure des surfaces en contact donne lieu à des mécanismes d'amarrage très efficaces, avec des cordes... ou des feuilles de papier !

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

Armons-nous de patience et assemblons deux annuaires en intercalant les feuilles de l'un avec celles de l'autre. Si l'on serre fortement leurs reliures, il devient impossible de séparer les deux bottins. Mieux encore, ils sont assez solidaires pour supporter le poids d'une voiture (voir la figure ci-dessous) !

Suffit-il de multiplier par le nombre de pages la faible force de frottement entre deux feuilles de papier pour expliquer le phénomène ? Avec plusieurs collègues, Frédéric Restagno, physicien du CNRS à l'université Paris-Sud, vient de montrer que cette interprétation et bien d'autres qui circulent sur la Toile sont erronées : l'explication réside dans un processus d'amplification mécanique, identique à celui en jeu dans la solidité des nœuds ou le principe du nœud de cabestan.

Un frottement amplifié

D'après un dicton breton, « un tour mort et deux demi-clés n'ont jamais lâché ». Ce nœud d'amarrage facile à réaliser consiste à enrouler la corde autour d'un mât ou d'une bitte (le « tour mort ») et à bloquer l'ensemble par l'enlacement nommé demi-clé (voir la figure page 90, en haut). On peut constater que dans la corde, la tension chute tout au long de l'enroulement, si bien qu'avec uniquement un « tour mort », une force de maintien faible, exercée à un bout par un marin, permet de résister à une forte traction sur l'autre bout, telle celle d'un bateau au mouillage.

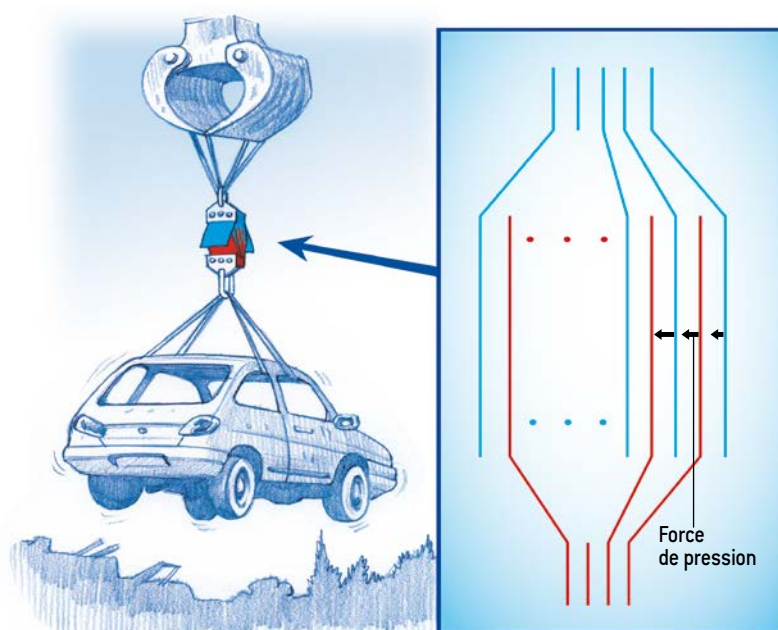
Pour comprendre cette réduction de la tension, analysons les forces qui s'exercent sur un petit élément de la corde au contact du mât cylindrique autour de laquelle il est enroulé. Cet élément de corde subit une tension en amont (du côté sous traction) et une tension en aval (du côté du marin).

En raison de la courbure de l'élément de corde, ces deux forces de tension ne sont pas parallèles. Par conséquent, l'élément de corde exerce une pression sur le mât, et réciproquement : en vertu des lois du frottement solide, cet élément peut supporter une

différence de tension à ses extrémités, à condition toutefois que l'écart soit inférieur à la force pressante multipliée par un « coefficient de frottement statique » μ , nombre qui est de l'ordre de 1.

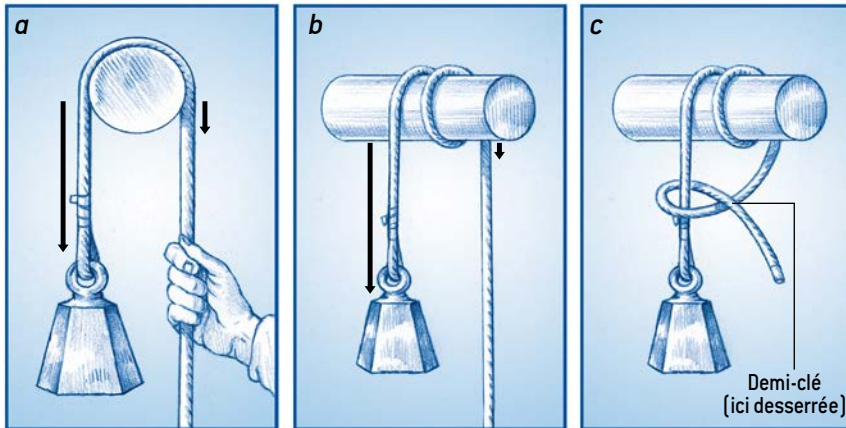
Répétons ce raisonnement pour chacun des éléments successifs de la corde en contact avec le support. On en conclut que tant qu'il n'y a pas glissement de la corde, la tension diminue le long du cordage en direction de la main qui le maintient.

Plus précisément, on peut montrer que dans le cas où la corde est à la limite de glisser,



DEUX ANNUAIRES ENTRELAÇÉS et serrés au niveau de leur reliure constituent un lien très solide, comme en atteste une expérience réellement faite avec une voiture. En raison de la courbure, chaque feuille exerce sur la suivante une pression croissante. Il s'ensuit que la somme des forces de frottement entre les feuilles augmente exponentiellement avec le nombre de feuilles.

Dessins de Bruno Vécara



PARTOUT OÙ LA CORDE EST EN CONTACT avec le cylindre, une force de frottement peut agir. Grâce à son accumulation, la force (*flèche de droite*) que la main doit appliquer pour empêcher la corde de glisser sous l'effet du poids accroché (*flèche de gauche*) est minimale (*a*). Avec un enroulement assez long, le maintien peut être assuré par une « demi-clé », enlacement où le frottement suffit à produire la force nécessaire (*b, c*).

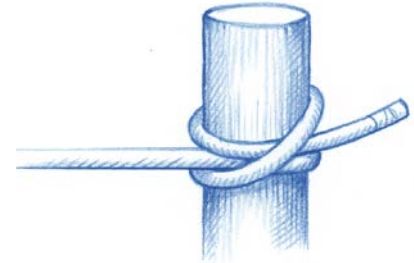
cette diminution est exponentielle : on calcule que le rapport entre la force de traction et la force de maintien est égal à $e^{2\pi\mu n}$, où n est le nombre de tours de la corde autour du mât. Avec un coefficient de frottement banal, $\mu = 0,5$, ce rapport est donc d'environ 5 pour un demi-tour, 25 pour un tour complet et 125 pour le tour mort (un tour et demi) !

Le résultat est spectaculaire, mais le marin doit tirer au moins un peu : s'il lâche le cordage, la tension s'annule à un bout de la corde et celle-ci se met à glisser. C'est pourquoi on verrouille le tour mort en réalisant une, voire deux, demi-clés. Il s'agit d'un nœud simple de l'extrémité libre autour de la corde sous tension ; la force de maintien résulte alors naturellement des frottements entre les différentes parties de la corde.

Ce nœud est efficace et facile à défaire rapidement, c'est-à-dire idéal pour l'amarage d'un bateau. En revanche, pour des fixations plus définitives, on lui préfère le nœud de cabestan. Dans ce nœud, la partie centrale de la corde s'enroule au-dessus des brins qui s'éloignent en amont et en aval du mât.

La configuration est autobloquante : une fois que la partie centrale est mise sous tension, elle appuie sur les brins sortants et les empêche de glisser. Ainsi, lorsqu'on relâche les extrémités de la corde, le nœud demeure sous tension. C'est idéal pour la construction d'une cabane en bois ; mais le nœud de cabestan devient de plus en plus difficile à défaire au fil du temps.

La diminution exponentielle de la tension est aussi utilisée par les amateurs d'escalade



UN NŒUD DE CABESTAN, utilisé par exemple pour fixer définitivement l'extrémité d'un cordage. Autobloquant, il ne s'ouvre pas spontanément.



LE HUIT D'ESCALADE est un dispositif permettant à une personne d'assurer son coéquipier. La corde glisse aisément lorsque ce dernier monte, mais, en cas de chute, sa collègue le retient facilement en exerçant sur la corde une force modeste.

pour l'assurage, notamment dans le dispositif nommé huit (voir la figure du bas). Il s'agit d'une pièce métallique en forme de huit où l'on fait passer la corde sans faire de nœud. Si l'on met cette corde sous tension (en général le brin qui passe par la main gauche) pour assurer un coéquipier ou lors d'une descente en rappel, le frottement sur le métal du huit réduit suffisamment la tension pour que la main droite tenant le brin libre puisse le retenir à l'aide d'une force modérée, et cela même si la tension devient très importante à la suite d'une chute.

Des bottins inséparables

De façon étonnante, on retrouve une variation de ce mécanisme, cette fois amplificateur, dans les travaux récents de Frédéric Restagno et ses collègues sur les annuaires entrelacés. On peut s'en convaincre en réalisant chez soi l'expérience suivante avec un jeu de cartes. On coupe le paquet en deux et on intercale une à une les cartes des deux paquets dans leur longueur de telle sorte qu'elles se recouvrent parallèlement sur les deux tiers environ (mélange dit pharaon, pour les amateurs). Si l'on tient les paquets par les côtés (leurs tranches latérales), il est très facile de les désimbriquer en tirant dessus dans le sens de la longueur. En revanche, si l'on tient ces paquets en pinçant fort leurs extrémités, il devient presque impossible de les séparer.

Dans les deux cas (cartes ou feuilles d'annuaires), l'origine du phénomène est à rechercher dans la flexion des feuillettes

successifs. Cette flexion est inévitable, car il y a dans le cas des bottins deux fois plus de feuilles empilées dans la zone d'intercalation qu'au niveau des reliures, et dans le cas des cartes l'épaisseur est moindre là où les paquets sont pincés. Cette flexion des feuillets transfère une partie de la force de tension en leur sein en force de compression les uns sur les autres et induit un couplage de même nature que celui à l'œuvre entre la corde et le mât.

Raisonnons sur l'exemple du jeu de cartes. Que se passe-t-il pour la première carte du paquet ? Comme elle est légèrement pliée vers le bas, à cause de sa rigidité, elle appuie légèrement sur la carte décalée au-dessous d'elle. Grâce à cette force pressante, cette deuxième carte peut, par le frottement, résister à une petite force de séparation longitudinale. La zone de pincement étant plus mince que la zone de recouvrement, la force de frottement est légèrement inclinée

par rapport au plan (longitudinal) des cartes superposées : elle contribue donc à appuyer un peu plus sur la carte suivante (parallèle à la première).

Et ainsi de suite, chaque feuillet subit une pression plus importante que la précédente, ce qui lui permet de résister à une force de séparation plus importante. La résultante de toutes les forces de frottement s'exerçant sur les feuilles est alors considérable. Les expériences réalisées par Frédéric Restagno avec des nombres variés de feuilles de papier maintenues par une mâchoire faisant office de reliure illustre de façon spectaculaire le caractère amplificateur de l'empilement : en multipliant par 10 le nombre de feuilles, la force de séparation supportée est multipliée par 10 000 ! ■



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY
et Édouard KIERLIK
sont professeurs
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.

BIBLIOGRAPHIE

H. Alarcón *et al.*, The enigma of the two interleaved phonebooks, *Phys. Rev. Lett.*, à paraître [prépublication : arxiv.org/abs/1508.03290].

les conférences

Entrée libre dans la limite des places disponibles

À la Cité des sciences et de l'industrie

cycle La dynamique des gènes

Les mardis 12, 19 et 26 janvier à 19h

Avec Déborah Bourc'his, directrice de recherche à l'Inserm ; Alain Fischer, médecin, chercheur, professeur au Collège de France ; Thomas Heams, biologiste.

Au Palais de la découverte

cycle Dinosaures : des acteurs qui en imposent !

Les samedis 9, 16, 23 et 30 janvier à 15h

Avec Ronan Allain, Damien Germain, Sandrine Ladevèze, Jean-Sébastien Steyer, paléontologues au Muséum national d'histoire naturelle.

programme complet sur cite-sciences.fr et palais-decouverte.fr

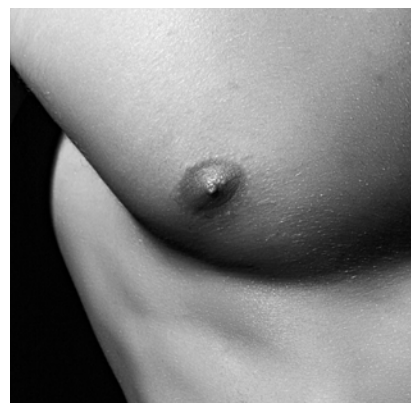
Avec le soutien de

QUESTION AUX EXPERTS

Pourquoi les hommes ont-ils des tétons ?

Parce que les tétons sont utiles aux femmes pour l'allaitement et que ce caractère a été sélectionné au niveau de l'espèce.

Andrew SIMONS



« **L**a poitrine des hommes aurait l'air plutôt bizarre avec seulement des poils », me disait récemment ma fille de 4 ans, qui justifiait ainsi l'existence des tétons masculins. Certes. Mais essayons d'aller plus loin. L'utilité de ces attributs étant bien moins évidente que celle de leurs homologues féminins, qu'est-ce qui justifie leur existence ?

Les biologistes évolutionnistes, dont le rôle consiste à expliquer la diversité des formes naturelles, sont souvent tenus de fournir des explications adaptatives : tel caractère est apparu parce qu'il a favorisé l'adaptation de l'animal à de nouvelles conditions, c'est-à-dire qu'il a augmenté ses chances de reproduction ou de survie. Et en effet, on montre par des expériences appropriées que certains traits sont bien des adaptations.

Mais ce n'est pas le cas de tous. L'apparition d'un caractère dépend de nombreux facteurs, tels que le hasard, les mécanismes de l'hérédité et l'histoire évolutive de l'organisme : un trait se forme toujours à partir d'un état préexistant, et s'il était « conçu » à partir de zéro pour être le plus efficace possible dans une situation donnée, il serait bien différent. Les tétons des mammifères mâles illustrent ces contraintes non adaptatives qui pèsent sur l'évolution.

Pourquoi mâles et femelles n'ont-ils pas emprunté un chemin évolutif différent, où seules ces dernières auraient été pourvues de mamelons ? Le dimorphisme sexuel est répandu dans la nature. Les paons mâles, par

exemple, sont parés d'un plumage spectaculaire, là où leurs compagnes affichent une parure plus terne. Chez les invertébrés, ces dames sont parfois des géantes : certaines araignées femelles du genre *Misumena* sont ainsi 100 fois plus lourdes que les mâles.

Une telle évolution divergente est assez contre-intuitive. Les petits reçoivent tous une copie de chaque gène de leur père et de leur mère : ils devraient donc hériter d'une combinaison de leurs traits et plus ou moins se ressembler.

Un découplage génétique

Des traits comme la taille ou la couleur des plumes n'ont pu évoluer séparément que parce que leur codage génétique est « découplé » entre les deux sexes, ce qui se produit dans trois types de cas : lorsque le gène codant le caractère n'est pas le même chez le mâle et chez la femelle, lorsqu'il est situé sur un chromosome sexuel (s'il se trouve sur un chromosome Y humain, par exemple, il ne sera pas transmis à une fille), ou lorsqu'il s'exprime différemment selon qu'il est intégré dans un génome masculin ou féminin.

Un tel découplage n'est pas la règle. Nombre de caractères ont la même base génétique chez les hommes et chez les femmes et s'ils s'avèrent utiles à l'un des deux, ils sont transmis aux descendants, indépendamment de leur sexe. Un découplage est le fruit d'une sélection. Il ne se produit que si le trait est important pour le succès reproductif de l'espèce, mais

lorsque sa configuration « optimale » diffère pour le mâle et la femelle. Si cette configuration est identique pour les deux sexes, ou qu'une configuration est idéale pour l'un et sans importance pour l'autre, le codage génétique n'a aucune raison de se découpler.

Et il ne l'a pas fait pour les tétons. Comme ils favorisent le succès reproductif de la femme et ne nuisent pas à celui de l'homme, ils ont été transmis indifféremment aux deux sexes. En somme, leur persistance s'explique moins par leur qualification que par leur absence de disqualification – puisqu'ils ne procuraient aucun désavantage aux mâles, la sélection naturelle ne les a pas supprimés.

Aucun désavantage ? Pas si sûr : les hommes aussi sont victimes de cancers du sein, bien que plus rarement que les femmes, et on pourrait le considérer comme une pression de sélection. Cependant, cette pression reste probablement faible et récente à l'échelle évolutive : si les tétons étaient si nocifs, ils auraient déjà disparu.

Dans un article célèbre, le paléontologue Stephen Jay Gould et le généticien Richard Lewontin ont souligné que nous ne devrions pas toujours chercher une explication adaptative pour chaque trait. Ainsi, les tétons des mammifères mâles ne sont qu'un sous-produit génétique de ceux des femelles.

Alors, pourquoi les hommes ont-ils des tétons ? Parce que les femmes en ont. ■

Andrew SIMONS est professeur de biologie à l'université Carleton, à Ottawa, au Canada.