

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'h, 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

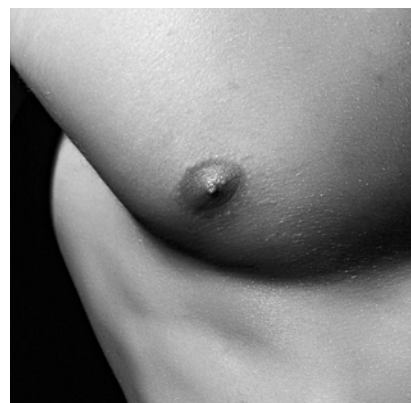
Avec le soutien de

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.

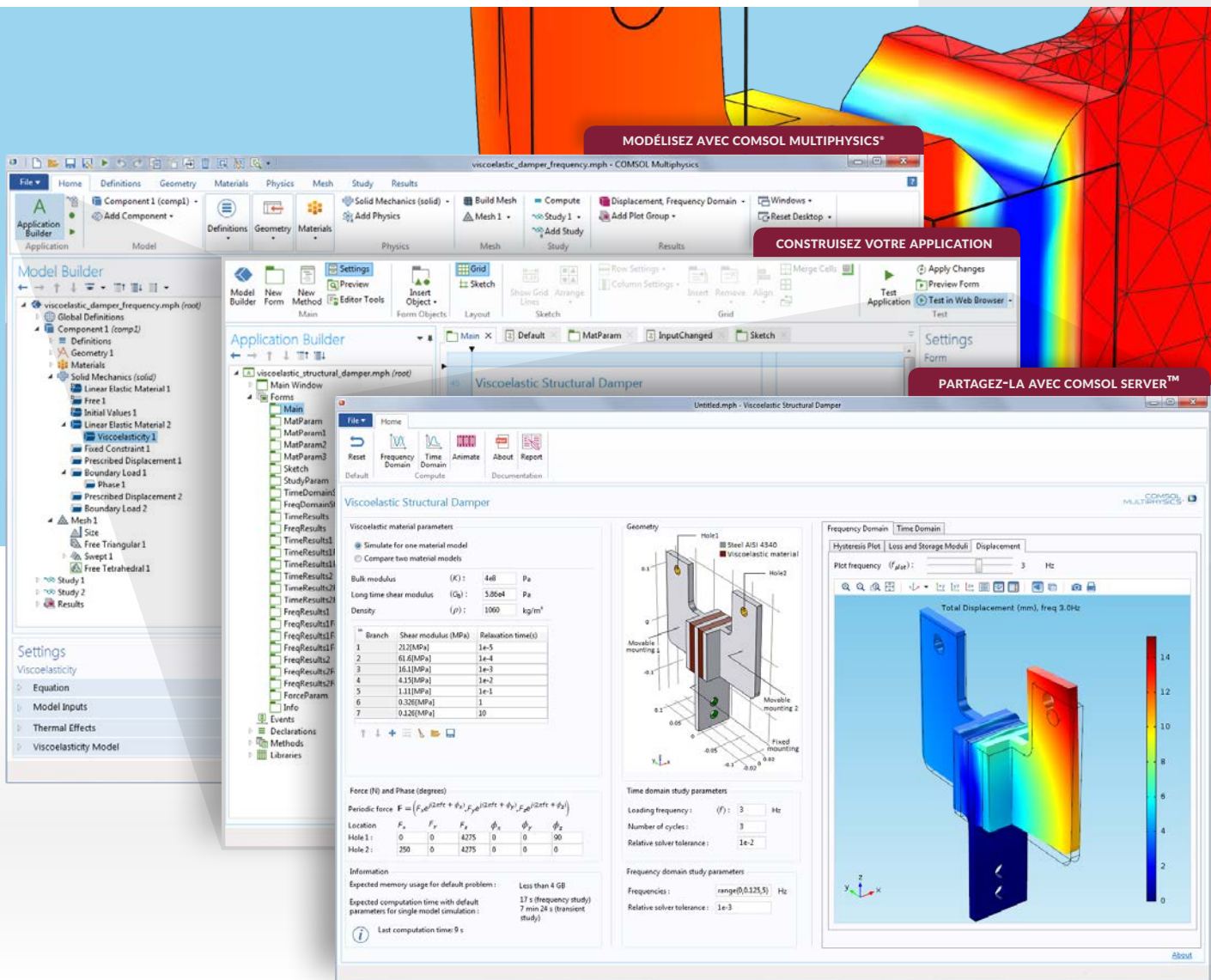
Et il ne l'a pas fait pour les tétons. Comme ils favorisent le succès reproductif de la femme et ne nuisent pas à celui de l'homme, ils ont été transmis indifféremment aux deux sexes. En somme, leur persistance s'explique moins par leur qualification que par leur absence de disqualification – puisqu'ils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



Du Modèle à l'Application, vers le Serveur

PARTAGEZ VOTRE EXPERTISE EN SIMULATION

COMSOL Multiphysics® et son Application Builder fournissent des outils pour concevoir facilement des interfaces personnalisées pour vos applications en multiphysique. Utilisez ensuite COMSOL Server™ pour partager vos applications avec vos collègues et vos clients dans le monde entier.

Pour en savoir plus sur vos applications en simulation, rendez-vous sur **comsol.fr**.