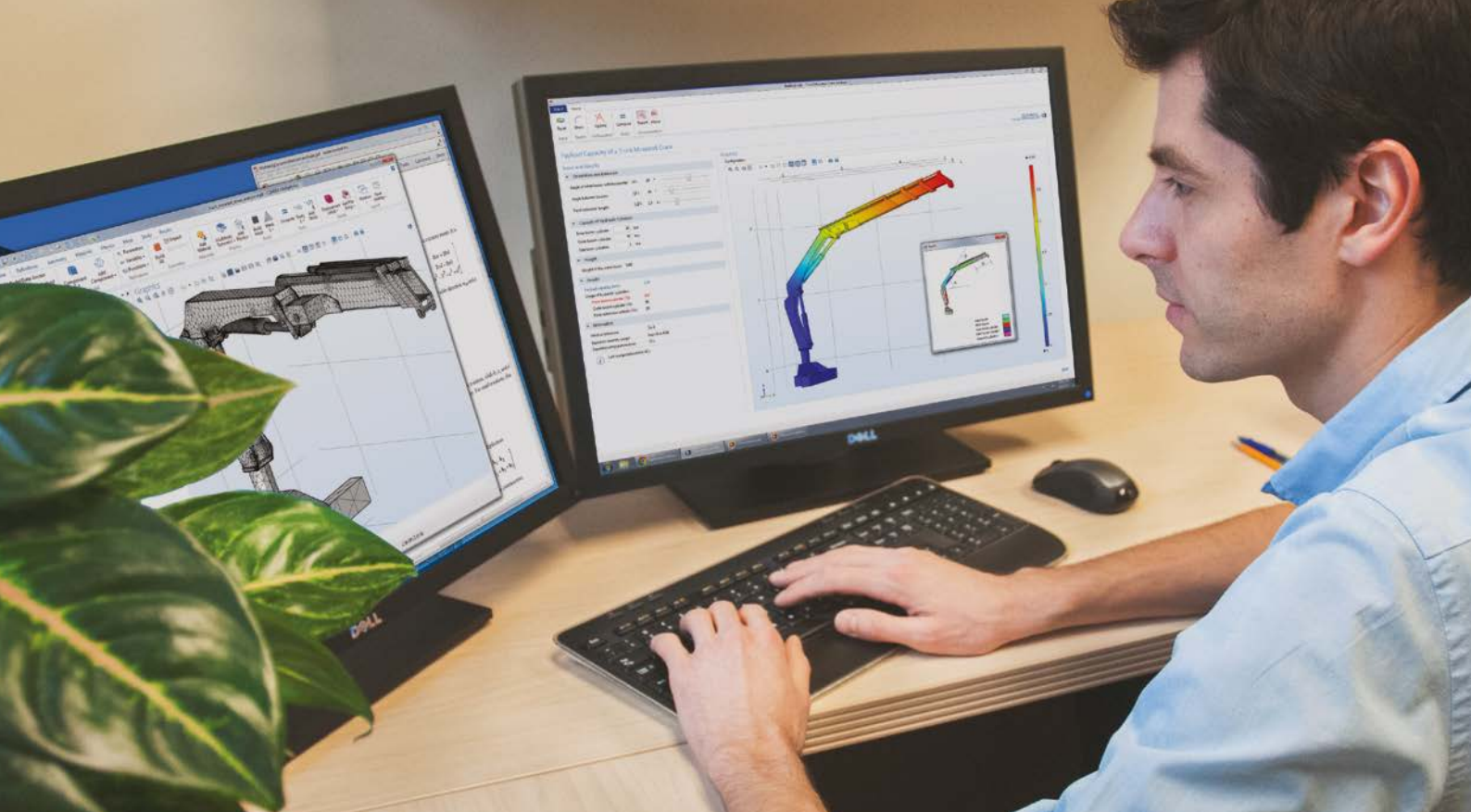




LA MULTIPHYSIQUE POUR TOUS

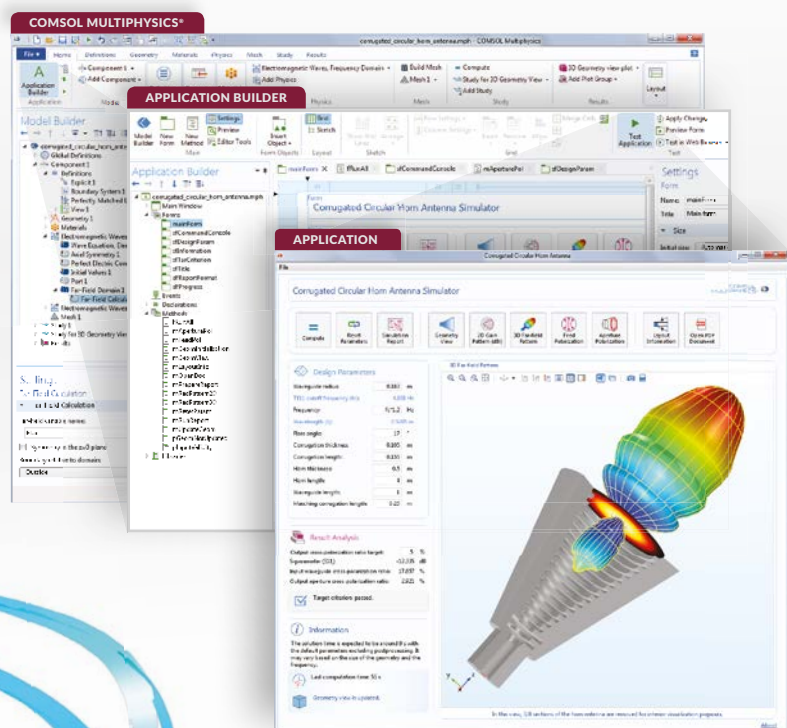
L'évolution des outils de simulation numérique vient de franchir un cap majeur.

Des applis spécialisées sont désormais développées par les spécialistes en simulation avec l'application Builder de COMSOL Multiphysics®.

Une installation locale de COMSOL Server™, permet de diffuser les applis dans votre organisme et dans le monde entier.

Faites bénéficier à plein votre organisme de la puissance de l'outil numérique.

comsol.fr/application-builder



IDÉES DE PHYSIQUE

La girafe, la paille et la pompe à piston

Pour étancher sa soif, la girafe n'aspire pas l'eau comme quand nous buvons avec une paille. Elle procède plutôt comme une pompe à refoulement.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Boire est pour nous d'une facilité déconcertante. Une gorgée d'eau dans la bouche et nous n'avons qu'à laisser faire la gravité pour que l'eau atteigne notre estomac. Tel n'est pas le cas de la plupart des quadrupèdes : lorsqu'ils boivent, leur bouche est plus basse que leur système digestif. Un cas spectaculaire est celui de la gracile girafe. Avec un garrot à plus de 3 mètres de haut et un cou de « seulement » 2 mètres (pour le mâle adulte), elle doit déjà manœuvrer avec ses jambes raides pour abaisser sa tête au niveau du point d'eau. Comment fait-elle donc pour boire, c'est-à-dire faire monter l'eau sur un dénivelé de près de 2 mètres ?

Pression et dépression

Le plus simple serait pour elle de remplir d'eau sa bouche, de relever la tête au-dessus du garrot et de laisser couler le liquide dans son œsophage. Mais avec une consommation quotidienne de 40 litres d'eau et une capacité en bouche d'environ 0,3 litre, la girafe devrait effectuer près de 130 mouvements par jour pour s'abreuver.

Outre l'énergie nécessaire, cette méthode lui poserait de sérieux problèmes de pression sanguine dans le cerveau. Le problème nous est familier lorsque nous nous redressons et nous levons brusquement : la chute de pression dans la partie supérieure du corps diminue temporairement la quantité de sang qui parvient à

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique

notre cerveau, d'où parfois un léger étourdissement ou des papillons devant les yeux. C'est sans danger, car des réactions réflexes se déclenchent et régulent la pression.

Pour la girafe, le problème est tout autre. Entre les positions haute et basse de sa tête, la différence n'est pas de quelques dizaines de centimètres, mais de près de 5 mètres. La variation de pression d'un fluide étant proportionnelle à l'élévation, cela donne une variation de pression de 500 hectopascals, soit une demi-atmosphère !

Heureusement, le système sanguin de la girafe y est adapté. Grâce à un puissant cœur de 12 kilogrammes, à un réseau de vaisseaux dilatables en dérivation du système principal au niveau de la tête et à des valves, l'animal évite l'afflux de sang dans la tête lorsqu'il la baisse et les chutes de tension excessives lorsqu'il la lève. Mais cette régulation n'est pas instantanée. Effectuer plus d'une centaine de gorgées pour se désaltérer prendrait donc trop de temps et serait trop risqué pour la girafe.

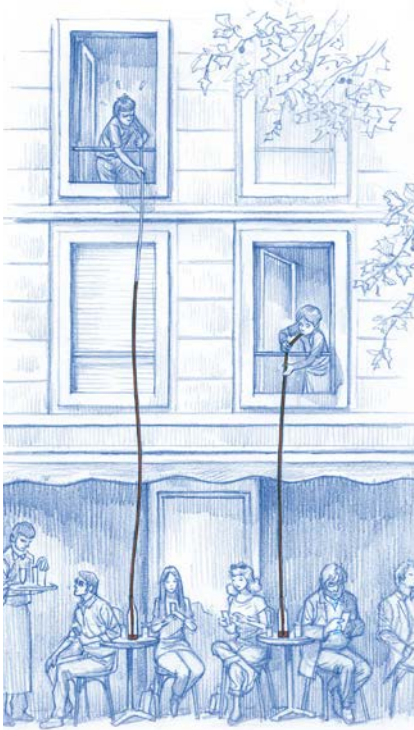
Qu'envisager d'autre ? En observant l'animal, on pourrait penser que son cou fait office de paille géante et que la girafe fait monter l'eau par aspiration. Est-ce plausible pour des hauteurs de 2 mètres ? Quand nous buvons avec une paille, le dénivelé n'est que d'une vingtaine de centimètres. Peut-on faire beaucoup mieux ?

Comme l'avait expérimenté avec des siphons le physicien italien Gasparo Berti vers 1640, l'aspiration ne peut pas faire



Dessins de Bruno Vacaro

QUAND UNE GIRAFE BOIT, sa bouche se situe à environ 2 mètres au-dessous de son système digestif. Boire par aspiration nécessiterait alors une dépression que son cou ne supporterait pas.



PEUT-ON BOIRE EN ASPIRANT avec une très longue paille ? Même si la paille est suffisamment solide pour résister à la dépression créée, on ne peut dépasser une hauteur théorique de 10 mètres et quelques (pour de l'eau), au-delà de laquelle la pression atmosphérique, à l'extrémité libre, ne peut plus compenser le poids de la colonne de liquide. En pratique, on ne dépasse guère quelques mètres.

monter l'eau plus d'une dizaine de mètres. Pourquoi ?

Si l'eau monte dans une paille ou dans un tuyau, ce n'est pas grâce à une force de traction que nous exercerions sur le liquide, mais grâce à la poussée de l'atmosphère sur sa surface libre. Lorsque nous « aspirons » un liquide avec une paille, nous réduisons la pression à l'intérieur de cette dernière. Par conséquent, le liquide monte jusqu'à ce que le poids de la colonne liquide soit compensé par la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur. Dans la situation la plus favorable, la pression à l'intérieur, en haut de la colonne de liquide, est presque nulle ; la pression atmosphérique extérieure peut alors faire monter le liquide à 10 mètres environ s'il s'agit d'eau, ou 760 millimètres s'il s'agit de mercure, plus dense.

Quelle hauteur atteint-on en pratique ? Nous avons expérimenté avec un tuyau et réussi à aspirer avec la bouche de l'eau plus basse de 2 mètres. Ce n'est déjà pas facile : il faut alterner aspiration et obturation du tuyau (pour reprendre son souffle). Estimons jusqu'où nous pouvons faire monter l'eau en déterminant la dépression créée lorsque nous inspirons avec les poumons.

Sachant que la capacité pulmonaire totale (volume d'air maximum contenu dans nos voies aériennes) est d'environ 6 litres et que le volume résiduel (l'air restant dans les poumons lorsqu'on a soufflé à fond) est de 1,5 litre, nous pouvons en principe diminuer d'un facteur 4 la pression dans nos voies aériennes ; on en déduit que nous pouvons aspirer de l'eau jusqu'à 7,5 mètres de hauteur (voir l'illustration ci-dessus, à gauche).

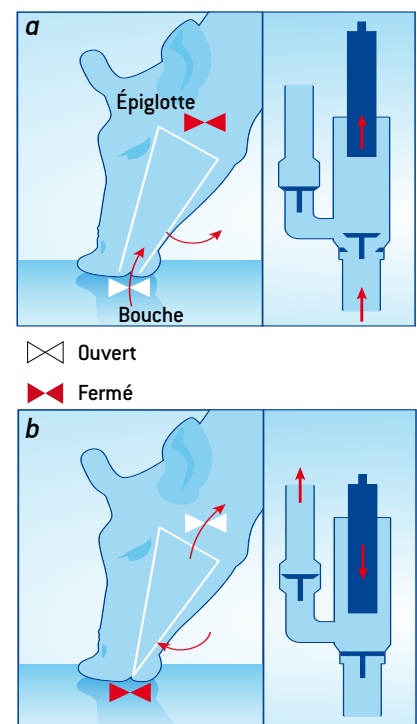
Une expérience réalisée par deux jeunes Américains pour une vidéo postée sur YouTube montre que l'un d'eux atteint une hauteur d'aspiration de plus de 6 mètres. Nous ne pouvons confirmer ce chiffre et invitons les lecteurs à nous faire part de leurs expé-

riences. On peut sans doute monter plus haut, au moins pendant quelques instants, avec quelques astuces. Par exemple, on pourrait boucher le bas du tuyau, aspirer pour faire le vide à l'intérieur et relâcher d'un coup. Dans ce cas, l'eau accélérerait en s'élevant et, avec l'énergie cinétique acquise, monterait plus haut.

Une pompe qui refoule l'eau

De toute façon, les 2 mètres nécessaires pour que la girafe boive en aspirant sont largement dépassés. Est-ce ainsi qu'elle procède ? Rien n'est moins sûr. La capacité de ses poumons n'est pas en cause, mais, contrairement à l'homme, son cou est très long et il semble qu'il ne soit pas conformé pour supporter la dépression qui régnerait tout au long de la trachée.

Observons en détail une girafe en train de boire. On constate que, les lèvres plongées en permanence dans l'eau, une gorgée dure environ 25 secondes. Dans ce laps de temps, la girafe enchaîne 17 suctions de 1,5 seconde dont chacune remplit d'eau sa



LE MÉCANISME AU MOYEN DUQUEL la girafe se désaltère (schémas de gauche) est analogue à celui d'une pompe à refoulement (schémas de droite). Dans un premier temps, l'animal ouvre sa bouche, ferme son épiglottis et, par succion, remplit d'eau sa bouche (a). Puis il ferme la bouche, ouvre l'épiglotte et referme sa mâchoire inférieure, ce qui pousse l'eau vers l'œsophage (b). La mâchoire inférieure joue ainsi le rôle de piston, et les lèvres et l'épiglotte jouent le rôle de valves.

bouche. Comme la capacité de cette dernière est de 0,3 litre, la girafe ingère près de 5 litres d'eau, ce qui correspond peu ou prou au volume de son œsophage (5 centimètres de diamètre et un peu plus de 2 mètres de long). Autrement dit, la girafe remplit presque complètement son œsophage d'eau. Puis elle se redresse et laisse la gravité agir.

Mais comment l'eau passe-t-elle de la bouche à l'œsophage à chaque succion ? Vraisemblablement, la girafe reproduit sans le savoir le mécanisme des pompes à piston (voir la figure page ci-contre, en bas). Elle bloque d'abord l'accès à l'œsophage avec son épiglotte, ouvre la bouche et la remplit d'eau en aspirant un peu. Elle ferme ensuite la bouche, rouvre l'épiglotte, bloque sa respiration et relève sa mâchoire inférieure. Ce mouvement réduit le volume de la cavité buccale et pousse ainsi l'eau dans l'œsophage.

Tout cela est relativement aisé : il suffit que la bouche supporte une surpression de 0,2 atmosphère et que la mâchoire pousse un poids équivalent à 5 kilogrammes (le poids de l'eau qui remplit l'œsophage).

L'exemple de la girafe nous montre aussi comment monter de l'eau à des hauteurs supérieures à 10 mètres : au lieu d'avoir une pompe en haut qui aspire, on fait fonctionner une pompe au fond qui refoule l'eau. On peut ainsi atteindre une surpression très importante, en tout cas sans limite supérieure dictée, comme dans le cas de l'aspiration, par les lois de l'hydrostatique. C'est ce que l'on fait pour récupérer l'eau des puits profonds ou pour vider les tunnels de mine remplis d'eau. Une pompe de dénoyage typique utilisée dans une mine peut ainsi fonctionner à 16 atmosphères et refouler l'eau jusqu'à près de 150 mètres de haut ! ■

■ BIBLIOGRAPHIE

P.-M. Binder et D. L. Taylor,
How giraffes drink,
The Physics Teacher,
vol. 53(9), pp. 518-520, 2015.

■ SUR LE WEB

Vidéo montrant une aspiration
avec une paille sur une hauteur
de 6 mètres :

www.youtube.com/watch?time_continue=343&v=HUmZrtiXDiK



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



les conférences

À la Cité des sciences et de l'industrie

Entrée libre dans la limite des places disponibles

[les mardis à 19h]

cycle

Villes du futur: de nouvelles utopies ?
Dans le cadre de l'exposition *Mutations urbaines* présentée du 14 juin au 31 décembre 2016.

31 mai Paris 2050: les cités fertiles
Avec Vincent Callebaut, architecte ; Sandrine Berroir, géographe.

7 juin Habiter la mer: les cités flottantes
Avec Jacques Rougerie, architecte, océanographe ; Idriss Aberkane, expert en bio mimétisme.

14 juin Vers une cité bio-numérique
Avec Claire Bailly, architecte urbaniste ; Jean Magerand, architecte urbaniste ; Thierry Paquot, philosophe de l'urbain.

programme complet sur cite.sciences.fr

Avec le soutien de **SCIENCE**



© shutterstock