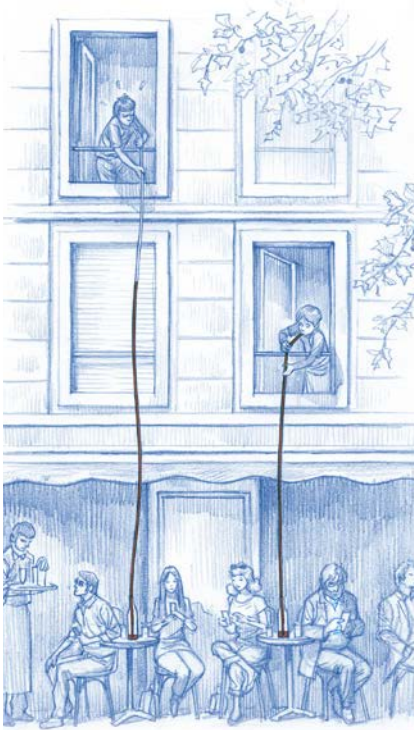




PEUT-ON BOIRE EN ASPIRANT avec une très longue paille ? Même si la paille est suffisamment solide pour résister à la dépression créée, on ne peut dépasser une hauteur théorique de 10 mètres et quelques (pour de l'eau), au-delà de laquelle la pression atmosphérique, à l'extrémité libre, ne peut plus compenser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

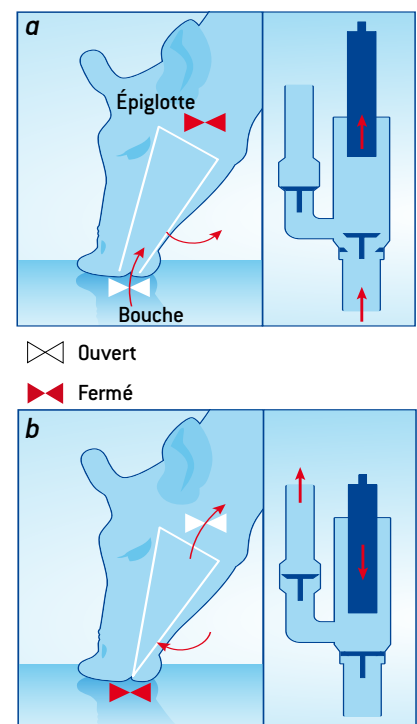
Une expérience réalisée par deux jeunes Américains pour une vidéo postée sur YouTube montre que l'un d'eux atteint une hauteur d'aspiration de plus de 6 mètres. Nous ne pouvons confirmer ce chiffre et invitons les lecteurs à nous faire part de leurs expé-

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 épiglote 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

QUESTION AUX EXPERTS

Les plantes ont-elles des cancers ?

Les tumeurs végétales existent, mais elles sont bien différentes de celles qui affectent les animaux.

Yves Dessaux



Galles dues à *Agrobacterium* / ©Université de Géorgie et USDA Forest Service

Comme il y a des cancers animaux, il y a des cancers végétaux : des tumeurs, rarement fatales à la plante, peuvent se développer en quelques semaines ou quelques mois sous la forme d'un gonflement de l'organe touché et mesurer jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres. Alors que les causes de cancer connues chez l'animal sont nombreuses et diverses – radiations, substances cancérigènes, virus, bactéries... –, on sait depuis le début du XX^e siècle que les cancers végétaux sont dus à des bactéries de trois genres : *Agrobacterium*, *Pseudomonas* et *Rhodococcus*.

Chez les animaux, un cancer résulte d'altérations génétiques qui entraînent la multiplication désordonnée des cellules. Ces altérations portent sur des gènes qui contrôlent le cycle cellulaire ou qui réparent l'ADN. Elles se produisent soit au moment de la réplication de la cellule, soit sous l'influence d'un agent cancérigène. Quoi qu'il en soit, la combinaison de plusieurs événements, suivie de la formation de vaisseaux sanguins, est nécessaire pour qu'une tumeur se développe.

Chez les végétaux, les processus de tumorigénèse sont différents, car les cellules végétales répondent à des stimuli d'organisation différents de ceux auxquels répondent les cellules animales. Un premier groupe de bactéries, des *Pseudomonas* et des *Rhodococcus*, a des gènes qui conduisent à la production d'auxines et de cytokinines, des hormones de croissance végétale. La libération d'auxine dans la plante indique

aux cellules végétales de se diviser et de s'engager vers la formation de racines. Les cytokinines, elles, indiquent aux cellules de se diviser et de s'engager vers la formation de tiges feuillées. Ces deux messages contradictoires déclenchent la multiplication anarchique des cellules.

Les tumeurs dues à *Pseudomonas* sont notamment celles de la tuberculose de l'olivier ; celles dues à *Rhodococcus* apparaissent par exemple dans la maladie du balai de sorcière. Elles régressent ou se stabilisent dès que la bactérie disparaît, par exemple sous l'effet d'un bactéricide.

Des tumeurs dues à trois genres de bactéries

Il en va tout autrement dans la seconde forme de cancer végétal, celle due aux bactéries du genre *Agrobacterium*. Ces agrobactéries provoquent par exemple le broussin de vigne (une maladie grave pour les vignes jeunes) et la galle du collet (maladie affectant les dicotylédones, plantes dont la vie commence par la sortie de deux feuilles primordiales de la graine). En pépinière où sont cultivées des dicotylédones, c'est particulièrement ennuyeux et il faut éliminer les plantes contaminées.

Comment agit *Agrobacterium* ? Il modifie aussi la balance hormonale végétale, mais c'est la cellule végétale elle-même qui surproduit les hormones, et non la bactérie. Pour cela, *Agrobacterium* exporte vers le noyau

de la cellule végétale visée un fragment de plasmide. Ce fragment d'ADN non chromosomique, appelé ADN-T, s'insère dans le génome de la cellule. Celle-ci se met alors à produire de l'auxine et une cytokinine, ce qui entraîne une prolifération cellulaire sans ordre ; une vascularisation s'ensuit et la tumeur commence à croître. Ainsi, une tumeur créée par *Agrobacterium* peut continuer à croître même quand la bactérie pathogène a disparu.

Un point remarquable est que l'ADN-T porte aussi des gènes qui déclenchent, aux dépens des réserves métaboliques du végétal, la synthèse de composés spécifiques des tumeurs : les opines. Or ces substances peuvent servir d'aliments aux agrobactéries à l'origine de la tumeur... Autre avantage pour *Agrobacterium*, elles favorisent le transfert de l'ADN-T depuis une bactérie pathogène vers une bactérie non pathogène. À l'aide des opines, *Agrobacterium* se ménage donc au sein de la tumeur une niche écologique favorable à la dissémination du pouvoir pathogène.

Notons pour finir que, depuis plus de trente-cinq ans, les améliorateurs végétaux mettent à profit la transformation génétique opérée par *Agrobacterium* pour obtenir des lignées végétales qui, en lieu et place des gènes de synthèse d'hormones, ont intégré des gènes d'intérêt agronomique. ■

Yves DESSAUX, directeur de recherche au CNRS, travaille à l'Institut de biologie intégrative de la cellule, à Gif-sur-Yvette.

Que pensez-vous
de votre magazine ?

Participez à notre enquête de lectorat



**Donnez-nous
votre avis et gagnez
de nombreux lots
dont une Wonderbox
d'une valeur de 229,90€* !**

À travers cette enquête, nous souhaitons impliquer
nos lecteurs dans notre projet éditorial.

Je participe en me rendant sur la page :
<http://goo.gl/forms/nLWD6RBLD7>

* Tentez de remporter l'un des 121 lots avant le 26/06/2016 : 1 Wonderbox "3 jours Charme et Délices" (229,90€), 5 livres "Comment fait le gecko pour marcher au plafond ?" (Éditions Belin : 26€), 5 livres "Que feriez-vous si vous saviez ?" (Éditions Le Pommier : 17€), 10 livres "Scientiasies" (Éditions Pour la Science : 15€), 100 versions numériques "Les ondes gravitationnelles" (Pour la Science n°462 : 4,49€). Règlement du questionnaire et du tirage au sort sur simple demande en adressant un e-mail à : service-client-numerique@pourlascience.fr

SCIENCE & GASTRONOMIE

Bavarois, aspics et guimauves

La prise de la gélatine dépend de la vitesse de refroidissement, de l'acidité de la solution, de sa salinité... Des paramètres à surveiller !

Hervé THIS



La gélatine est dans tous les bavarois, aspics, saint-honorés, guimauves, mousses glacées, terrines... Elle est extraite par chauffage dans l'eau de tissus animaux, lesquels contiennent en plus ou moins grande quantité des protéines nommées collagènes. Les molécules de collagène sont des trimères, avec trois brins enroulés en hélice qui, chauffés dans l'eau, se séparent et se dispersent. Au refroidissement, les brins se réassocient en un réseau continu, formant un gel. À quelle température ? À quelle vitesse ? Les autres composés dissous dans l'eau modifient-ils la prise en gel ? Ces questions ont été réexplorées par Franco Bellini et ses collègues de l'université de Santa Fe, en Argentine.

La prise en gel commence rapidement, quand la température devient inférieure à... À combien, au fait ? On évoque souvent des températures de 36, ou 32, ou 40 °C... En réalité, la même solution de gélatine gélifie à des températures différentes, et après des temps différents, selon les conditions de la prise en gel, notamment la vitesse de refroidissement. Aussi les résultats donnés pour le degré Bloom (la force des gels) par l'industrie diffèrent-ils considérablement selon les méthodes de mesure utilisées.

Franco Bellini et ses collègues ont cherché à relier les déterminations quasi statiques des études précédentes aux mises en œuvre réelles. Ils ont utilisé de la gélatine de peau de bovin (à la faible concentration de 2 % en masse) et effectué leurs mesures dans un réacteur où ils pouvaient régler la température et suivre la viscosité et le pH. Comme en

cuisine, la gélatine était d'abord mise dans de l'eau froide, puis chauffée à 50 °C sous agitation. La solution était ensuite refroidie, à des vitesses diverses.

Lorsque la température diminue, la viscosité croît d'abord très lentement, puis, soudain, augmente considérablement, jusqu'à devenir infinie lors de la gélification. La description des courbes expérimentales par des équations simples permet alors de définir une « température de gélification ».

Cette température diminue quand la vitesse de refroidissement augmente, car les germes de gélification doivent avoir le temps d'agir, comme les germes lors d'une cristallisation : un refroidissement rapide de l'eau conduit à de nombreux petits cristaux, d'où la consistance très onctueuse des sorbets, alors qu'un refroidissement plus lent engendre des granités, où les cristaux ont le temps de grossir. De même, la vitesse de gélification est en concurrence avec la vitesse de refroidissement, et la gélification se fait plus tard quand la température descend vite.

Par ailleurs, à vitesse de refroidissement égale, la température de gélification augmente avec le pH. Ce phénomène découle du fait que les molécules de la gélatine, formées d'enchaînements d'acides aminés, ont une charge électrique qui dépend du pH. Par conséquent, selon l'acidité de la solution, la charge électrique favorise ou non l'association en triples hélices : quand la répulsion électrique entre hélices est forte, il faut un refroidissement supérieur pour déclencher la gélification.

Enfin, une plus forte concentration en sels augmente la température de gélification aux pH très acides, et la diminue vers les pH supérieurs (faible acidité) : les sels écrantent les charges électriques, ce qui favorise la gélification quand elle est gênée par les répulsions électriques.

Comment utiliser ces résultats en cuisine ? Dans les milieux que l'on fait gélifier, tel celui d'un bavarois, la matière grasse ou l'air, respectivement sous la forme de gouttelettes émulsionnées ou de bulles d'air, interagissent peu avec la gélatine en solution. En revanche, l'acidité des purées importe : que du sucre soit dissous ou non, les fruits broyés peuvent avoir des pH très variés, atteignant parfois 2 pour des framboises, par exemple ! Dans ce cas, nous devons prévoir que la température de gélification sera plus élevée.

Par ailleurs, si la préparation gélifiée doit attendre, la gélification se poursuivra très longtemps (des semaines), ce qui augmentera la dureté de la préparation. N'ayons pas la main trop lourde sur la gélatine ! ■



Hervé THIS, physicochimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra et directeur scientifique de la fondation Science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr