

ART & SCIENCE

Un éléphant qui a de l'allure

Pour leurs œuvres animalières, les artistes modernes bénéficient des études expérimentales sur la locomotion menées depuis la fin du XIX^e siècle. Pourtant, les hommes préhistoriques les surpassaient en réalisme !

Loïc MANGIN

États-Unis, un peu avant 1878. Le Britannique Eadweard Muybridge (1830-1904) est devenu un photographe réputé, notamment grâce à son panorama à 360° de la ville de San Francisco. Ses paysages et ses reportages sont célèbres et il est sollicité par de nombreux riches clients. L'un d'eux est l'homme d'affaires et politicien Leland Stanford, fondateur de l'université éponyme, qui est en outre passionné de chevaux. Il informe le photographe d'un débat animé sur le galop du cheval. En effet, le physiologiste et photographe français Étienne-Jules Marey a affirmé en 1872 qu'à un moment du galop (une des allures du cheval avec le pas, le trot...), aucune des pattes de l'animal ne touche le sol. La communauté scientifique conteste cette idée. Muybridge s'intéresse au problème et donne raison à Marey le 18 juin 1878, grâce à des photographies prises par une série d'appareils disposés le long d'une piste.

Depuis ces travaux pionniers, la locomotion des animaux a été étudiée en détail et l'on peut imaginer que les artistes ont mis à profit ces connaissances pour s'assurer du réalisme des animaux dans leurs œuvres. Est-ce vraiment le cas ? C'est ce qu'ont voulu savoir Gabor Horvath, de l'Université Eötvös à Budapest, et ses collègues.

Pour ce faire, les chercheurs ont analysé 1 000 représentations de l'époque préhistorique jusqu'à nos jours et se sont intéressés

aux erreurs dans la disposition des membres. Étaient-elles plus fréquentes avant les travaux de Muybridge ? Étaient-elles plus nombreuses encore dans l'art de nos ancêtres ? Parmi les œuvres sélectionnées – peintures ou sculptures –, beaucoup correspondent à des chevaux, mais on trouve aussi des bovins, des cerfs, des antilopes, des girafes et même des éléphants. Parmi ces derniers figure celui du site Tadrat Acacus, à l'Ouest de la Libye (voir la figure a) qui aurait été réalisé entre le XII^e et le V^e millénaire avant notre ère.

Les artistes ont certes bien appris des progrès de la science, mais ils restent en retard par rapport aux hommes préhistoriques.

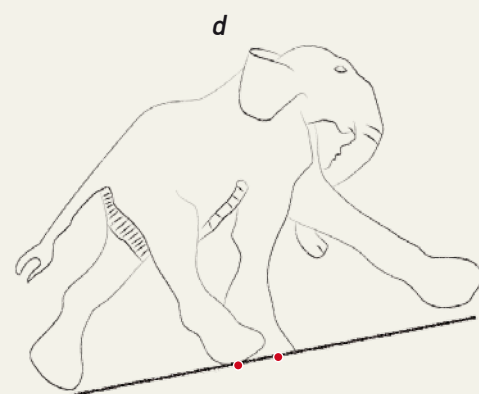
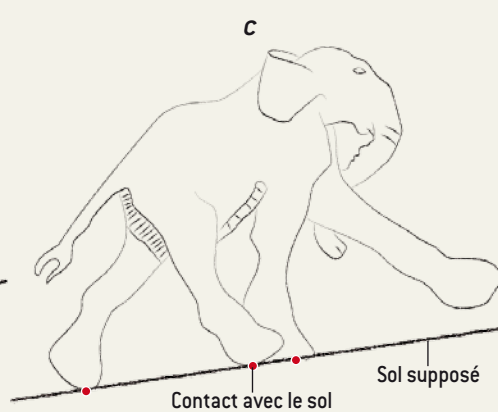
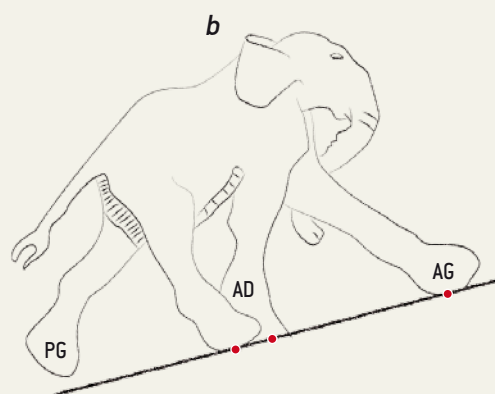
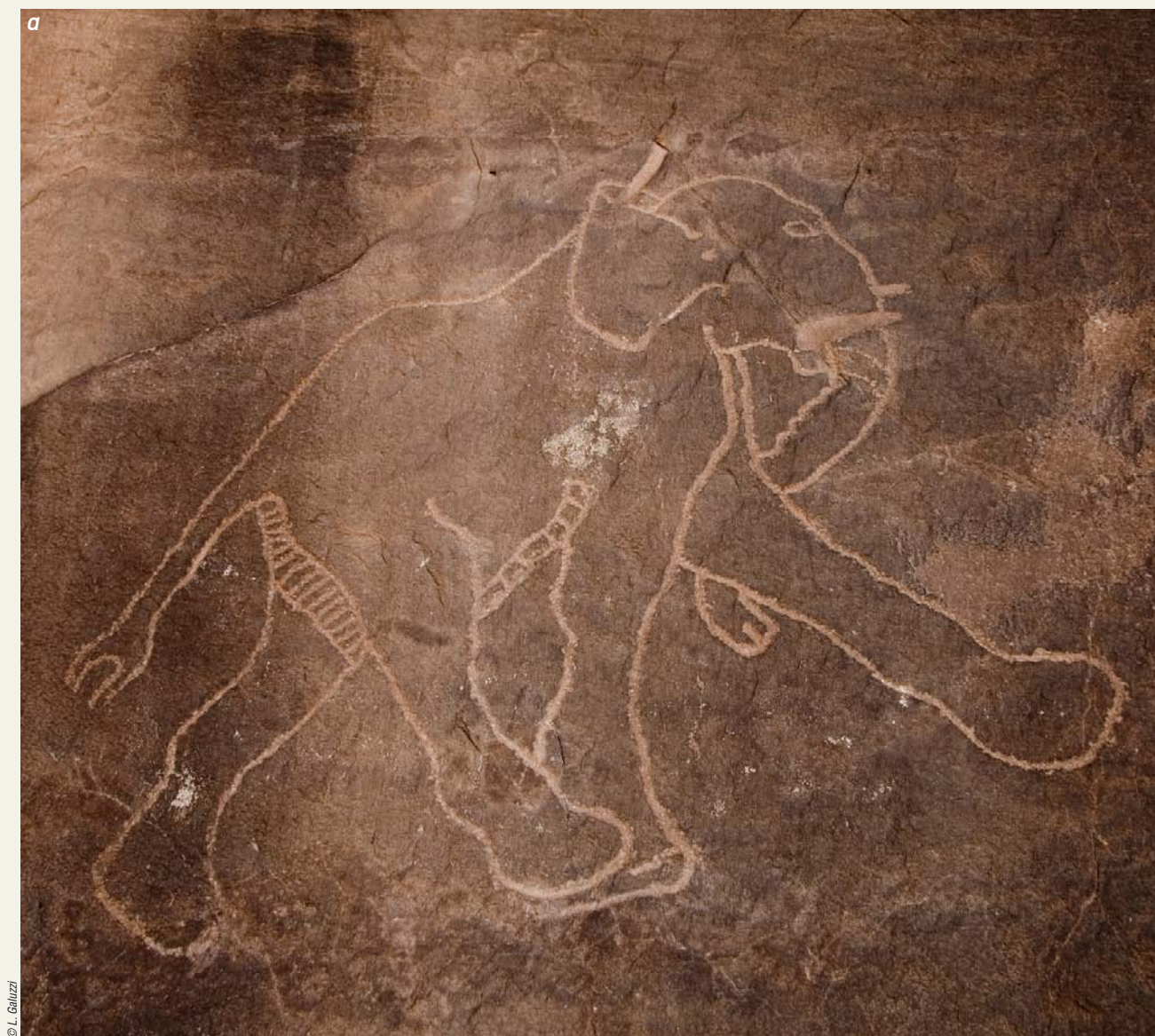
On sait aujourd'hui que la plupart des quadrupèdes se déplacent *via* des séquences de mouvements identiques pour les membres de gauche et de droite, à un déphasage près. Pour le pas, la séquence la plus répandue des membres en contact avec le sol est la suivante : postérieur gauche (PG), antérieur gauche (AG), postérieur droit (PD) et antérieur droit (AD). Elle assure le maximum de stabilité et a été adoptée par la plupart des espèces, à l'exception notable des primates.

Pour les œuvres modernes, les contacts avec le sol furent faciles à identifier. En revanche, dans le cas des représentations préhistoriques, ce fut parfois plus compliqué. Ainsi,

pour l'éléphant libyen, s'agit-il des membres PD, AD et AG (figure b), des membres PG, PD et AD (figure c) ou des membres PD et AD (figure d) ? En l'occurrence, la réponse importe peu, car les trois postures (définies par les points de contact au sol et par la position des pattes) sont incompatibles avec la marche. Étonnamment, elles pourraient correspondre à un trot, mais l'éléphant ne trotte pas : même à pleine vitesse, son allure reste celle de la marche.

L'équipe de G. Horvath a déterminé la proportion d'œuvres erronées pour trois périodes : l'époque moderne avant les travaux de Muybridge, celle ultérieure et l'ère préhistorique. Les taux d'erreurs que les chercheurs hongrois ont trouvés sont respectivement de 83,5, 57,9 et... 46,2 pour cent ! Précisons qu'une disposition au hasard des membres se traduirait, selon les auteurs, par un taux d'erreur de 73,3 pour cent. Ainsi, les artistes ont certes bien appris des progrès de la science, mais ils restent en retard par rapport aux hommes préhistoriques. Comment expliquer ces résultats ? Une hypothèse est que nos ancêtres étaient très attentifs aux animaux qu'ils côtoyaient. De fait, ils les chassaient, ce que ne font plus les artistes modernes. Dommage pour le réalisme ! ■

G. Horvath et al., *Cavemen were better at depicting quadruped walking than modern artists : erroneous walking illustrations in the fine arts from prehistory to today*, *PLoS ONE*, vol. 7, e49786, 2012.



IDÉES DE PHYSIQUE

Les ronds de fumée

Les tourbillons annulaires sont d'étonnantes formes d'écoulement, que l'on rencontre assez souvent. Relativement stables, ils se transportent sur de grandes distances.

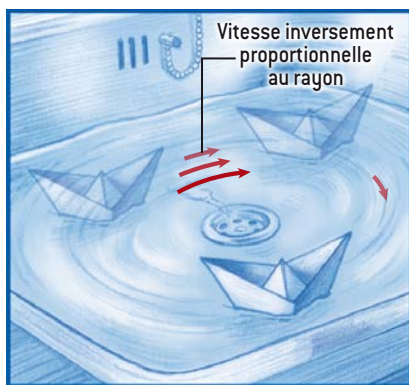
Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Un jet de fumée que l'on souffle dans l'air se disperse rapidement sous l'effet des turbulences. En revanche, un rond de fumée peut persister sur une grande distance sans trop se déformer (voir la figure 2). Un tel écoulement de fluide n'est pas exceptionnel : on en voit aux sommets des volcans, les poulpes en créent lorsqu'ils expulsent de l'eau pour se propulser et, à chaque battement de cœur, le sang qui entre dans le ventricule gauche forme un tourbillon annulaire. Comment se forment ces structures et pourquoi sont-elles si stables ?

Un cœur de fluide en rotation sur lui-même

Les ronds de fumée font partie d'une catégorie d'écoulements nommés vortex, caractérisés par la présence d'un « filament » central de fluide en rotation rapide et entouré d'un tourbillon. Le plus simple et le plus connu est le tourbillon droit ; par exemple, celui des tornades ou du fond de notre baignoire lorsqu'elle se vide. Dans cet écoulement, la vitesse du fluide augmente à mesure que l'on s'approche du cœur (sans l'atteindre). Plus précisément, elle est inversement proportionnelle à la distance à l'axe du tourbillon.

Cette relation est liée à une propriété importante : un petit objet placé hors du cœur est entraîné par le fluide sur une tra-



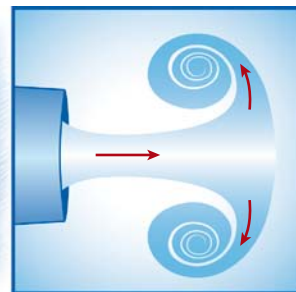
1. DANS UN TOURBILLON, SEUL LE CŒUR, tout près de l'axe, est le siège d'une rotation du liquide sur lui-même. En dehors du cœur, le liquide effectue un mouvement circulaire, mais sans rotation intrinsèque. C'est pourquoi le petit bateau garde la même orientation en suivant sa trajectoire circulaire.

jectoire circulaire, mais il ne tourne pas sur lui-même (voir la figure 1). Il conserve son orientation, au contraire du mouvement « en bloc » d'une nacelle dans un manège. La rotation du fluide sur lui-même n'a lieu qu'au cœur du tourbillon.

Cette propriété est due au fait qu'il est difficile de changer l'état de rotation d'un fluide. Une fois que vous avez mis votre thé ou votre café en rotation dans votre tasse, le liquide effectue un grand nombre de tours avant de s'immobiliser. Pourquoi ? Parce qu'à notre échelle, on peut le considérer comme un fluide très peu visqueux. Or c'est la viscosité (ou le frottement) qui permet de mettre un objet en rotation ou de le freiner. Pour faire tourner un bouchon ou une toupie, on applique avec nos doigts un couple, c'est-à-dire un ensemble de deux forces égales en



2. UN CANON À RONDS DE FUMÉE. L'intérieur du canon est préalablement rempli de fumée. À l'arrière du tube, une membrane élastique est tendue par l'opérateur, puis brusquement relâchée. Cela propulse la fumée ; à la sortie du canon, un tourbillon de fumée en forme d'anneau se forme (le schéma à droite en représente une section), puis se détache et avance à vitesse constante sur une distance relativement grande sans se déformer.



Dessins de Bruno Vazaro

intensité et opposées en direction. S'il n'y a pas de frottement, on ne peut pas provoquer de rotation : essayez de dévisser un bouchon lisse avec une main grasse !

Que se passe-t-il pour un fluide ? La viscosité caractérise justement l'intensité des forces de frottement au sein du fluide ou à son contact avec un solide. En l'absence de viscosité, on a beau essayer de « cisailer » les couches de fluide, comme le bouchon entre nos doigts, on n'agit pas sur leur état de rotation. C'est pourquoi, dans un fluide peu visqueux, l'état de rotation d'une « particule » de fluide ne change que très lentement.

On comprend mieux alors la structure d'un vortex : une fois le cœur en rotation apparu, il ne peut changer l'état de rotation du fluide qui l'environne. Cet état perdure et, au cours de son déplacement, le cœur reste constitué des mêmes particules. Il conserve son intégrité, comme l'illustrent les ronds de fumée, où les particules de suie demeurent confinées dans l'anneau.

Dépression au cœur du vortex

Nous avons indiqué que la vitesse augmente à mesure que l'on s'approche du cœur du tourbillon ; la pression, elle, décroît. Dans une tornade, cette chute de pression peut atteindre plusieurs pour cent de la pression atmosphérique : assez pour attirer vers le cœur vaches ou véhicules... Plus modeste-ment, lorsqu'on vide un évier et qu'un tourbillon s'est formé, les petits débris présents dans l'eau sont attirés vers la bonde et la bouchent avant même que toute l'eau ne se soit écoulée ! Les dauphins utilisent aussi cette dépression pour alimenter en air le vortex annulaire qu'ils ont créé avec leur queue : juste en soufflant, ils obtiennent une jolie bulle en anneau avec laquelle ils jouent (voir la figure 3).

On peut démontrer qu'une autre conséquence de la conservation de l'état de rotation dans un vortex est que son cœur en forme de filament ne peut pas s'interrompre au milieu du fluide. Il s'ensuit soit que son extrémité est attachée à la surface d'un solide (comme pour une tornade), soit que le



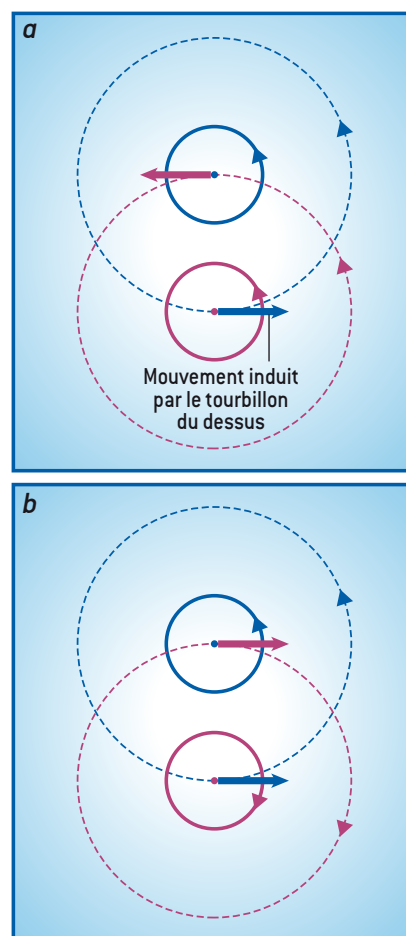
3. LES DAUPHINS CRÉENT POUR S'AMUSER des bulles annulaires. Pour ce faire, l'animal forme d'abord, en agitant convenablement sa queue, un vortex annulaire d'eau (à gauche). Puis il souffle de l'air à proximité de ce tourbillon (au milieu). La dépression régnant dans le vortex attire cet air, qui finit par former une bulle annulaire (à droite) avec laquelle le dauphin joue.

cœur dessine une courbe fermée. Le rond de fumée, ou vortex annulaire, satisfait ces conditions, puisque le cœur du tourbillon est de forme circulaire.

On peut observer qu'un rond de fumée se déplace à vitesse constante dans la direction de son axe. Quelle est l'origine de ce déplacement ? Pour le comprendre, imaginons deux tourbillons droits identiques parallèles l'un près de l'autre (voir la figure 4). Le premier tourbillon entraîne le fluide autour de lui dans un mouvement circulaire ; il entraîne donc le second tourbillon. De façon symétrique, le second tourbillon entraîne le premier. Si les deux tourbillons tournent dans le même sens, les vitesses que chacun induit sur son voisin sont opposées : les deux tourbillons tournent alors autour du milieu du segment qui les joint sans s'éloigner l'un de l'autre, en décrivant des cercles.

En revanche, si les deux tourbillons ont des sens de rotation opposés, chacun induit sur l'autre une même vitesse, perpendiculaire à la droite qui les joint. La paire est alors animée d'un mouvement de translation d'ensemble. Il en est de même pour un vortex annulaire : chaque partie de l'anneau est entraînée par l'écoulement associé au reste du tourbillon, notamment la partie diamétralement opposée qui tourne en sens inverse.

Par symétrie, ce mouvement d'entraînement a lieu perpendiculairement au plan de l'anneau, et dans le même sens que l'écoulement de fluide à travers le disque qui s'appuie sur l'anneau. En dehors de l'anneau, le fluide n'est pas cisailé, ou très peu ; les frottements qui seraient engendrés par l'avancée d'un objet indéformable



4. INFLUENCE MUTUELLE de deux tourbillons parallèles (a) ou antiparallèles (b) vus du dessus.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik 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.
Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

■ BIBLIOGRAPHIE

J.-P. Hulin, É. Guyon et L. Petit,
Hydrodynamique physique,
CNRS Éditions/EDP Sciences,
3^e édition, 2012.

de taille semblable à l'anneau sont donc absents. C'est pourquoi le tourbillon annulaire peut avancer à vitesse constante sur une distance assez longue.

S'il est difficile de modifier l'état de rotation d'un fluide, comment former malgré tout un tourbillon ? Il faut pour ce faire créer une « singularité » dans un écoulement. Prenez une goutte d'encre ou de lait, et laissez-la tomber dans un verre d'eau ; vous verrez qu'un anneau se forme et se déplace vers le bas. Pourquoi ? Dans le fluide en mouvement (la goutte d'encre ou de lait) comme dans le fluide au repos (l'eau du verre), il n'y a pas de rotation. En revanche, au moment où le fluide en mouvement pénètre dans le fluide au repos, leur frontière est le siège d'un cisaillement si intense que les effets de la viscosité s'y manifestent et mettent en rotation les fluides.

Une autre façon de créer un tourbillon annulaire consiste à immerger, dans de l'eau, un tube à ouverture circulaire et contenant un fluide coloré, puis à pousser ce dernier avec un piston hors de son tube. Dès que le fluide coloré commence à jaillir, il se forme sur le bord de l'ouverture un tourbillon, où le fluide coloré s'enroule autour du fluide ambiant (comme sur le schéma de la figure 2). À mesure que le fluide coloré sort du récipient, le tourbillon grandit, le fluide s'enroule de plus en plus sur lui-même et l'anneau ainsi formé s'écarte lentement de l'orifice. Puis, lorsque la longueur de fluide envoyé est de l'ordre de quatre fois le diamètre de l'orifice, l'anneau cesse de grossir et se détache. Il s'avance alors dans le fluide ambiant et s'éloigne de l'orifice. Eh oui, vous venez de réaliser un magnifique rond de fumée liquide ! ■

france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

© 2013 France Culture. Tous droits réservés. Photo : M. D. / Contrasto

SCIENCE & GASTRONOMIE

Les jeux goûteux de la rugosité

Pour des frites moins grasses, il faut les éponger très vite après cuisson. Et il faut fabriquer les spaghettis dans des machines en bronze afin que la sauce les nappe bien.

Hervé THIS

Il y a quelques années, des articles de technologie alimentaire montraient que les frites ayant la surface la plus rugueuse absorbaient plus d'huile. Ces expériences ont été réanalysées à la lueur d'une connaissance indispensable des mécanismes d'absorption.

Lors de la friture, l'eau présente dans les cellules les plus proches de la surface des bâtonnets de pomme de terre s'évapore ; elle forme ces bulles que l'on voit dans le bain d'huile. Ces bulles sont éjectées, parce que la vapeur, prenant 20 000 fois plus de volume que l'eau liquide, n'a pas la place de demeurer dans les bâtonnets. Puis, après un certain temps, les grains d'amidon de l'intérieur des cellules gonflent, s'empêsent, se soudent, formant une croûte quand l'eau de cet empois est évaporée. À ce stade, l'eau de l'intérieur, qui continue de s'évaporer, traverse difficilement la croûte, et la pression dans les frites augmente.

Le phénomène critique d'absorption de l'huile a lieu après la sortie des frites du bain : en refroidissant, la vapeur d'eau qui emplit l'intérieur de la croûte, en compagnie d'une espèce de purée, se recondense. Il s'ensuit une diminution de la pression, et l'huile qui adhère à la surface des frites est alors aspirée.

Plus la surface est rugueuse, plus les forces de tension superficielle permettent à l'huile d'adhérer, d'où les résultats expérimentaux évoqués plus haut. Mieux encore, les mesures de pression montrent que la recondensation se produit dans la deuxième minute après la sortie des frites du bain d'huile ; autrement dit, la cuisinière ou le

cuisinier disposent d'une minute pour éponger les frites au sortir du bain s'ils veulent éviter d'ingérer... jusqu'à 25 grammes d'huile pour 100 grammes de frites !

La rugosité de la surface des frites a aussi un effet sur le salage : si les grains de sel se retrouvent en fond de cornet, c'est qu'ils sont trop gros pour se loger dans les irrégularités du tissu végétal frit. D'où l'intérêt de produire du « sel glace », plus fin, que l'on obtient en broyant du sel ordinaire dans un mortier, à l'aide d'un pilon, ou en frottant du sel dans une poêle, à l'aide d'une petite casserole par exemple.

Tout récemment, un nouvel exemple de l'importance de la rugosité des aliments a été étudié : Masashi Yoshino et ses collègues de l'Université de Kyoto ont exploré l'importance des filières utilisées pour la production des spaghettis. Traditionnellement, les fabricants italiens utilisent des filières en bronze, mais des matériaux tels que le téflon, le polypropylène, le polycarbonate ou l'aluminium ont été introduits pour améliorer l'aspect, pour avoir des filières qui s'usent moins vite, pour produire des pâtes plus poreuses, de cuisson facilitée...

Toutefois les qualités gustatives du plat ne sont-elles pas le plus important ? Pour étudier ce point, les technologues japonais ont confectionné des spaghettis avec des filières expérimentales en divers matériaux et ont examiné au microscope les pâtes obtenues. Effectivement, les spaghettis ont des rugosités différentes selon que les moules sont en téflon, polypropylène, polycarbonate, aluminium, bronze : la rugosité

augmente avec les moules dans cet ordre. Les spaghettis les plus lisses sont ceux qui sont extrudés avec le moins d'énergie, et le plus rapidement, mais la rugosité n'a pas d'influence sur la température d'empesage de l'amidon (les spaghettis sont composés de grains d'amidon emprisonnés dans un réseau protéique produit par malaxage de la farine de blé dur avec de l'eau).

En quoi ces travaux éclairent-ils le monde culinaire et guident-ils notre gourmandise ? Les Italiens sont réputés pour l'adéquation de la sauce au type de pâtes, la sauce devant venir couvrir les pâtes d'une couche bien « équilibrée », des sauces plus fluides devant être utilisées pour des formes de pâtes capables de mieux retenir la sauce. Les entreprises de pâtes chérissent leurs filières traditionnelles en bronze, car, on le sait désormais, ces dernières permettent de produire des pâtes dont la rugosité tiendra bien la sauce.

La cuisine, comme la catalyse en chimie, considère que les interfaces sont essentielles. La superficialité va au fond des choses. ■



Hervé THIS est chimiste dans le Groupe INRA de gastronomie moléculaire, professeur à AgroParisTech et directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire [Académie des sciences].

Retrouvez les articles de H. This sur www.pourlascience.fr

