

composés d'un même polymère, le PET, soit sous forme de fibres, du polyester, soit sous forme massive, du mylar. Les plis de feuilles de mylar, matériau qui n'absorbe pas l'eau, sont insensibles à l'humidité. En revanche, bien que les fibres de polyester n'absorbent pas l'eau non plus, la vitesse d'ouverture d'un pli d'un tissu de polyester dépend du taux d'humidité.

Des ponts lubrifiants

Quel est l'effet de la vapeur d'eau sur le contact entre fibres ? Un phénomène connu depuis longtemps aide à le comprendre. L'observation des tas de sable a montré que le frottement entre grains augmente avec le temps, et cela d'autant plus que le taux d'humidité est important. Ce processus de vieillissement, dans le cas d'une atmosphère sèche, peut atteindre quelques pour cent (en étant patient !). Les physiciens ont pu l'interpréter en termes d'écrasement progressif et lent des aspérités qui assurent le contact mécanique et qui, à cause de la charge exercée sur elles, deviennent plastiques, déformées irréversiblement.

Cependant, l'humidité intervient aussi dans le vieillissement du tas de sable. On sait qu'à température donnée, la masse de vapeur d'eau que l'air peut contenir est



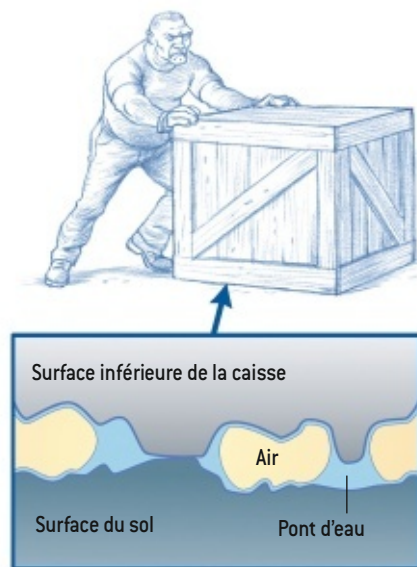
2. UN VIEUX TAS DE SABLE est moins fragile qu'un tas tout frais. En effet, avec le temps, des ponts d'eau liquide se forment entre les grains, par condensation de l'humidité de l'air. Ces ponts capillaires augmentent la cohésion des grains. Il en est de même avec les fibres d'un tissu ; mais quand les ponts d'eau deviennent très nombreux et grossissent, ils produisent un effet de lubrification, qui facilite le glissement des fibres les unes sur les autres.

limitée. Au-delà de ce seuil (qui définit les 100 pour cent d'humidité), la vapeur se condense. En deçà du seuil, les gouttes d'eau microscopiques qui peuvent se former au hasard dans cette vapeur n'atteignent jamais la taille qui leur permettrait de grandir : elles s'évaporent en permanence.

Or le confinement de la vapeur entre deux solides modifie radicalement ce phénomène. D'une part, certains matériaux ont une affinité pour l'eau et facilitent ainsi l'apparition d'un film liquide sur leur surface, y compris lorsque l'humidité de l'air ambiant est très faible. D'autre part, les surfaces des solides sont souvent rugueuses et présentent des anfractuosités. Ces cavités, par des effets combinant géométrie et thermodynamique, favorisent la formation de gouttes d'eau alors que l'humidité de l'air ambiant est inférieure à 100 pour cent. Plus la cavité est petite, moins la teneur en vapeur d'eau requise pour cette « condensation capillaire » est élevée.

Ainsi à y regarder de plus près, dans un air humide non saturé d'eau, la zone de contact entre deux solides est parsemée de ponts liquides dans les espaces les plus étroits. Ces ponts sont autant de points de colle qui assurent une plus grande adhésion entre les solides, donc une plus grande difficulté à les faire glisser l'un sur l'autre. Plus le temps passe, plus ces ponts sont nombreux. On a ainsi un vieillissement, au cours duquel l'adhésion entre les solides augmente. C'est ce qui explique qu'un vieux tas de sable est en général plus solide qu'un tas de sable qui vient d'être créé.

Avec les fibres d'un tissu, la vapeur d'eau se comporte de façon analogue. La multiplication des ponts liquides entre les fibres augmente, dans un premier temps, l'adhésion entre fibres. Mais grâce au jet de vapeur du fer à repasser, les ponts liquides deviennent si épais et si nombreux qu'ils finissent par lubrifier le contact entre les fibres, lesquelles peuvent alors glisser facilement l'une sur l'autre. Cet effet, ajouté à l'action de l'eau sur les chaînes moléculaires ainsi qu'aux effets de la température et de la pression mécanique du fer, permet de repasser sans trop d'efforts !



3. PLUS LA ZONE DE CONTACT entre deux solides présente des ponts d'eau formés par condensation capillaire, plus le frottement entre les deux surfaces est réduit. Une telle lubrification est à l'œuvre quand on repasse avec un jet de vapeur : de l'eau se condense entre les fibres textiles et lubrifie leurs contacts.

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

A. Benusiglio *et al.*, The anatomy of a crease, from folding to ironing, *Soft Matter*, vol. 8, pp. 3342-3347, 2012.

L. Bocquet *et al.*, Moisture-induced ageing in granular media and the kinetics of capillary condensation, *Nature*, vol. 396, pp. 735-737, 1998.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et É. Kierlik sur www.pourlascience.fr

SCIENCE & GASTRONOMIE

Grillons les grillons !

Un jour prochain, il faudra nourrir les neuf milliards d'habitants de la planète. Les insectes seraient une intéressante source de protéines.

Hervé THIS



Les milieux agronomiques s'interrogent : la croissance de la population mondiale et, aussi, l'accès progressif de grands groupes humains (Chine, Inde) à une alimentation plus proche de la nôtre poseront à l'humanité des problèmes majeurs. Comment produire en quantités suffisantes des aliments de qualité, nutritionnellement équilibrés ? Dans cette quête, les entomologistes ont des propositions.

Si vis pacem para bellum : les économistes ayant démontré que l'humanité se prépare à une demande alimentaire accrue, les agronomes s'inquiètent depuis longtemps de la productivité des espèces végétales. Ils voient notamment dans les plantes génétiquement modifiées des possibilités de réponse à la question, sans accroître trop l'apport d'« intrants » (engrais, notamment) qui pourraient déséquilibrer les milieux naturels.

Toutefois les plantes ne suffiront peut-être pas à apporter les protéines nécessaires à notre alimentation, ces dernières provenant aujourd'hui en grande partie des tissus animaux. De ce fait, certains cherchent des animaux de meilleure rente, plus prolifiques, plus productifs en protéines. Les nuées de sauterelles qui dévastent certains pays d'Afrique ont donné des idées : ne pourrait-on penser à des élevages de ces insectes ? Lesquels ?

Dans certains pays, la consommation d'insectes est déjà établie. Les populations ont mis au point des techniques de capture et de préparation. Au Mexique, par exemple, la consommation d'insectes comestibles, tels le ver de l'agave (*Aegiale hesperiaris* et *Comadia redtenbacheri*), l'ahuahutle (œufs de *Corixidae* et de *Notonectidae*), des familles de

punaises aquatiques) ou l'axayacatl (adultes de ces punaises), est traditionnelle. La plupart des espèces sont consommées aux stades immatures (œufs, larves, pupes) et souvent grillées, sur un gril en terre ou directement sur des braises. Mieux, il existe des commerces d'orthoptères dans des pays comme le Japon, la Thaïlande, la Chine, le Cambodge, le Vietnam ou l'Afrique.

Alors que de tels élevages commencent à se développer, les études scientifiques de l'intérêt nutritionnel des insectes apparaissent, à la faveur d'appels d'offres scientifiques. C'est ainsi que Julieta Ramos-Elorduy Blázquez et ses collègues, à l'Université de Mexico, ont comparé la valeur nutritive de 25 espèces d'orthoptères (grillons et sauterelles, criquets) présents dans leur pays (« Could grasshoppers be a nutritive meal », *Food and Nutrition Sciences*, vol. 3, pp. 164-175, 2012).

Selon les espèces, la teneur en protéines varie de 44 à 77 pour cent, et la teneur en matières grasses entre 4 et 32 pour cent. La quantité totale d'acides aminés essentiels est supérieure à celle qui avait été établie par l'Organisation mondiale de la santé, et la teneur en certaines vitamines a été établie. Toutes les espèces sont riches en magnésium.

Comment ces valeurs se comparent-elles avec les aliments occidentaux ? Alors que, par kilogramme, les orthoptères apportent entre 3 319 et 5 239 kilojoules, le poulet n'en apporte que 688, le porc 2 948, et le blé 1 397 ! Certes, le contenu en acides aminés n'est pas équilibré, mais l'étude mexicaine montre que ce contenu varie selon les insectes, leur état de développement, le climat, etc., de sorte que des mélanges bien choisis permettraient un meilleur équilibre.

En 1994, une étude montrait que la vente d'orthoptères était promise à un succès tel que le surnom de « marché millionnaire » a été avancé. Ce qui est certain, c'est que les insectes sont innombrables, et que la consommation de ces derniers serait aussi un moyen de lutter contre les ravages qu'ils occasionnent aux cultures.

Comment les accommoder ? La grillade traditionnelle ne valorise que la partie protéique, et l'on se souviendra des réactions de Maillard, qui, par combinaisons des sucres réducteurs (glucose, abondant dans ces insectes) et acides aminés, conduisent à de nombreux composés qui donnent de la couleur et du goût. Toutefois, on n'oubliera pas, également, que les cuticules d'insectes sont des sources de chitoses (la « chitine ») qui, pyrolysés, engendrent des composés merveilleux... à l'origine du goût des bisques de crustacés ! La recette est facile à transposer : après avoir séparé la chair des cuticules, grillez ces dernières dans une casserole avec un peu d'huile, puis ajoutez de l'eau, une garniture aromatique, et chauffez à couvert pendant quelques dizaines de minutes, afin d'extraire en solution aqueuse les composés formés. Filtrez, servez, dégustez...



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 Hervé This sur www.pourlascience.fr