

présente ainsi une superficie totale de 2 000 mètres carrés, pour un débit de quelques litres par seconde et une puissance évaluée à quelques kilowatts.

Une seconde difficulté est le renouvellement de l'eau salée. À mesure que le réservoir « salé » se remplit, la salinité de son eau diminue. Il faut renouveler cette saumure, de plus en plus diluée et qui chute en pression, par l'eau salée de la mer. Or cette saumure est sous pression par rapport à l'eau de la mer, à pression atmosphérique. Pour ne pas gaspiller trop d'énergie dans ce processus, les ingénieurs ont inventé des « échangeurs de pression », un analogue mécanique des échangeurs de chaleur, qui permettent de passer de la situation « eau salée à faible pression et saumure sous pression » à l'objectif « eau salée sous pression et saumure à faible pression ».

Quant aux perspectives industrielles, on estime qu'une centrale osmotique sera rentable à partir de 5 watts par mètre carré de paroi hémiperméable. Les performances actuelles n'étant pas très éloignées, les ingénieurs cherchent à améliorer les procédés. Une autre piste suivie par les physiciens est d'améliorer les parois grâce à une meilleure compréhension des écoulements ou des transports de particules à l'échelle nanométrique.

Récemment, l'équipe de Lydéric Bocquet, du CNRS et de l'université Lyon 1, a ainsi étudié l'écoulement osmotique de l'eau à travers un tube de nitrure de bore de quelques dizaines de nanomètres de diamètre. Il s'effectue presque sans frottement, avec un potentiel de 4 kilowatts par mètre carré. Ce résultat ne concerne qu'un nanotube, certes, mais montre que de grands progrès sont possibles du côté des membranes hémiperméables. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

A. Siria *et al.*, **Giant osmotic energy conversion measured in a single transmembrane boron nitride nanotube**, *Nature*, vol. 494, pp. 455-458, 2013.

B. E. Logan et M. Elimelech, **Membrane-based processes for sustainable power generation using water**, *Nature*, vol. 488, pp. 313-319, 2012.



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



Dans l'inter^{france}êt de la science

mathieu vidard

la tête au carré
14:05-15:00



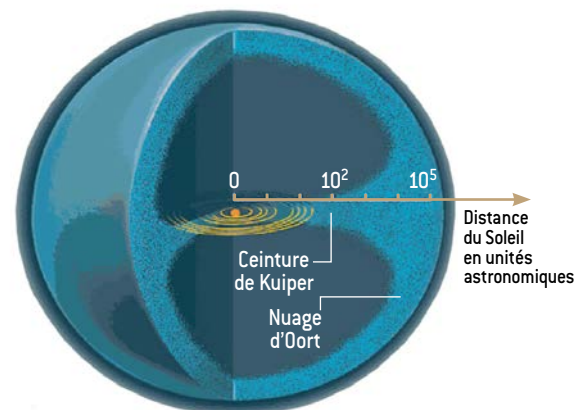
intervenez
franceinter.fr

QUESTION AUX EXPERTS

D'où viennent les comètes ?

Ces corps célestes glacés sont issus de trois « réservoirs » du Système solaire : le nuage d'Oort, la ceinture de Kuiper et la ceinture principale d'astéroïdes.

Alain DORESSOUNDIRAM



Les comètes sont des petits corps glacés en orbite autour du Soleil. Avec les astéroïdes, elles constituent l'ensemble des petits corps du Système solaire, des vestiges de la formation du Soleil et des planètes il y a 4,6 milliards d'années. On confond souvent les comètes avec les étoiles filantes ou les météorites. Un météore ou une étoile filante est le phénomène lumineux associé au passage d'un corps – grain de sable, astéroïde... – dans la haute atmosphère. Une météorite est un fragment d'astéroïde qui arrive intact sur Terre. Et une comète est un corps glacé qui s'évapore en s'approchant du Soleil.

Les comètes sont composées de glaces (essentiellement d'eau, mais aussi de méthane, de monoxyde ou dioxyde de carbone) mélangées à de la poussière (des silicates) et des molécules organiques – lesquelles font l'intérêt de ces corps pour ceux qui étudient l'apparition de la vie sur Terre.

Une comète se distingue d'un astéroïde par le fait que c'est un objet actif, donc variable. À l'approche du Soleil, sa surface chauffe, les glaces se subliment, libérant des poussières qui forment alors la « chevelure », ou coma, faiblement retenue par la gravité. La coma s'étend ainsi en halo, de diamètre allant jusqu'à 10 000 kilomètres, autour de la comète. En s'approchant encore du Soleil, le gaz de la coma est ionisé par les ultraviolets de notre étoile. Le vent solaire (vent de particules chargées) repousse alors les ions dans la direction opposée, formant une queue de plasma. La pression de

radiation du Soleil (flux de lumière) repousse les poussières et forme une seconde queue. Ces deux queues s'étendent parfois jusqu'à 100 millions de kilomètres et concourent à la majesté du phénomène.

Les comètes doivent s'être formées très loin du Soleil, là où les glaces ont pu se condenser, puis s'agglomérer en corps plus gros. En observant les trajectoires des comètes, qui arrivent de toutes les directions, l'astronome néerlandais Jan Oort, dans les années 1950, imagina un réservoir lointain et sphérique : le nuage d'Oort. Peuplée de quelque 1 000 milliards de comètes, cette sorte de coquille entourant le Système solaire serait distante de 10 000 à 100 000 unités astronomiques du Soleil (une unité astronomique, UA, est la distance moyenne Terre-Soleil, environ 150 millions de kilomètres).

Des réservoirs identifiés il n'y a pas si longtemps

Cependant, le flux de comètes présente un excès de celles qui arrivent dans le plan de l'écliptique (le plan moyen des orbites planétaires). Dans les années 1980, l'astronome uruguayen Juan Fernández suggéra alors l'existence d'un second réservoir, beaucoup plus proche et, surtout, situé dans le plan de l'écliptique : la ceinture de Kuiper. Ce réservoir ne fut observé qu'en 1992, par les Américains Dave Jewitt et Jane Luu.

Comme les autres objets du Système solaire, les comètes décrivent des ellipses

autour du Soleil. Mais à la différence des planètes et des astéroïdes, ces orbites sont très allongées. Selon leur origine, on distingue deux grandes familles de comètes.

Les comètes écliptiques proviennent de la ceinture de Kuiper. Elles en ont été éjectées par les perturbations gravitationnelles dues à Neptune. L'inclinaison de leur orbite par rapport à l'écliptique est faible et leur période de révolution courte (inférieure à 200 ans). La comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, actuellement étudiée par la sonde *Rosetta*, fait partie de cette famille.

Les comètes quasi isotropiques proviennent du nuage d'Oort. Leurs périodes sont en général très longues, et leurs orbites très inclinées et souvent rétrogrades (en sens inverse du sens des planètes). Un représentant célèbre est la comète de Halley.

Des découvertes très récentes font état de la présence de comètes au sein même de la ceinture principale d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter. Comment expliquer l'activité de ces « comètes de la ceinture principale », ou CCP, activité qui les distingue des astéroïdes ? Les scientifiques sont encore perplexes. La glace d'eau, à cette faible distance du Soleil (entre 3 et 4 UA), est instable. Il peut en revanche subsister des poches de glace sous la surface d'un astéroïde. Des impacts peuvent alors révéler la glace souterraine et « activer » l'astéroïde, qui devient alors comète. ■

Alain DORESSOUNDIRAM est astrophysicien à l'observatoire de Paris, au laboratoire LESIA.

OFFRE DÉCOUVERTE

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE



1 AN - 12 N^{OS}
59€ **24%**
d'économie

2 ANS - 24 N^{OS}
110€ **29%**
d'économie

3 ANS - 36 N^{OS}
159€ **32%**
d'économie

BULLETIN D'ABONNEMENT

POUR LA SCIENCE

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☒ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en formule Découverte :**

- ☐ 1 an • 12 numéros • **59€** au lieu de 78,50€ (D1A59E)
- ☐ 2 ans • 24 numéros • **110€** au lieu de 157€ (D2A110E)
- ☐ 3 ans • 36 numéros • **159€** au lieu de 235,50€ (D3A159E)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____

Ville : _____

Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Par carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____ Clé _____

Signature obligatoire



PAS463B

Mon e-mail pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscule). _____@_____

Grâce à votre email nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement. À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à pourlascience@abopress.fr

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/05/16 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science.

SCIENCE & GASTRONOMIE

Le beurre est bon, qu'il soit cru ou noisette

N'ayons pas de scrupules à cuisiner et à consommer du beurre : il n'est pas toxique, même quand il est noisette.

Hervé THIS



Les rumeurs nutritionnelles vont bon train. Les poissons seraient toxiques, les viandes seraient dangereuses, les fruits et légumes seraient pleins de pesticides, le sucre blanc serait terrible, les produits alimentaires industriels seraient des poisons que des compagnies diaboliques additionneraient de produits addictifs, le gluten trouerait l'estomac, le faux fromage des pizzas serait une fraude de l'industrie chimique, la margarine serait pleine d'« acides gras trans », l'huile serait meilleure que le beurre, etc.

Or une étude récente de Frédéric Tessier, Céline Niquet-Lérion et leurs collègues à Lille et Beauvais réhabilite le beurre cru ou noisette (*Food Chemistry*, vol. 177, pp. 361-368, 2015).

Parmi les composés potentiellement toxiques qui apparaissent lors des cuissons, la carboxyméthyllysine (CML) est un marqueur de toxicité largement utilisé. Ce composé se forme à partir de l'acide aminé lysine, et c'est un marqueur des réactions de Maillard, ces brunissements qui apparaissent quand des protéines ou des peptides sont chauffés en présence de sucres réducteurs (glucose, fructose...). Les chimistes se sont aussi intéressés au 5-hydroxyméthylfurfural (5-HMF), qui apparaît également lors des réactions de Maillard, mais pas seulement : il se forme aussi quand on chauffe certains sucres en solution aqueuse, lors de la caramélisation des sucres, etc.

Des chimistes américains avaient cru que la CML et le 5-HMF apparaissaient lors de la cuisson des aliments riches en matières

grasses, tels l'huile d'olive et le beurre cru. Cela avait de quoi surprendre, car il n'y a pas de lysine dans l'huile d'olive (des traces, tout au plus) et le beurre clarifié ne brunit pas. Aussi les chimistes français ont-ils décidé d'examiner les faits.

Les cuisiniers professionnels ne mettent que rarement le beurre dans la poêle avec la viande ou le poisson, car le beurre charbonne alors désagréablement. Soit ils limitent la cuisson au stade du beurre noisette, soit ils utilisent le beurre clarifié.

Dans le premier cas, une fois que le beurre a fondu et libéré quelque 12 % de petit-lait (avec protéines, lactose, etc.), le chauffage de cette phase plus dense que la matière grasse conduit à l'évaporation de l'eau (d'où les projections et le bruit de grésillement) et au brunissement, lequel s'accompagne évidemment de modifications chimiques. Pour éviter que le beurre ne charbonne, les cuisiniers ajoutent un liquide aqueux (bouillon, vin, jus de citron, etc.), qui limite la température à 100 °C.

L'autre manière est la clarification du beurre : on chauffe doucement le beurre, on élimine l'écume qui vient en surface et on récupère la phase grasse, qui, débarrassée de ses matières sujettes à décomposition, ne brunit plus.

Pourquoi toutes ces contorsions culinaires, alors que l'huile ou la margarine permettraient des chauffages sans brunissement ? Parce que le beurre est chargé de composés odorants et sapides, dont les huiles les plus raffinées ou les margarines sont dépourvues. Reste la question de la formation éventuelle de composés toxiques.

Les chimistes ont repris les dosages par chromatographie en phase liquide couplée à des spectrométries de masse. Ils ont cuit des beurres à 150 °C ou 180 °C, pendant des temps suffisants pour observer la formation d'une couleur brune, ou pendant le double de ce temps. Par ailleurs, ils ont cuit des aliments dans les matières grasses et dosé les deux marqueurs, CML et 5-HMF.

Par rapport au beurre cru, nos chimistes ont observé une légère augmentation de la concentration en CML. Quant au 5-HMF, il n'a été observé ni dans le beurre cru ni dans le beurre clarifié cuit, mais dans les beurres chauffés.

Or pour un adulte, qui consomme en moyenne 5 milligrammes (mg) de CML par jour, une contribution de 0,06 mg issue de 20 grammes de beurre chauffé à l'excès est négligeable. Pour le 5-HMF, l'apport reste faible (0,6 mg pour 20 grammes de beurre chauffé 6 minutes à 180 °C, sur un total de 5 à 10 mg par jour dans l'alimentation). Cessons donc de basculer systématiquement du côté d'OC et n'hésitons pas à cuisiner du beurre ! ■



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