

Augmenter la pression permet ainsi de retarder la congélation de l'eau de façon notable, mais cela nécessite des pressions considérables. La température de gel se décale à $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ à la pression de 111 mégapascals (MPa), soit plus de 1000 fois la pression atmosphérique; et elle atteint $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 193 MPa. Ainsi, l'eau peut rester liquide jusqu'à des températures de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais à des pressions difficiles à produire en toute sécurité dans un usage domestique.

L'idée géniale de l'équipe de Berkeley a été de laisser faire la nature. Puisque l'eau se dilate en gelant, empêchons-la d'enfler en la maintenant dans un volume constant. Imaginons donc que nous refroidissions peu à peu un récipient scellé et rempli d'eau. À $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou un peu en deçà, l'eau commence à geler; mais, comme le volume est fixé, le tout premier cristal de glace qui naît ne trouve sa place qu'en comprimant l'eau environnante. Le contenu du récipient se retrouve donc à une pression supérieure à la pression atmosphérique, avec la coexistence d'un peu de glace et beaucoup d'eau liquide. Cela abaisse le point de congélation et l'on peut alors continuer à refroidir sans que tout gèle. Et ainsi de suite.

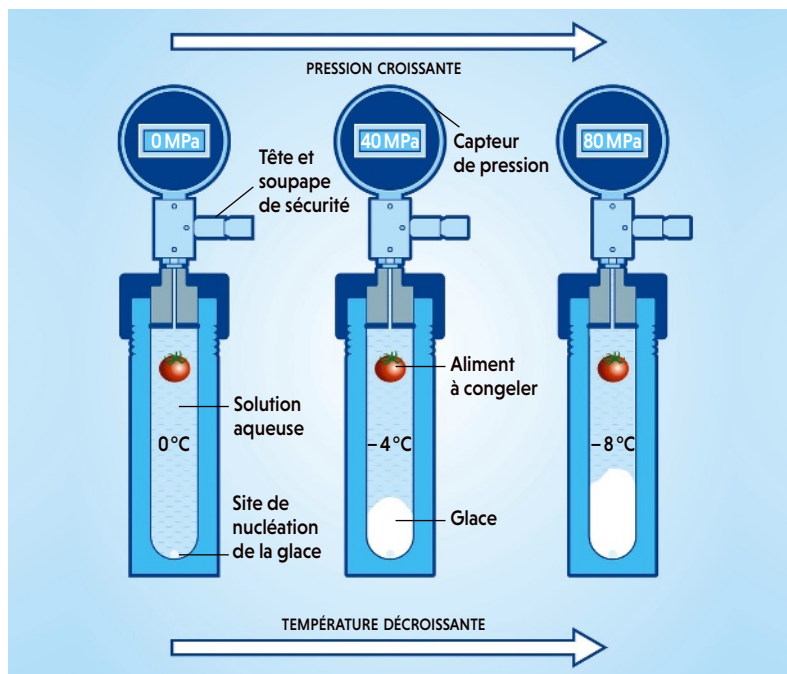
DE L'EAU LIQUIDE QUI COEXISTE AVEC LA GLACE

Dans ce processus, on suit donc la courbe de coexistence liquide-glace du diagramme de phase de l'eau (voir l'encadré page 89). La pression à l'intérieur du récipient scellé dépend de la température, de même que la proportion de glace par rapport à l'eau liquide. Par exemple, à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, la pression vaut 173 MPa et la glace représente 52% de la masse d'eau. Le point important est qu'il reste donc de l'eau sous forme liquide. Si, par un dispositif approprié (voir l'encadré ci-dessus), on maintient les aliments à conserver dans la région liquide, on évite la dénaturation des tissus biologiques provoquée par le gel.

Les résultats sur des aliments difficiles à congeler, comme les tomates ou les cerises, semblent prometteurs. Par ailleurs, comme tout l'intérieur du dispositif n'est pas gelé, on a moins d'énergie à prélever. Par conséquent, on dépense moins d'énergie par rapport au procédé habituel. Qui plus est, à mesure que la température baisse, l'énergie à prélever pour la transformation de l'eau liquide en glace diminue : de 334 kJ par kilogramme à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, elle passe à 250 kJ à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le gain d'énergie est donc accentué et pourrait, selon les chercheurs de Berkeley, atteindre 70% dans certaines conditions.

CONGÉLATEUR ISOCHORE

Dans un dispositif de congélation isochore, l'aliment à congeler est placé dans de l'eau (plus précisément une solution aqueuse) à l'intérieur d'un récipient scellé. À mesure que la température diminue, la pression augmente et donc la température de solidification de l'eau diminue. Bien que de la glace se forme et que sa proportion augmente, une partie de l'eau, où est immergé l'aliment, reste liquide même au plus froid ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Les tissus cellulaires dont est composé l'aliment sont ainsi mieux préservés.



Et il semble qu'il y ait bien d'autres avantages. Par exemple, considérons la répercussion des fluctuations de température du milieu environnant sur l'intérieur du récipient. Dans le cas de la congélation isochore, l'interface liquide-glace sert d'amortisseur. L'apport d'énergie dû à une hausse de la température extérieure est en effet essentiellement absorbé via la diminution de la proportion de glace dans le récipient, tandis qu'une diminution de la température externe engendre au contraire un accroissement de cette proportion. En conséquence, la température dans le récipient est bien mieux stabilisée que dans le cas d'une congélation isobare. Autrement dit, maintenir les aliments à la température désirée coûtera moins d'énergie.

Un autre atout est que, en raison des pressions élevées atteintes, la congélation isochore tue les bactéries. Enfin, il semble possible de mettre en œuvre cette nouvelle méthode en conservant pour l'essentiel les systèmes de refroidissement existants. Une révolution dans la conservation des aliments s'annonce-t-elle? L'équipe de Berkeley le pense. ■

BIBLIOGRAPHIE

Y. Zhao *et al.*, **Analysis of global energy savings in the frozen food industry made possible by transitioning from conventional isobaric freezing to isochoric freezing**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 151, article 111621, 2021.

M. J. Powell-Palm et B. Rubinsky, **A shift from the isobaric to the isochoric thermodynamic state can reduce energy consumption and augment temperature stability in frozen food storage**, *Journal of Food Engineering*, vol. 251, pp. 1-10, 2019.

B. Rubinsky *et al.*, **The thermodynamic principles of isochoric cryopreservation**, *Cryobiology*, vol. 50, pp. 121-138, 2005.

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.GROUPEPOURLASCIENCE.FR

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Service abonnement Pour la Science – 56 rue du Rocher – 75008 Paris – email : serviceclients@groupepourlascience.fr

☒ **OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,40 €.**

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. x 10,40 € = €
 2^e réf. x 10,40 € = €
 3^e réf. x 10,40 € = €
 4^e réf. x 10,40 € = €
 5^e réf. x 10,40 € = €
 6^e réf. x 10,40 € = €

TOTAL À RÉGLER €

Offre valable jusqu'au 31/12/21 en France Métropolitaine.
Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls> Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal Ville :

Téléphone

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science en nous retournant ce bulletin complété



Pour retrouver tous nos numéros et effectuer un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr