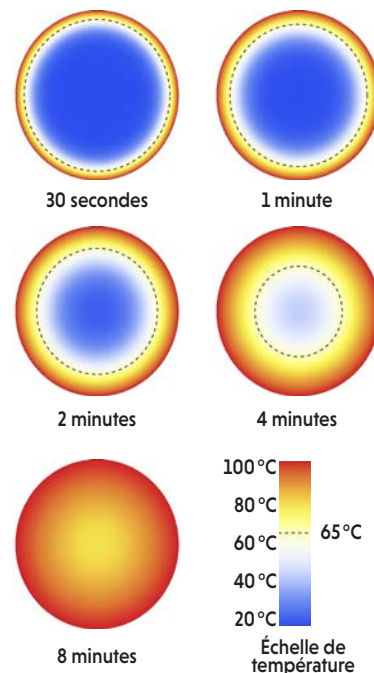


AU SEIN D'UNE PATATE CHAUDE

Connaissant la diffusivité thermique de la pomme de terre, on peut calculer, en fonction du temps, l'évolution de la température au sein d'une patate sphérique, initialement à 20 °C et plongée dans de l'eau bouillante (100 °C). Cette évolution est montrée ici pour une pomme de terre de 4 centimètres de diamètre. La ligne pointillée représente le front à 65 °C. Sa progression, lente au début, s'accélère à mesure que le front se rapproche du centre.



une correspondance entre «lent» et «froid», ou entre «rapide» et «chaud».

Aussi, lorsqu'on met en contact deux corps portés à des températures différentes, les molécules rapides du corps chaud entrent en collision avec les molécules plus lentes du corps froid et leur cèdent une partie de leur énergie. Le milieu s'échauffe de proche en proche, avec un flux d'énergie allant des régions chaudes aux régions froides. Ce flux est proportionnel à la différence de température par unité de longueur et à un coefficient, la «conductivité thermique» du matériau, qui est d'autant plus élevé que ce dernier conduit bien la chaleur.

Pour comprendre comment les températures évoluent, suivons pas à pas ce qui se passe quand on plonge un corps froid (la patate) dans une source chaude (de l'eau bouillante). Au tout début, la différence de température entre le corps et la source chaude est considérable et le flux d'énergie du chaud vers le froid est intense.

UN TRANSFERT D'ÉNERGIE DE MOINS EN MOINS EFFICACE

Mais contrairement à une onde mécanique, toute l'énergie n'est pas transmise, car une partie sert à échauffer la région en contact direct avec la source. Cette part, qui ralentit la hausse de température des

régions situées au-delà, sera d'autant plus importante que le matériau peut stocker de l'énergie thermique, c'est-à-dire que sa capacité calorifique est élevée.

L'écart brutal de température entre le corps froid et la source chaude laissera donc place à un profil de température moins abrupt au voisinage de la surface de contact (voir l'encadré ci-dessus). Du coup, le flux d'énergie va diminuer, car les

Les auteurs ont récemment publié :
En avant la physique !, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



➤ différences d'énergie entre molécules seront moindres. Peu à peu, des couches de plus en plus profondes du matériau froid s'échaufferont, mais le profil de température sera de plus en plus doux et le flux d'énergie depuis la source chaude de plus en plus réduit: l'évolution en température sera ainsi de plus en plus lente.

On prédit ainsi qu'au voisinage d'une surface de contact plane, la profondeur atteinte par la variation de la température en surface croît comme la racine carrée du double du produit du temps écoulé par la «diffusivité thermique» (rapport entre la conductivité thermique du matériau et sa capacité calorifique par unité de volume).

Le scénario qui précède est certes simplifié, mais il traduit bien ce qui se passe dans les matériaux où les mouvements d'ensemble des molécules ou les écoulements sont très limités. C'est le cas des aliments, au moins en première approximation, malgré la forte présence d'eau.

Pour obtenir des estimations raisonnables, il faut pouvoir prédire l'évolution de la température au cœur de l'aliment et la mettre en relation avec la ou les températures de transformation.

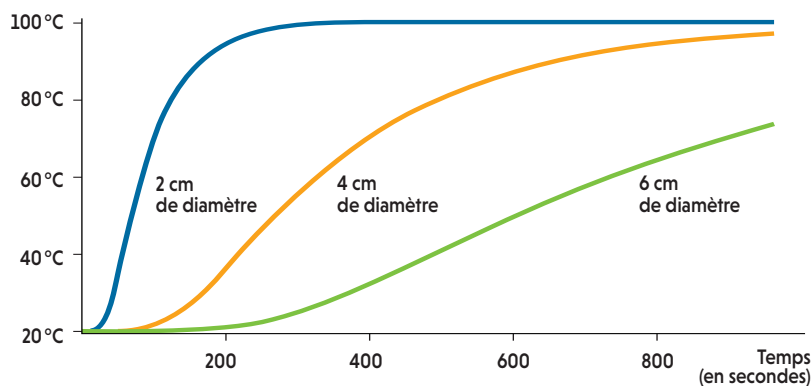
Pour une pomme de terre, la diffusivité mesurée est d'environ $1,7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. À partir de cette valeur, on peut calculer l'évolution de la température au cours du temps dans la patate en fonction de sa taille (voir les deux encadrés). On constate, comme attendu, que l'avancée du front de température au début de la cuisson est lente. Mais ce front progresse bien plus rapidement lorsqu'il atteint les couches plus profondes, car il y a de moins en moins de matière à chauffer à mesure que le front se rapproche du centre.

On comprend aussi aisément le problème posé par les grosses pommes de terre: à partir d'une certaine taille, la durée nécessaire pour que le centre atteigne la bonne température et se mette à cuire dépasse 16 minutes; or au bout de ces 16 minutes, la couche externe du tubercule commence à se désagréger, c'est-à-dire à être trop cuite! Les simulations permettent de déterminer la taille limite des morceaux: elle est de l'ordre de 3 centimètres. À vos couteaux, donc, si vous voulez réussir vos patates à l'eau!

Dans le même registre, on peut mentionner la cuisson des rôtis de viande, pour laquelle une prescription du genre «un quart d'heure par livre» est, au mieux, très approximative. L'expérience montre que, pour un même poids ou volume, la cuisson des rôtis longs et de faible diamètre est plus rapide que pour des pièces de viande plus

AU CENTRE DE LA POMME DE TERRE

Ces courbes représentent, en fonction du temps, la température au centre d'une pomme de terre sphérique, de température initiale 20 °C et plongée dans de l'eau bouillante, pour trois valeurs différentes du diamètre. On constate que pour une pomme de terre assez grosse, la hausse de la température au centre démarre tardivement. À cet endroit, pour une pomme de terre de 6 centimètres de diamètre, la température minimale de cuisson (65 °C) n'est ainsi atteinte qu'au bout d'environ 800 secondes, soit plus de 13 minutes. Quand le cœur de cette pomme de terre sera cuit, sa couche externe le sera trop...



compactes. En effet, plus le diamètre est petit, plus la durée requise pour que le cœur de l'aliment atteigne la bonne température est courte. En revanche, le temps de cuisson d'un rôti plus long, mais de même diamètre, ne change pas beaucoup.

Et pour les œufs d'autruche? *A priori*, pas besoin de longs calculs, puisqu'on connaît déjà la durée de cuisson pour un œuf de poule et que l'on peut utiliser ce que les physiciens nomment une loi d'échelle. La durée de cuisson d'un œuf à la coque est déterminée par le temps nécessaire pour que tout le blanc ait atteint la bonne température, jusqu'à la frontière avec le jaune. Les œufs ayant tous à peu près la même forme, ce temps reste proportionnel au carré de leur taille.

UN TEMPS PROPORTIONNEL AU CARRÉ DE LA TAILLE

On peut vérifier cette loi par exemple avec le temps de cuisson de l'œuf de caille (30 secondes pour un œuf large d'environ 2 centimètres). Si on l'applique à l'œuf d'autruche, 3 fois plus large que l'œuf de poule, on s'attend à une durée de cuisson multipliée par $3^2=9$, soit de l'ordre de 30 minutes, pas si loin de la valeur recommandée. Mais l'estimation est un peu basse. Pourquoi? Est-ce dû aux différences de composition des deux types d'œuf? Ou à l'effet d'un œuf d'autruche (1,5 kilogramme!) sur la température de l'eau de cuisson ou son homogénéisation dans le récipient? Nous laissons cette question à la sagacité de nos lecteurs! ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Roura et al., **How long does it take to boil an egg? A simple approach to the energy transfer equation**, *European Journal of Physics*, vol. 21, pp. 95-100, 2000.

P. M. Derbyshire et I. Owen, **Transient heat transfer in a boiled potato: A study related to food process engineering**, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 9(2), pp. 254-256, 1988.