

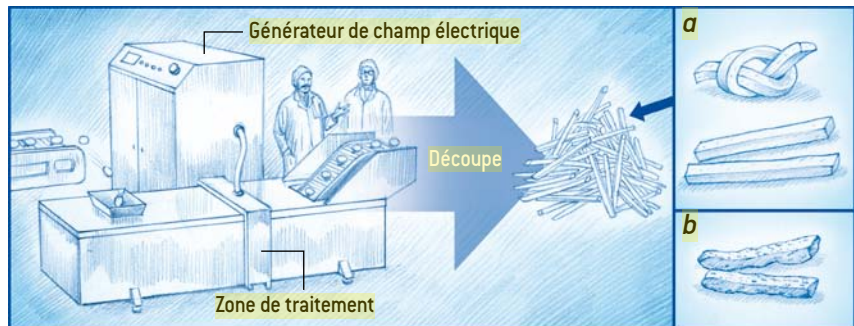
plus favorable (car la « tête » des molécules lipidiques est hydrophile, et leur « queue » hydrophobe). Il se forme ainsi un canal stable, où peuvent circuler les molécules d'eau et les ions (voir la figure 1).

Le devenir de ces trous dépend cependant de la tension appliquée. Si elle reste modérée, les pores sont réversibles : une fois le champ supprimé, ils se referment. Mais au-delà d'un certain seuil de tension, la membrane est définitivement rompue et la cellule condamnée à mourir.

Des applications médicales sont possibles, par exemple pour tuer des cellules cancéreuses ou des bactéries. Mais un autre intérêt de l'électroporation est que lorsque les membranes cellulaires sont percées, le contenu des cellules devient accessible. Autrement dit, l'électroporation facilite l'extraction ou la distillation à froid (donc sans les dénaturer) de composants tels que des arômes, des colorants, ou tout simplement les jus de fruits ou le sucre de la betterave.

La libération de l'eau contenue dans les cellules a par ailleurs des conséquences sur les propriétés mécaniques des fruits ou légumes traités. Les cellules végétales sont entourées d'une paroi cellulaire. Lorsque les cellules ont toute leur eau, les pressions exercées entre les cellules et leurs parois s'équilibrent, ce qui maintient la forme des cellules et confère de la rigidité au port du végétal lui-même. Si les cellules se vident d'eau, elles se rétractent ; l'équilibre est alors rompu et les parois cellulaires sont fragilisées. Autrement dit, le tissu végétal s'assouplit. La découpe en est facilitée : elle sera plus nette et exigera moins d'énergie. Ainsi, avec un traitement de pommes de terre par électroporation (voir la figure 2), on peut diminuer de moitié la force nécessaire pour la découpe !

La libération de l'eau contenue dans les cellules améliore aussi les processus de congélation ou de séchage. Ainsi, quand on congèle des frites (ou des chips) traitées, les cristaux de glace se forment pour une grande part en dehors des cellules et détruisent donc moins ce qui reste des structures cellulaires : la décongélation fournira des frites moins endommagées.



2. L'APPLICATION D'UN CHAMP ÉLECTRIQUE intense et pulsé à des pommes de terre a pour effet de perforer les membranes cellulaires du légume, ce qui assouplit ses tissus (au point de pouvoir faire des nœuds...). La découpe des frites est alors plus facile et les surfaces de coupe sont beaucoup plus lisses (a) que celles des frites de pommes de terre non traitées (b). On obtient ainsi des frites qui, notamment, absorbent moins d'huile à la cuisson.

Par ailleurs, si l'on fait sécher un pétale de chips dans de l'air chaud, l'évaporation s'amorce d'abord en surface, mais elle se poursuit par le transport de l'eau de l'intérieur du pétale jusqu'à l'extérieur – ce transport étant facilité par la circulation de l'eau dans le milieu extracellulaire. Dans une étuve à 50 °C, le taux d'humidité d'une rondelle de pomme de terre diminue ainsi de 80 % à 10 % en moins de deux heures, au lieu des deux heures et demie habituelles.

Des frites moins grasses

L'électroporation est aussi intéressante pour la friture. Quand on plonge une frite dans un bain d'huile chaude, l'eau du bâtonnet de pomme de terre commence à bouillir à sa surface et s'évacue à travers l'huile sous la forme de bulles. Par ailleurs, la couche de vapeur d'eau qui se forme à la surface de la frite conduit beaucoup moins bien la chaleur que l'eau liquide ; elle isole thermiquement la frite et limite la pénétration de l'huile.

Or les frites traitées par champ électrique développent une couche de vapeur plus épaisse que les frites non traitées, ce qui réduit la déshydratation de l'aliment et l'absorption d'huile (jusqu'à 30 % de matières grasses en moins). Qui plus est, la surface de la découpe étant plus nette et moins rugueuse, on a deux avantages supplémentaires. D'une part, la superficie totale de la frite en contact avec l'huile

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>



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

■ BIBLIOGRAPHIE

T. Kotnik *et al.*, Cell membrane electroporation – Part 1: The Phenomenon, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 28(5), pp. 14-23, 2012.

A. Janositz *et al.*, Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices, *Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 1939-1945, 2011.

est inférieure ; d'autre part, le drainage de l'huile est facilité. Il en résulte des frites plus légères et plus croustillantes !

Quelles caractéristiques le champ électrique doit-il avoir dans les applications ci-dessus ? Tout d'abord, un champ continu est inutile : la perméabilisation de la membrane cellulaire est un phénomène dynamique qui, avec la réorganisation des charges dans les milieux intra- et extracellulaire, s'estompe en un temps de l'ordre de la microseconde. Il vaut donc mieux produire des impulsions brèves et répétées pour un maximum d'efficacité.

Ensuite, sachant que la taille d'une cellule est de l'ordre de dix micromètres, des champs électriques d'intensité supérieure au kilovolt par centimètre sont nécessaires pour que la différence de potentiel à l'échelle de la cellule dépasse le volt,

seuil approximatif pour que la membrane soit durablement percée. Pour traiter des pommes de terre d'une dizaine de centimètres, il faut donc des tensions de l'ordre de dix kilovolts.

Comment créer ces hautes tensions et les pulser ? On utilise pour cela un générateur inventé par l'ingénieur allemand Erwin Otto Marx en 1924. Son principe est simple. Dans un premier temps, on charge des condensateurs en parallèle. Puis on bascule rapidement les connexions (la difficulté technique est là) afin de placer tous ces condensateurs en série. Le résultat est une tension égale à la tension initiale multipliée par le nombre de condensateurs. On déclenche alors l'impulsion électrique en faisant décharger ces condensateurs à travers deux électrodes, placées dans le réacteur d'électroporation où est traité l'aliment. ■

Toutes les ARCHIVES

- Pour la Science
- Dossier Pour la Science

depuis

1996



maintenant disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou téléchargeables en PDF, en vente à l'unité ou accessibles par abonnement.