

IDÉES DE PHYSIQUE

Des frites sous haute tension

L'application de puissantes impulsions de champ électrique à des pommes de terre facilite la découpe des frites et améliore leur cuisson.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Des frites ou des chips moins grasses et de bel aspect, même après décongélation ? Depuis plusieurs années, l'industrie agroalimentaire a inclus dans les chaînes de production de ces aliments une étape où la pomme de terre est soumise à des hautes tensions. En appliquant un champ électrique adéquat, on peut en effet fragiliser ou détruire des cellules, et ainsi modifier les propriétés du matériau biologique. L'effet biophysique en jeu est nommé électroporation. En quoi consiste-t-il et quels sont ses atouts ?

pas étonnante. En raison de l'agitation thermique des molécules, des trous dans la membrane peuvent se former spontanément, même en l'absence de champ ; mais ils sont minuscules (de l'ordre du nanomètre) et se referment très vite (à l'échelle de la nanoseconde). Par quel mécanisme le champ électrique les ouvre-t-il davantage et les stabilise-t-il ?

En fait, la question n'est pas totalement élucidée. Selon l'interprétation dominante, le champ électrique modifierait la différence de potentiel de part et d'autre de la membrane : il chargerait, grâce aux ions

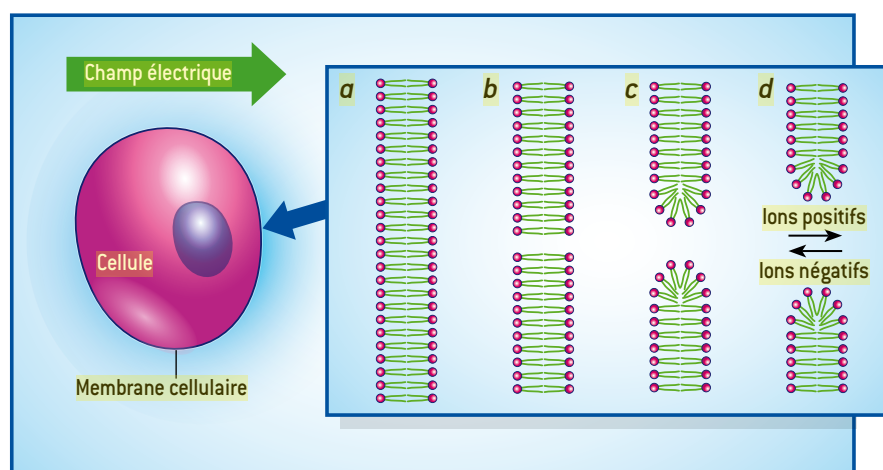
présents, les deux « armatures » de cette dernière et augmenterait ainsi la force qui réunit les deux couches lipidiques. Selon ce schéma, il s'ensuit une pression, d'origine électrostatique, qui amincit la membrane au point que cette dernière se déchire lorsque la surtension atteint une valeur de l'ordre du volt.

Une autre explication, qui n'est pas exclusive de la première, est que, à partir d'une certaine taille du pore, les molécules de la membrane se réorientent spontanément de façon à présenter leurs « têtes » face au milieu aqueux, situation énergétiquement

Des trous dans les cellules

Examinons ce qui se passe quand une cellule vivante est soumise à un champ électrique intense. La membrane cellulaire est constituée principalement d'une double couche de molécules lipidiques de quelques nanomètres d'épaisseur, qui sépare le milieu intracellulaire de son environnement (voir la figure 1). Cette bicouche se comporte comme un condensateur électrique chargé sous une tension de l'ordre de 0,1 volt ; ce « potentiel transmembranaire » est dû à un léger déséquilibre de la concentration des ions de part et d'autre de la membrane. Quand la membrane est soumise à un champ électrique suffisamment intense, elle « claque » : elle devient conductrice et perméable.

Ce claquage est dû à la formation de pores. En soi, la présence de pores n'est



1. LA MEMBRANE QUI DÉLIMITE une cellule biologique est formée d'une double couche de molécules lipidiques ayant une « tête » (en rose) hydrophile et une « queue » (en vert) hydrophobe (a). De minuscules ouvertures naissent spontanément sous l'effet de l'agitation thermique (b). Si le pore est de taille suffisante, les molécules de la bicouche adoptent autour de lui une configuration énergétiquement plus favorable (c). Un canal est ainsi formé, où peuvent passer des ions et des molécules d'eau. Un champ électrique intense favorise cette circulation, ce qui stabilise le pore et l'agrandit de façon irréversible (d).

Dessins de Bruno Vacaro

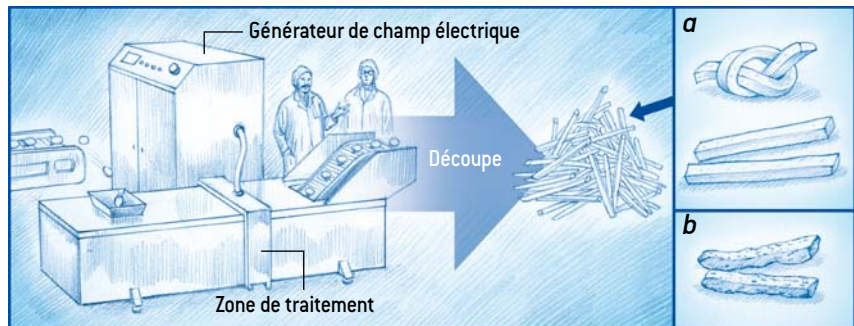
plus favorable (car la « tête » des molécules lipidiques est hydrophile, et leur « queue » hydrophobe). Il se forme ainsi un canal stable, où peuvent circuler les molécules d'eau et les ions (voir la figure 1).

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 bûtonnet 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 COURTLY 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