

Influence d'un prétraitement par champs électriques pulsés sur la qualité de fraises semi-confites

AGUENT^a Chérifa, VAN HECKE Elisabeth^{a*}, LANOISELLE Jean-Louis^b, CHENE Christine^c,
VOROBIEV Eugène^a

^a EA 4297 Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable,
Université de Technologie de Compiègne, BP20529 60205 Compiègne Cédex

^b EA 4250 Laboratoire d'Ingénierie des MATériaux de Bretagne,
Université de Bretagne Sud, Allée des Pommiers, 56300 Pontivy

^c ADRIANOR,
rue Jacquart – ZI Est Arras, 62217 Tilloy-Les-Mofflaines

Résumé

Les préparations de fruits encore appelées « fruits sur sucre » sont des produits alimentaires intermédiaires (PAI) largement utilisés dans de nombreux secteurs alimentaires (produits laitiers, pâtisseries, glaces,...). Elles sont généralement obtenues par un procédé appelé déshydratation osmotique qui s'apparente plutôt à une « déshydratation-imprégnation par immersion » puisque les flux de matière sont bidirectionnels : extraction d'eau (et de solutés) du produit vers la solution sucrée et pénétration du sucre de la solution vers le produit. Apparemment simple, cette opération met en œuvre des mécanismes complexes et nécessite des temps de contact relativement longs. Afin d'accélérer la cinétique des transferts de matière, différents prétraitements peuvent être appliqués : vide partiel, blanchiment, congélation, ... Mais ces prétraitements ont tendance à altérer la qualité du produit. L'efficacité des champs électriques pulsés (CEP) pour la perméabilisation des membranes plasmiques est aujourd'hui largement prouvée (Lebovka *et al.*, 2012). Cette technologie, faiblement consommatrice d'énergie, est actuellement développée au niveau industriel pour l'extraction de biomolécules.

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet d'un prétraitement par champs électriques pulsés sur la cinétique de déshydratation-imprégnation par immersion de fraises fraîches (variété gariguette) et la qualité des produits finis en termes de perte en eau, gain en sucre, texture (profil de texture) et couleur (coordonnées L^*, a^*, b^*). L'effet de l'intensité du champ électrique et du nombre d'impulsions (durée d'une impulsion : 100 μ s, période : 1 ms) sur l'électro-perméabilisation des cellules a tout d'abord été étudié. Ainsi, un traitement à une intensité de 300 V/cm pendant une durée de 15 minutes s'est révélé suffisant pour atteindre une perméabilisation quasi totale des produits. L'analyse de la texture des fraises à l'issue de ce traitement électrique indique, certes, un ramollissement des produits, mais beaucoup moins important que dans le cas d'un traitement par congélation. En outre, il n'y a pas eu d'effet significatif du traitement électrique sur la couleur des fraises. Les fraises ainsi prétraitées ont ensuite été immergées dans des solutions de sucre (saccharose) à différentes concentrations (30, 50, 70% m/m) pendant une durée de 1 à 4 heures. Nous avons observé que la perte en eau au bout de 4 heures était significativement plus importante dans les fraises prétraitées par CEP que dans les fraises non prétraitées (50% au lieu de 35%). Par contre, le prétraitement par CEP ne semble que très légèrement améliorer le gain en sucre. En ce qui concerne la texture, le prétraitement par CEP n'a que peu affecté la dureté des fraises. Il a diminué légèrement la fracturabilité et augmenté sensiblement la cohésion. Les mesures de couleur n'ont indiqué aucune différence significative entre les fraises prétraitées par CEP et celles non prétraitées.

Finalement, une évaluation sensorielle a été réalisée par un jury entraîné. Les fraises prétraitées par CEP ont principalement été appréciées pour leur aspect, tandis que les fraises non prétraitées l'ont été pour leur odeur et leur goût de fraise.

Mots-clés : Déshydratation Osmotique, Champs Electriques Pulsés, fraises, qualité

* Auteur à qui la correspondance devrait être adressée : Elisabeth.van-Hecke@utc.fr

1. Introduction

La déshydratation osmotique (DO) est l'un des procédés les plus utilisés pour la conservation des fruits et légumes. Ce traitement vise à réduire, à moindre coût, le risque d'altération de la qualité nutritionnelle et organoleptique du produit traité (Bchir *et al.*, 2011). La déshydratation osmotique présente un certain nombre d'atouts. En particulier, l'aliment est traité à basse température et à l'abri de l'oxygène (puisqu'il est immergé), ce qui est particulièrement favorable pour les produits sensibles aux réactions de dégradation oxydative et thermique (Garcia-Segovia *et al.*, 2010). De plus, la DO permet d'inhiber la charge microbienne et ainsi de prolonger la période de conservation des produits (Castello *et al.*, 2009).

Les cinétiques de transfert d'eau et de solutés propres à la déshydratation osmotique dépendent de plusieurs facteurs, tels que les propriétés intrinsèques des tissus et les conditions opératoires de traitement : temps, température de traitement, pression, agitation de la solution, composition de la solution (Dermesonlouoglou *et al.*, 2008). Les membranes cellulaires semi-perméables ralentissent le transfert de l'eau et font de la DO un procédé naturellement assez lent. Pour l'accélérer, divers prétraitements visant à augmenter la perméabilité des membranes cellulaires sont mis en œuvre : blanchiment, congélation, application de vide, traitements par ultrasons, addition de NaCl, ...

Récemment, il a été montré que la perméabilisation cellulaire obtenue par application de champs électriques pulsés (CEP) pouvait améliorer significativement la cinétique de DO (Taiwo *et al.*, 2001 ; Taiwo *et al.*, 2003 ; Amami *et al.*, 2005). L'effet des CEP d'intensité modérée sur la cellule végétale se manifeste par une électroperméabilisation membranaire qui facilite l'expulsion de l'eau et la pénétration de sucre lors de la DO. Cette technologie a plusieurs avantages : faible consommation énergétique, pas ou peu d'échauffement du produit. En outre, du fait qu'elle n'affecte pas les parois cellulaires, les fruits semblent mieux conserver leur texture qu'après un prétraitement par congélation (Taiwo *et al.*, 2003).

Le but de cette étude était triple : (a) quantifier l'influence d'un traitement par CEP sur la qualité des fraises, (b) étudier l'impact du prétraitement par CEP sur la cinétique de déshydratation osmotique des fraises et (c) étudier les effets de ce couplage sur la qualité finale des fraises.

2. Matériels et méthodes

2.1 Matières premières

Des fraises fraîches de la variété Gariguette ont été utilisées pour l'intégralité de cette étude. Les fraises étaient achetées la veille des expérimentations dans un supermarché local et stockées à 4°C jusqu'à utilisation. Préalablement à l'étude, elles étaient triées suivant leur maturité et leur taille. Les fraises retenues avaient une hauteur d'environ 3,5 cm et un diamètre d'environ 2 cm. Leur teneur en eau était de 91 ± 2 %. Une fois lavées et séchées, elles étaient débarrassées de leur pédoncule puis coupées, soit en deux, soit en rondelles de 1 cm d'épaisseur selon la suite du traitement envisagé.

Pour réaliser les expériences de DO, des sirops de sucre ont été préparés à partir de sucre de betterave cristallisé (Tereos, France) et d'eau de source (Ondine, France) (conductivité : 197 ± 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Trois concentrations ont été préparées : 30, 50 et 70°Brix.

2.2 Traitement par champs électriques pulsés

Deux cellules de traitement différentes ont été utilisées. La première était constituée d'un godet en plastique de 30 mm de diamètre et de 75 mm de hauteur (fig. 1). Au fond de ce godet était fixée une grille servant d'électrode. Un piston coulissant dans le cylindre constituait la deuxième électrode. L'échantillon, de forme cylindrique (rondelles), était placé dans le godet, entre la grille et le piston. Du jus frais de fraises (conductivité : $2,4 \pm 0,1$ mS/cm) y était ajouté afin de réduire la dégradation de l'échantillon et d'améliorer le contact électrique avec l'électrode. Une seconde cellule constituée d'une cuve parallélépipédique (14,5 cm x 6,6 cm x 8 cm) équipée de deux électrodes planes de 116 cm^2 placées verticalement a été utilisée pour le traitement en vrac (traitement simultané de 20 demi-fraises).

La génération des champs électriques a été obtenue grâce à un générateur (conception UTC, Compiègne, France) fournissant des impulsions bipolaires. Le traitement était constitué d'une succession de 10 impulsions regroupées en « trains » (50 au total), eux-mêmes séparés par des temps de repos de 10 s

(fig. 2). La durée et la période des impulsions étaient respectivement de 100 μ s et 1 ms. Différentes intensités de champ comprises entre 100 et 400 V/cm ont été testées. Les essais ont été répétés entre 3 et 5 fois.

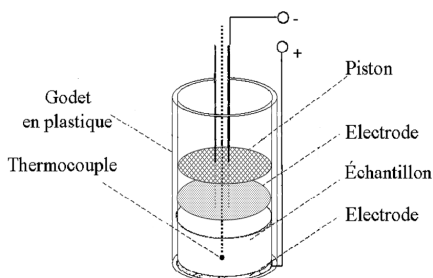


Figure 1. Cellule de traitement par CEP

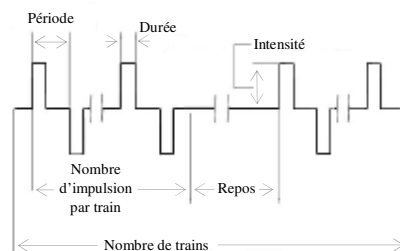


Figure 2. Caractéristiques d'un traitement par CEP

Au cours du traitement par CEP, l'évolution de la résistance des échantillons a été enregistrée. Après conversion de la résistance en conductivité, les résultats ont ensuite été exploités pour déterminer l'indice de perméabilisation, indice Z, selon la relation suivante (Rogov et Gorbatov, 1974) :

$$\text{Indice } Z = (\sigma - \sigma_0) / (\sigma_d - \sigma_0) \quad 0 \leq Z \leq 1 \quad (1)$$

avec σ : conductivité électrique du produit (S/cm), σ_0 : conductivité électrique initiale du produit (S/cm) et σ_d : conductivité électrique du produit complètement dénaturé (S/cm). La valeur de σ_d a été mesurée sur des fraises ayant subi une congélation lente dans un congélateur domestique puis une décongélation à 4°C. L'indice de perméabilisation, Z, augmente au cours du traitement, en raison de la diffusion du liquide intracellulaire vers le milieu extracellulaire, le liquide intracellulaire ayant une conductivité plus élevée.

2.3 Traitement de déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique a été réalisée sur des demi-fraises prétraitées ou non par CEP. Les demi-fraises (4 par essai) ont été pesées puis placées dans des erlenmeyers contenant le sirop de sucre. La quantité de sirop utilisée était de 10 fois la masse des fraises. Les erlenmeyers ont été recouverts par du parafilm® afin d'éviter l'évaporation puis introduits dans un incubateur (MaxQ shaker, Thermo Scientific, USA) qui permet l'agitation et la régulation de température. La vitesse d'agitation a été fixée à 150 tr/min. La température a été fixée à 26°C. Une fois la durée d'immersion atteinte (1, 2, 3 et 4 h), les morceaux étaient sortis du sirop, brièvement rincés sous un filet d'eau (pour éliminer la couche de sucre qui aurait éventuellement pu se former sur la surface du fruit), égouttés avec du papier absorbant, et enfin pesés.

Les essais ont été répétés 2 fois.

2.4 Détermination de la perte en eau (PE) et du gain en sucre (GS) lors de la déshydratation osmotique

La teneur en matière sèche a été mesurée selon la norme AFNOR : NF EN 12145 en mélangeant les fruits à du sable de fontainebleau et en utilisant une étuve ventilée maintenue à 70°C pendant 24h. Pour le calcul de la perte en eau (PE) et du gain en sucre (GS), les équations suivantes (Giangiaccomo *et al.*, 1987) ont été utilisées :

$$\text{PE} = (WW_0 - WW_t) / WW_0 \quad (2)$$

$$\text{GS} = (WS_t - WS_0) / W_0 \quad (3)$$

avec WW_0 : masse d'eau avant DO, WW_t : masse d'eau après un temps t de DO, WS_0 : masse de matière sèche avant DO, WS_t : masse de matière sèche après un temps t de DO, W_0 : masse totale avant DO.

2.4 Mesure de la texture

Les propriétés texturales ont été évaluées par des mesures en compression à l'aide d'un analyseur de texture TA-XT plus (Rhéo, Champlan, France) et du logiciel Texture Expert (Stable Micro Systems Ltd, Goldaming, Surrey, UK). La méthode du profil de texture (Texture Profil Analysis TPA) a été retenue. Pour cela, les fraises (rondelles ou demi-rondelles) ont été soumises à deux compressions successives dans le sens axial. La vitesse de compression a été fixée à 0,1 mm/s et la déformation à 50%. Le signal enregistré à l'aide du logiciel est une courbe telle que celle présentée en figure 3.

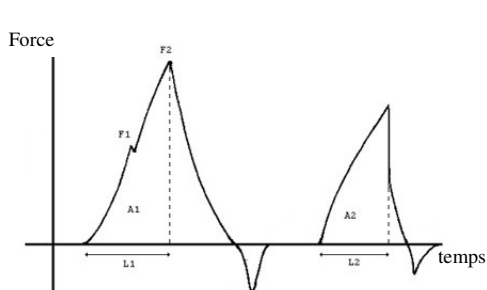


Figure 3. Courbe typique d'un profil de texture

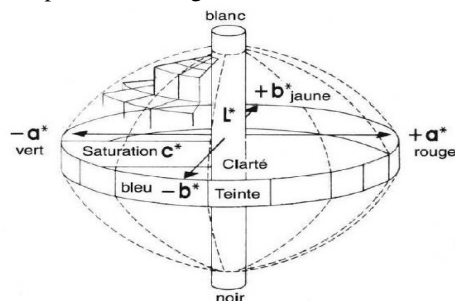


Figure 4. Coordonnées colorimétriques L^* , a^* , b^* .

Les caractéristiques texturales extraites des courbes étaient les suivantes :

- la « fracturabilité », ou fragilité, valeur de la force correspondant à la première rupture (F_1),
- la « dureté », ou fermeté, valeur de la force à la fin de la première compression (F_2),
- la « cohésion », obtenue à partir du ratio des surfaces sous les deux pics de compression (A_2 / A_1),
- l'« élasticité » (elasticity, springiness), ratio des durées respectives des deux compressions (L_2 / L_1).

Les mesures ont été répétées entre 5 et 8 fois.

2.5 Mesure de la couleur

La mesure de la couleur a été effectuée à l'aide d'un colorimètre Chroma meter/CR-321 (Minolta, Japan) sur la paroi externe des fraises. Les résultats sont fournis sous forme de coordonnées L^* , a^* et b^* (fig. 4). L^* représente la clarté : plus L^* est grand plus la couleur est claire, a^* représente un axe qui va du vert ($a^* < 0$) au rouge ($a^* > 0$), b^* représente un axe qui va du bleu ($b^* < 0$) au jaune ($b^* > 0$).

Les mesures ont été répétées entre 5 et 8 fois.

2.6 Evaluation sensorielle

L'analyse sensorielle a été réalisée dans les locaux de l'Adrianor par un jury de 12 personnes entraînées. Chaque dégustateur était placé dans une cabine individuelle. Deux demi-fraises par échantillon lui étaient présentées. Il devait donner, sur des échelles à 7 points, (1) une note d'appréciation sur l'aspect visuel, puis des notes d'intensité pour (2) l'odeur de fraise, (3) l'odeur parasite, (4) la saveur sucrée, (5) le goût de fraises, (6) le goût parasite et enfin (7) la consistance en bouche. Le questionnaire se terminait par (8) une note d'appréciation globale, (9) une question sur l'intention de re-consommation du produit et enfin (10) un commentaire libre sur les raisons d'acceptation ou de rejet du produit.

3. Résultats et discussion

3.1 Etude de l'effet d'un traitement par CEP sur la qualité des fraises

La figure 5 présente l'évolution de l'indice de perméabilisation, Z , au cours du traitement CEP pour différentes intensités de champs électriques. Avec une intensité de 400 V/cm, l'électro-perméabilisation totale ($Z = 1$) des fraises a été atteinte en moins de 10 minutes (50 trains). Cette valeur d'intensité de champ se situe dans le bas de la gamme optimale (200-1100 V/cm) classiquement observée pour l'électro-perméabilisation des matériaux biologiques (Lebovka *et al.*, 2002). D'autre part, si l'on convertit la durée totale de l'expérience en « temps effectif de traitement CEP », la fraise se situerait parmi les fruits les plus rapidement électro-perméabilisés : 0,05 s contre, par exemple, 0,3 s pour la banane et 1 s pour l'orange ou la pomme (Ben Ammar *et al.*, 2010) (le « temps de traitement CEP » est obtenu en multipliant la durée d'une impulsion par le nombre total d'impulsions).

Dans tous les cas, nous avons également pu constater que la température des produits restait proche de l'ambiante malgré l'absence de régulation de température (légère augmentation de 2 à 5°C au maximum).

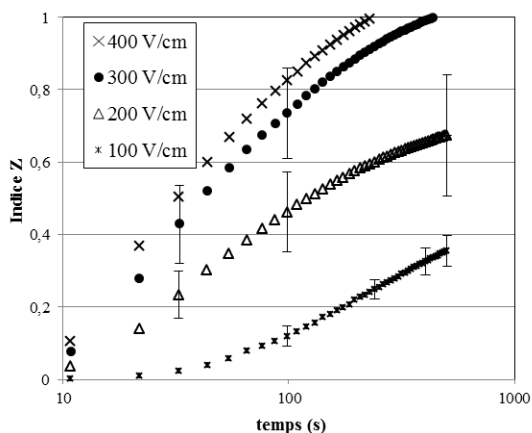


Figure 5. Evolution de l'indice de perméabilisation, Z, au cours du traitement CEP à différentes intensités

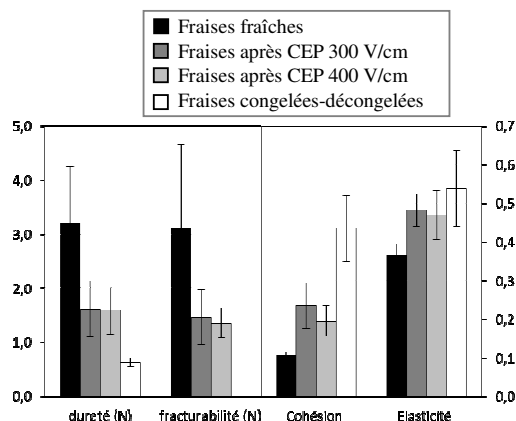


Figure 6. Effet des CEP et de la congélation sur les caractéristiques texturales des fraises

La figure 6 présente les différentes caractéristiques de texture de fraises fraîches, de fraises après un traitement CEP à 300 ou 400 V/cm ($Z = 1$) ainsi qu'après un cycle de congélation-décongélation. Après le traitement par CEP, que ce soit à 300 ou à 400 V/cm, les fraises ont perdu de leur dureté. Ce ramollissement serait consécutif à la dissolution des polymères des parois cellulaires. Cette modification structurale est vraisemblablement due à la perméabilisation cellulaire. Les échantillons traités par CEP tout comme les fraises fraîches présentaient cependant encore une rupture de leur structure (« fracturabilité ») au cours de la première compression. Néanmoins, ces forces de rupture étaient, pour les fraises traitées par CEP, plus faibles que celles observées pour les fraises fraîches. En outre, la cohésion et l'élasticité des fraises traitées par CEP était plus importante que celles des fraises fraîches ce qui est sans doute une conséquence de la perte de dureté, de turgescence. Toutefois, la perte de dureté et de fragilité et l'augmentation de cohésion et d'élasticité observées pour les fraises traitées par CEP étaient beaucoup moins marquées que dans le cas des fraises qui avaient subi un cycle de congélation-décongélation (congélateur domestique). Ce résultat est cohérent avec les résultats publiés par Taiwo *et al.* (2003) : un traitement par CEP semble moins altérer la texture des fraises qu'un traitement de congélation-décongélation.

En ce qui concerne la couleur, la figure 7 montre que les échantillons de fraises ayant subi un traitement par CEP semblaient légèrement plus foncés (coordonnée L^* légèrement plus faible en moyenne). La figure 8 indique également qu'ils seraient de couleur moins vive (coordonnées a^* et b^* légèrement plus faibles également) que les fraises fraîches. Cependant, bien que ces observations soient confirmées visuellement, les différences entre les trois types d'échantillons ne semblent pas significatives compte tenu des écarts-types importants.

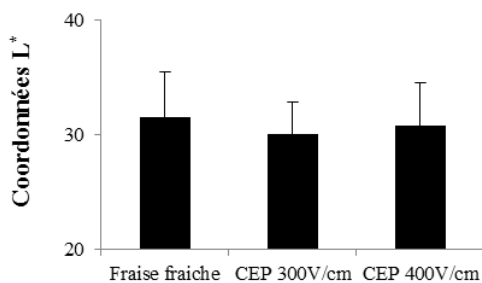


Figure 7. Effet des CEP sur la clarté, L^* , des fraises

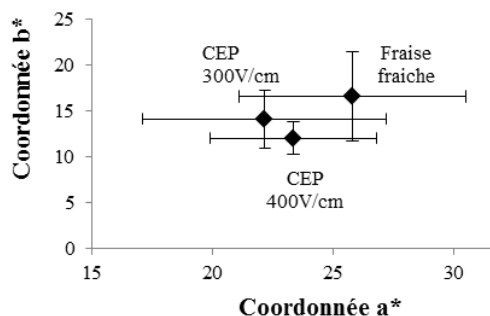


Figure 8. Effet des CEP sur les coordonnées couleur, a^* et b^* des fraises

D'après tous ces résultats, on peut conclure qu'un traitement par CEP à 300-400 V/cm permet de perméabiliser les cellules de fraises à température ambiante et en très peu de temps donc à faible coût énergétique. En outre, ce traitement affecte moins la texture des fraises qu'un traitement de congélation-décongélation et n'affecte pas leur couleur.

3.2 Etude de l'effet d'un prétraitement par CEP sur la cinétique de déshydratation osmotique des fraises

L'effet d'un prétraitement par CEP à une intensité de 300 V/cm (50 trains comme précédemment) sur la cinétique de déshydratation osmotique des fraises a été étudié. Les figures 9 et 10 présentent les cinétiques de perte en eau et gain en sucre respectivement, pour des produits immergés dans des sirops de sucre à 30, 50 et 70°Brix, à 26°C, avec ou sans prétraitement par CEP.

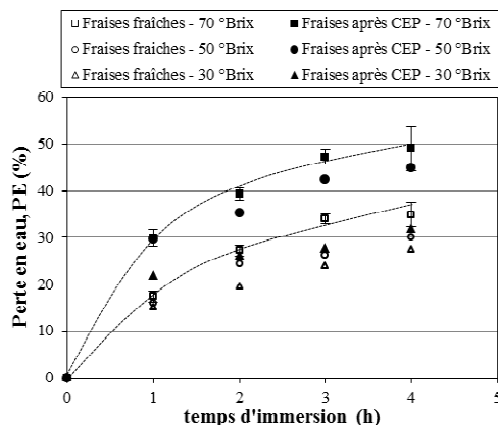


Figure 9. Effet des CEP sur la cinétique de perte en eau en présence de différents sirops de sucre à 26°C. (Les traits pointillés représentent l'allure des cinétiques dans un sirop à 70°Brix après CEP ou non)

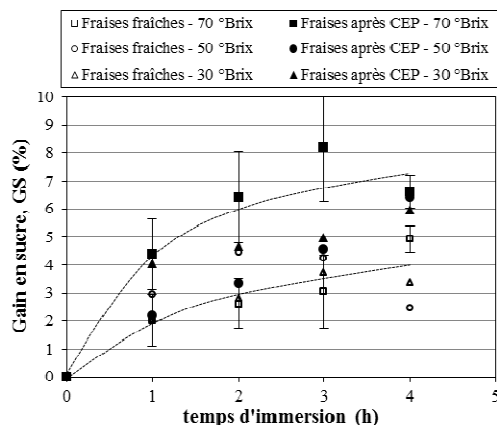


Figure 10. Effet des CEP sur la cinétique de gain en sucre en présence de différents sirops de sucre à 26°C. (Les traits pointillés représentent l'allure des cinétiques dans un sirop à 70°Brix après CEP ou non)

Dans tous les cas, l'allure des cinétiques était similaire à celles déjà décrites dans la littérature (Taiwo et al., 2003 ; Allali et al., 2010) : augmentation continue de la perte en eau et du gain en sucre au cours des 4 heures d'immersion, avec distinction possible de deux phases. La première phase (temps d'immersion inférieur à 1h30 approximativement) durant laquelle la cinétique est rapide, correspondrait aux transferts dans les couches périphériques du produit et dans le milieu extracellulaire principalement (Allali et al., 2010). Puis, au-delà d'environ 1h30 d'immersion, la seconde phase, caractérisée par un ralentissement des transferts, s'expliquerait essentiellement par la formation d'un dépôt de soluté à la surface du produit qui freinerait la diffusion de l'eau et du soluté. D'autre part, la perte en eau et le gain en sucre sont plus importants quand le degré Brix du sirop de sucre est élevé. En effet, c'est la différence de concentration entre le produit à traiter et le sirop de sucre qui constitue le moteur des transferts de matière. Nos travaux montrent en outre que la perte en eau était toujours plus importante lorsque les fraises étaient prétraitées par CEP : au bout de 4 heures d'immersion, la perte en eau a été améliorée d'environ 5 points avec un sirop à 30°Brix et d'environ 15 points avec un sirop à 50 ou 70°Brix (fig. 9). La perte en eau maximale (50%) a été obtenue lorsque les fraises avaient été prétraitées par CEP puis immergées dans le sirop le plus concentré (70°Brix) pendant 4 heures. Ces résultats sont légèrement meilleurs que ceux obtenus par Taiwo et al. (2003) suite à un prétraitement par CEP à une intensité de 1200 V/cm à raison d'un train de 5 impulsions dont la durée était de 350 μ s : la perte en eau était alors d'environ 40-45% au bout de 4 heures d'immersion. En ce qui concerne le gain en sucre, nous avons observé qu'il était également toujours plus important pour les fraises prétraitées par CEP (fig. 10). L'amélioration du gain en sucre par le prétraitement par CEP est de l'ordre de + 3 points environ au bout de 4 heures d'immersion, quel que soit le Brix du sirop de sucre. Ce résultat est sensiblement meilleur celui publié par Taiwo et al. (2003) après prétraitement par CEP (1200 V/cm, 5 impulsions de 350 μ s) en présence non pas de saccharose mais de glucose : + 1 point environ, bien que le glucose soit une molécule de taille plus petite. Malgré une incertitude assez importante sur les résultats, le prétraitement par CEP semble donc avoir permis de

doubler le gain en sucre des fraises immergées dans le sirop le plus concentré (70°Brix), avec un gain en sucre de près de 7% au bout de 4 heures d'immersion.

3.3 Etude de l'effet d'un prétraitement par CEP sur la qualité des fraises après déshydratation osmotique

A l'issue des 4 heures d'immersion dans le sirop de sucre, les échantillons ont été caractérisés en termes de texture, couleur ainsi que par évaluation sensorielle.

La figure 11 présente les caractéristiques texturales des fraises prétraitées par CEP à l'issue des 4 heures d'immersion à 26°C dans le sirop de sucre à 70°Brix. Y sont également présentées les caractéristiques texturales du même lot de fraises fraîches avant et après le prétraitement par CEP sans DO, des fraises fraîches soumises à la DO (70°Brix, 26°C, 4h) sans le prétraitement par CEP et, pour comparaison, celles d'un autre lot de fraises immergées dans un sirop à 30°Brix.

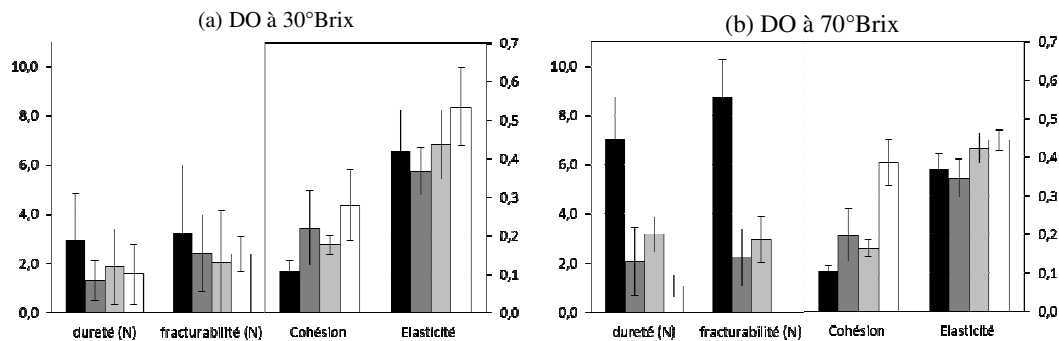


Figure 11. Caractéristiques texturales des fraises fraîches (■) après CEP (■), après DO et sans CEP (□), après CEP puis DO (□). Concentration du sirop de sucre utilisée pour la DO : (a), 30 °Brix, (b), 70°Brix.

En ce qui concerne la « dureté » et la « fracturabilité », la figure 11a indique qu'il n'y avait pas de différence significative entre les 4 catégories de produits, compte-tenu des écarts-types importants. Par contre, la figure 11b indique une différence très nette entre, d'une part, les fraises fraîches et d'autre part, les 3 autres catégories de produits. On remarquera cependant que cette différence pourrait provenir du fait que le lot de fraises fraîches (barres noires) utilisé pour la série d'essais qui ont permis le tracé de la figure 11b est beaucoup plus dur et fracturable que le lot utilisé pour la série d'essais qui ont permis le tracé de la figure 11a. Après traitement par CEP (barres gris foncé) ou après DO sans CEP (barres gris clair), la différence entre les deux lots est devenue négligeable compte-tenu des écarts-types importants. Chacun de ces deux traitements aurait permis de « lisser » les différences entre les lots de fraises fraîches. Après CEP puis DO (barres blanches), la dureté et la fracturabilité semblent avoir été affectées (diminution) seulement lorsque le sirop de sucre était le plus concentré (70°Brix) (fig. 11b). Ce résultat est sans doute la conséquence des transferts d'eau et de soluté plus importants observés avec ce sirop de sucre. En termes de « cohésion » et d'« élasticité », les deux lots de fraises fraîches étaient davantage similaires. En conséquence, on peut noter une augmentation significative de la cohésion suite au traitement par CEP (barres gris foncé) ou suite à la DO sans CEP (barres gris clair) quel que soit le degré Brix du sirop de sucre utilisé pour la DO. En outre, l'enchaînement des deux opérations CEP puis DO (barres blanches) dans le cas de la DO dans le sirop à 70°Brix, a provoqué un effet plus marqué sur la « cohésion » que dans le cas de la DO dans un sirop à 30°Brix. La perte en eau et le gain en sucre plus importants en présence d'un sirop à 70°Brix ont vraisemblablement provoqué la rétraction des produits, les rendant plus « cohésifs ». Enfin, aucun effet significatif des traitements sur l'élasticité n'a été observé. En ce qui concerne la couleur, les valeurs de clarté, L^* , sont passées de $32 (\pm 3)$ à $34 (\pm 5)$ après DO sans CEP et $37 (\pm 3)$ après CEP puis DO, et ce, quel que soit le sirop de sucre utilisé. Cette légère augmentation de la clarté est attribuée à la diffusion des pigments du milieu intracellulaire vers le milieu extérieur pendant la durée de la DO. Les coordonnées couleur, a^* et b^* , varient respectivement de 28 et 18 pour les fraises fraîches à 24 et 17 pour les fraises après DO, avec ou sans prétraitement par CEP (incertitude : ± 4). La DO après prétraitement par CEP semble avoir annulé la très légère diminution de

b* observée à nouveau ici à l'issue du prétraitement par CEP (b* = 14). Ce résultat pourrait être attribué à la rétraction des produits provoquée par la DO si bien que la vivacité de la couleur serait renforcée.

Les résultats de l'évaluation sensorielle semblent cohérents avec les résultats de mesure instrumentale de la qualité : le critère qui a le plus plu aux dégustateurs dans les fraises traitées par CEP puis par DO était leur aspect, ce qui peut être assimilé à leur couleur bien préservée. Au contraire, la texture a été le critère qui a le plus déplu, que les fraises aient été prétraitées ou non par CEP : l'augmentation notable de la cohésion observée après DO (figure 11) en est sans doute la cause. En outre, l'évaluation sensorielle a mis en évidence un probable effet des CEP sur l'odeur et le goût des fraises : l'analyse de variance des résultats de notation a mis en évidence une différence significative entre les fraises prétraitées par CEP avant DO et les fraises non prétraitées avant DO pour ces deux critères. De plus, les dégustateurs ont cité l'odeur et le goût comme critères qui leur ont le plus plu dans les fraises non prétraitées alors que le manque d'odeur et de goût étaient reprochés aux fraises prétraitées par CEP.

4. Conclusion

Au cours de cette étude, nous avons montré qu'un traitement par CEP d'intensité modérée permettait de perméabiliser rapidement et efficacement les cellules de fraises, sans effet thermique. Utilisé en prétraitement avant déshydratation osmotique, il a pour effet d'améliorer les cinétiques de transfert d'eau et de sucre : en utilisant un sirop de sucre à 70°Brix, la perte en eau a ainsi pu être améliorée d'environ 15 points et le gain en sucre a été doublé. Les effets sur la texture du produit fini ont été minimes, seule une augmentation de la « cohésion » des produits a pu être mise en évidence. La couleur n'a pas du tout été affectée. Toutefois, l'évaluation sensorielle qui a été réalisée tend à montrer une perte ou une modification de l'odeur et du goût du produit. Ce dernier résultat n'est cependant basé que sur l'avis d'un panel de 12 personnes et mériterait d'être confirmé à plus grande échelle.

Références

- AFNOR : NF 12145, 1996, Fruit and vegetable juices. Determination of total dry matter. Gravimetric method with loss of mass on drying, 1-9.
- Allali, H., Marchal, L., Vorobiev, E., 2010, Blanching of Strawberries by Ohmic Heating: Effects on the Kinetics of Mass Transfer during Osmotic Dehydration. *Food Bioprocess Technol.* 3:406–414.
- Amami, E., Vorobiev, E., Kechaou, N., 2005, Effect of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of apple tissue, *Drying Technol.*, 23(3), 581-595.
- Bchir, B., Besbes, S., Attia, H., Blecker, C., Giet, J. M., 2011, Synthèse des connaissances sur la déshydratation osmotique, *Biotechnol. Agronom. Soc. Environ.*, 15(1), 129-142.
- Ben Ammar, J., Lanoisellé, J.L., Lebovka, N., van Hecke, E., Vorobiev E., 2010, Impact of a pulsed electric field on damage of plant tissues: Effects of cell size and tissue electrical conductivity, *J. Food Sci.*, 76(1), E90-E97.
- Castello, M., Igual, M., Fito, P., Chiralt, A., 2009, Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (var. 'Granny Smith'). *J. Food Eng.* 91(1), 1-9.
- Dermesonlouoglou, E.K., Pourgouri, S., Taoukis, P.S., 2008, Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Sci. and Emerging Technol.*, 9, 542-549.
- Garcia-Segovia, P., Moggetti, C., André-Bello, A., Martinez-Monzo, J., 2010, Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloea barbadensis* Miller). *J. Food Eng.*, 97, 154-160.
- Giangiaco, R., Torreggiani, D., Abbo, E., 1987, Osmotic dehydration of fruits. Part I: Sugar exchange between fruit and extracting syrup, *J. Food Process & Preserv.*, 11, 183-195.
- Lebovka, N., Bazhal, M.I., Vorobiev, E., 2002, Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed electric fields, *J. Food Eng.*, 54(4), 337-346.
- Lebovka, N., Vorobiev, E., Chemat, F., 2012, Enhancing extraction processes in the food industry, CRC Press, USA.
- Rogov, I.A., Gorbатов, A.V., 1974, Physical methods of food treatment, *Pishevaya promyshlennost, Moscou* (en russe).
- Taiwo, K.A., Angersbach, A., Ade-Omowaye, B.I.O., Knorr, D., 2001, Effects of Pretreatments on the Diffusion Kinetics and Some Quality Parameters of Osmotically Dehydrated Apple Slices, *J. Agric. Food Chem.*, 49, 2804-2811.
- Taiwo, K.A., Eshtiaghi, M.N., Ade-Omowaye, B.I.O., Knorr, D., 2003, Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatments methods on mass transfer and product characteristics, *Int. J. Food Sci. & Technol.*, 38, 693-707.

Influence of a pulsed-electric field pretreatment on mass transfer and product characteristics of osmotically dehydrated strawberries

AGUENI^a Chérifa, VAN HECKE Elisabeth^{a†}, LANOISELLE Jean-Louis^b, CHENE Christine^c,
VOROBIEV Eugène^a

^aEA 4297 Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable,
Université de Technologie de Compiègne, BP20529 60205 Compiègne Cédex

^bEA 4250 Laboratoire d'Ingénierie des MATériaux de Bretagne,
Université de Bretagne Sud, Allée des Pommiers, 56300 Pontivy

^cADRIANOR,
rue Jacquart – ZI Est Arras, 62217 Tilloy-Les-Mofflaines

Abstract

Fruits preparations are processed fruits that are added to food products like yoghurt, ice-cream or confectionary giving them more flavour and fragrance as well as more value. Those are generally obtained by osmotic dehydration (OD) which is more precisely a “dewatering-impregnation soaking” process as two counter-current flows are involved: transfer of solute (sugar) from the solution into the fruit and water flow out of the fruit into the solution. Those mass transfers are naturally slow as they occur through the semi-permeable cell membranes. Various pre-treatments like blanching, freezing or vacuum processing have been proposed and applied with more or less success. Pulsed-Electric Fields (PEF) is one of the emerging technologies that has proved its efficiency for inducing permeabilization and damage of cell membranes, without serious defaults in the cell wall structure [1]. It is now in development at industrial scale for extraction of solutes from fruits or vegetables.

The aim of our work was to investigate the potential of a PEF-pretreatment for enhancing osmotic dehydration kinetics of strawberries without altering the quality of the final products. The impact of the intensity of the PEF on the electro-permeabilization kinetics was firstly studied. This showed that a complete permeabilization with a moderate impact on texture could be achieved rapidly (10 min treatment) and without any temperature increase by using a moderate electric field of 300 V/cm. The products were then immersed in various sugar solutions (30, 50 and 70°Brix) during 1 to 4 hours at ambient temperature (26°C). Water loss and sugar gain were systematically increased in PEF-pretreated strawberries compared to non-pretreated. The higher water loss (50% w/w water basis) and sugar gain (7% w/w total basis) were obtained after 4 hours immersion in the most concentrated sugar solution (70°Brix) after PEF pretreatment. Instrumental Texture Profile Analysis showed that the PEF pretreatment increased cohesiveness of the osmotically dehydrated samples compared to non-PEF-pretreated samples. Hardness, fracturability and elasticity were not significantly affected as well as colour as measured by a colorimeter. Finally, a sensory evaluation (12 trained testers) indicated that the aspect of the PEF-pretreated strawberries was very satisfying whereas the strawberry smell and taste seemed to be weaker in those samples. Finally, the panel found that the texture of both PEF-pretreated and non-pretreated samples was equally altered.

Keywords: osmotic dehydration, pulsed electric fields, strawberry, quality

1. Lebovka, N., Vorobiev, E., Chemat, F., 2012, Enhancing extraction processes in the food industry, CRC Press, USA.

[†] Authors(s) to whom the correspondence should be sent : Elisabeth.van-Hecke@utc.fr