

SÉCHAGE PARTIEL DES FRUITS ET LÉGUMES PAR IMMERSION DANS DES SOLUTIONS CONCENTRÉES ⁽¹⁾

S. GUILBERT et A.L. RAOULT-WACK*

INTRODUCTION

La déshydratation/imprégnation par immersion (encore appelée «déshydratation osmotique» ou «déshydratation par osmose directe») est un procédé basé sur la mise en contact de produits entiers ou découpés en morceaux, surtout des fruits et légumes avec des solutions fortement concentrées. Ceci donne lieu essentiellement à deux transferts de matière simultanés à contre-courant (PONTING et coll., 1966 ; KAREL, 1975 ; RAOULT-WACK et GUILBERT, 1990) :

1) un important départ d'eau, du produit vers la solution,
2) un transfert de soluté, de la solution vers le produit.
On observe également une perte des solutés propres du fruit quantitativement faible, mais essentielle en ce qui concerne les qualités organoleptiques (par exemple l'acidité) et nutritionnelles (notamment vitaminiques et minérales) des produits obtenus.

La déshydratation/imprégnation par immersion (DI) permet à la fois d'incorporer dans le produit des quantités contrôlées d'agents dépresseurs de l'activité de l'eau (ou de tout autre soluté à finalité fonctionnelle ou nutritionnelle), et d'enlever, sans changement de phase, jusqu'à 70 % de l'eau du produit (en g/100 g de produit initial) en travaillant à température modérée (30 à 50° C) et à l'abri de l'oxygène.

UNE LARGE GAMME D'APPLICATIONS POTENTIELLES

La déshydratation/imprégnation par immersion ne conduit généralement pas à des produits stables. Il s'agit donc d'un prétraitement de «concentration» et d'introduction contrôlée de solutés avant pasteurisation, appertisation, congélation, séchage solaire, séchage classique à l'air, sous vide, aux micro-ondes, ou par lyophilisation (2).

La déshydratation/imprégnation par immersion peut aussi être couplée à une addition d'agents de conservation (e.g. antifongiques), à une acidification (MALTINI et TORREGGIANI, 1981) et/ou à l'utilisation de couches superficielles protectrices comestibles (GUILBERT, 1988 ; GUILBERT et BIQUET, 1989), en vue de la production de produits dits «SSP» («Shelf stable products»). L'introduction d'une étape de déshydratation/imprégnation par immersion avant extraction de jus permet d'obtenir directement des concentrés de fruits ou légumes aux qualités aromatiques exceptionnelles (GUILBERT et coll., 1990). Cette technique a été également proposée pour l'obtention de moûts aromatiques moins acides et moins astringents, conduisant après fermentation à des vins de fruits aux qualités organoleptiques nettement supérieures à celles obtenues par les procédés classiques et vinification (Vyas et coll., 1989). Ces différentes voies d'applications industrielles de la déshydratation/imprégnation par immersion sont résumées sur la Figure 1.

Lorsqu'une incorporation de soluté (notamment de sucre) relativement importante est recherchée, tant pour garantir l'obtention de textures souples, que pour réduire le coût du produit fini il est préférable de parler de «semi-confisage» (confisage partiel associé à un séchage complémentaire modéré). Cette technique est très utilisée dans le Sud-Est asiatique pour la «déshydratation» de fruits tropicaux (produits de type «Apéfruits») et tendrait à se répandre en Europe.

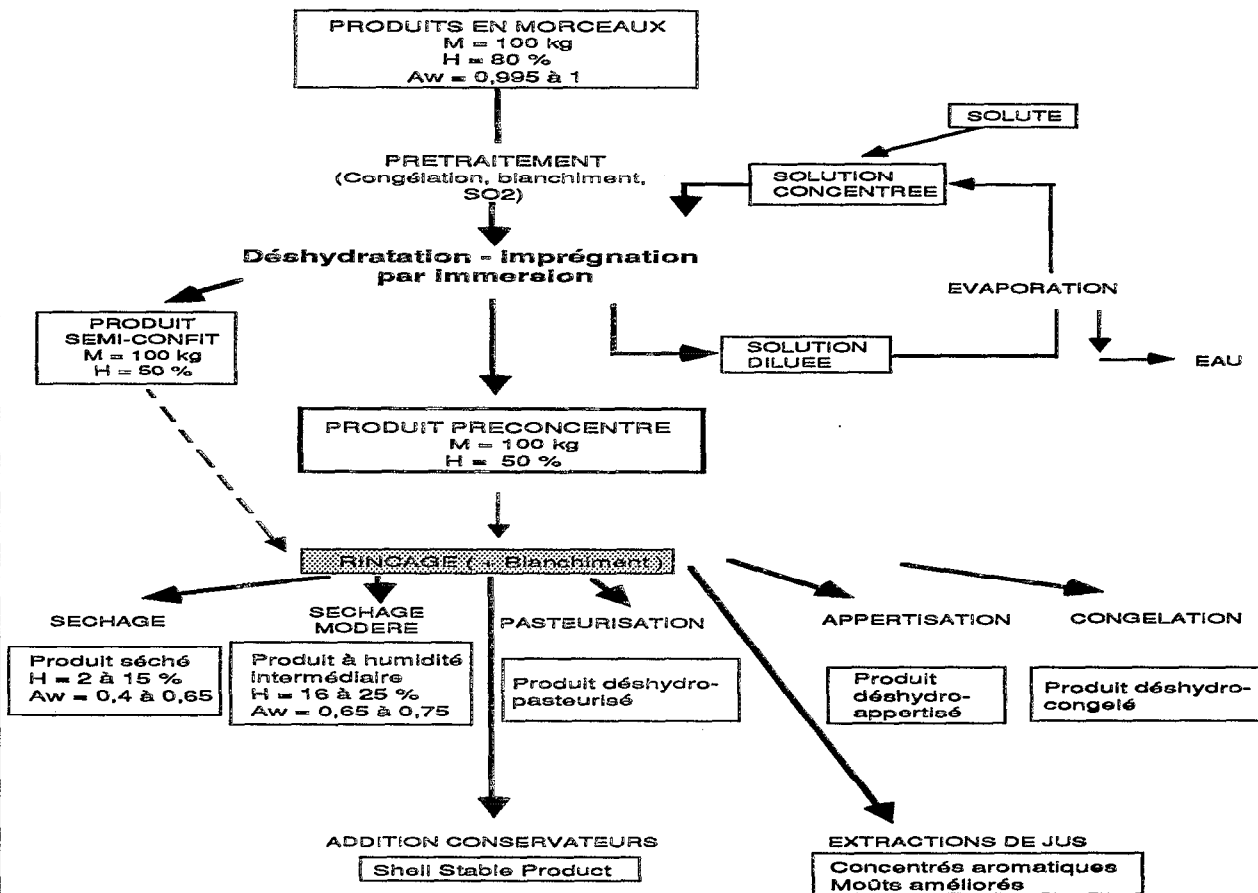
A l'heure actuelle, les applications industrielles des prétraitements de séchage partiel et d'imprégnation par immersion dans les pays industrialisés restent essentiellement limitées à des «savoir-faire» traditionnels comme le salage et le saumurage des viandes, poissons, fromages, légumes.

* CIRAD/CEEMAT : Division génie et technologique alimentaire.

(1) Article présenté aussi dans Actualités des Industries Alimentaires et Agro-Alimentaires Octobre 1990.

(2) (PONTING, 1973 ; FLINK, 1975 ; ISLAM et FLINK, 1982 ; LERICI et coll., 1983 ; ADAMBOUNOU et CASTAIGNE, 1983 ; ANDREOTTI et coll., 1985 ; TOMASICCHIO et coll., 1986 ; TORREGGIANI et coll., 1987 ; KIM et TOLEDO, 1987 ; GUILBERT, 1989 ; RAOULT-WACK et GUILBERT, 1990).

Fig. 1 — Différentes possibilités d'application industrielles du procédé de déshydratation osmotique (d'après Raoult-Wack et Gullbert, 1990).



M = masse
H = humidité
Aw = activité de l'eau

LE DOUBLE INTÉRÊT D'UN PRÉTRAITEMENT DE «CONCENTRATION» PAR DI

L'intérêt de l'introduction d'une étape de prétraitement de concentration par déshydratation/imprégnation par immersion dans un procédé classique de stabilisation est essentiellement lié aux caractéristiques nutritionnelles (vitaminiques et minérales), et organoleptiques (arômes, couleur, texture) particulièrement bonnes des produits obtenus (PONTING et coll., 1966). Ces propriétés sont d'autant plus marquées que les pertes en solutés propres du produit sont maîtrisées. Elles sont attribuées aux températures de traitement modérées (PONTING, 1973), à un moindre entraînement des composés volatils (PONTING, 1973 ; BONGIRWAR et SREENIVASAN, 1977), à un effet souvent favorable du soluté introduit à la fois sur le rapport acides/sucres (DIXON et JEN, 1977 ; VYAS et coll., 1989), la texture (LERICI et coll., 1983 ; TORREGIANI et coll., 1988) et la stabilité des pigments (HENG et coll., 1990 ; VIAL et coll., 1990) au séchage et au stockage. Il est ainsi possible de limiter l'addition de SO₂ dans les produits sensibles.

Il semble aussi que l'introduction d'une opération de «préconcentration» par déshydratation/imprégnation par immersion dans un procédé classique de stabilisation puisse entraîner de substantielles économies d'énergie (3).

En effet, on opère en phase liquide et les coefficients d'échange de chaleur et de matière sont généralement bons. De plus, l'eau est enlevée du produit sans changement de phase. Ainsi la déshydratation/imprégnation par immersion peut s'avérer plus rapide qu'un séchage classique l'air chaud, ou une lyophilisation (LEWICKI et coll., 1980 ; PAVASOVIC et coll., 1986).

L'opération de recyclage du sirop de déshydratation par reconcentration, qui constitue la deuxième étape du procédé, n'est pas limitante dans la mesure où elle peut bénéficier des techniques optimisées d'évaporation (évaporateurs à effets multiples ou à recompression

(3) FARKAS et LAZAR, 1969 ; LEWICKI et coll., 1980 ; ISLAM et FLINK, 1982 ; BOLIN et coll., 1983 ; LERICI et coll., 1983 ; PAVASOVIC et coll., 1986.

mécanique des vapeurs). Toutefois, dans de nombreux cas, il apparaît nécessaire de confirmer l'intérêt économique du procédé par des études comparatives de procédés classiques de stabilisation et de procédés comportant une étape de déshydratation/imprégnation par immersion. Une étude énergétique comparative de procédés de séchage par convection avec ou sans prétraitement de concentration par DII est en cours au CEEMAT. Soulignons que le coût du sirop de déshydratation pourra constituer dans de nombreux cas le facteur numéro un dans une évaluation technico-économique de procédés de DII. A ce titre, la gestion des volumes de sirops apparaît comme une condition de la viabilité économique de ces procédés.

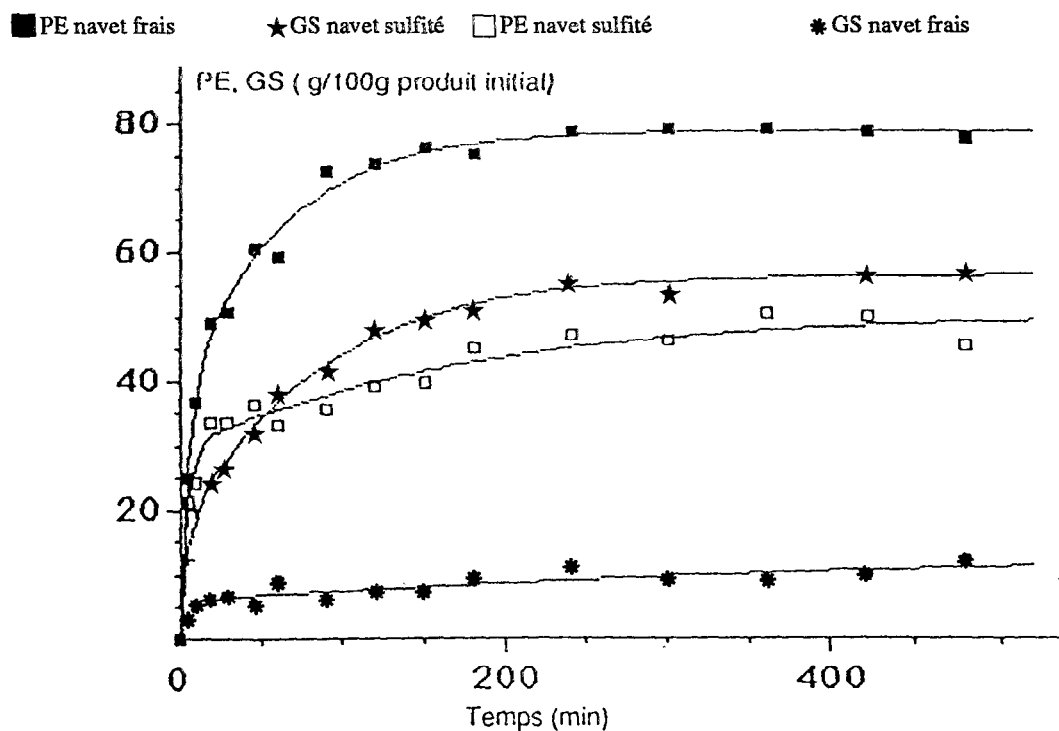
LES VARIABLES DU PROCÉDÉ

Les évolutions de la perte en eau et du gain en soluté au cours de la déshydratation/imprégnation par immersion dépendent d'une part des propriétés des tissus végétaux (éventuellement affectées par des prétraitements), et d'autre part des conditions de traitement, notamment mode de découpe des produits, température, durée, concentration et composition de la solution de déshydratation (masse molaire des solutés, présence d'ions), et type de mise en contact des phases (mélange liquide/solide).

La grande variabilité observée dans les comportements des divers fruits et légumes, au cours de la déshydratation/imprégnation par immersion, est généralement attribuée aux caractéristiques tissulaires. De nombreuses études montrent que les échanges d'eau et de soluté sont probablement influencés par la «compacité» des tissus, le taux initial en matières insolubles, l'importance relative des espaces intercellulaires et la présence de gaz occlus (puisque la conduite du procédé sous vide peut favoriser les transferts de matière), le taux de gélification des substances pectiques, la nature des solutés propres et des activités enzymatiques des produits traités...

En pratique tout ce qui est préjudiciable à l'intégrité des tissus végétaux, comme la surmaturité, la mise en œuvre de prétraitements thermiques (e.g. congélation ou blanchiment), chimiques (e.g. sulfitation) ou enzymatiques, favorise le gain en soluté aux dépens de la perte en eau. L'évolution de la perte en eau (PE) et du gain en soluté (GS) au cours de la déshydratation/imprégnation par immersion à 50°C dans une solution de saccharose à 60 g de soluté pour 100 g de solution, soit 60° Brix, de cubes (0,9 à 1 cm d'arête environ) de navet frais ou sulfité est donnée à titre d'exemple sur la Figure 2.

Fig. 2 — Traitement de cubes de navet frais ou sulfité (arête = 0,9 à 1 cm)
(d'après Raoult-Wack et Guilbert, 1990).
Evolution de la perte en eau (PE) et du gain en soluté (GS) en fonction du temps
(agitation dans une solution de saccharose à 60° et à 50°C).



Dans les conditions les plus courantes, l'essentiel des transferts a lieu pendant les deux premières heures de traitement (GUENNEUGUES, 1986 ; TORREGIANI et coll., 1987). Ensuite, les échanges ralentissent progressivement et la perte en eau s'annule alors que le gain en soluté continue à augmenter régulièrement. Le produit tend alors à regagner du poids du fait de l'incorporation de soluté, et des temps de traitement longs conduisent à des produits riches en solutés (KAREL, 1975). Il s'avère généralement difficile d'allier au-delà d'une réduction de poids de 50% (PONTING et coll., 1966), ce qui correspond à des durées de traitement de 1 à 5 heures, selon les conditions opératoires imposées (température, agitation), pour des solutions très concentrées et des petits morceaux.

La déshydratation/imprégnation par immersion des fruits et des légumes est généralement favorisée en mettant en œuvre des solutions fortement concentrées, et des produits découpés en morceaux de petite taille. En effet, une augmentation de la différence de concentration entre le produit et la solution a un effet très favorable sur la perte en eau, mais sans affecter le gain en soluté, d'où une réduction de poids croissante avec la concentration de la solution de déshydratation (PONTING et coll., 1966 ; FARKAS et LAZAR, 1969 ; BONGIRWAR et SREENIVASAN, 1977).

L'utilisation de sirops de fortes concentration permet aussi de réduire la perte en solutés hydrosolubles, tel que la vitamine C (VIAL et coll., 1990), peut-être en raison de la formation d'une couche barrière périphérique concentrée en soluté s'opposant au départ des solutés du produit.

Il a été montré par ailleurs qu'une augmentation de la surface spécifique des morceaux augmente la vitesse de déshydratation (ISLAM et FLINK, 1982 ; LERICI et coll., 1985), jusqu'à un seuil à partir duquel le traitement de produits trop divisés se traduit par des gains en soluté plus importants (LERICI et coll., 1985), probablement parce que les échanges de soluté sont limités à la périphérie des produits (RAOULT-WACK et GUILBERT, 1990).

De nombreux travaux sont conduits à température ambiante mais il est possible d'accélérer considérablement l'évolution des principaux paramètres du procédé en augmentant la température de traitement. Ceci se traduit par une augmentation de la réduction de poids, qui signifie que, globalement, la perte en eau a été favorisée aux dépens de l'entrée de soluté. La mise en œuvre de traitements de déshydratation/imprégnation par immersion «haute température courte durée» permet d'obtenir la même réduction de poids en 3 minutes à une température supérieure à 80°C, qu'en trois heures de traitement à température ambiante (LERICI et coll., 1986). En fait les températures trop «élevées», c'est-à-dire au-delà de 60°C, affectent les propriétés des tissus végétaux de telle sorte que le gain en soluté se trouve favorisé, aux dépens de la perte en eau (HARTAL, 1967).

Tous les solutés très solubles, ou les solvants miscibles à l'eau, possédant une masse molaire relativement faible, peuvent être utilisés (seuls ou en mélange) pour la formulation de solutions de déshydratation/imprégnation par immersion.

Les solutés mis en œuvre doivent, bien entendu, être dépourvus de toxicité, être peu coûteux et avoir une solubilité élevée pour la mise en œuvre des solutions fortement concentrées, sans si possible, développer de trop fortes viscosités. Par ailleurs, ils doivent être compatibles avec les caractéristiques physicochimiques (pH, structure, etc.) et organoleptiques (saveur propre compatible avec celle de l'aliment) de l'aliment.

Ces agents, couramment appelés agents dépresseurs de l'activité de l'eau (A_w) ainsi que leurs propriétés ont été passés en revue par Guilbert (1990). Ils sont aussi utilisés comme agents humectants, pour assouplir la texture de nombreux aliments.

Leur efficacité en tant que soluté de déshydratation dépend de leur pouvoir dépresseur de l' A_w , qui est en première approximation d'autant plus important que la fraction molaire de l'eau est abaissée, et que les interactions développées avec l'eau permettent d'augmenter son «niveau d'organisation». L'efficacité d'un soluté de déshydratation est aussi affectée par la vitesse à laquelle il peut migrer dans l'aliment et de ce point de vue, l'utilisation de solutés de masses molaires plus élevées, par exemple des sirops de glucose de «Dextrose Equivalent» moyen, dont le coefficient de diffusion est plus faible, est favorable.

Ces deux exigences sont généralement contradictoires en termes de performances de la déshydratation mais aussi en termes de caractéristiques organoleptiques des produits finis, en raison des modifications de saveur ou de texture, qui dépendent du taux de pénétration du soluté.

A cet égard, il est souvent nécessaire de déterminer expérimentalement le soluté, ou le mélange de soluté le plus adapté à un produit donné.

Dans certains cas, la mise en œuvre d'un procédé de déshydratation/imprégnation par immersion en deux temps, dans une solution de déshydratation composée par exemple de solutés possédant une masse molaire relativement élevée (par exemple, sirop de glucose de «DE» 20-25 dont la masse molaire moyenne est d'environ 700) puis dans une solution de soluté (s) d'imprégnation permet de «séparer» et ainsi de mieux contrôler les phases de déshydratation proprement dite et d'incorporation d'un soluté choisi (Raoult-Wack et Guilbert, 1990). Le soluté incorporé peut alors être un soluté à finalité nutritionnelle (e.g. substance de charge à faible pouvoir énergétique, nutriment spécifiques, vitamines, minéraux), un agent de conservation (e.g. antimicrobien, antioxydant) et/ou un agent améliorant des propriétés sensorielles (e.g. arôme, édulcorant, colorant, agent de texture).

Cette technique est très prometteuse dans la mesure où elle permet de «formuler» un aliment sans affecter son intégrité.

Les problèmes de mise en contact des phases solide fractionnée (produit en morceaux) et liquide (sirop de déshydratation) constituent une limitation importante au développement industriel des applications du procédé. En effet, les produits ont tendance à flotter sur la solution, en raison de la différence des masses volumiques entre les fruits ($\mu = 0,8$ kg/l en moyenne) et le sirop ($\mu = 1,3$ kg/l pour une solution de saccharose à 60° brix). En outre, la viscosité des sirops implique une résistance externe importante aux transferts de matières d'où une influence favorable de l'agitation, (surtout pour les solutions concentrées) sur la réduction du poids obtenue et sur la vitesse des échanges (PONTING et coll., 1966 ; HAWKES et FLINK, 1978 ; BONGIRWAR et SREENIVASAN, 1977 ; PAVASOVIC et coll., 1986). La fragilité des fruits et légumes en morceaux rend délicat la mise en œuvre de cette agitation. Divers systèmes possibles ont été proposés et/ou expérimentés : brassage périodique des deux phases dans un récipient (ADAMBOUNOU et CASTAIGNE, 1983 ; BOLIN et coll., 1983), produit immergé dans le sirop par une assiette perforée (CAMIRAND et coll., 1968), lit fixe percolé par la solution (FARKAS et LAZAR, 1969 ; FLINK, 1975 ; DIXON et coll., 1976 ; DIXON et JEN, 1977 ; HAWKES et FLINK, 1978 ; CONWAY et coll., 1983 ; PAVASOVIC et coll., 1986), assiettes perforées vibrantes (PAVASOVIC et coll., 1986), lit fluidisé en phase liquide inverse (Essais en cours au laboratoire du CEEMAT) ou même oscillations acoustiques dans le sirop (Rogachev et Kilenzo, 1973).

Dans la plupart des cas, le procédé est conduit en batch. La mise au point de dispositifs continus pour la déshydratation/imprégnation par immersion est particulièrement délicate compte-tenu de l'importance des temps de traitements (sauf dans le cas de tranches très fines). Des dispositifs en colonnes (PAVASOVIC et coll., 1986) permettant un cheminement très lent des particules (2 à 5 heures) au sein du liquide ou des dispositifs en «piscine» avec transport mécanique des produits à co- ou contre-courant, ont été proposés. La mise au point (en collaboration avec le CEMAGREF, L'ENSIA et les Ets UTA) d'un équipement continu et automatisé est en cours au CEEMAT.

VERS UNE MEILLEURE MAÎTRISE DES PROCÉDÉS DE DII

Jusqu'à présent, les mécanismes régissant les transferts d'eau et de soluté en DII, au sein des structures cellulaires complexes qui composent les tissus végétaux ont été relativement peu étudiés et restent mal maîtrisés.

Les échanges d'eau et de soluté au sein du produit immergé dans la solution concentrée sont presque

toujours interprétés par des mécanismes d'osmose à travers les membranes cellulaires dite «semi-perméables» (PONTING, 1973 ; LENART et FLINK, 1984 a et b ; LERICI et coll., 1985 ; PAVASOVIC et coll., 1986). Les modèles existants, de nature corrélative, sont pourtant le plus souvent basés sur l'hypothèse que les transferts macroscopiques peuvent être décrits par un modèle fickien, en régime non stationnaire. Les coefficients de diffusion identifiés par régression ont un domaine de validité limité aux conditions opératoires explorées, et représentent dans la plupart des cas à la fois le transfert d'eau et le transfert de soluté. Ils sont donc peu utilisables en terme de maîtrise technologique du procédé.

Récemment, TOUPIN et coll. (1989) ont proposé un modèle mathématique de simulation des flux d'eau et de soluté dans des tissus de réserve végétaux, (betterave, pomme de terre) en prenant en compte les caractéristiques de la membrane cellulaire, ainsi que d'autres caractéristiques structurales et biophysiques. Les lois phénoménologiques utilisées sont des lois de Fick du second degré généralisées ; les interactions entre les cellules et leur environnement immédiat sont décrites par des équations de transport dérivées de la théorie de la Thermodynamique des Processus Irréversibles. Une étude comparative de l'influence des différentes propriétés cellulaires et tissulaires sur les cinétiques de transfert de matière ont montré que c'est bien la membrane cellulaire qui représente la principale résistance au transport dans les tissus végétaux étudiés (Toupin et Le Maguer, 1989).

Par ailleurs, des résultats récents (RAOULT-WACK et coll., 1989 et 1990 a) ont montré qu'il est possible d'obtenir les phénomènes caractéristiques du procédé de déshydratation/imprégnation par immersion (une perte en eau élevée, avec gain en soluté réduit, restant localisé à la périphérie de la particule pendant des temps relativement longs (2 heures) sur des gels aqueux d'agar-agar (pas de membrane cellulaire) immergés dans des solutions concentrées de sucre, en jouant uniquement sur les variables du procédé (mise en contact des phases, température, concentration de la solution, composition de l'aliment modèle). La formation d'une couche fortement concentrée en soluté en périphérie du gel aurait un rôle-clé dans l'évolution des cinétiques, et favoriserait notamment la perte en eau aux dépens du gain en soluté. Ces observations ont d'ailleurs conduit à proposer une simulation simple des transferts d'eau et de soluté par un modèle compartimental à trois paramètres ajustables (RAOULT-WACK et coll., 1990 b). L'application de ce type de modèle au contrôle-commande de procédés de DII est en cours au CEEMAT, en collaboration avec l'ENSIA et le CEMAGREF.

Ces dernières observations pourraient remettre en cause dans certaines situations le rôle majeur attribué aux membranes cellulaires dans les procédés de DII.

Dans tous les cas, il apparaît donc nécessaire d'arriver à une meilleure compréhension de l'importance relative, au sein de matrices le plus souvent fortement déformables, d'une part des phénomènes de diffusion simultanée d'eau et de soluté et des interactions entre les flux, d'autre part de phénomènes liés à la présence des membranes cellulaires «semi-perméables» et aux autres structures tissulaires. Ceci est d'autant plus vrai que l'on est souvent amené à travailler sur des systèmes alimentaires dans lesquels les structures tissulaires ont pu être affectées par l'état de maturation, ou des prétraitements (thermiques ou chimiques).

La présence des solutés, qui sont le plus souvent inégalement distribués dans les tissus (végétaux ou animaux) à l'issue du prétraitement de concentration par immersion, est un facteur essentiel à prendre en compte dans la maîtrise de l'étape complémentaire de stabilisation. Une étude de modélisation et d'optimisation de procédés combinés de DII et de séchage par convections est en cours au CEEMAT, en collaboration avec l'ENSIA.

CONCLUSION

Les récents progrès accomplis en matière de maîtrise de la déshydratation/imprégnation par immersion (contrôle des taux de déshydratation et des taux d'incorporation de soluté, de la nature du ou des solutés incorporés, réduction des pertes de solutés propres du produit, couplage avec de nombreux pré et post traitements technologiques etc.) permettent d'envisager le développement d'une large gamme d'applications du

procédé. La double approche, appliquée et fondamentale, de développement simultané de produits et de modèles de connaissance (notamment grâce à l'application de la thermodynamique des processus irréversibles qui est facilitée par le fait que les transferts sont isothermes et sans changement de phase ; ce qui n'est pas le cas en séchage par convection), ouvre la voie d'une analyse approfondie de l'effet de la structure des tissus végétaux sur les transferts de matière. L'ensemble des procédés de déshydratation/imprégnation de produits alimentaires d'origine végétale, mais aussi animale (c.à.d. les procédés de salage, saumurage, marinades et imprégnation par des agents cryoprotecteurs de viandes, poissons, caillés de lait, etc.) devrait pouvoir tirer profit de cette avance.

De meilleures connaissances en matière de conduite industrielle du procédé (maîtrise de la concentration et gestion du volume des sirops, automatisation et contrôle du procédé...), ainsi que la mise au point d'équipements spécifiques notamment pour le contact approprié des phases liquide et solide ; apparaissent toutefois encore nécessaires.

C'est le concept de formulation du produit, associé à une déshydratation partielle, qui marque la principale différence par rapport aux procédés classiques de séchage. La maîtrise technologique du flux d'eau sortant en cours de DII passe par la maîtrise des transferts de solutés, et de plus en plus, l'imprégnation du produit en solutés à l'issue de cette étape est utilisée pour modifier les propriétés fonctionnelles organoleptiques ou nutritionnelles de l'aliment.

BIBLIOGRAPHIE

ADAMBOUNOU T.L. et CASTAIGNE F., Déshydratation par osmose des bananes et détermination des courbes de sorption isotherme, *Lebensm. -Wiss. u.-Technol.*, vol. 16, p.230-234 (1983).

ANDREOTTI R., TOMASICCHIO M., De GIORGI A. et PALAMAS D., Conservazione di pesche parzialmente desidratate per osmosi diretta, *Industria conserve*, n°60 p. 96-98 (1985).

BOLIN H.R., HUXSOLL C.C., JACKSON R. et NG K.C., Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality, *J. Food Sci.*, vol. 48, p. 202-205 (1983).

BONGIRWAR D.R. et SREENIVASAN A., Studies of osmotic dehydration of banana, *J. Food Sci. Technol.*, vol. 14 p. 104-112 (1977).

CAMIRAND W.M., FORREY R.R., POPPER K., BOYLE F.P. et STANLEY W.L., Dehydration of membranecoated foods by osmosis, *J. Sci. Fd. Agric.*, vol. 19, p. 472-474 (1968).

DIXON G.M. et JEN J.J. A research note - Changes of sugar and acids of osmotic-dried apple slices, *J. Food Sci.*, vol. 42, n°4, p. 1126-1127 (1977).

DIXON G.M., JEN J.J. et PAYNTER V.A., Tasty apple slices resultats from combined osmotic-dehydration, and vacuum-drying process, *Food Product Development*, vol. 10, n°7, p. 60-66 (1976).

FARKAS D.F., LAZAR M.E., Osmotic dehydration of apple pieces : effect of temperature and syrup concentration on rates, *Food Technol.*, vol. 23, p. 688-690 (1969).

FLINK J.M., Process conditions for improved flavor quality of freeze dried foods, *J. Agr. Food Chem.*, vol. 23, p. 1019-1026 (1975).

GUENNEUGUES P., Étude thermodynamique des transferts de masse en déshydratation osmotique, D.E.A., E.N.S.I.A., Massy, France (1986).

GUILBERT S., Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods : application to the protection of tropical fruit dehydrated by osmosis in «Food Preservation by moisture control», Elsevier Applied Science Publishers, Londres, C.C. Seow ed. p. 199-220 (1988).

GUILBERT S., BIQUET B., Les films et enrobages comestibles in «L'emballage des denrées alimentaires de grandes consommation», LAVOISIER Tec et Doc, Paris, J.L. Multon et G. Bureau eds., p. 320-359 (1989).

GUILBERT S., Procédés de fabrication de tranches semi-confites de kiwi-fruits, brevet européen CEEMAT n° 89/440055 (1989).

GUILBERT S., PEREZ A., CROUZET J., Procédé de fabrication de concentré de fruits ou légumes, notamment de tomate, brevet français CEEMAT n° 90/04634 (1990).

GUILBERT S., Additifs et agents dépresseurs de l'activité de l'eau, in «Additifs et Auxiliaires de Fabrication utilisés dans les industries alimentaires» 2ème édition, Multon J.L. coordonateur ; Tec et Doc., LAVOISIER-APRIA, Paris, p. 199-227 (1990).

HARTAL D., Osmotic dehydration with sodium chloride and other agents, Ph. D. in Food Technol., University of Illinois (1967).

HAWKES J. et FLINK J.M., Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *J. Food Proc. Pres.*, vol. 2, p. 265-284 (1978).

HENG W., GUILBERT S., CUQ J.L., Osmotic Dehydration of Papaya : Influence of process variables on the quality, à paraître dans *Sciences des Aliments* (1990).

ISLAMM.N. et FLINK J.N., Dehydration of POTATOE. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour, *J. Food Technol.*, vol. 17 p. 387-403 (1982).

KAREL M., Osmotic drying, in «Principles of Food Science-Part II», Fennema, ed., N.Y., p. 348-357 (1975).

KIM M.H. et TOLEDO R.T., Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries, *J. Food Sci.*, vol. 52, n° 4, p. 980 (1987).

LENART A. et FLINK J.M., Osmotic concentration of POTATCES. II. Spatial distribution of the osmotic effect, *J. Food Technol.*, vol. 19 p. 65-89 (1984 a).

LENART A. et FLINK J.M., Osmotic concentration of potatoes. I. Criteria for the end-point of the osmotic process, *J. Food Technol.*, vol. 19, P. 45-63 (1984 b).

LERICI C.R., MASTROCOLA D., PINAVIA G., Esperienze di osmosi diretta ad alta temperatura per tempi brevi, *Industria conserve*, n° 61, p. 223-225 (1986).

LERICI C.R., PINNAVAIA G., DALLA ROSA M. et BARTOLUCCI L., Osmotic dehydration of fruits : Influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality, *J. Food Sci.*, vol. 50, p. 1217-1226 (1985).

LERICI C.R., PINNAVAIA G., DALLA ROSA M. et MASTROCOLA D., Applicazione dell'osmosi diretta nella desidratazione della frutta, *Ind. aliment.*, vol. 3, p. 184-190 (1983).

LEWICKI P.P., LENARD A. et MLYNARCKZYK G., Comparaison de la consommation énergétique lors de la déshydratation des pommes par des méthodes de séchage par convection et par osmose, *Przemysl Fermentacyjny I Orwocowo-Varsovie*, vol. 24, p. 24-25 et 64 (1980).

MALTINI E. et TORREGGIANI D., A new application of osmosis : the production of shelf-stable fruits, *Proc. 246th Event Europ. Fed. Chem. Eng.*, Milan, Italy, p. 55 (1981).

PAVASOVIC V., STEFANOVIC M. et STEVANOVIC R., Osmotic dehydration of fruit, in «Drying 86», vol. 2, Hemisphere Publishing Corporation, A.S. Mujumbar ed., p. 761-764 (1986).

PONTING J.D., Osmotic dehydration of fruits - Recent modifications and applications, *Proc. Biochem.*, n°8, p. 18-20 (1973).

PONTING J.D., WALTERS G.G., FORREY R.R., JACKSON R. et STANLEY W.L., Osmotic dehydration of fruits, *Food Technol.*, vol. 20, p. 125-128 (1966).

RAOULT A.L., LAFONT F., RIOS G. et GUILBERT S., Osmotic dehydration : study of mass transfer in terms of engineering properties, In «Drying 89», Hemisphere Publishing Corporation, N.Y., A.S. Mujumbar and M. Roques ed., p. 487-495 (1989).

RAOULT-WACK A.L. et GUILBERT S., La déshydratation osmotique ou procédé de déshydratation imprégnation par immersion dans des solutions concentrées, in *Les Cahiers de l'ENS.BANA «L'eau dans les procédés de transformation et de conservation des aliments»*, Tec. et Doc., LAVOISIER, Paris, M. Le Mesite, B. Colas eds, 7, p. 171-192 (1990).

RAOULT-WACK A.L., GUILBERT S., Le MAGUER M. et RIOS G., Simultaneous water and solute transport in shrinking media. Part 1 -Application to dewatering and impregnation soaking process analysis-, à paraître dans *Drying Technology* (1990 a).

RAOULT-WACK A.L., PETITEDEMANGE F., GIROUX F., RIOS G., GUILBERT S., LEBERT A., Simultaneous

water and solute transport in shrinking media. Part 2 -A compartmental model for the control of dewatering and impregnation soaking processes-, à paraître dans Drying Technology (1990 b).

ROGACHEV V.I. et KISLENKO I.I., Combined methods of decreasing water activity in fruits under preservation, Acta Aliment., vol. 2, p. 245-250 (1973).

TOMASICCHIO M., ANDREOTTI R. et De GIORGI A., Disidratazione parziale della frutta per osmosi II. ananas, fragole e susine, Industria conserve, vol. 61, p. 108-114 (1986).

TORREGIANI D., FORNI E. et RIZZOLO A., Osmotic dehydration of fruit Influence of the osmosis time on the stability of processes cherries, J. Food Proc. Pres., vol. 12, p. 27-44 (1987).

TOUPIN C.J., MARCOTTE M., Le MAGUER M., Osmotically induced mass transfer in plant storage tissues : a mathematical model - part 1, J. of Fd. eng., 10, P. 13-38 (1989).

TOUPIN C.J. et Le MAGUER M., Osmotically induced mass transfer in plant storage tissue : a mathematical model - part 2, J. of Fd. Eng., 10, p. 97-121 (1989).

VIAL C., GUILBERTS., CUQ J., Osmotic Dehydration of kiwi-fruits : Influence of process variables on the color and ascorbic acid content, à paraître dans Sciences des Aliments (1990).

VYAS K.K, SHARMA R.C., JOSHI V.K., Application of osmotic technique in plum wine fermentation : effect on physico-chemical and sensory qualities, J. Fd. Sci. Technol., vol. 26, 3, p. 126-128 (1989).