HAL open science

Comparaison de quelques techniques de concentration des jus de fruits

Mathilde Courel, Olivier Jariel, Max Reynes, Marie-Noelle Durand, Manuel Dornier, Philippe Deblay

To cite this version:

Mathilde Courel, Olivier Jariel, Max Reynes, Marie-Noelle Durand, Manuel Dornier, et al.. Comparaison de quelques techniques de concentration des jus de fruits. Fruits, 1996, 51, pp.437-450. mnhn-03922631

HAL Id: mnhn-03922631

https://mnhn.hal.science/mnhn-03922631

Submitted on 4 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comparaison de quelques techniques de concentration des jus de fruits

O Jariel
M Reynes
M Courel
N Durand
M Dornier*
Cirad-Flhor
Maison de la technologie
BP 5035
34032 Montpellier cedex 01
France

P Deblay
Société Cogia
X-Pôle
Route de Saclay
91128 Palaiseau cedex
France

* Correspondance
et tirés à part

Comparaison de quelques techniques de concentration des jus de fruits.

RÉSUMÉ
La concentration des jus de fruits permet de diminuer le volume des quantités stockées et transportées et donc les coûts supportés par les industriels. Les différents procédés disponibles aujourd'hui sont présentés successivement. Les procédés thermiques (procédés d'évaporation et cryoconcentration) ainsi que les procédés membranaires de concentration (pervaporation, couplage ultrafiltration / osmose inverse, osmoses inverse et directe, distillation membranaire et évaporation osmotique) sont tour à tour analysés et leur fonctionnement est décrit, en mettant en évidence les avantages et les inconvénients de leur utilisation respective. Les efforts vont vers la recherche de techniques nouvelles qui permettraient de conserver, après concentration, les qualités du jus frais.

Comparison of some fruit juice concentration techniques.

ABSTRACT
The volume of stored and shipped fruit can be reduced by processing fruit juice into concentrates. This will also decrease manufacturers' costs. Different procedures that are currently available are presented. Thermal (evaporation and cryoconcentration) and membrane concentration processes (pervaporation, combined ultrafiltration/inverse osmosis, reverse and direct osmosis, membrane distillation and osmotic evaporation) are analysed and their performances described, while highlighting their respective advantages and drawbacks. Research is now focused on finding new techniques for obtaining concentrated fruit juices of the same quality as fresh juices.

Comparación de algunas técnicas de concentración de los jugos de frutas.

RESUMEN
La concentración de los jugos de frutas permitió disminuir el volumen de las cantidades almacenadas y transportadas y por consecuencia los costos soportados por los industriales. Los diferentes métodos disponibles hoy son presentados sucesivamente. Los métodos térmicos (métodos de evaporación y crioconcentración) así como los métodos membranarios de concentración (pervaporación, acoplamiento ultrafiltración / osmosis inversa, osmosis inversas y directas, distilaciones membranarias y evaporación osmótica) son por turno analizados y su funcionamiento es describido, poniendo en evidencia las ventajas y los inconvenientes de su utilización respectiva. Los esfuerzos van hacia la investigación de técnicas nuevas que permitirían conservar, después concentración, las calidades de los jugos frescos.

Reçu le 18 décembre 1996
Accepté le 24 février 1997

Fruits, 1996, vol 51, p 437-450
© Elsevier, Paris

MOTS CLÉS
Jus de fruit, technologie alimentaire, traitement, concentration.

KEYWORDS
Fruit juices, food technology, processing, concentrating.

PALABRAS CLAVES
Jugo de frutas, tecnología de los alimentos, procesamiento, concentración.

introduction

Pour le seul marché français, la consommation de jus de fruits, en 1994, s'est élevée à 687,7 millions de litres (AUBRIL, 1995). Un tel volume est incompatible avec le transport de jus sous une forme autre que concentrée. La concentration est, en effet, une étape essentielle de la production de jus de fruits, car elle permet de diminuer le volume des produits, donc le coût du stockage et du transport pour lequel l'économie est particulièrement intéressante sur les longues distances.

Depuis le milieu des années 1970, le marché européen des jus de fruits et nectars a littéralement explosé. Entre 1987 et 1990, les ventes ont augmenté de plus de 60 % en valeur. En France, qui est du reste un faible consommateur de jus de fruits comparé à son voisin l'Allemagne, le chiffre d'affaires de ce secteur est de plus de 5 milliards de francs et les taux de croissance annuels sont prometteurs puisqu'ils dépassent les 25 % en volume (LOEILLET, 1994). De plus, la France possède un important potentiel de croissance dans le domaine des boissons rafraîchissantes sans alcool (BRSA). Deuxième pays européen pour la consommation per capita d'eaux minérales, derrière l'Italie, elle est en retard en ce qui concerne les jus et nectars de fruits (13e rang). En 1991, le Français a consommé 12 l de jus de fruits, l'Allemand et l'Autrichien le triple, le Finlandais cinq fois plus. Le marché français des BRSA est en plein développement. En 1993, à 2,43 milliards de litres, il a progressé, en volume, de 5,7 %. Les leaders incontestés de cette croissance à l'échelle européenne sont les jus de fruits, avec + 10 % en valeur (4,64 milliards de francs) et + 13 % en volume (646,4 milliards de litres).

La croissance du marché des jus de fruits peut être expliquée en partie par le changement des habitudes alimentaires des consommateurs. En effet, les jus de fruits, qui dans la plupart des pays, étaient consommés au petit déjeuner, deviennent des boissons consommées à toute heure de la journée. Ces habitudes alimentaires peuvent être associées aux tendances naturelles, saines, nutritionnelles, en vogue actuellement. Indépendamment du jus d'orange et du jus de pomme qui sont très appréciés, on note, en France, une certaine évolution de la consommation vers les cocktails de fruits tropicaux et, en Allemagne, vers les jus multivitaminés à base d'orange ou d'ananas additionnés de fruits de la passion, de mangues ou autres fruits exotiques.

Il va de soi que les pays exportateurs de concentrés devraient bénéficier de la croissance de la demande mondiale. Toutefois cette croissance reste conditionnée par la stabilité des prix et par la faculté des exportateurs à maintenir un approvisionnement constant non seulement en volume mais aussi en qualité. Les prix des concentrés dépendent donc de facteurs tels que l'offre et la demande, mais aussi de la nature du fruit, de sa qualité, des méthodes de transformation et de conditionnement.

La concentration des jus de fruits répond à la fois à des contraintes économiques, relatives aux coûts de production, de stockage ou de transport et à une tendance de cette industrie à utiliser, de plus en plus fréquemment, des concentrés pour élaborer des boissons et jus.

Les procédés de concentration ont évolué parallèlement au marché des concentrés et des essences de jus de fruits. Depuis l'apparition des techniques d'évaporation, ils se sont diversifiés et cela toujours dans le sens d'une amélioration de la qualité du concentré.

Cet article présente les principaux procédés aujourd'hui disponibles et apporte quelques éléments de comparaison.

les procédés thermiques de concentration

les procédés d'évaporation

Ils consistent à évaporer une partie de l'eau du jus par vaporisation au contact d'une surface chaude. Cette opération est effectuée

dans un échangeur de chaleur chauffé par de la vapeur. Avant récupération, le jus concentré est isolé des buées dans un séparateur. Ces procédés répondent à deux règles fondamentales qui sont :
– avoir une surface d'échange maximale entre le produit et le fluide chauffant,
– utiliser le vide pour diminuer la température d'ébullition du produit et ainsi limiter les dégradations thermiques.

concentrateurs conventionnels

les évaporateurs à plaques à film tombant

Le concentrateur FFPE (Falling Film Plate Evaporator) de la société APV et le concentrateur ACE (Alfa Laval Cassette Evaporator) d'ALFA LAVAL (figure 1) sont représentatifs de cette catégorie. Les appareils sont constitués par des groupes de plaques jointées, placées en parallèle sur un bâti. Le produit pénètre par le haut des plaques qui sont chauffées de l'autre côté par de la vapeur. Le produit circule par gravité en formant un film au niveau de la surface d'échange, ce qui permet de favoriser les transferts de chaleur.

Le produit est porté à ébullition dans chaque module et le mélange concentré/buées est envoyé dans un séparateur cyclone d'où est extrait le concentré. Les buées sont envoyées vers le condenseur ou vers un autre corps de chauffe appelé second effet (figure 2).

Ce type d'évaporateur fonctionne en continu grâce à l'utilisation de plusieurs effets. Le recyclage du produit est évité et la consommation en vapeur de chauffe est réduite.

Le produit est en général concentré à 40-45 °C et le temps de contact avec le fluide chauffant est de l'ordre de 2 min (évaporateur 4 effets) pour amener un produit de 12 à 60 °Brix. Selon le nombre d'effets et la surface des plaques, la capacité évaporatoire s'étend de 450 à 15 000 l d'eau/h.

les évaporateurs tubulaires à film tombant

Le concentrateur Superuniterm de la société BERTUZZI et le FFTE (Falling Film Tubular Evaporators) de la société APV (figure 3) peuvent être cités en exemple. La solution à concentrer est admise au sommet de tubes verticaux et est vaporisée partiellement durant sa descente le long des parois internes du tube, l'extérieur étant chauffé par de la vapeur. Le liquide descendant de plus en plus vite sous forme de film mince uniformément réparti, le produit n'est exposé que pendant un temps court à la surface de chauffe (3 min à une température de 40 °C dans un évaporateur 4 effets).

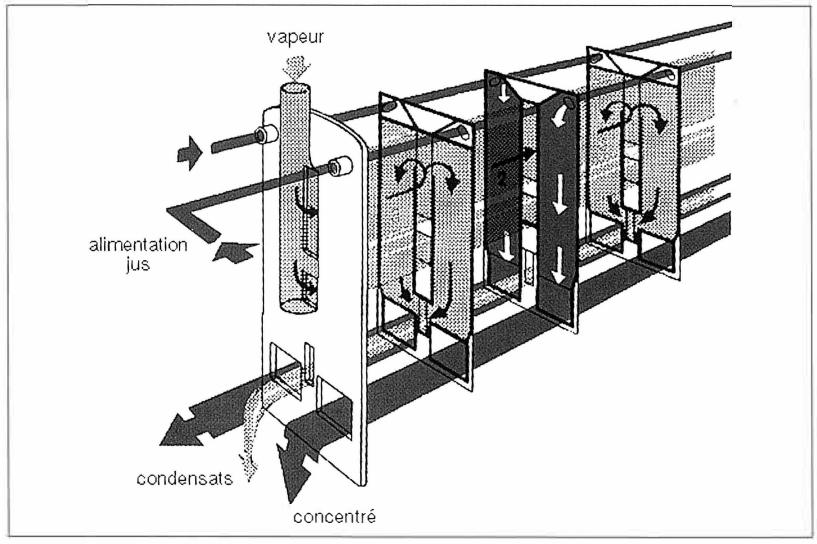


Figure 1
Schéma de principe de l'évaporateur à plaques à film tombant de la société APV.

Malgré un temps de contact produit/fluide chauffant plus long que pour les évaporateurs à plaques, ce type de concentrateur est particulièrement économique en terme d'investissement. Il est apprécié pour son faible encombrement et sa simplicité de fonctionnement.

concentrateurs basse température

L'exposition d'un jus de fruit à une température de 40 °C, ne serait-ce que 2 à 3 min, a des effets néfastes sur la qualité du produit (FELLERS, 1986). Des concentrateurs, capables d'évaporer l'eau à très basse température (20 °C) sous un vide poussé (2 kPa absolu), avec une capacité évaporatoire de 150 à 1 200 l d'eau/h, ont été développés et ils sont actuellement surtout utilisés dans le domaine vinicole.

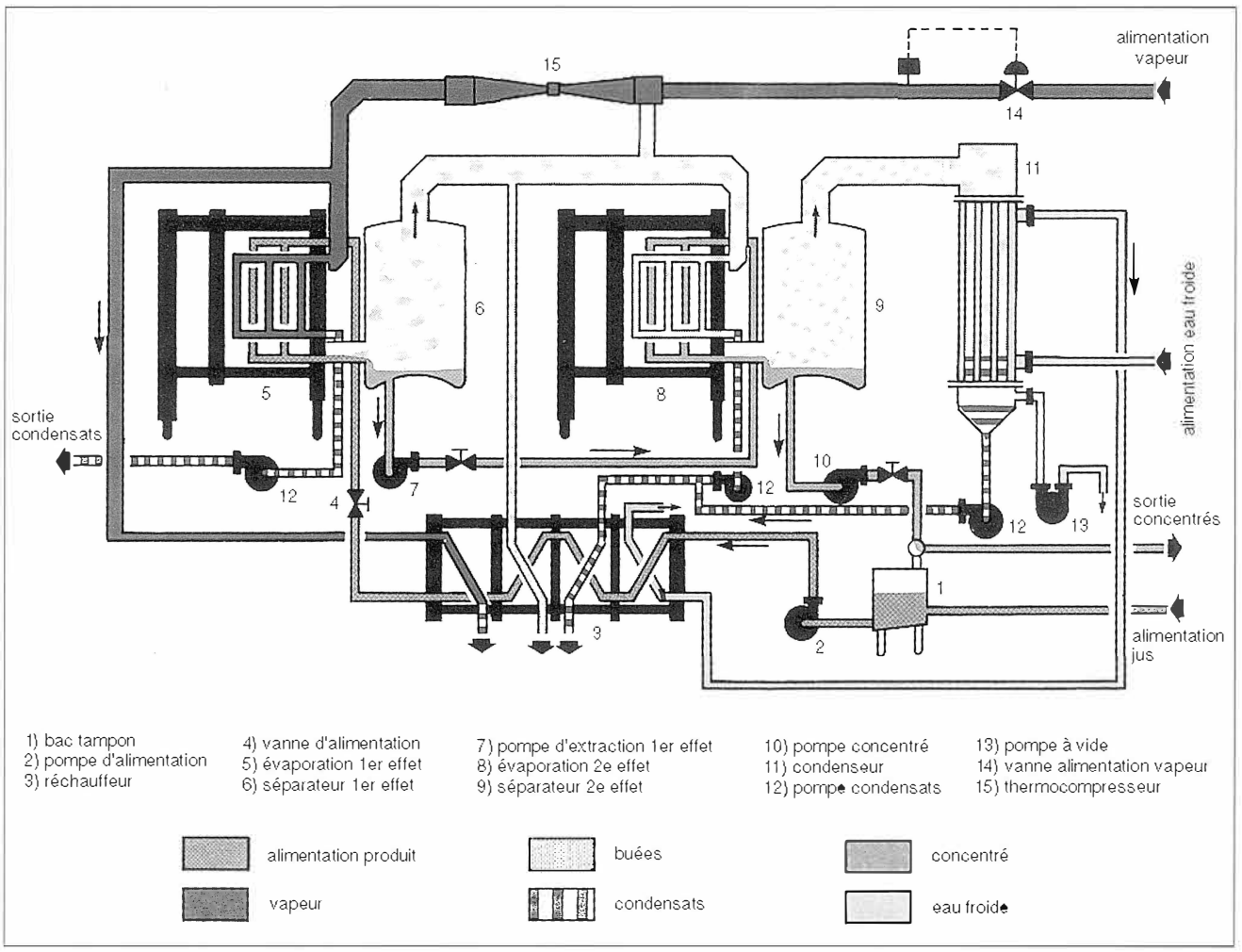


Figure 2
Schéma d'un évaporateur à plaques à film tombant, de la société APV, à double effet.

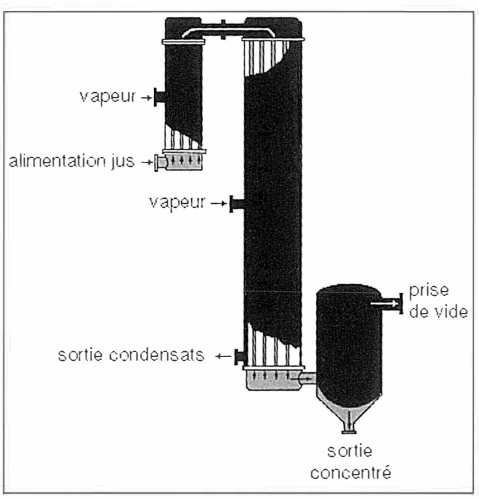


Figure 3
Schéma de principe de l'évaporateur tubulaire à film tombant de la société APV.

Actuellement sur le marché, le concentrateur MTA de la société ENTROPIE (figure 4) est un concentrateur à tubes horizontaux. Des plateaux d'arrosage ou des buses répartissent, au-dessus de faisceaux tubulaires horizontaux, la solution qui ruisselle autour des tubes sous forme de film et de gouttes. La solution à concentrer s'évapore à l'extérieur du faisceau, tandis que la chaleur requise pour l'évaporation est apportée par de la vapeur qui se condense à l'intérieur des tubes. Cette technique permet une surface d'échange réduite et un temps de séjour correct, grâce à un transfert thermique amélioré par la turbulence du ruissellement.

Cependant, quand on évapore à basse température, le temps de résidence du jus est important, allant de 30 à 60 min pour atteindre 40 à 50 °Brix, ce qui entraîne là encore une perte des arômes les plus volatils. De plus, du fait des faibles températures d'ébullition et de la faible concentration finale, le jus doit être pasteurisé avant concentration, puis congelé, pour éviter le développement de microorganismes et les dégradations enzymatiques.

concentrateurs haute température

Le procédé consiste à augmenter la température d'évaporation pour diminuer le temps de séjour du produit dans l'appareil. Plusieurs sociétés ont développé cette option.

Avec le concentrateur Centritherm de la société ALFA LAVAL (figure 5), le produit à concentrer est pompé dans le cœur de l'installation. Celle-ci est constituée d'une chambre dans laquelle tourne un empilement de disques coniques à doubles parois. Le produit pénètre par une canalisation de distribution dans l'évidement central et est pulvérisé sous les disques. Par force centrifuge, il se forme instantanément un film ne dépassant pas 0,1 mm d'épaisseur. La vapeur pénètre dans une enveloppe entourant l'empilement de disques et passe dans ces derniers. Les disques sont chauffés à une température suffisamment basse pour ne pas dégrader le produit, l'appareil étant sous vide, mais suffisamment élevée pour évaporer l'eau instantanément, tout cela avec un temps de séjour inférieur à la seconde.

Du fait d'un temps de contact court – il faut 1 s à 80 °C pour passer de 12 à 65 °Brix –, l'évaporation préserve en partie les caracté-

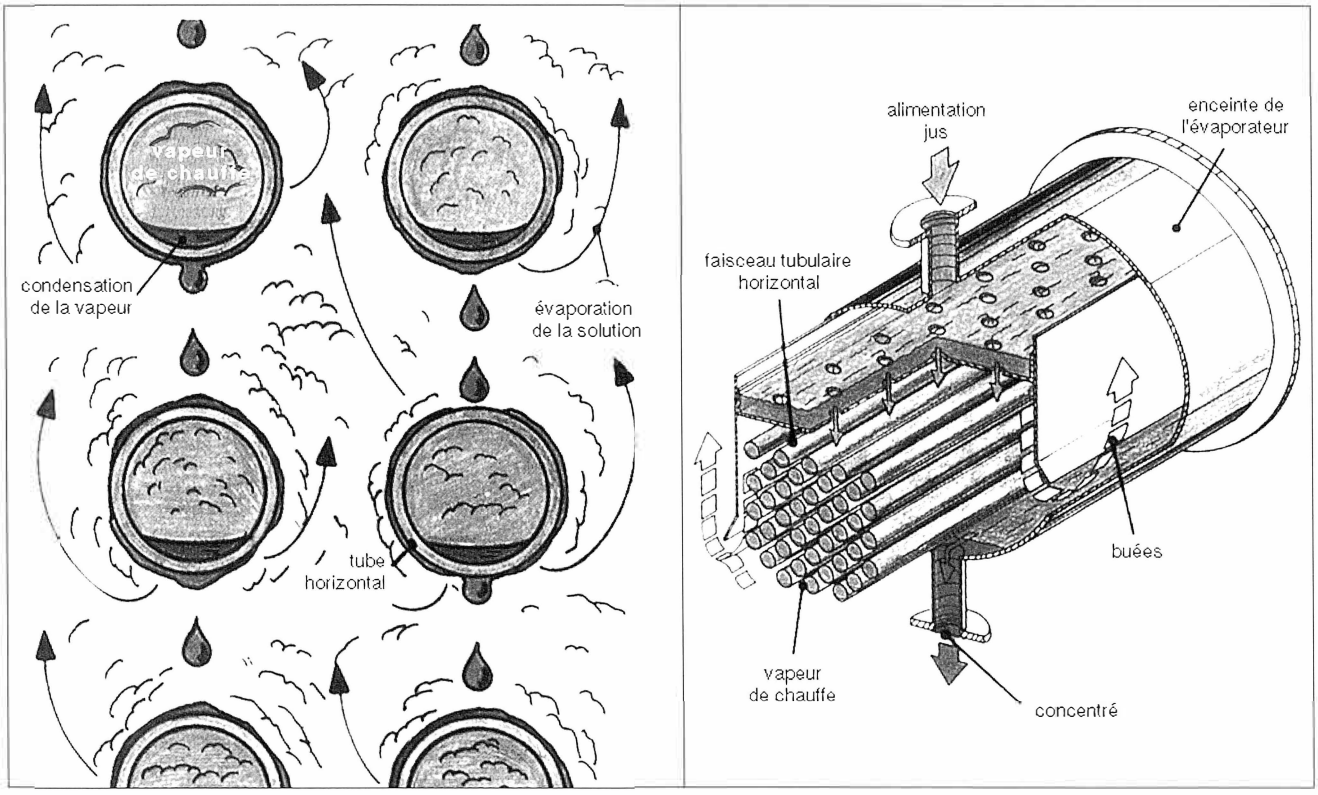


Figure 4
Schémas de principe de l'évaporateur à tubes horizontaux MTA de la société ENTROPIE.

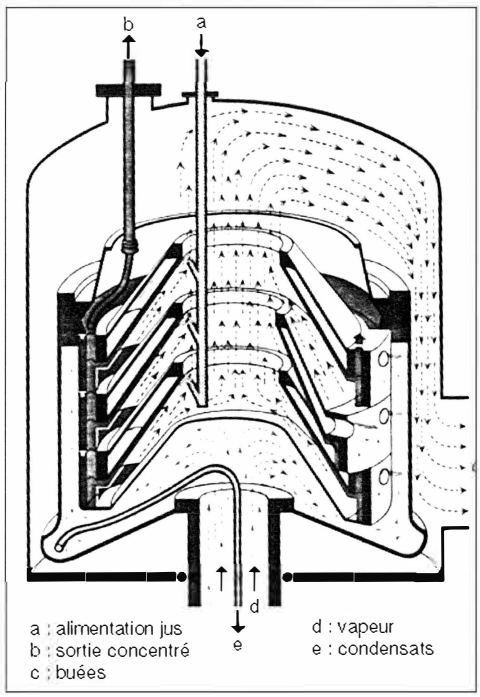


Figure 5
Schéma de principe de l'évaporateur Centritherm de la société ALFA-LAVAL.

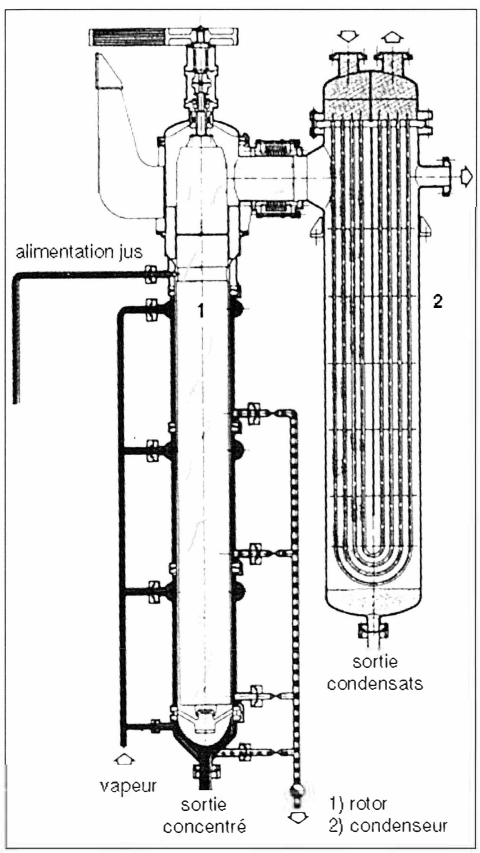


Figure 6
Schéma de l'évaporateur à couche mince centrifugée de la société HENRI BIAUGEAUD.

ristiques d'origine (vitamines, couleur, goût et saveur). La capacité évaporatoire varie de 800 à 5 400 l d'eau/h.

L'évaporateur Luber commercialisé en France par la société HENRI BIAUGEAUD fait partie des concentrateurs continus, ultra-rapides, à simple effet, à couche mince centrifugée (figure 6). Le corps évaporant est formé par un cylindre réchauffé à l'extérieur, à l'intérieur duquel tourne un rotor à haute vitesse pour garder le produit en couche mince. Le produit à concentrer entre dans l'évaporateur, coule le long de la paroi et, en condition de turbulence importante, est maintenu en pellicule mince par le rotor. Le produit s'écoule vers le bas sur la surface chauffée en suivant une voie en spirale, tandis que les parties volatiles sont évaporées et entraînées vers le condenseur. Le produit est concentré en quelques secondes et en un seul passage à une température de 75 °C.

Là encore, le temps de traitement étant bref, les produits obtenus sont de haute qualité. De plus, le procédé permet d'atteindre des concentrations élevées de l'ordre de 75 °Brix. Sa capacité évaporatoire s'étend de 250 à 3 400 l d'eau/h selon le modèle.

L'évaporateur Taste de la société FOOD MACHINERY CORPORATION (Floride), est un concentrateur à effets multiples, en général utilisé pour de gros volumes avec des temps de résidence très bas. Le procédé Taste (Thermally Accelerated Short Time) fournit des résultats qualitatifs étonnants et est devenu la référence des procédés d'évaporation pour les jus d'agrumes. La plupart des modèles se trouvent en Floride ou au Brésil pour la concentration des jus d'orange. Cette évaporation combine la pasteurisation, la concentration et le refroidissement du jus. Au niveau d'un effet, le jus est d'abord préchauffé et devient un mélange liquide/vapeur ; il entre alors dans le concentrateur par le haut du cylindre, au travers d'un cône de distribution. La forme du cône, la faible pression et le fait que le produit soit un ensemble liquide/vapeur font que le jus est distribué sous forme de brouillard à l'intérieur du cylindre où se trouvent des tubes chauffés à la vapeur. Ce mode de distribution augmente énormément le coefficient de transfert de chaleur et permet de faire circu-

ler le produit à plus de 700 km/h en limitant donc les effets de la chaleur. Le procédé Taste est composé de cinq effets où le produit passe successivement de 21 °C au niveau du 1er effet, pour atteindre 96 puis 98 °C au 2e et 3e, puis redescend progressivement à 16 °C en sortie du 5e effet. Le temps de résidence total est de 2 min 30 s, et le produit ne reste que 2 à 3 s à 96 et 98 °C pour passer de 12 à 65/75 °Brix, ce qui permet de préserver sa qualité initiale. La capacité évaporatoire s'étend de 1 350 à 27 000 l d'eau/h.

les arômes et leur récupération

La qualité d'un concentré est déterminée principalement par ses caractéristiques aromatiques : les arômes de jus de fruits sont très volatils et sont donc rapidement entraînés avec l'eau d'évaporation. Cet effet d'entraînement par la vapeur provoque un appauvrissement très net de la solution concentrée en éléments aromatiques. Pour pallier ce problème, les concentrateurs sont pour la plupart équipés de récupérateurs d'arômes : les composés volatils aromatiques du jus extrait avec la vapeur sont séparés et concentrés. Les « essences » ainsi obtenues sont réincorporées au concentré pour restaurer sa saveur et son arôme. Il faut noter toutefois que seule une fraction des arômes est récupérée (KOSEOGLU et al, 1990).

Nous pouvons prendre comme exemple le système Aromal, de la société ALFA LAVAL (figure 7) : les vapeurs du produit (1) sont injectées dans la colonne (2) soumise à un gradient de température. Les produits plus volatils que l'eau, comme les composés d'arômes sont entraînés vers le haut de la colonne, alors que l'eau désaromatisée tombe au fond de celle-ci. Pour augmenter la désaromatisation de cette eau, on peut la réchauffer à nouveau et la réinjecter dans la colonne (3). La fraction gaz, riche en arôme, passe alors dans un condenseur (5). S'il y a encore une fraction gaz après le passage dans le cyclone de séparation gaz/liquide (8), la nouvelle fraction gaz est condensée dans un condenseur d'eau glacée (6). Les gaz incondensables (7) et les « essences » d'arômes (10) sont alors obtenus.

Certains producteurs utilisent aussi la pratique du « cut-back » qui consiste à rajouter au concentré une partie de jus frais ou de pulpe pour en augmenter la qualité.

bilans énergétiques

La consommation de vapeur est un facteur économique décisif dans l'investissement d'une installation, c'est pourquoi on essaie de la limiter.

les évaporateurs conventionnels

L'utilisation de plusieurs effets dans les évaporateurs conventionnels permet de diminuer la quantité de vapeur nécessaire pour évaporer un litre d'eau du produit (tableau I).

Tableau I
Consommation moyenne de vapeur dans les évaporateurs.

	Consommation de vapeur (kg par kg d'eau évaporée)	
Nombre d'effets	*Sans recompression de vapeur*	*Avec recompression de vapeur*
1	1,1	0,6
2	0,6	0,4
3	0,4	0,3

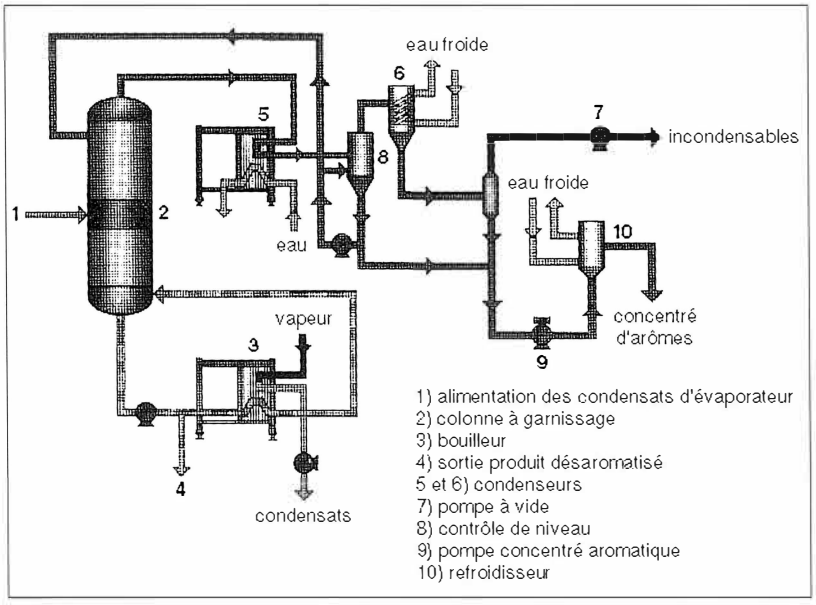


Figure 7
Schéma de récupérateur d'arômes de la société ALFA-LAVAL.

Dans un évaporateur à multiples effets, les buées d'un effet sont utilisées pour le chauffage de l'effet suivant qui fonctionne à une température et à une pression inférieures. Ce principe peut se répéter plusieurs fois, mais il est limité par la différence totale de température du système et par l'augmentation des coûts d'investissement.

L'économie de vapeur est encore améliorée par l'utilisation de la thermocompression ; une partie des buées d'un effet est recomprimée par injection directe de vapeur vive ; le mélange est ensuite utilisé pour le chauffage du premier effet en général. C'est ce que propose APV, avec le système TVR (Thermal Vapor Recompression), en complément du FFPE et FFTE.

système de recompression mécanique de vapeur

La société APV propose aussi un système de recompression mécanique de vapeur (RMV) : la totalité des buées produites peut être recomprimée mécaniquement de manière à produire une élévation de température permettant sa réutilisation comme fluide de chauffage. Toute l'énergie nécessaire est alors celle fournie par l'arbre du compresseur.

évaporateur « basse température »

Dans le cas de l'évaporateur « basse température » de la société ENTROPIE, la consommation de vapeur peut être diminuée jusqu'à 0,l kg/kg d'eau évaporée, en utilisant 4 effets et un système de recompression de vapeur.

Tableau II
Comparaison entre les principales techniques de concentration.

	Équivalent vapeur[a]	*Concentration maximale possible (°Brix)*
Ultrafiltration	0,001	28
Osmose inverse	0,028	30
Cryoconcentration	0,090-0,386	40
Évaporation :		
Triple effet sans récupération d'arômes	0,370	80
Triple effet avec récupération d'arômes	0,510	80

[a] Équivalent vapeur = [coût par kg d'eau extrait] / [coût équivalent de vapeur].

évaporateur « haute température »

Pour les évaporateurs « haute température », le procédé Taste semble le plus économique avec une consommation de 0,3 à 0,17 kg de vapeur consommée par kg d'eau évaporée (7 effets). Le procédé Luber semble le moins économique avec des consommations en vapeur de 1,4 à 1,71 kg de vapeur/kg d'eau évaporée pour un simple effet.

Le bilan vapeur des procédés thermiques aboutit, dans tous les cas, à un coût de fonctionnement plus élevé que celui enregistré pour les autres techniques de concentration, mais ces procédés permettent d'atteindre des degrés Brix supérieurs (tableau II).

Il faut cependant faire remarquer que si l'utilisation de plusieurs effets ou de systèmes de recompression diminue la consommation de vapeur, elle augmente aussi le coût de fonctionnement (pompes, compresseur) et d'investissement.

la cryoconcentration

Une nouvelle orientation du marché des concentrés de jus de fruits a incité ces dernières années un certain nombre de producteurs à s'orienter vers des techniques « nouvelles », en privilégiant le facteur qualité afin de se démarquer de leurs concurrents. La cryoconcentration s'inscrit dans ce contexte (VALENTE, 1984).

La cryoconcentration comporte deux étapes : la cristallisation partielle du solvant sous forme de cristaux purs, puis la séparation physique de ces derniers, du liquide résiduel enrichi en soluté.

la cristallisation

Elle se fait dans des cristalliseurs par contact direct ou indirect avec le fluide frigorigène. Les premiers cristaux apparaissent à une température inférieure à 0 °C. Si le refroidissement est poursuivi, la solidification de l'eau s'accélère, déterminant ainsi de façon concomitante un enrichissement en soluté de la phase liquide résiduelle.

la séparation liquide/solide

Elle se fait essentiellement par essorage. Le liquide interstitiel baignant les cristaux est

chassé sous l'effet de la force centrifuge au travers du tamis d'un panier rotatif.

Les principaux avantages et inconvénients des procédés thermiques de concentration sont synthétisés dans le tableau III.

les procédés membranaires de concentration

la pervaporation

C'est un procédé qui permet de fractionner des mélanges de liquides en les vaporisant partiellement à travers une membrane dense placée à leur contact. La membrane sera davantage perméable pour l'un des constituants, ce qui permettra de fractionner un mélange. Le constituant à séparer est absorbé sur la face amont de la membrane en contact avec le mélange de liquides, diffuse dans la membrane et se désorbe en phase vapeur du côté aval, entraîné par un gaz vecteur.

La pervaporation est surtout utilisée pour la désalcoolisation de certains produits comme le vin à 0 % volume d'alcool.

l'osmose inverse (OI)

Le transfert bien connu appelé « osmose » se produit lorsque deux solutions ayant des concentrations différentes en solutés sont placées de part et d'autre d'une membrane perméable au solvant (habituellement l'eau), mais non au soluté. Dans un transfert osmotique normal, l'eau passe spontanément à travers la membrane, de la moins concentrée des solutions vers la plus concentrée jusqu'à ce que les concentrations soient identiques.

Le transfert peut être inversé en appliquant une pression hydrostatique à la solution la plus concentrée, supérieure à la pression osmotique, c'est l'osmose inverse. Les membranes sont pour la plupart en acétate de cellulose ou en polyamide et présentent un seuil de rétention de l'ordre du nanomètre.

L'osmose inverse a été appliquée à la concentration des jus de fruits, car elle permet l'extraction de l'eau à basse température.

Tableau III
Avantages et inconvénients des procédés thermiques de concentration.

Procédés	*Avantages*	*Inconvénients*
Évaporateurs (tous types)	*Aspects techniques :* • Vaste éventail d'applications à l'échelle industrielle • Nombre élevé de concepts d'évaporation : possibilité d'un concept adapté à chaque utilisation *Aspects économiques :* • Le ratio capital investi/capacité d'évaporation diminue de façon considérable quand la capacité augmente	*Aspects techniques :* • Pas de système standard applicable à tout liquide alimentaire (il faut prendre en compte les propriétés mécaniques et la sensibilité à la chaleur du produit) : choix difficile pour l'utilisateur final • Complexité d'utilisation *Aspects économiques :* • Opération unitaire très consommatrice d'énergie. Nécessité d'un système de récupération d'énergie
Évaporateur basse température	Possibilité de concentrer à des températures aussi basses que 20 °C, sous vide très poussé	• Coûts de fonctionnement très élevés • Nécessité d'un prétraitement d'inactivation des enzymes
Évaporateur haute température	Obtention de concentrés d'une qualité supérieure à ceux traités par les autres types d'évaporateurs	• Perte importante d'arômes due à la température élevée de traitement
Cryoconcentration	• Rétention des arômes • Aucune altération chimique des composés • Préservation organoleptique et nutritionnelle	• Limite de concentration (30 à 50 °Brix) • Nécessité d'un prétraitement d'inactivation des enzymes • Coût d'exploitation élevé mais concurrentiel par rapport à l'osmose directe

Cependant, il s'est avéré que, vu les pressions mises en jeu, la concentration était limitée à environ 23 °Brix et qu'il y avait des problèmes de colmatage surtout pour les produits à hauts niveaux de solides (GINNETI et MORGAN, 1971). Elle nécessite aussi un traitement thermique pour l'inactivation des enzymes.

Les modèles d'OI tubulaires proposés par la société PC MEMBRANE SYSTEMS (États-Unis) permettent un certain niveau de particules solides dans le produit. Les modules fibres creuses développés par SEPARA SYSTEMS peuvent atteindre des niveaux de concentration plus élevés (42 °Brix) et retiennent les

Tableau IV
Avantages et inconvénients des principaux procédés membranaires de concentration.

Procédés	*Avantages*	*Inconvénients*
Osmose inverse	*Aspects techniques :* • Vaste éventail d'applications à l'échelle industrielle • Basses températures • Combinaisons avec évaporateurs à vide poussé et avec systèmes de recompression à la vapeur, déjà expérimentées et disponibles commercialement *Aspects économiques :* • Technologie économe en énergie par rapport à l'évaporation	*Aspects techniques :* • Problème de colmatage des membranes • Pressions élevées • Nécessité d'un prétraitement d'inactivation des enzymes • Concentration des jus limitée à 22-23 °Brix • Pertes d'arômes observées sur modules plans, diminuées avec un retraitement du perméat, mais élévation du coût de l'opération • Impossibilité de concentrer des produits à haut niveau de solides en suspension *Aspects économiques :* • Membranes de remplacement de coût élevé • Coût de fonctionnement élevé
Osmose directe	*Aspects techniques :* • Basses températures ; basses pressions • Pas de colmatage des membranes : les débits de perméation sont constants dans le temps • Hauts niveaux de brix atteints, selon le produit • Système modulable facile à agrandir • Peut supporter des hauts niveaux de solides en suspension • Multiples utilisations possibles : une même unité peut concentrer beaucoup de produits différents *Aspects économiques :* • Membranes de remplacement peu onéreuses	*Aspects techniques :* • Technologie nouvelle qui demande une évalution à l'échelle industrielle et dont la fiabilité reste à démontrer • Durée de vie des membranes au-delà de 3-4 mois reste à démontrer • Débits de perméation relativement bas (1,8 à 2,5 l/m²/h) *Aspects économiques :* • Investissements aussi hauts, si ce n'est plus hauts, que la concurrence • Technologie forte consommatrice d'énergie
Évaporation osmotique	*Aspects techniques :* • La concentration est non traumatisante et particulièrement adaptée aux solutions fragiles • La concentration peut être très poussée, au moins jusqu'à 60 % de matière sèche • Système modulable facile à agrandir • Peut supporter de hauts niveaux de solides en suspension • Multiples utilisations possibles : une même unité peut concentrer beaucoup de produits différents • Basses températures • Basses pressions opérationnelles • Pas de colmatage des membranes : les débits de perméation sont constants dans le temps • Le procédé est nouveau, mais repose sur du matériel conventionnel robuste et éprouvé *Aspects économiques :* • Faibles coûts d'investissement	*Aspects techniques :* • Technologie nouvelle qui demande une évaluation à l'échelle industrielle et dont la fiabilité reste à démontrer • Faible capacité évaporatoire (environ 3 l/m²/h) conduisant à un temps de traitement du jus important • Nécessité d'un prétraitement d'inactivation des enzymes *Aspects économiques :* • Coûts de production supérieurs à ceux d'une installation d'évaporation thermique • Membranes de remplacement de coût élevé

arômes naturels du produit frais (LE FRIEC, 1994). Cependant, des essais réalisés sur différents jus – orange, raisin, fruits de la passion, etc – ont montré les limites technologiques et économiques du procédé utilisé seul (POMPEI, 1974). Dans l'état actuel, l'osmose inverse doit être couplée à d'autres techniques (tableau IV).

le couplage ultrafiltration / osmose inverse

En 1985, la société FMC et DUPONT (États-Unis) ont mis au point un procédé membranaire capable de concentrer un jus jusqu'à 51 °Brix et de retenir tous les composés volatils responsables des notes fraîches pour l'obtention d'un concentré de meilleur goût et plus aromatique. Ce procédé appelé « Fresh note » est protégé par un brevet.

En pratique, la première phase du procédé, l'ultrafiltration, sépare le jus initial en deux fractions. Le rétentat contient la pulpe, les enzymes, les microorganismes et les protéines. Le filtrat, fraction claire ou sérum, contient des sucres et des composants aromatiques également sensibles à la chaleur. Certains composants du jus de fruit doivent être chauffés pour préserver la stabilité (microorganismes, enzymes) et d'autres doivent être maintenus à basse température pour préserver la qualité.

La première fraction qui représente environ 5 % du jus total, est pasteurisée alors que le sérum est traité par osmose inverse pour en éliminer l'eau et obtenir un liquide à 60 °Brix. La fraction pasteurisée contenant la pulpe et le sérum concentré est mélangée en quantité équivalente au jus d'origine pour obtenir un produit final à 45 °Brix.

L'ultrafiltration élimine les solides et les pectines qui donnent une forte viscosité, et permet ainsi de concentrer le sérum à 60 °Brix sans problème de colmatage. Dans ce cas, la pasteurisation entraîne une perte d'arôme négligeable.

l'osmose directe (OD)

L'osmose directe permet d'extraire une partie de l'eau contenue dans le produit à concentrer en mettant celui-ci en contact avec un agent osmotique, généralement du sirop de maïs riche en fructose (70/75 °Brix) de l'autre côté d'une membrane plane semi-perméable. Cette technologie, développée par la société OSMOTEK, permet de concentrer des produits à basse température (20 °C) et à basse pression (20-200 kPa). Les produits obtenus sont en général concentrés jusqu'à 50 °Brix.

Le procédé d'osmose directe pour la concentration des jus de fruits est récent et encore peu développé. Pour l'instant, aucun système d'osmose directe n'a encore été installé à l'échelle industrielle. Cependant, OSMOTEK met des unités pilotes à la disposition des utilisateurs intéressés. Ces unités ont été testées pour la Nasa et pour de grandes industries des jus de fruits des États-Unis, d'Australie, de Nouvelle-Zélande et des Caraïbes. Les résultats obtenus ont montré que cette technologie devrait permettre de fournir des produits de qualité améliorée à grande échelle. Bien que l'investissement soit supérieur aux évaporateurs standard, les améliorations qualitatives devraient compenser la différence de coût. La technologie semble donc convenir pour des produits pouvant supporter un prix supérieur pour des raisons de qualité.

Des études qualitatives effectuées sur des jus de framboise, de melon et du lait de coco ont montré que les concentrés obtenus par osmose directe étaient plus proches du jus initial que ceux obtenus sur un concentrateur Centritherm. Cependant, le procédé américain utilise une membrane hydrophile qui peut laisser passer éventuellement d'autres substances que l'eau. Il semblerait que le procédé provoque, pour le produit, des pertes d'éléments minéraux et d'arômes (LE FRIEC, 1994). Ce procédé évoluera selon les qualités de membranes utilisées.

la distillation membranaire

Ce procédé est basé sur l'évaporation à travers une membrane poreuse hydrophobe, et caractérisé par un transfert simultané de masse et de chaleur (BANDINI et al, 1991). Le principe de la distillation membranaire est similaire à celui de l'évaporation osmotique.

Il s'appuie sur la création d'un gradient de pression de vapeur à travers la membrane, résultat d'un gradient de température transmembranaire, à la différence de l'évaporation osmotique basée sur une différence de pression osmotique des solutions de part et d'autre de la membrane. Des études de concentration de jus de fruits par distillation membranaire ont montré que, même si ce procédé fournit, en termes de qualité, de meilleurs résultats que les méthodes thermiques usuelles, il conduit tout de même à une perte de composés volatils et à une légère dégradation thermique du produit.

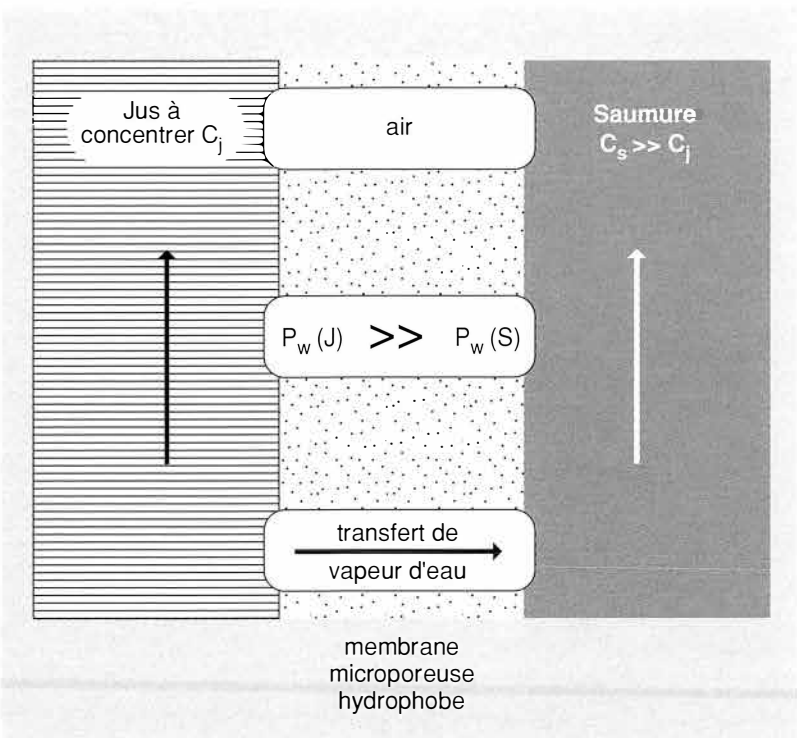
l'évaporation osmotique

L'enjeu économique principal est de pouvoir garantir des concentrés de jus de fruits thermosensibles, qui pourraient avoir une concentration de 65 °Brix (voire 75), en étant traités à 25 °C (température garantissant une conservation des « fresh notes ») avec une technologie judicieuse. Par ailleurs, la faisabilité d'un tel procédé permettra de contribuer, au développement d'installations de petites et moyennes dimensions qui pourront produire des concentrés de haute qualité, conservés sans nécessité de congélation.

Dans ce cadre, la société COGIA (Palaiseau, France) a mis à la disposition du Cirad un pilote unique en Europe, pour évaluer ce nouveau procédé qui se différencie de l'osmose directe par le fait que la membrane est poreuse et hydrophobe et que le transport de l'eau à travers la membrane est réalisé sous forme gazeuse (COUREL et al, 1996 ; DEBLAY, 1994 ; SHENG et al, 1991).

Ce procédé consiste à provoquer l'évaporation de l'eau par mise en contact d'une solution aqueuse avec une membrane microporeuse hydrophobe ; l'eau évaporée est alors piégée sélectivement de l'autre côté de la membrane par une solution saline très concentrée (figure 8). La forte concentration de cette solution saline génère une pression osmotique particulièrement élevée, pouvant aller jusqu'à plus de $1{,}5.10^5$ kPa. En raison de la grande avidité de cette « saumure » pour l'eau, et sous effet de la forte différence de pression osmotique, l'eau est transportée à travers la membrane. L'originalité du procédé provient du fait que la membrane microporeuse ne sert pas de tamis moléculaire sous l'effet d'un gradient de pression, comme c'est le cas en micro ou en ultrafiltration. La membrane est en effet utilisée comme une simple barrière physique séparant les deux phases liquides de quelques dizaines ou centaines de microns. Le procédé fonctionnant sans gradient de pression statique, la membrane n'est soumise qu'à de faibles contraintes mécaniques. Cette séparation des phases liquides est rendue possible par le caractère hydrophobe de la membrane. La solution aqueuse à concentrer et la saumure ne peuvent ni mouiller la membrane, ni la traverser « en force » sous forme liquide, le gradient de pression transmembranaire utilisé étant inférieur à la pression d'intrusion de l'eau dans la membrane. Le phénomène physique gouvernant la concentration de la solution est l'évaporation. Il y a en effet évaporation naturelle de l'eau à l'interface solution à concentrer - pore de la membrane, et recondensation de la vapeur du côté de la solution saline, à l'interface pore - saumure.

Figure 8
Schéma de principe de l'évaporation osmotique. C = concentration ; Pw = pression de vapeur d'eau ; j = jus ; s = saumure.



L'énergie restituée lors de la condensation de l'eau dans la saumure est transférée à travers la membrane, qui se comporte comme un excellent échangeur de chaleur, pour réaliser l'évaporation de l'eau de la phase à concentrer. Le bilan énergétique est nul, le procédé fonctionnant sans apport exogène d'énergie. La concentration s'effectuant par évaporation de l'eau, il y a une totale rétention des molécules non volatiles (sels minéraux, molécules organiques polaires, etc). La sélectivité est par conséquent totale vis-à-vis de ces molécules.

Le comportement des molécules volatiles présentes dans la solution à concentrer est plus complexe : la volatilité permet une évaporation de ces produits, mais le piégeage dans la saumure est limité par la faible avidité de cette solution, très concentrée en sel, pour les molécules volatiles autres que l'eau.

Les avantages et inconvénients énoncés dans le tableau IV sont basés sur la théorie et des résultats obtenus en laboratoire ; des études en cours au Cirad-Flhor, en relation avec la société COGIA devront confirmer les résultats à l'échelle pilote sur une installation semi-industrielle (figure 9).

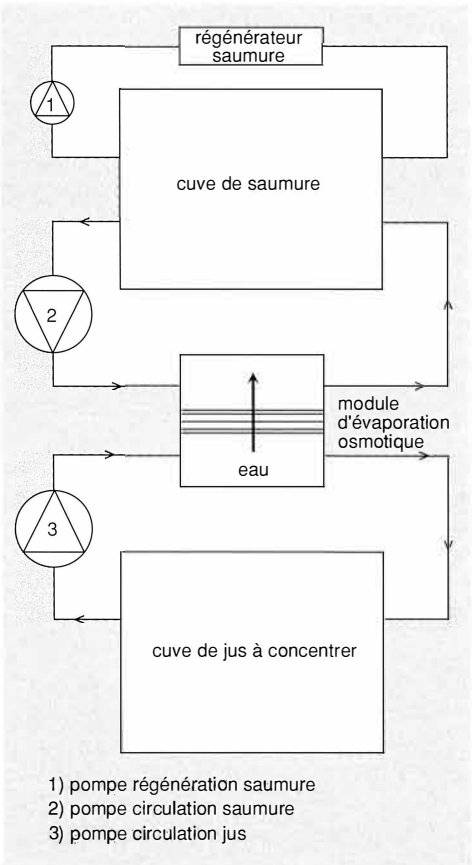


Figure 9
Schéma de l'installation semi-industrielle d'évaporation osmotique COGIA E06.

Tableau V
Résumé des avantages et inconvénients des différents procédés de concentration.

Procédés	*°Brix maxi*	*Qualité des jus obtenus*	*Prétraitement d'inactivation des enzymes*	*Matériel expérimenté et disponible commercialement*	*Coûts de fonctionnement*	*Possibilité de traiter par la même installation différents produits*	*Investissements*
• Évaporateurs thermiques :							
conventionnels	80	– –	non	oui	0	non	0
hautes températures	65-75	0	non	oui	0	non	0
basses températures	40-60	–	oui	oui	+	non	+
• Cryoconcentration	30-50	++	oui	oui	+	non	+++
• Osmose inverse	20-50	++	oui	oui[a]	+	non	++
• Osmose directe	50	+	oui	non	+	oui	+
• Distillation membranaire	60-70	+	oui	non	+	oui	0
• Évaporation osmotique	60-70	++	oui	non	+	oui	0

[a] Mais combiné avec d'autres systèmes de concentration.
– – : très faible ; – : faible ; 0 : moyen ; + : élevé ; ++ : très élevé ; +++ : extrêmement élevé.

conclusion

Le tableau V résume les avantages et inconvénients des différents procédés de concentration. L'étape de concentration nécessaire à la production de jus de fruits a actuellement des effets néfastes sur la qualité du produit traité. En effet, les procédés de concentration utilisés – en grande majorité, l'évaporation thermique – conduisent à une dégradation des qualités organoleptiques et du potentiel vitaminique des jus de fruits.

Or, l'analyse du marché des jus de fruits montre que les consommateurs se tournent de plus en plus vers des produits de qualité élevée, c'est-à-dire des produits dont le goût et les caractéristiques sont les plus proches possibles des jus de fruits fraîchement pressés. Les producteurs ont donc tout intérêt à investir dans des procédés de concentration qui privilégient le facteur qualité, en utilisant des techniques plus douces. Dans ce contexte, l'accent est mis, à l'échelle semi-industrielle, sur l'évaluation de techniques nouvelles qui permettraient de conserver, après concentration, les qualités du jus initial. Ces techniques nouvelles semblant avoir des coûts de fonctionnement supérieurs à ceux des procédés actuellement utilisés, il reste à cibler le type de produit pouvant supporter une légère hausse des prix en faveur de la qualité. Il s'agit de prouver la viabilité et, au-delà, la rentabilité de telles installations.

références

Aubril S (1995) Dossier boissons sans alcool. *LSA* 1443, 75-94

Bandini S, Gostoli C, Sarti GC (1991) Role of mass and heat transfer in membrane distillation process. *Desalination* 81, 91-106

Courel M, Rios GM, Dornier M, Reynes M, Deblay P (1996) La concentration des jus de fruit par évaporation osmotique. In : *Actes du colloque CEE Université Industrie « Les membranes et techniques séparatives »*, Toulouse, juillet, C61-C67

Deblay P (1994) Un nouveau procédé de concentration des solutions aqueuses : l'évaporation osmotique. *Bios* 25 (250), 56-57

Fellers PJ (1986) Commercial frozen concentrated orange juice. In : *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 99, 93-96

Ginnetti L, Morgan A (1971) L'osmose inverse dans la technologie alimentaire. *Industries Agroalimentaires* 9, 1315-1319

Koseoglu SS, Lawhon JT, Lusas EW (1990) Use of membrane in citrus juice processing. *Food Technology* 44 (12), 90-97

Le Friec Y (1994) *La concentration par osmose directe : applications agroalimentaires et marché.* Lyon, France, Isara, mémoire de fin d'étude, 58 p

Loeillet D (1994) Jus d'orange concentrés. *Fruitrop* 4, 8-10

Pompei C (1974) Concentration des jus par osmose inverse. *Sciences et Technologie Alimentaire* 7, 167-172

Sheng J, Johnson RA, Lefevre MS (1991) Mass and heat transfert mechanism in the osmotic distillation process. *Desalination* 80, 113-121

Valente M (1984) *Cryoconcentration : principe et applications.* Montpellier, France, Cirad-Flhor, document interne n° 14-221, 27 p