**SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE FILTRATION**

Colloque d'hydrotechnique — 20 et 21 novembre 1985

Transfert de matière et hydrodynamique
dans les procédés de séparation par membranes

**Réalités industrielles et perspectives
de développement des membranes d'ultrafiltration
de 3^e génération Carbosep**

*Industrial realities and development prospects
of Carbosep 3rd generation ultrafiltration membranes*

R. Veyre

Société de fabrication d'éléments catalytiques (SFEC)
Saint-Pierre de Sénos, Bollène

Les techniques d'ultrafiltration et de microfiltration tangentielle utilisant des membranes minérales carbosep constituent un exemple typique des retombées technologiques des céramiques nucléaires microporeuses.

Les propriétés de ces membranes et leur introduction dans divers domaines des industries agro-alimentaires et biotechnologiques seront examinées.

Tangential microfiltration and ultrafiltration techniques using carbosep mineral membranes constitute a typical example of the spin-off developments of microporous nuclear ceramics.

The properties of these membranes and their introduction into various fields of agro-alimentary and biotechnological industries will be examined.

INTRODUCTION

Les membranes d'ultrafiltration de nature minérale fabriquées et commercialisées sous la marque CARBOSEP, par la Société de Fabrication d'Eléments Catalytiques (SFEC), filiale du CEA, sont aujourd'hui bien implantées en Europe en particulier dans les domaines des applications agro-alimentaires et bio-technologiques.

Nous sommes très heureux de présenter dans le cadre de cet article, la réalité industrielle du procédé CARBOSEP, qui constitue un exemple caractéristique d'une retombée de l'industrie des céramiques nucléaires sur les industries agro-alimentaires et bio-technologiques.

Les équipements d'ultrafiltration CARBOSEP peuvent subir les contraintes les plus sévères de stérilisation et en particulier la stérilisation à la vapeur d'eau à 121°C. Une telle possibilité en ultrafiltration ouvre la voie à des procédés nouveaux au regard de la préparation de phases liquides stériles et de phases liquides exemptes de micro-organismes contaminants.

Afin de faciliter la présentation de cet article, il est utile de situer l'ultrafiltration dans le domaine des techniques à membranes caractérisées par le dimensionnement de pores tel que présenté sur la figure 1.

FIG.1 - Situation de l'ultrafiltration dans l'ensemble des procédés à membranes.

PROCEDE D'ULTRAFILTRATION CARBOSEP

Membranes

Les membranes minérales CARBOSEP résultent du concept du milieu minéral microporeux ultrafiltrant c'est à dire d'un milieu microporeux de morphologie composite (figure 2) ; ce caractère composite est obtenu par la superposition de milieux microporeux homogènes.

La figure 3 symbolise un tel concept comparativement aux membranes organiques homogène et asymétrique.

FIG.2 - Observation au microscope à balayage de la coupe d'une membrane minérale CARBOSEP. Grossissement 25.000.

Membrane homogène

Membrane asymétrique

Membrane composite (CARBOSEP)

FIG.3 - Classification des membranes selon leur morphologie.

Le tableau 1 présente les caractéristiques générales des membranes minérales CARBOSEP.

TABLEAU 1 - Caractéristiques générales des membranes minérales CARBOSEP.

SPECIFICATIONS	CARACTERISTIQUES	UNITES
- Support de membrane	Carbone aggloméré	
- Membrane	Oxyde métallique	
- Géométrie : longueur	1200	mm
diamètre extérieur	10	mm
diamètre intérieur	6	mm
- Mécanique : pression d'éclatement	60	bars
pression d'utilisation	< 15	bars
force d'écrasement	30	kgP/20 mm
module d'Young	1000	
- Chimie : pH d'utilisation (1)	0 à 14	
stérilisation vapeur (2)	oui	
stérilisation oxydants	oui	
- Température d'utilisation procédé jusqu'à	150	°C
- Perméabilité à l'eau (3)	180 à 600	l/hm ²
- Pouvoir de coupure : référence M5	10 000	Dalton
référence M4	20 000	Dalton
référence M1	50 000	Dalton
- Membrane de microfiltration (4)		
référence M6	> 2 000 000	Dalton
diamètre pores	≠ 0,1	μ
- Toxicologie : Agrément du conseil supérieur de l'Hygiène de FRANCE	oui	
Agrément République Fédérale d'Allemagne	oui	

(1) A toutes températures comprises entre 20 et 90°C.

(2) Vapeur d'eau à 121°C sous 2 bars durant 30 minutes.

(3) Mesurée à l'eau à 25°C sous pression moyenne 4 bars.

(4) Membranes de microfiltration caractérisées par la texture $\phi \neq 0,1 \mu$.

Les performances apportées par ces membranes permettent d'assurer la fiabilité d'exploitation tant attendue et maintenant largement démontrée ; il est nécessaire de souligner la capacité de ces membranes à subir les contraintes les plus sévères vis-à-vis des fluides procédés chauds et vis-à-vis des contraintes de stérilisation de type chimique et surtout de type vapeur.

Modules

Les membranes tubulaires sont assemblées en faisceaux parallèles dans des modules en acier inoxydable.

MODULE d'ULTRAFILTRATION CARBOSEP
PRINCIPE

FIG.4 - Principe du module d'ultrafiltration CARBOSEP.

FIG.5 - Module d'ultrafiltration CARBOSEP.

La qualité des aciers est adaptée aux spécifications des industries agroalimentaires et biotechnologiques. Le montage autorise l'interchangeabilité unitaire des membranes.

Les modules couvrent les surfaces diffusantes présentées dans le Tableau 2.

TABLEAU 2 - Surface diffusante des modules CARBOSEP.

Référence Module (nombre de tubes)	Surface diffusante en m ²
S 1	0,02
S 7	0,16
S 37	0,83
S 151	3,40
S 252	5,70

Systèmes

Les systèmes industriels sont de type "multiétagés". Ils fonctionnent en régime continu avec boucle de recirculation selon le schéma fonctionnel présenté figure 6.

BOUCLE D'ULTRAFILTRATION

FIG.6 - Système d'Ultrafiltration CARBOSEP.

Les équipements sont standardisés depuis l'équipement laboratoire jusqu'à l'équipement industriel de plusieurs centaines de m² de surface diffusante.

La figure 7 montre les clichés de différents équipements CARBOSEP type laboratoire - type pilote industriel - type unité industrielle monoétagée - type unité industrielle multiétagée.

Il est utile de préciser que SFEAC dispose d'un parc pilote assurant les campagnes pilotes nécessaires à la définition des unités industrielles.

FIG.7 - Equipements CARBOSEP type :

- a) Laboratoire
- b) Pilote industriel
- c) Industriel monoétagé
- d) Industriel multiétagé

LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Depuis 1981, SFEAC s'est fixée comme objectif l'obtention de références industrielles sur différentes lignes de produits des industries agro-alimentaires et bio-technologiques telles que :

Laiterie

L'industrie laitière, grâce aux dimensions des protéines constitutives du lait est le lieu privilégié des applications de l'ultrafiltration ; ainsi depuis son introduction commerciale qui confirment la fiabilité d'exploitation du procédé CARBOSEP. Les divers procédés développés dans le domaine laitier sont :

. La standardisation protéique des laits permettant de corriger les variations saisonnières de la teneur en protéines des laits et de relever leur teneur moyenne qui a tendance à baisser dans certaines régions ; ce procédé permet d'obtenir un meilleur rendement fromager et d'améliorer la fiabilité d'exploitation. Une vingtaine d'unités industrielles sont actuellement opérationnelles en France. Ce procédé est appliqué à diverses technologies fromagères telles que les pâtes molles, persillées, pressées et également à diverses technologies à base de lait de chèvre en particulier le procédé de report de congélation

. L'extraction des protéines sériques des lactosérums

L'ultrafiltration constitue la valorisation première de ce sous-produit de l'industrie fromagère ; les concentrés de protéines sont caractérisés par le rapport :

$$P/S = \frac{\text{protéines}}{\text{extrait sec}} = 0,4 \text{ à } 0,9$$

et présentent, après séchage par atomisation, une très haute valeur nutritionnelle ; ils sont destinés à la diététique infantile (laits maternisés) ou thérapeutique (aliments hyperprotéinés) et à la salaisonnerie.

A titre d'exemple, différents équipements industriels CARBOSEP traitent, en régime continu 24/24 h à environ 50°C, 100 à 250 m³/jour de lactosérum ; les installations sont de type multi-étages dont la conduite est entièrement automatisée ;

la constance de la teneur en protéines est assurée par régulation réfractométrique ou par régulation débitmétrique ; le nettoyage journalier est effectué à 85°C en milieu alcalin. Le concept hydrodynamique turbulent, en tout point de l'installation, conduit à des concentrés protéiques dont la qualité bactériologique est très satisfaisante. Ce procédé est appliqué aux lactosérums doux et aux lactosérums de quarg et de caséinerie.

La fabrication des pâtes fraîches par ultrafiltration de lait coagulé

Cette application révolutionne actuellement l'industrie fromagère française et allemande car elle permet de réaliser des pâtes fraîches telles que les petits-suisses, les demi-sels, les fromages blancs, les cream-cheeses, le quarg avec un rendement fromager bien supérieur à celui de la centrifugation et de la thermocentrifugation. Les équipements CARBOSEP sont particulièrement bien adaptés pour ultrafiltrer des laits préalablement coagulés, de par leur capacité à véhiculer des liquides visqueux et leur capacité à subir la stérilisation à l'eau surchauffée ou à la vapeur.

Clarification des jus de fruits

Au cours de l'année 1983, les membranes minérales CARBOSEP ont connu un nouveau développement par la réalisation de plusieurs unités industrielles dans le domaine de la clarification des jus de pommes.

La figure 8 montre la comparaison entre le procédé traditionnel et le procédé d'ultrafiltration.

FIG.8 - Procédés de clarification des jus de pommes, comparaison entre le procédé traditionnel et le procédé d'Ultrafiltration.

Deux grands constats sont immédiatement perçus à l'examen des schémas de procédés.

1er Constat

Simplification du procédé traditionnel, de type discontinu, par suppression de diverses opérations telles que : refroidissement, collage, débouillage des fonds de cuve, filtrations sur diatomées et plaques de cellulose.

2ème Constat

Passage d'un procédé discontinu à un procédé continu facilitant les conditions d'exploitation.

Ces deux constats ont pour conséquence un gain économique favorable au procédé d'ultrafiltration justifiant par là-même l'investissement de l'équipement.

Les économies sont réalisées au niveau :

- Matériel : diminution cuverie, suppression séparateur centrifuge et unités de filtration traditionnelle.
- Produits : diminution enzymation, suppressions gélatine-bentonite, suppression kieselghur et plaques de cellulose.
- Main d'oeuvre : limitation des opérations de transfert. Possibilité de mise en bouteille 2 h après la mise en route de l'unité d'ultrafiltration.
- Rendement matière : il a été évalué au minimum à 97 % contre environ 90 % à 93 % en traditionnel selon les sites.

Quant à la qualité des jus de pommes produits par le procédé d'ultrafiltration elle est tout à fait comparable aux jus traditionnels.

A titre d'exemple le tableau 3 compare leur composition respective.

Nous pouvons noter malgré des compositions très voisines, deux particularités :

- Les jus ultrafiltrés conservent bien les tanins de la pomme alors que ceux-ci sont en partie complexés par le collage à la gélatine lors des traitements traditionnels.
- Les jus ultrafiltrés sont plus colorés que les jus traditionnels, l'opération de collage étant responsable de leur perte de couleur. Il faut également préciser que la couleur des jus ultrafiltrés est stable dans le temps contrairement aux jus traditionnels qui ont tendance au brunissement. Les tests de dégustation se sont révélés plus favorables aux jus clarifiés par ultrafiltration.

TABLEAU 3 - Comparaison des caractéristiques des jus de pommes clarifiés par le procédé d'ultrafiltration CARBOSEP.

Caractéristiques	Clarification traditionnelle	Clarification par ultrafiltration Carbosep
Densité (1)	1,04437	1,04488
Sucres totaux (2) (g/l)	98,7	94,3
Fructose (g/l)	67,8	60,0
Glucose (g/l)	15,6	18,7
Saccharose (g/l)	15,3	15,6
Tanins (3) (g/l)	1,21	1,99
Matières sèches (4) (‰)	11	11,2
Acidité totale (5) (g H ₂ SO ₄ /l)	2,80	2,05
Couleur (6)	0,492	0,881
Turbidité (7)	0,057	0,029

(1) Densité : mesure effectuée à 20°C sur densimètre électronique DE PAAR.

(2) Sucres : méthode enzymatique KIT BOEHRINGER.

(3) Tanins : méthode de POLIN.

(4) Matières sèches : réfractométrie à 20°C

(5) Acidité : neutralisation à la soude jusqu'à pH 7 exprimée en g/l H₂SO₄.

(6) Couleur : mesurée au spectrophotomètre à 420 nm.

(7) Turbidité : mesurée au spectrophotomètre à 650 nm.

Microfiltration tangentielle des boissons alcoolisées fermentées par le procédé CARBOSEP.

Depuis 1983, SFEC et CEA ont entrepris un programme de recherche et développement visant à valoriser le procédé CARBOSEP dans le domaine de la clarification des boissons alcoolisées fermentées dont les 3 principales sont en FRANCE :

- . le vin : 50 à 80.10⁶hl.
- . la bière : 20 à 25.10⁶hl.
- . le cidre : 15 à 20.10⁶hl.

L'intérêt du procédé CARBOSEP sur une telle ligne de produits est identique à celui de son insertion sur la ligne de produits jus de fruits à savoir : passage d'un procédé discontinu à un procédé continu et simplification de la chaîne de filtration traditionnelle. Au cours de cette communication nous n'aborderons que le cas du vin sur lequel nous avons effectué un effort particulier en collaboration avec 2 sections régionales françaises de l'Institut Technique de la Vigne et du Vin.

Il faut noter que nous avons adopté le terme de microfiltration tangentielle. En effet, les diverses contraintes relatives aux vins tant au plan qualitatif qu'au plan économique, nous ont orientés sur le concept d'une membrane de microfiltration CARBOSEP généralisable aux boissons alcoolisées fermentées telles que le cidre et la bière.

Il s'agit de la membrane maintenant commercialisée en Europe sous la référence M6 présentée dans le tableau 1.

En ce qui concerne la qualité des vins obtenus par application du procédé optimisé, elle est très sensiblement identique à la qualité du vin traité par la méthode traditionnelle.

Oeufs

Les systèmes CARBOSEP ont connu en France un développement original dans le domaine de la concentration de l'oeuf entier et du blanc d'oeuf, de par sa capacité à véhiculer des liquides visqueux avec un cisaillement mécanique minimum du produit. De plus, l'extraction concentration du lysozyme contenu dans l'oeuf est maintenant pratiquée par ultrafiltration CARBOSEP

Biotechnologies

Les membranes minérales constituent un nouvel outil pour les biotechnologies. Les opérations de séparation, purification, concentration de micro-organismes sont avantageusement pratiquées par les équipements d'ultrafiltration CARBOSEP. Le rendement produits est voisin de 100 %. Là aussi, l'ultrafiltration CARBOSEP, permettant de par son concept hydrodynamique le traitement des liquides très visqueux, se place en concurrence des matériels de centrifugation.

De plus, de tels équipements permettent le couplage entre un bioréacteur ou un biofermenteur et un appareil d'ultrafiltration.

La figure 9 indique le principe de ce couplage. Le système d'ultrafiltration fait partie intégrante du fermenteur.

Ainsi, dans un tel couplage, les fonctions principales peuvent être effectuées :

- Stérilisation commune au fermenteur et au système d'ultrafiltration.
- Elimination continue et pilotée des métabolites ou de la phase valorisable stérile par l'ultrafiltre.
- Homogénéisation de la biomasse par recirculation entre le fermenteur et l'ultrafiltre.
- Purification, si nécessaire, de la biomasse par lavage continu sans remise à l'air.
- Concentration de la biomasse résiduelle valorisable ou non par le système d'ultrafiltration jusqu'à des valeurs de plusieurs centaines de g/l.- Vidange et récupération stérile.

Globalement, les rendements des bioréaction et biofermentation sont accrus.

Des équipements CARBOSEP, comprenant plusieurs systèmes d'ultrafiltration couplés à des fermenteurs ou réacteurs sont opérationnels. Ces unités sont à notre connaissance, les premières installations mondiales d'ultrafiltration stérilisables à la vapeur.

Elles sont utilisables pour la concentration de micro-organismes, la synthèse de composés aminés et d'enzymes, l'extraction de biomolécules produites par fermentation, les réactions d'hydrolyse de milieux com-

plexes hautement visqueux, la synthèse d'acides organiques résultant d'une bioréaction, tel que le vinaigre de l'extraction de levures et la synthèse de différents types de ferments, la concentration stérile des virus et d'extraction de toxines spécifiques.

La capacité à fonctionner, en milieu totalement stérile, confère également à ces nouvelles membranes, des applications potentielles telles que : la préparation de solutions biochimiques fragiles thermiquement, par stérilisation dite "froide" et par passage sur la paroi membranaire ; l'industrie pharmaceutique mettra, à terme, à profit une telle propriété.

CONCLUSION

Le procédé d'ultrafiltration CARBOSEP, caractérisé par l'utilisation de membranes minérales dites de 3ème génération constitue un nouvel outil pour les industries agro-alimentaires et bio-technologiques.

Il représente un exemple type de retombées technologiques des travaux conduits sur les céramiques nucléaires microporeuses. Après cinq années d'essor industriel et commercial, ce procédé de par sa fiabilité d'exploitation a pénétré les industries précitées avec succès en Europe.

Discussion

Président : M. G. COGNET

M. Le Président. — Je remercie M. PAGÈS, qui en présentant la conférence préparée par M. Veyre a passé en revue les nombreuses applications des membranes.

Y a-t-il d'autres applications potentielles de la part de l'auditoire ?

M. NEEL. — Pourquoi avoir préféré le support de carbone au

support de céramique ?

M. PAGÈS. — Le couple zircone carbone, du point de vue de la stabilité chimique, est le couple le plus intéressant, en performance et en prix.

(suite de la discussion à la page suivante)

M. NEEL. — Est-ce que cela ne pose pas de problème au moment où l'on accroche la couche de zircone sur le carbone ? J'imagine assez difficilement comment l'opération peut être faite, l'accrochage ayant lieu à l'intérieur du tube, et comment on peut le réaliser en continu industriellement.

M. PAGÈS. — C'est une très bonne question ; je vais y répondre par une échappatoire, vous comprendrez facilement pourquoi.

La couche de zircone est très solidement accrochée sur les supports. Je citerai l'exemple d'une installation qui travaille sur des bactéries et qui est stérilisée à la vapeur sans changement de caractéristiques des membranes depuis 40 mois.

La SFEC, qui a d'abord été une filiale de la CSF a fabriqué les premières membranes en céramique en 1958 ; c'est dire qu'elle a 27 ans d'expérience dans ce domaine. Je suis entré dans l'entreprise en 1959 et je suis un de ceux qui sont à l'origine du choix du carbone zircone. Je ne vous dirai pas comment on accroche la couche sur le support et je vous prie de m'en excuser : c'est le savoir-faire fondamental. A la SFEC, il y a moins de trois personnes qui savent comment on le fait, pour éviter des risques de divulgation.

M. HACHE. — Je voudrais poser une double question :
— Quelle signification donnez-vous aux seuils de coupure que vous avez indiqués ?

— Peut-on séparer une protéine de masse molaire 10 000 d'une protéine de masse molaire 100 000 par ultrafiltration ?

P. PAGÈS. — Pour répondre à la première question, je dirai que les indications de seuils de coupure qui sont données sont valables avec nos critères. Il est certain que chaque constructeur de membrane peut utiliser des critères différents et qu'un voile pudique est lancé sur leur définition ⁽¹⁾.

A la SFEC chaque fabrication fait l'objet de prélèvements qui sont contrôlés statistiquement et permettent de déterminer des qualités de fabrication tout à fait reproductibles, relatives aux seuils de coupure indiqués.

J'ai entendu parler de microfiltration et d'ultrafiltration. Pour le moment, on ne sait pas bien utiliser les membranes de microfiltration ; il faut les fabriquer et les faire fonctionner. Entre ces deux sortes de membranes, il y a des domaines tout à fait intéressants. On sait maintenant clarifier les jus de fruit, les boissons alcoolisées telles que le vin ; on utilise alors des membranes qui sont à la frontière entre l'ultrafiltration et la microfiltration. On choisit le seuil de coupure en fonction des éléments qu'on veut laisser passer ou ceux qu'il faut retenir, le plus souvent par expérience.

Je citerai un exemple : il a été fait une étude sur la clarification des vins de Champagne. Il s'agit de clarifier le vin et de ne pas retenir toutes les protéines et, en tous cas, pas celles qui participent au développement des mousses. On y parvient avec les membranes de microfiltration, tout au moins on semble y parvenir. Les résultats des analyses et des comparaisons de dégustation sont attendus au début de l'année prochaine.

Il n'y a pas de seuils de coupure parfait et on n'aura jamais une coupure juste à 100 %. Pour le moment, à mon avis, la séparation de masse molaire de 10 000 et d'une protéine de 100 000 me paraît difficile industriellement aujourd'hui.

M. VAN DEN BROEK. — Est-ce qu'à la SFEC vous avez étudié le recyclage et la récupération des liquides en ce qui concerne le matériel aéroporté ?

M. PAGÈS. — Vous voulez sans doute savoir si le recyclage a été utilisé dans les transports très chers et très éloignés avec les engins spatiaux. Je pense que la NASA doit le faire, mais n'a pas dévoilé son secret. La NASA recycle probablement son eau et traite les urines.

Je peux vous dire que, dans un autre domaine, les sous-marins français conventionnels sont équipés d'osmose inverse pour la production d'eau douce, quand l'engin est en période de plongée. Sur les sous-marins nucléaires, la production de vapeur à bord fait qu'un tel procédé n'est pas intéressant.

En ce qui concerne l'application de l'osmose inverse, il se développe aussi des systèmes pour la production d'eau sur les canots de sauvetage, par immersion profonde d'un module avec production de quelques litres d'eau en quantité suffisante pour assurer la survie d'un être humain. Ce sont des techniques qui se développent actuellement.

M. AUDINOS. — Quelle est la vitesse de passage dans les tubes et quelle est la perte de charge ?

M. PAGÈS. — Pour une viscosité de l'ordre d'un centipoise, la vitesse de circulation choisie, en régime turbulent, dans un tube de 6 mm de diamètre est de l'ordre de 4,5 m/s, ce qui donne par module une perte de charge de 0,6 bar pour l'eau et pour le lait à 50 °C. A un facteur de concentration de 2 ou 3, sur le lait à 50 °C la perte de charge sera de 0,8 bar par module.

Notre matériel permet d'obtenir des concentrations très élevées ; on a obtenu des concentrations de 28 % de protéines sur les produits laitiers, avec des demi-modules. Là, ce n'est plus l'ultrafiltration qui régit la vitesse mais la résistance mécanique du module. On limite la perte de charge à 4 bars sur une longueur de 1,20 m. Si l'on utilise une demi-longueur, on peut avoir 8 bars de perte, ce qui permet de faire passer des produits très visqueux. Ce type d'effet sur les produits très visqueux est très intéressant, parce que la membrane ne subit pas d'effets de fluage et de déformation. Ce sont des techniques qui se développent bien maintenant.

Jusqu'à 4 ou 5 m/s, il y a croissance de l'énergie consommée avec la vitesse et au-delà de 6 à 7 m/s il y a un effet inverse, dû à l'effet Berulli, à des compressions de la surface de la membrane et il n'y a plus de résistance du tube.

M. DESROCHE. — Avez-vous des applications de votre technique pour la rétention des colloïdes dans l'industrie nucléaire ?

M. PAGÈS. — Oui. Il y a des applications dans le domaine nucléaire, pour le retraitement des combustibles. Dans un système nucléaire, il est très important, quand on emprisonne une machine, de ne plus la visiter, parce que, dans ce domaine, les coûts de démontage, d'intervention sont considérables et il ne peut pas être question de laisser entrer des déchets. Ces membranes donnent d'assez bons résultats pour la séparation des colloïdes ou des précipités.

M. DESROCHE. — Travaillez-vous à des températures supérieures à 100°, par exemple ?

M. PAGÈS. — En ce qui concerne la température, c'est généralement la limite imposée par la sensibilité du produit qui compte dans le fonctionnement de nos systèmes. Je vais citer des limites. Tout le monde sait qu'il faut traiter la bière aux environs de 0 °C ; c'est un produit à la limite de la plus basse température. A plus haute température, nous traitons à 330 °C les huiles de moteur usagées. On utilise les membranes avec des moyens d'étanchéité adaptés. Les membranes pourraient travailler jusqu'à 400 °C.

Il n'y a pas de problèmes de membranes. Mais les applications à plus de 100 °C sont rares, sauf à stérilisation à la vapeur qui est courante avec les modules SFEC CARBOSEP.

M. CUER. — La mouillabilité de la surface intervient dans les caractéristiques hydrodynamiques. Est-ce un critère qui intervient dans le choix entre les membranes polymères et les membranes céramiques ?

M. PAGÈS. — Oui, souvent, mais il n'y a pas que la mouillabilité qui intervient ; il y a, par exemple, la sensibilité aux dépôts de sel. En effet, la mouillabilité joue un rôle ; c'est un point important, mais je ne pourrais pas en parler en détail.

(1) Un « Glossaire des termes techniques des procédés à membranes » est en cours d'édition par IDEXPO (Cachan) sous l'égide de la Société Française de Filtration — Coordinateurs : MM. R. AUDINOS ET P. ISOARD.