

11/89

وزارة التعليم العالي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

26x

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Projet de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention d'un Diplôme d'Ingénieur d'Etat

THEME

Amélioration du Procédé d'Ultrafiltration  
par Application d'un Champ Électrique.

Proposé par :

Mr N. MAMERI

Etudié par :

Mr Y. LEMOUESSEKH  
Mr S. BOULAHGHICHE

Dirigé par :

Mr N. MAMERI  
Mr AB. CHERGUI

PROMOTION JUIN 1989





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Projet de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention d'un Diplôme d'Ingénieur d'Etat

THEME

Amélioration du Procédé d'Ultrafiltration  
par Application d'un Champ Électrique.

Proposé par :

Mr N. MAMERI

Etudié par :

Mr Y. LEMOUESSEKH  
Mr S. BOULAHCHICHE

Dirigé par :

Mr N. MAMERI  
Mr AB. CHERGUI

PROMOTION JUIN 1989

E.N.P. 10, Avenue Hocin Badi — El-Harrach — Alger

- D \_ E \_ D \_ I \_ C \_ A \_ C \_ E \_ S



Je dedie ce modeste travail à :

- La Memoire de mon père.
- Ma Mère.
- Mes Frères et Soeurs.
- A ma nièce, HIND.
- A Tous ceux que j'aime.

S. BOULAHCHICHE.

-\*-\*-\*-\*-\*-\*-\*-\*

Je dedie ce modeste travail à :

- Mon père
- Ma Mère, pour sa patience.
- Mes Freres et Soeurs.
- A la memoire de mon cousin M. LAIB.
- Ainsi qu'a mes amis en signe d'affection et d'amour.

Y. LEMOUESSEKH .

Ce travail a été réalisé au laboratoire de biotechnologie du département de Genie de l'environnement sous la Direction de:

- Monsieur N. MAMERI, Directeur du laboratoire de recherche et de biotechnologie.

- Monsieur AB. CHERGUI, Enseignant au département des sciences fondamentales.

Que nous leur exprimons notre sincère reconnaissance pour leurs conseils tout au long de cette étude.

Nous tenons à remercier et témoigner ici, notre gratitude à:

- Monsieur H. MENDJEL, Professeur à l'USTHB, d'avoir accepté de présider notre jury.

- Madame N. ABDI, Enseignante au département de genie de l'environnement, d'avoir également participer à ce jury.

- Mademoiselle D. ARRAR, Enseignante au département de genie de l'environnement, d'avoir examiner ce travail et accepté de participer à ce jury.

Nos remerciements vont également à:

- Monsieur et Madame MERDAOUI A., ainsi qu'à Monsieur M. MEZIANE pour leur aide précieuse.

Nous ne saurons terminer sans trop remercier tous nos camarades de la promotion pour l'ambiance amicale qu'ils ont su créer au cours de la réalisation de ce travail et en particulier:

- KARIM BENABERRAHMANE, L. BELLAHMER et S. BOULEKBACHE.

En outre, nous associons à une pensée reconnaissante, l'ensemble du personnel enseignant et technique de l'Ecole Nationale Polytechnique.



INTRODUCTION.

I- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	1
I-1)-Généralités sur les techniques membranaires.....	2
I-2)-La technique d'Ultrafiltration.....	
I-2-1)-Intêret et Application de l'ultrafiltration..	3
I-2-1-1)-Interêt.....	3
I-2-1-2)-Application.....	3
I-2-2)-Mecanismes de transfert.....	6
I-2-2-1)-Modèle du tamis moleculaire.....	6
I-2-2-2)-Modèle du transport géné(FERRY).....	7
I-2-3)-Polarisation de concentration.....	9
I-2-4)-Modèle osmotique.....	12
I-3)-La technique d'Electro-Ultrafiltration.....	14
I-3-1)-Principe de l'electro-ultrafiltration.....	14
I-3-2)-Mecanisme de l'electro-ultrafiltration.....	14
II- CARACTERISATION DES PROTEINES.....	17
II-1)-Introduction.....	18
II-2)-Le sang.....	18
II-3)-La serumalbumine.....	20
II-4)-Critères de solubilité d'une protéine.....	20
II-4-1)-Influence du pH.....	20
II-4-2)-Influence de la force ionique.....	21
II-4-3)-Influence de la température.....	21
II-4-4)-Influence des solvants organiques.....	21
III- ETUDE EXPERIMENTALE.....	22
III-1)-Dispositif experimental.....	23
III-1-1)-Description de la cellule d'Electro-	
-Ultrafiltration.....	23
III-1-2)-Description de l'installation experimentale..	23
III-2)-Ultrafiltration statique.....	27
III-2-1)-Courbe de solvant.....	27
III-2-2)-Courbe de polarisation.....	27
III-2-3)-Aspect ecologique.....	34

III-3)- Electro-Ultrafiltration d'une solution protéique .....	36
III-3-1)-Influence de l'inversion de polarité.....	36
III-3-2)-Effet de l'application d'un champ electrique.....	39
III-3-3)-Effet de la vitesse de recirculation.....	39
III-3-4)-Phénomène d'adsorption.....	39
IV - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	49
A N N E X E .....	
TABLE DES SYMBOLES UTILISES.....	
BIBLIOGRAPHIE.....	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

En l'espace de vingt ans, les techniques à membrane se sont transformées de procédés peu fiables en procédés compétitifs et performants.

Ces dernières années, ces techniques ont contribué efficacement à la protection de l'environnement. De plus, pour certains effluents industriels, elles permettent la valorisation des rejets polluants. Leurs applications principales sont:

"la séparation, purification et concentration des substances diverses".

Le présent travail concerne la concentration des macromolécules électriquement chargées, désigné par un nouveau procédé "Electro-Ultrafiltration" encore au stade de recherche.

Nous avons donc été amené à concevoir, et à réaliser une cellule d'Electro-Ultrafiltration que nous avons testé sur une solution modèle de bovine serumalbumine (B.S.A). Par la suite; ce procédé sera utilisé pour le traitement et la valorisation des effluents d'abattoirs.



=80= ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE =0<sup>o</sup>/<sub>o</sub>=

---

---

## 1-1- GENERALITES SUR LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES.

Les progrès technologiques réalisés ces dernières années ont permis d'implanter les techniques à membranes à des domaines d'applications très variés.

Les études technico-économiques et d'optimisation<sup>(21)</sup> de ces procédés montrent une meilleure compétitivité par rapport aux techniques classiques de séparation<sup>(15)</sup> (évaporation, centrifugation, décantation, distillation etc...)

Les premières membranes commercialisées étaient composées d'acetate de cellulose, leur gamme de résistance à la température et au PH a pour limite respective un maximum de 50°C et à 3 à 8. La seconde génération est constituée à partir de polymères de synthèse<sup>(17)</sup> (surtout des dérivés polysulfoniques). Elles ont une meilleure tenue pour la température et le PH (75 à 80°C) et (2 à 12).

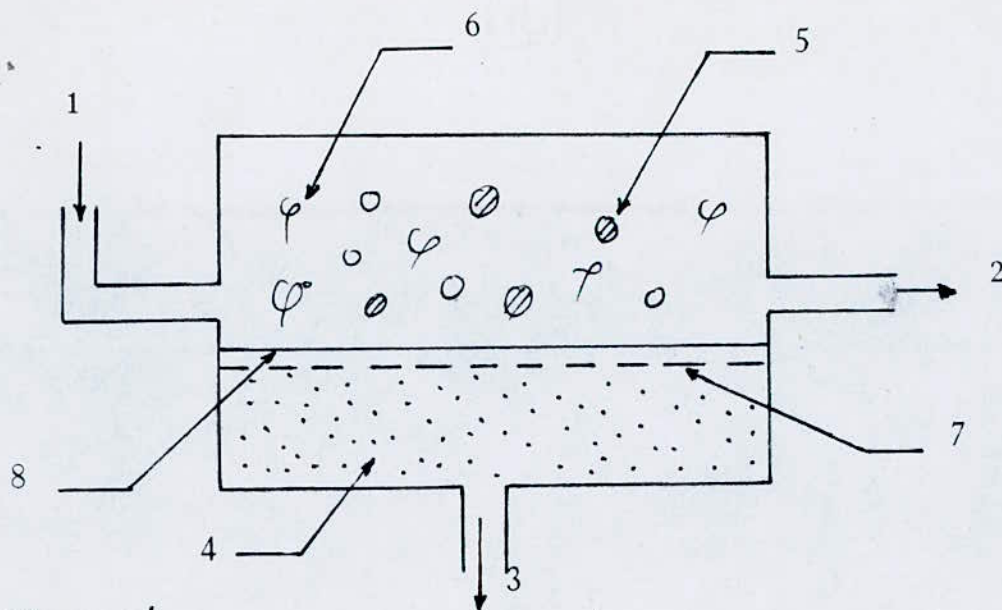
L'arrivée sur le marché des membranes minérales, dites de troisième génération, à base de matériaux de meilleure résistance physico-chimique (toute échelle de PH), thermique (400°C) et mécanique (40 Kg/cm<sup>2</sup>) ont permis une percée des techniques à membranes.

En général, les domaines respectifs des procédés à membranes les plus utilisés ces dernières années sont: l'électrodialyse, la microfiltration, l'osmose inverse et l'ultrafiltration.<sup>(8)</sup>

## 1-2- LA TECHNIQUE D'ULTRAFILTRATION "UF"

L'ultrafiltration est un procédé de séparation de macromolécules<sup>(23)</sup> en solutions à travers une barrière semi-perméable et sélective sous l'action d'un gradient de pression.<sup>(24)</sup>

Les espèces à séparer restent partiellement ou totalement retenues en amont de la membrane alors que le reste est en aval. La séparation est caractérisée par un seuil de coupure où "cut off"<sup>(13)</sup> c'est l'ordre de grandeur de la masse molaire d'un soluté de structure globulaire arrêté totalement par la membrane. La figure 1 illustre le principe général de l'UF en système continu.



- 1- Solution à ultrafiltrer.
- 2- Retentat.
- 3- Ultrafiltrat.
- 4- Solvant.
- 5- Macromolécules faibles masses
- 6- Macromolécules fortes masses
- 7- Support de membrane
- 8- Membrane.

Figure 1/ Principe général de l'ultrafiltration pour un système continu.

La distinction entre l'UF, la microfiltration et l'osmose inverse se fait en général en considérant la taille ou la masse des substances pouvant traverser la membrane (FIG: 2 ).

Le diamètre moyen des pores d'UF est de l'ordre de 10 à 100 Å<sup>(6)</sup>.

#### 1-2-1 INTERET ET APPLICATION DE L'UF<sup>(18)</sup>

##### 1-2-1-1 INTERET:

les principaux avantages de cette technique sont les suivants

- Possibilité d'avoir une large gamme de selectivité par conséquent un seuil de coupure désiré.

- Une durée de vie plus longue, allant jusqu'à trois ans.

- Une bonne tenue à la pression .

- Une bonne tenue aux agents chimiques, à la température et aux solvants.

- La séparation s'effectue à température ambiante convenable aux espèces biodégradables par exemple le traitement du lactosérum et des protéines.

<sup>(3,14,19,11)</sup>

##### 1-2-1-2 APPLICATION:

L'ultrafiltration se trouve appliquée dans les industries de l'automobile (peinture d'électrophorèse), du textile (huile d'ensimage des fibres), de la pharmacutique (fractionnement des protéines sanguines, vaccins, enzymes, antibiotiques...etc), dans la médecine (reins artificiels), dans l'industrie agro-alimentaire (concentration et purification des protéines, filtration des jus de fruits, fermentation). Cette technique de séparation permet également la récupération des matières valorisables entraînées dans les rejets industriels (liqueurs de papeteries, bains de tanneries) où même urbains ainsi que la valorisation d'un grand nombre de sous produits, il faut signaler cependant l'apparition d'une autre application importante de l'UF à savoir les bioreacteurs à membrane.

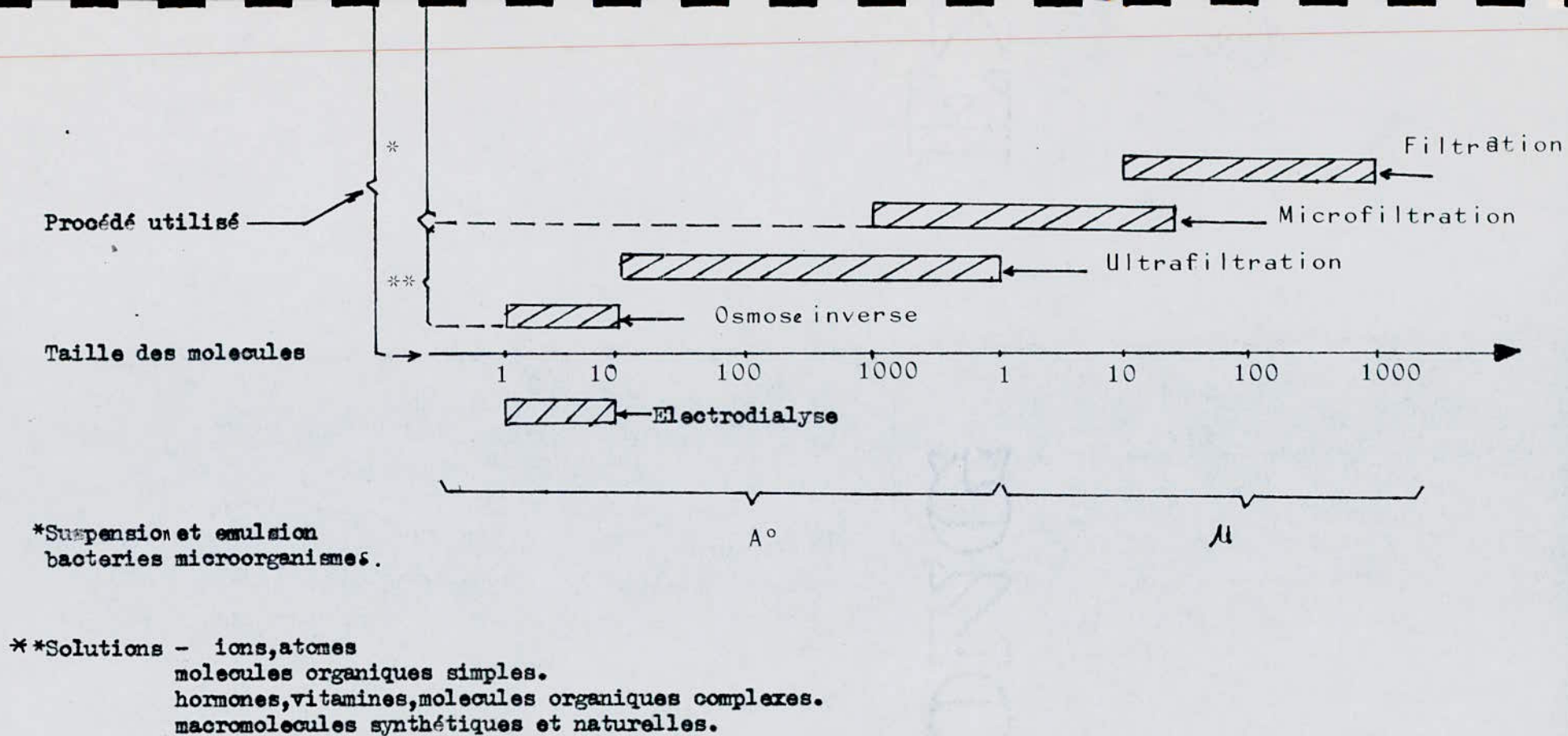


Figure 2 : Différents procédés de séparation à membrane par taille de particules. <sup>(18)</sup>

## 1-2-2- MECANISME DE TRANSFERT.

### 1-2-2-1- MODELE DU TAMIS MOLECULAIRE:

Ce modèle suppose que la membrane est un tamis moléculaire. Les pores de ce modèle sont assimilés à des capillaires cylindriques et l'écoulement du fluide à travers ces pores est considéré laminaire, de même le fluide est supposé Newtonien.<sup>(28)</sup>

Ce flux de solvant à travers une telle membrane peut être déterminé par la loi de POISEUILLE.

$$J_v = \frac{\pi \cdot r^4}{8\mu} N \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (1)$$

Avec

$J_v$  : ( $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) débit de solvant par unité de surface.

$r$  : ( $\text{cm}$ ) rayon de pore.

$\mu(P)$  : Viscosité dynamique.

$\Delta P$  : ( $\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) Pression appliquée.

$\Delta x$  : ( $\text{cm}$ ) épaisseur effective de la membrane.

$N$  : ( $\text{cm}^{-2}$ ) nombre de pore par unité de surface.

Le nombre de pores par unité de surface peut être relié à la porosité par la relation:

$$N = \frac{\epsilon}{\pi \cdot r^2 \cdot \tau} \quad (2)$$

Avec

$\epsilon$  : Porosité de la membrane.

$\tau$  : Facteur de tortuosité.

$$\text{d'où: } J_v = \frac{\epsilon \cdot r^2}{8\mu \cdot \tau} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (3)$$

Le flux de soluté peut s'exprimer par la relation:

$$J_s = \sigma \cdot J_v \cdot C_o = \sigma \cdot C_o \cdot \frac{K_1 \mu}{\Delta x} \Delta P \quad (4)$$

$J_s$  ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Avec:  $K_1 = \epsilon r^2 / 8\tau$

$\sigma$  : constante sans dimensions,  $0 \leq \sigma \leq 1$

Physiquement la constante représente la fraction liquide qui passe à travers les pores de dimensions suffisantes pour ne pas retenir les molécules de soluté, puisque le flux de soluté peut s'exprimer en fonction du flux de perméat et de la concentration  $C_p$  d'après la relation suivante:

$$J_S = J_v \cdot C_p \quad (5)$$

En combinant les equations (4) et (5) on peut déduire l'expression de :

$$\sigma = \frac{J_S}{J_v \cdot C_o} = \frac{C_p}{C_o} = 1 - R \quad (6)$$

$R$  : est appelé taux de rejet.

$C_o, C_p$  : Concentration de soluté, respectivement dans la solution et dans le perméat.

#### 1-2-2-2- MODELE DE TRANSPORT GENE OU DE FERRY /<sup>18</sup>

Ce modèle suppose que l'effet de tamis provient de la gêne du transport des solutés. Cette théorie prévoit qu'une particule de soluté ne peut pénétrer dans un pore de membrane qu'à condition que le centre de masse de cette particule soit à l'intérieur d'un cercle de rayon  $(r-a)$ ,  $r$  est le rayon du pore et " $a$ " le rayon de la particule.

La figure 3 montre la probabilité de pénétration d'une particule de soluté dans un pore de membrane.

La surface de pore disponible au transport de soluté A se traduit par la relation:

$$\frac{A}{A_o} = \frac{(r-a)^2}{r^2} \quad (7)$$

Avec :

$A_o$  : surface de pore au transport de solvant.

Si nous tenons compte du profil de vitesse d'écoulement du fluide dans un pore correspondant à un écoulement du modèle de

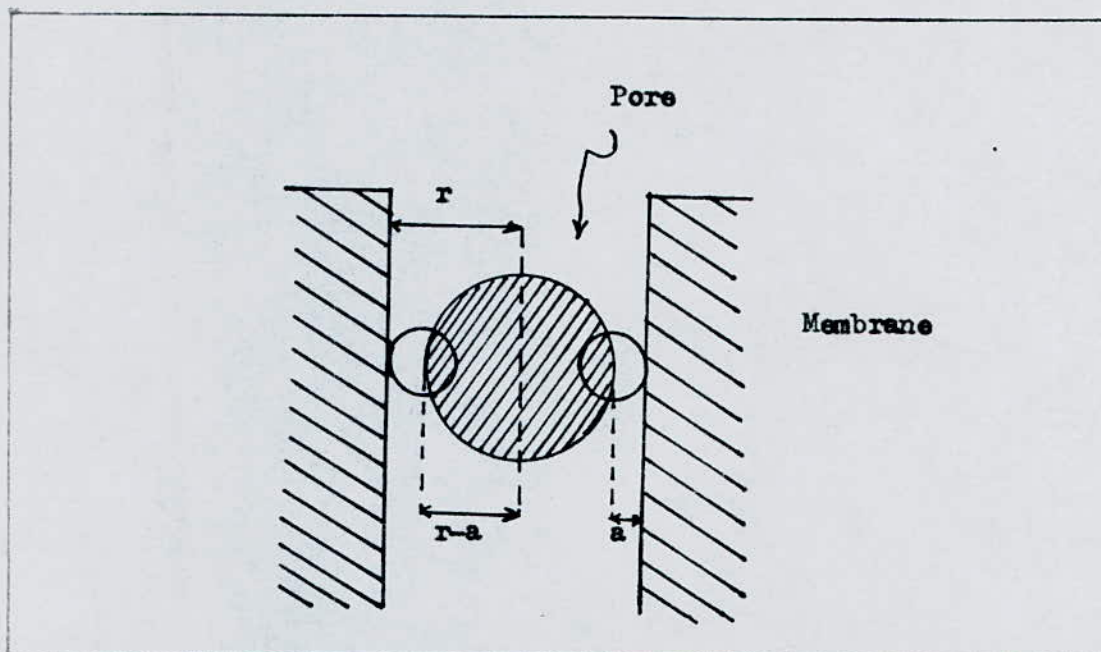


FIGURE 3 : Schéma illustrant la probabilité de pénétration d'une particule dans un pore de membrane.

tamis, la surface effective du pore disponible au transport de soluté serait:

$$\left( \frac{A}{A_o} \right)' = 2 \left( a - \frac{a}{r} \right)^2 - \left( 1 - \frac{a}{r} \right)^2 \quad (8)$$

$$\text{et puisque } \left( \frac{A}{A_o} \right)' = \frac{C_p}{C_o} = \gamma \quad (9)$$

$\gamma$  : facteur de tamis qui peut être relié au taux de rejet selon l'équation:

$$R = 1 - \gamma \quad (10)$$

nous avons par conséquent une équation reliant R à "r" et "a" selon :

$$R = 1 - \gamma = 1 - \frac{C_p}{C_o} \quad (11)$$

$$R = 1 - 2 \left( 1 - \frac{a}{r} \right)^2 - \left( 1 - \frac{a}{r} \right)^4 \quad (12)$$

Où  $\left( \frac{A}{A_o} \right)'$  : rapport de concentration du soluté respectivement dans le perméat  $A_o$  et dans la solution.

### 1-2-3- POLARISATION DE CONCENTRATION.

Lors d'une opération d'ultrafiltration, la membrane laisse passer les molécules de solvant, mais retient partiellement ou complètement certaines molécules de soluté. Ces dernières ont tendance à s'accumuler à l'interface: membrane-solution jusqu'à former une couche de fluide. Les transferts se font de moins en moins facilement en allant vers la membrane. Ce phénomène est appelé "la polarisation de concentration". Le soluté dans cette zone se déplace sous l'effet de deux forces opposées: (28)

- La convection vers la membrane, assurée par un gradient de pression.
- La diffusion vers la solution, assurée par un gradient de concentration.

Le flux global de soluté vers la membrane est donné par la relation suivante:

.../...

$$J_s = J_v \cdot C - D \frac{dc}{dx} \quad (13)$$

$C_p$  : concentration de soluté dans le permeat.

$C$  : concentration du soluté dans la couche de polarisation.

$D$  : Coefficient de diffusion du soluté

dans la couche limite de polarisation.

$dx$  : variation de l'épaisseur de la couche polarisée à partir de la solution.

$- D \frac{dc}{dx}$  : le flux en sens inverse de nature diffusionnelle

À l'état stationnaire et d'après l'équation (13) le bilan de matière globale permet d'établir la relation:

$$J_v \cdot C_p = J_v \cdot C - D \frac{dc}{dx} \quad (14)$$

En intégrant l'équation le long de  $\delta$ .

(  $\delta$  : épaisseur de la couche de polarisation.)

Avec  $x=0$  quand  $C=C_o$  et  $x = \delta$  quand  $C = C_m$ , le débit de perméation prend la forme:

$$J_v = \frac{D}{\delta} \ln \frac{C_m - C_p}{C_o - C_p} \quad (15)$$

La concentration  $C_m$  désigne la concentration du soluté à la surface de la membrane.

La présence d'une sursaturation du soluté à la surface de la membrane peut provoquer sa saturation et former ainsi une couche de gel appelée aussi "polarisation de concentration secondaire", dans ce cas, le flux de perméation s'exprime par:

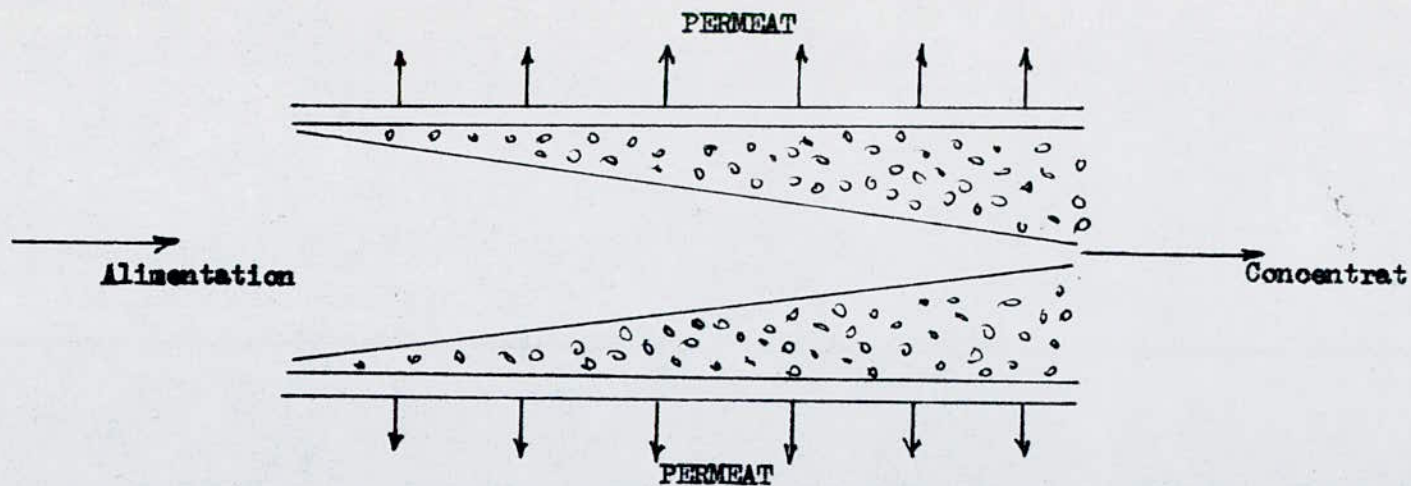
$$J_v = \frac{D}{\delta} \ln \frac{C_g - C_p}{C_o - C_p} \quad (16)$$

$C_g$  : concentration de gel de soluté.

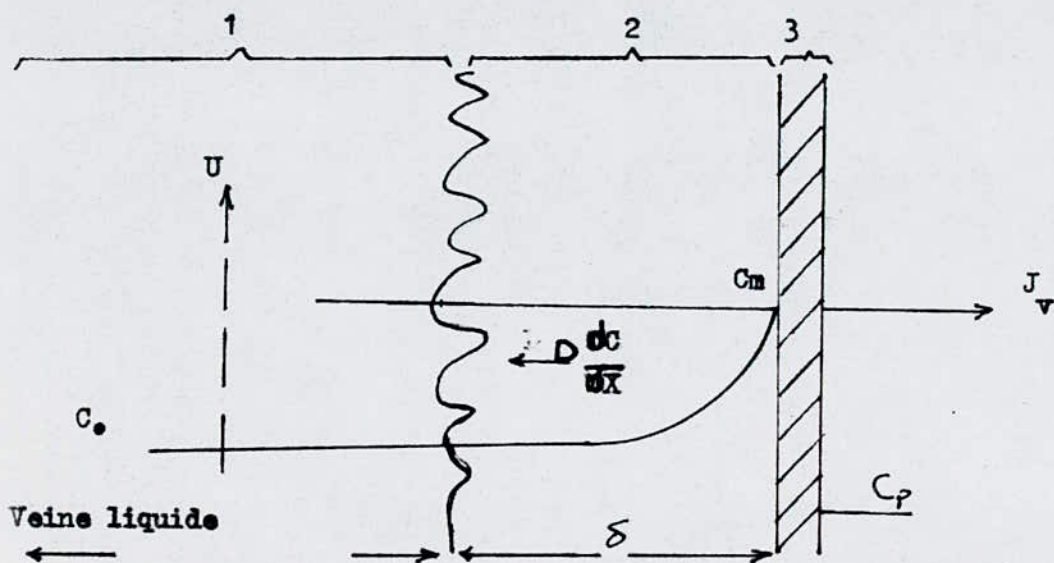
Le profil de la concentration de la polarisation d'une opération d'UF est représenté sur la figure(4).

.../...

Figure 4:  
La polarisation de  
concentration.

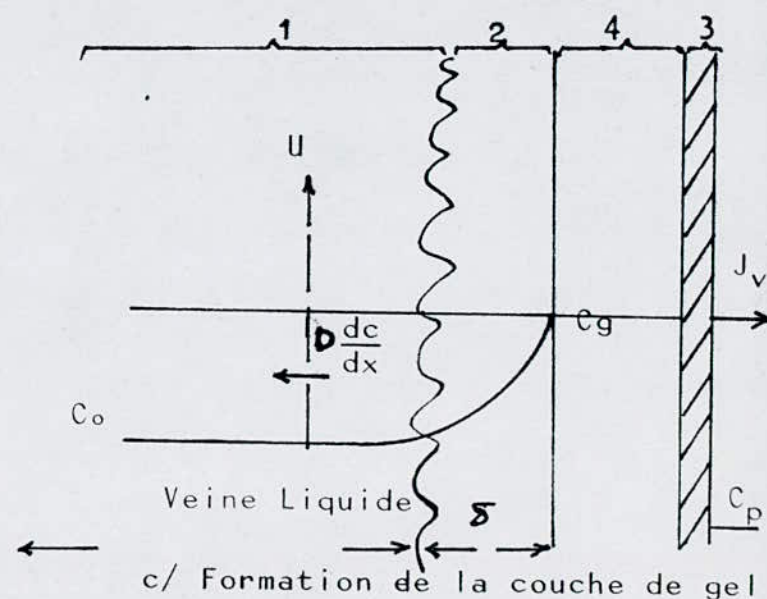


a) formation de la couche de polarisation.



b/ Profil de concentration dans la couche de polarisation.

1) Solution  
3) Membrane



c/ Formation de la couche de gel

2/ Couche de polarisation  
4/ Couche de gel

Dans ces relations  $k = \frac{D}{\delta}$  Peut être défini comme étant coefficient de transfert de masse calculé à partir des relations empiriques entre le nombre de SHERWOOD:

$$Sh = k \frac{d}{D}, \text{ de REYNOLDS: } Re = \frac{ud}{\mu} \text{ et de SCHMIDT: } Sc = \frac{\mu}{\rho D}$$

(TABLEAU) I .

K est proportionnel à  $U^n$ , U étant la vitesse de circulation sur membrane et n variant avec le régime d'écoulement.

### 3-4-MODELE OSMOTIQUE /: <sup>(24)</sup>

Le flux du solvant en absence de polarisation de concentration est régi par la loi DARCY/:  $J_v = L_p \cdot \Delta P$  (17)

$J_v$ : flux de perméation.

$\Delta P$ : Pression transmembrane appliquée.

$L_p$ : Perméabilité hydraulique de la membrane.

L'équation précédente peut se mettre sous la forme:

$$J_v = \frac{\Delta P}{R} \quad (18)$$

R: Résistance hydraulique de la membrane.

En présence de polarisation l'équation devient:

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{R + R_p} \quad (19)$$

$\Delta \pi$ : Pression osmotique due à la différence de concentration.

$R_p$ : Résistance de la couche de polarisation.

Dans le cas où une couche de gel est formée l'expression du flux de solvant s'exprime par :

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{R + R_p + R_g} \quad (20)$$

$R_g$ : résistance due à la couche de gel.

.../...

Regime laminaire	Equation générale $Sh = a \left( Re \frac{d}{L} \right)^n So^m$			
Géometrie du canal	a	n	m	ORIGINE
Tubulaire	0,664	0,5	0,33	GROBER ET COL (1961)
TUBULAIRE	1,62	0,33	0,33	LEVEQUE (1928)
Rectangulaire	1,48	0,33	0,33	
Regime turbulent	Equation générale : $Sh = a Re^n So^m$			
Geometrie du canal	a	n	m	ORIGINE
Tubulaire	0,023	0,8	0,3	DILLUS ET BOELER (1930) CHITTON ET COLBURN (1931)
	0,023	0,875	0,25	DEISSLER (1955)
	0,0096	0,913	0,346	HARRIOT ET HAMILTON ( 1934)

TABLEAU 1/: Correlation du coefficient de transfert de masse  $K$  .<sup>(21)</sup>

### 1-3 - L'ELECTROULTRAFILTRATION (EUF) : <sup>(26)</sup>

Le phénomène de polarisation limite les performances de l'ultrafiltration et constitue parfois un frein au développement de cette technique de séparation.

De nombreux travaux ont été entrepris <sup>(1,5,7)</sup> pour tenter d'en diminuer les effets en cherchant en particulier à améliorer les conditions d'écoulements à travers la membrane à l'aide de promoteurs de turbulence placés loin ou près de la membrane. Pour tenter d'éviter la diminution de flux de filtrat, il existe plusieurs techniques telle que l'agitation, l'augmentation de la vitesse tangentielle, emploi de prefiltres, emploi de filtres rotatifs...etc; Cependant ces techniques n'ont pas généralement une efficacité absolue, c'est pourquoi nous avons porté notre intérêt sur le rôle du champ électrique en ultrafiltration.

#### 1-3-1- PRINCIPE DE L'ELECTROULTRAFILTRATION :

La superposition d'un champ électrique sur le procédé d'ultrafiltration permet de contrôler la formation de la couche de polarisation en agissant sur le mouvement des macromolécules chargées qui se dirigent de la membrane vers la solution <sup>(26)</sup> permettant ainsi l'augmentation du flux de perméat:

On parle d'électroultrafiltration.

Dans cette technique, le potentiel crée entre deux électrodes entraîne une migration des particules chargées loin de la surface.

#### 1-3-2- MECANISME DE L'ELECTROULTRAFILTRATION: <sup>(27)</sup>

On représente convenablement la pression osmotique des solutions macromoléculaires dans un large domaine de concentration par un polynôme de troisième degré.

$$\Delta\pi = a_1 C_m + a_2 C_m^2 + a_3 C_m^3 \quad (21)$$

.../...

VILKER a déterminé les valeurs des coefficients  $a_i$  pour des solutions d'albumine à différents PH. SANCHEZ a pu simplifier l'expression précédente en l'écrivant sous forme :

$$\Delta \pi = a C_m^n \quad (22)$$

En présence d'un champ électrique  $E$ , normal à la membrane, un flux de migration est induit :

$$J_s^m = U.E.C. \quad (23)$$

$U$  : est la mobilité électrophorétique de l'espèce considéré.  
 À l'état stationnaire, suivant la direction normale à la membrane. on a :

$$J_v.C = -D \frac{dc}{dx} + U.E.C. + J_v C_p \quad (24)$$

L'intégration de cette équation sur l'épaisseur  $\delta$  du film diffusionnel, en supposant que  $E, D$  et  $U$  sont constants et pour un taux de rejet total ( $C_p = 0$ ) conduit à :

$$J_v = U.E + K \ln \frac{C_m}{C_o} \quad (25)$$

En utilisant le modèle osmotique :

$$\Delta P = R J_v + \sum_{i=1}^n a_i C_m^i \quad (26)$$

$$\Delta P = R J_v + \sum_{i=1}^n a_i C_o^i \exp \left[ i (J_v - UE) / K \right] \quad (27)$$

Ou plus simplement :

$$\Delta P = R J_v + a C_o^n \exp \left[ n (J_v - UE) / K \right] \quad (28)$$

L'influence d'une variation de champ électrique sur la densité de flux est donnée par le terme  $\frac{dJ_v}{dE}$ , en différenciant l'équation en tenant compte du fait que la pression et le champ sont indépendants et que  $K$  est indépendant de  $J_v$  et de  $E$ .

$$\frac{dP}{dE} = 0 \Rightarrow \frac{dJ_v}{dE} = \frac{u}{1 + KR/n a C_0^n \text{Exp} \left[ n(J_v - UE)/K \right]} \quad (29)$$

L'influence du champ électrique sera d'autant plus marquée que le terme  $KR/na C_0^n \text{Exp} \left[ n(J_v - UE)/K \right]$  sera faible devant l'unité.

Une meilleure efficacité du champ électrique sur la densité de flux sera obtenue pour des valeurs de K faibles et  $C_0$  importantes et donc pour de fortes polarisations.

Aux faibles valeurs du champ, le terme:

$\text{Exp} \left[ n(J_v - UE)/K \right]$  est grand et  $\frac{dJ_v}{dE}$  tend vers la mobilité  $u$ .

Aux fortes valeurs du champ électrique,  $\text{Exp} \left[ n(J_v - UE)/K \right]$  tend vers zéro. La pression osmotique devient nulle et la concentration à la surface de la membrane tend vers zéro.



$-\overset{\circ}{\underset{\circ}{O}}=$  CARACTERISATION DES PROTEINES  $=\overset{\circ}{\underset{\circ}{O}}-$

---

---

## I - INTRODUCTION:

Ce travail visant essentiellement le contrôle et la réduction de la couche de polarisation lors des séparations par ultrafiltration des effluents protéinés, pour cela il y'a lieu de donner un bref aperçu sur ces effluents, ainsi que sur les protéines et leurs propriétés.

## II - LE SANG :

Element vivant, liquide irrigant tous les tissus de l'organisme .

Le sang se compose de deux parties, le Plasma et les Cellules (éléments figurés), qui peuvent être séparés par centrifugation du sang (voir annexe) préalablement rendu incoagulable par addition d'un réactif anti-coagulant (l'héparine).

Le volume des éléments figurés du sang (globules rouges et blancs) représente 45% du volume sanguin total. Le liquide surnageant au-dessus des cellules sédimentées constitue le plasma dont la composition est complexe (sels minéraux, protéines, glucose, cholestérol, vitamines et gaz).

Le serum obtenu par centrifugation d'un sang a la même composition que le plasma, mais dépourvu de fibrinogène, qui s'est transformée en fibrine insoluble au cours de la coagulation.

La composition des différentes fractions du sang est donnée en (g/100 g) dans le tableau <sup>(4)</sup> 1.

CONSTITUANTS	Sang entier (S.E)		Serum= 66%S.E		Plasma=60%SE		Cruor=34%SE	
A-Non proteiques	83,0		92,5		92,1		64,9	
-Eau	80,8		91,2		90,8		60,8	
-Sels Mineraux	00,9		00,8		00,8		1,1	
-Lipides	00,2		00,1		00,1		00,4	
-Autres subs- -tances	1,1		00,4		00,4		2,6	
B-Proteiques	17,0	100%	7,5	100%	7,9	100%	53,1	100%
-Globulines	2,2	13%	3,3	44%	3,3	42%	.	.
-Fibrinogènes	00,3	1,7%	.	.	00,4	5,1%	.	.
-Albumines	2,8	16,3%	4,2	56%	4,2	53%	.	.
-Stroma	1,7	10%	.	.	.	.	5,1	14,5%
-Hemoglobine	10,0	59%	.	.	.	.	30,0	85,5%

T A B L E A U 1: La composition des differentes fractions du sang(g/100g).

### 11-3- LA SERUMALBUMINE <sup>(2)</sup> :

Le plasma contient 75,5 g de protéines par litre. Ce chiffre représente une quantité considérable de protéines. Parmi ces protéines, la serumalbumine est la plus abondante puisqu'elle représente environ 60% de la masse totale des protéines plasmatiques. C'est aussi la protéine la plus mobile, sa molécule est ellipsoïdale ( $150 \times 38 \text{ \AA}$ ), sans doute constituée d'une chaîne polypeptidique, son point isoelectrique  $\text{pH}_i = 4,8^{(9)}$ . Elle a une masse de 69000 Dalton.

Dans le plasma, cette protéine intervient dans l'équilibre osmotique.

### 1-4- CRITERE DE SOLUBILITE D'UNE PROTEINE <sup>(20)</sup> :

Quatre variables peuvent influencer la solubilité d'une protéine dans un solvant :

- Le  $\text{pH}$ , la force ionique, la constante diélectrique du solvant et la température.

#### 1- Influence du $\text{pH}$ :

La solubilité d'une protéine est généralement minimale au point isoelectrique. L'allure des courbes de solubilité en fonction du  $\text{pH}$  est schématisée sur la figure 1.

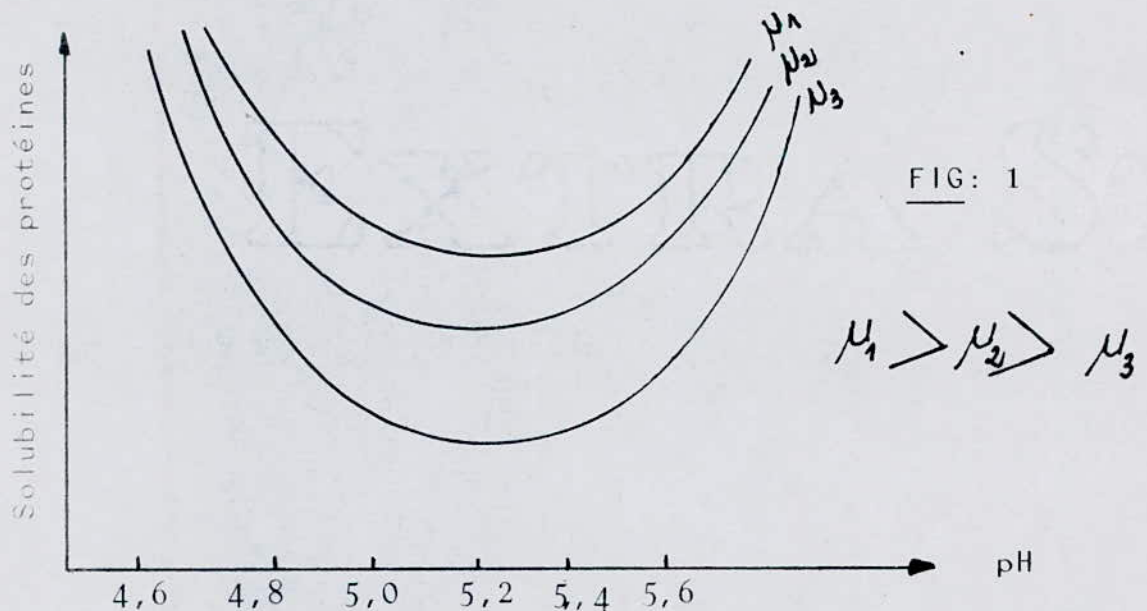


FIG: 1

## 2- Influence de la force ionique :

Les protéines ne sont pas solubles dans les conditions de force ionique bien définies. Les sels interviennent dans ce domaine par leur charge et leur concentration, l'expression de la force ionique étant:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2$$

- $C_i$  : concentration de l'ion "i" (exprimée en molarité).
- $Z_i$  : sa valence.

La figure 1 montre que pour un PH donne la solubilité d'une protéine dépend de la valeur de  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\mu_3$ . De plus pour une même force ionique, la nature du sel est importante et la solubilité en dépend. Enfin les protéines sont généralement solubles à faibles forces ioniques, alors qu'à forces ioniques élevées, elles précipitent (l'effet de relargage).

## 3- Influence de la température:

Dans la plupart des cas, la solubilité augmente légèrement avec la température quand celle-ci s'élève au-dessus de 40°C, mais l'élévation thermique est un facteur de dénaturation des protéines qui les rend de plus en plus insolubles, suivi en général de précipitation.

## 4- Influence des solvants organiques:

Les protéines sont insolubles dans les solvants organiques. Ce qui donne leur précipitation.



-\*-\*- ETIDE EXPERIMENTALE -\*-\*-

-----

-----

### III-1- DISPOSITIF EXPERIMENTAL:

#### III-1-1- DESCRIPTION DE LA CELLULE D'E.U.F:

La cellule d'electro-ultrafiltration est illustrée sur la Figure (1). Une cellule d'ultrafiltration rectangulaire à trois compartiments séparés par deux membranes. Ces membranes sont en Polyacrylnitrile de seuil de coupure 20.000 Dalton et de surface active de  $120 \text{ Cm}^2$  ( Rhône-Poulenc, IRIS 3038).

La solution à filtrer est envoyée en amont du canal d'écoulement (1), le concentrat est récupéré en aval. Cette solution traverse les medias filtrants (2) reposants sur des supports poreux (11). Le filtrat (3) est récupéré à la sortie (4). Une feuille de cellophane (6) sert à isoler le filtrat de l'electrolyte (8) qui circule dans la pièce (9) qui porte l'electrode (7). L'alimentation en courant continu est assurée au moyen d'un porte electrode (10).

#### III-1-2- DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE:

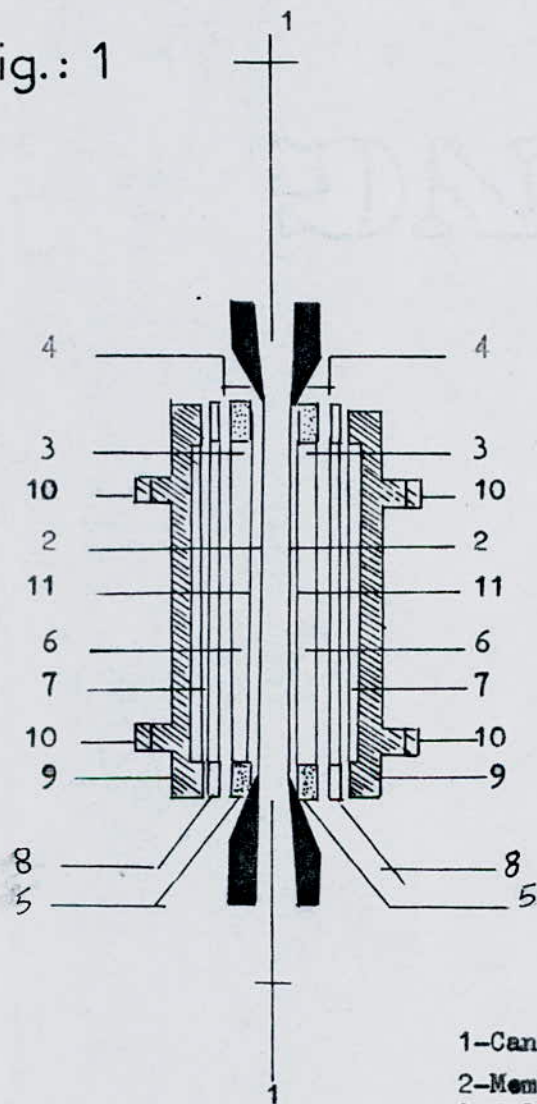
L'installation représentée sur la Figure (2) est composée de :

-Un circuit principal assure l'écoulement de la solution à filtrer entre les deux surfaces filtrantes. Il est constitué d'un reservoir contenant la solution protéique (B.S.A.), d'une pompe doseuse utilisée pour l'alimentation de la cellule. Le circuit comporte aussi un debimètre, des vannes de réglage ainsi que des pompes de recirculation. La chaleur régénérée par effet Joule durant l'electro-ultrafiltration est éliminée par un refroidissement des circuits à l'aide d'un échangeur de chaleur. La mise sous pression de la solution est assurée par une bouteille d'Azote ( $\text{N}_2$ ). Après concentration, le rétentat est récupéré dans un recipient où recyclé dans le bac de charge. Les différents éléments sont reliés par des tubes en P.V.C. (GEORGE FISCHER).

.../...

# CELLULE D'ELECTRO ULTRAFILTRATION TANGENTIELLE

Fig.: 1



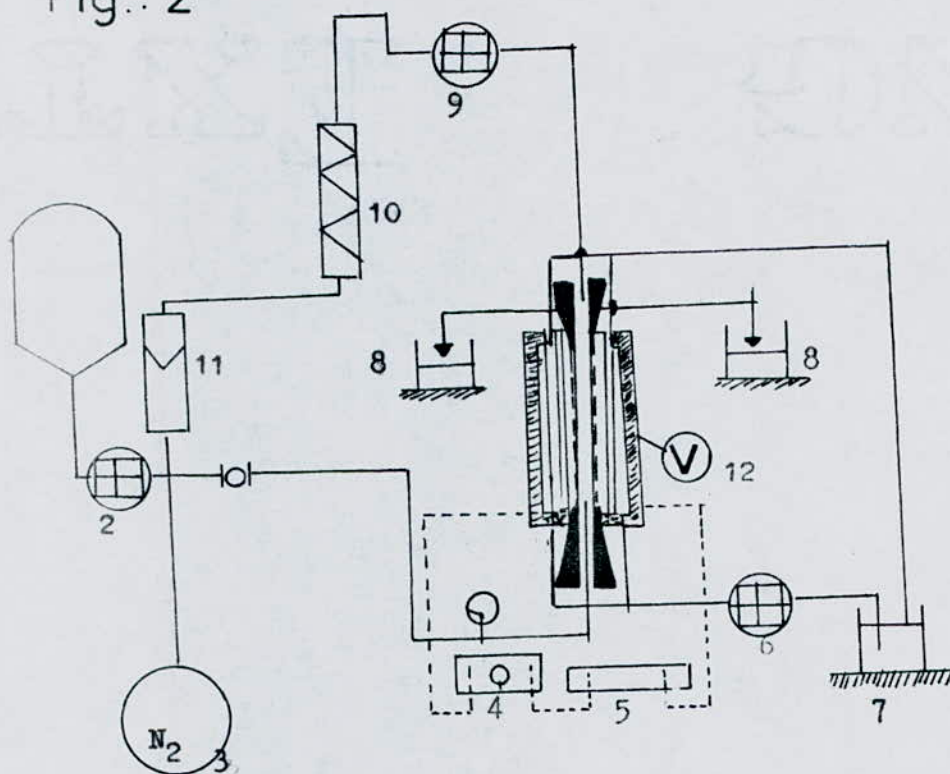
- 1-Canal d'écoulement de la suspension
- 2-Membrane (Média Filtrante).
- 3-Collecteur de filtrat.
- 4-Sortie de filtrat.
- 5-Pièce intermédiaire.
- 6-Cellophane.
- 7-Electrode.
- 8-Electrolyte.
- 9-Pièce de support d'électrode.
- 10-Entrée d'alimentation en courant.
- 11-Support de membrane.

- Un circuit d'électrolyte assurant l'écoulement, à une pression atmosphérique d'une solution électrolytique, à la surface des électrodes en acier inoxydable. La circulation du liquide est assurée par une pompe. Les électrodes situées de part et d'autre des deux compartiments latéraux étant reliées à des moyens électriques adaptés pour les soumettre à une différence de potentiel périodiquement inversé.

Les moyens électriques comprennent un générateur à courant continu associé à un inverseur de polarité.

# SCHEMA DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

Fig.: 2



- 1- Suspension .
- 2- Pompe d'alimentation.
- 3- Bouteille d'Azote(N<sub>2</sub>).
- 4- Inverseur de polarité.
- 5- Générateur de courant.
- 6- Pompe de recirculation de l'électrolyte .

- 7- Electrolyte.
- 8- Filtrat.
- 9- Pompe de recirculation.
- 10- Echangeur de chaleur
- 11- Débitmètre.
- 12- Voltmètre.

### III-2- ULTRAFILTRATION STATIQUE:

Dans le cadre d'une première étude, nous avons réalisé des essais à l'aide d'une cellule statique d'ultrafiltration Figure(3) avec le même type de membrane (IRIS 3038) possédant les caractéristiques suivantes:<sup>11</sup>

- Capacité 0,5 l.
- Surface active de la membrane  $3,85.10^{-3} \text{ m}^2$ .
- Pression maximale 1,5 Bars.
- Agitation magnétique de 50 à  $1.500 \text{ tr.mn}^{-1}$ .

On opère de la manière suivante:

pour une vitesse d'agitation (W) et une pression appliquée ( $\Delta P$ ), on mesure le débit de perméation par empotage. En faisant varier ces deux paramètres on arrive à déterminer les courbes de polarisation et de solvant.

#### III-2-1- COURBE DE SOLVANT:

Pour cette étude, les essais d'ultrafiltration, que nous présentons (1), ont pour but de préciser les variations de densité de flux de perméation  $J_v$ , eau distillée préfiltrée, à différentes pressions.

Comme le montre la Figure(4), le flux  $J_v$  du solvant croît linéairement avec la pression, ce qui confirme la validité de la loi de DARCY

#### III-2-2- COURBE DE POLARISATION:

Les variations du flux de perméat avec la pression à différentes vitesses d'agitation sont portées sur la Figure(5)

Nous observons que la vitesse influe considérablement sur le flux  $J_v$ ; par contre la pression trans-membranaire appliquée ( $\Delta P$ ) influe surtout pour les faibles pressions. Aux fortes valeurs de la pression le flux  $J_v$  croît moins vite et a tendance à être indépendant de la pression ( $\Delta P$ ), mais reste fortement influencé par la vitesse d'agitation.

.../...

Figure : 3

CELLULE D'ULTRAFILTRATION STATIQUE

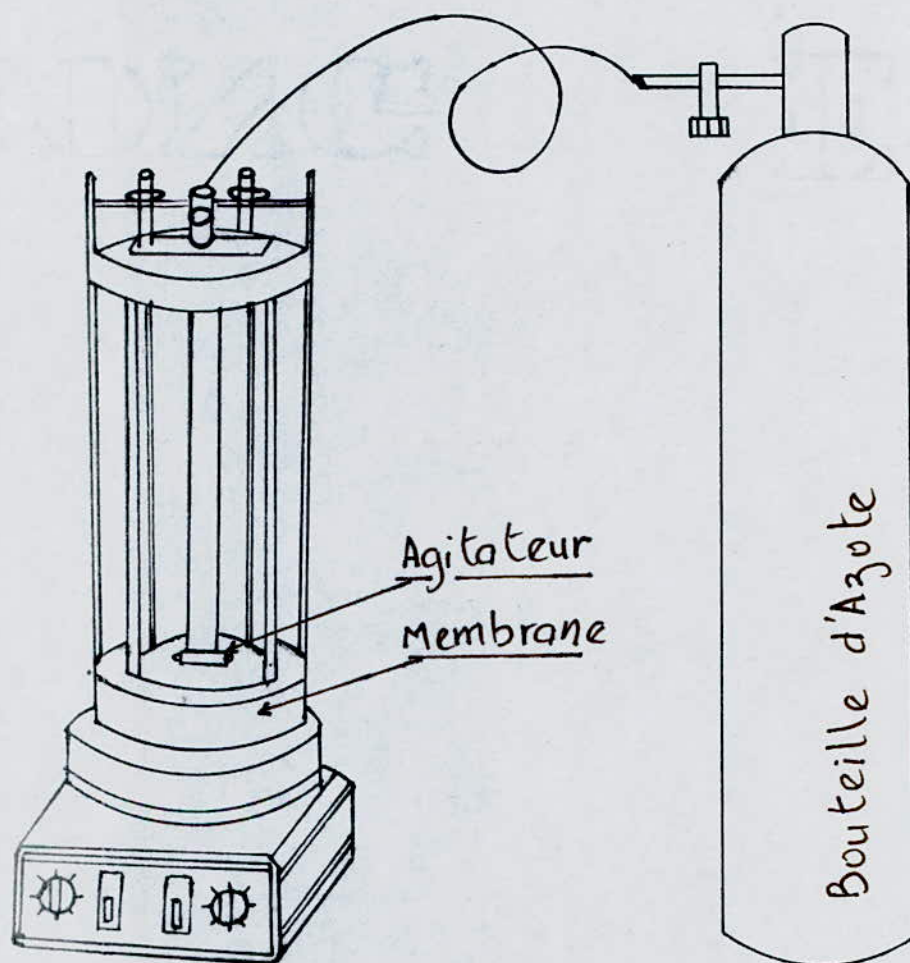


TABLEAU: 1

Variation du front du solvant en fonction de la pression.

 $W = 600 \text{ tr/mn}$ 

P(bar)	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^6$	
	AVANT U.F DES EFFLUENTS	APRES U.F DES EFFLUENTS..
0,3	0,718	0,394
0,6	1,194	0,900
0,9	1,658	1,185
1,2	2,274	1,684
1,5	2,837	1,983

TABLEAU: 2

Variation du flux de perméation en fonction de la pression

 $W = 600 \text{ tr/mn}$ 

P(bar)	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^6$		
	SERUM SANGUIN	B.S.A (1g/l)	B.S.A.(0,5g/l)
0,3	0,518	0,601	0,704
0,6	0,825	0,925	1,235
0,9	1,400	1,248	1,528
1,2	1,400	1,557	1,639
1,5	1,525	1,653	1,775

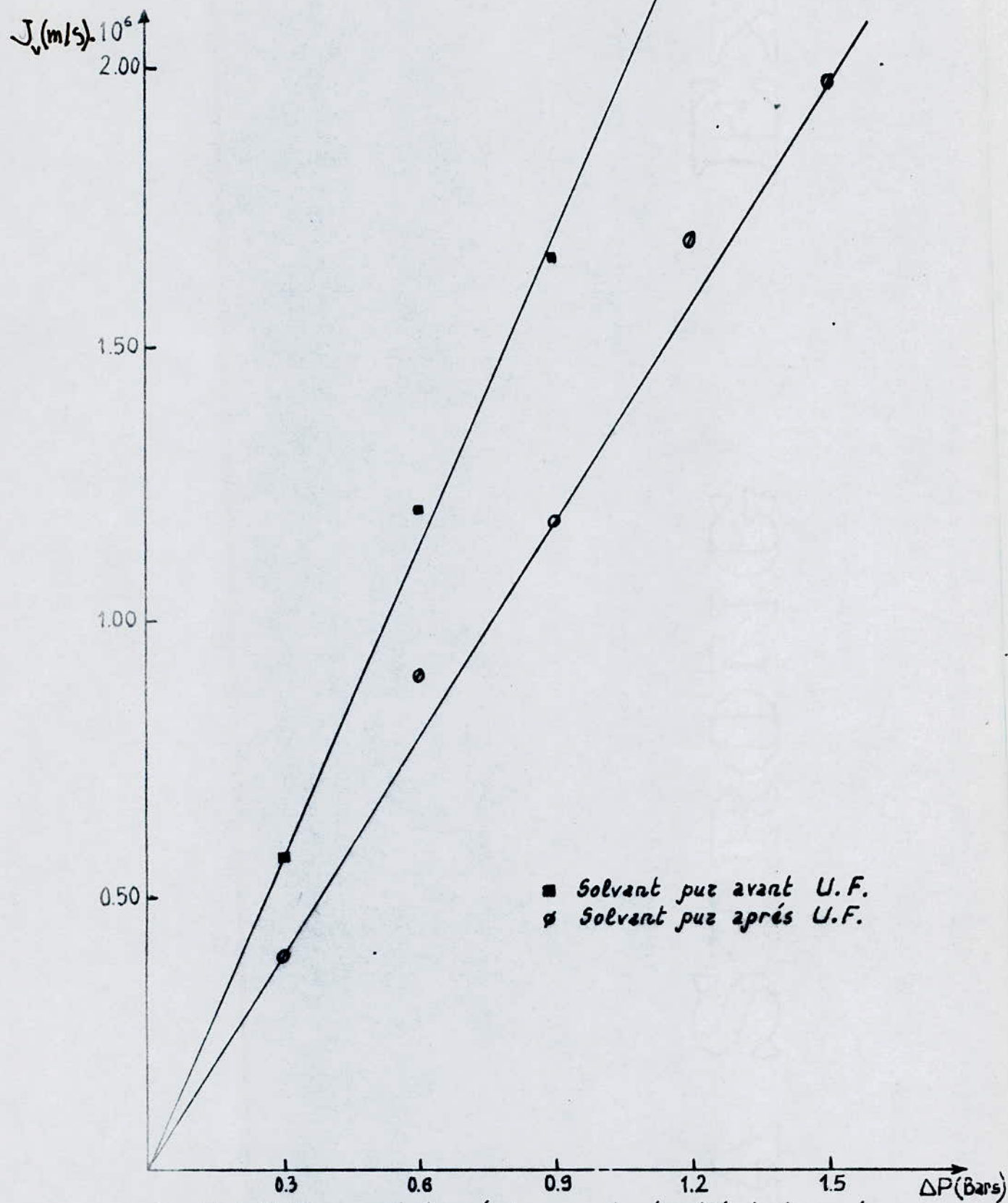


Fig. N° 4: Influence de la pression sur la densité de flux de perméation

TABLEAU: 3

Variation de flux de perméation en fonction de la pression.

$$W = 600 \text{ tr/mn}$$

P(bar)	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^6$		
	SERUM SANGUIN	B.S.A(1g/l)	B.S.A.(0,5g/l)
0,3	0,518	0,601	0,704
0,6	0,825	0,925	1,235
0,9	1,431	1,240	1,528
1,2	1,420	1,557	1,639
1,5	1,525	1,653	1,775

TABLEAU: 4

Variation du flux de perméation en fonction de la pression à différentes vitesses d'agitation.

$$B.S.A.(0,5g/l)$$

P(bar)	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^6$		
	300 tr/mn	400 tr/mn	600 tr/mn
0,3	0,541	0,650	0,704
0,6	0,921	0,995	1,235
0,9	1,194	1,280	1,528
1,2	1,489	1,405	1,639
1,5	1,453	1,597	1,775

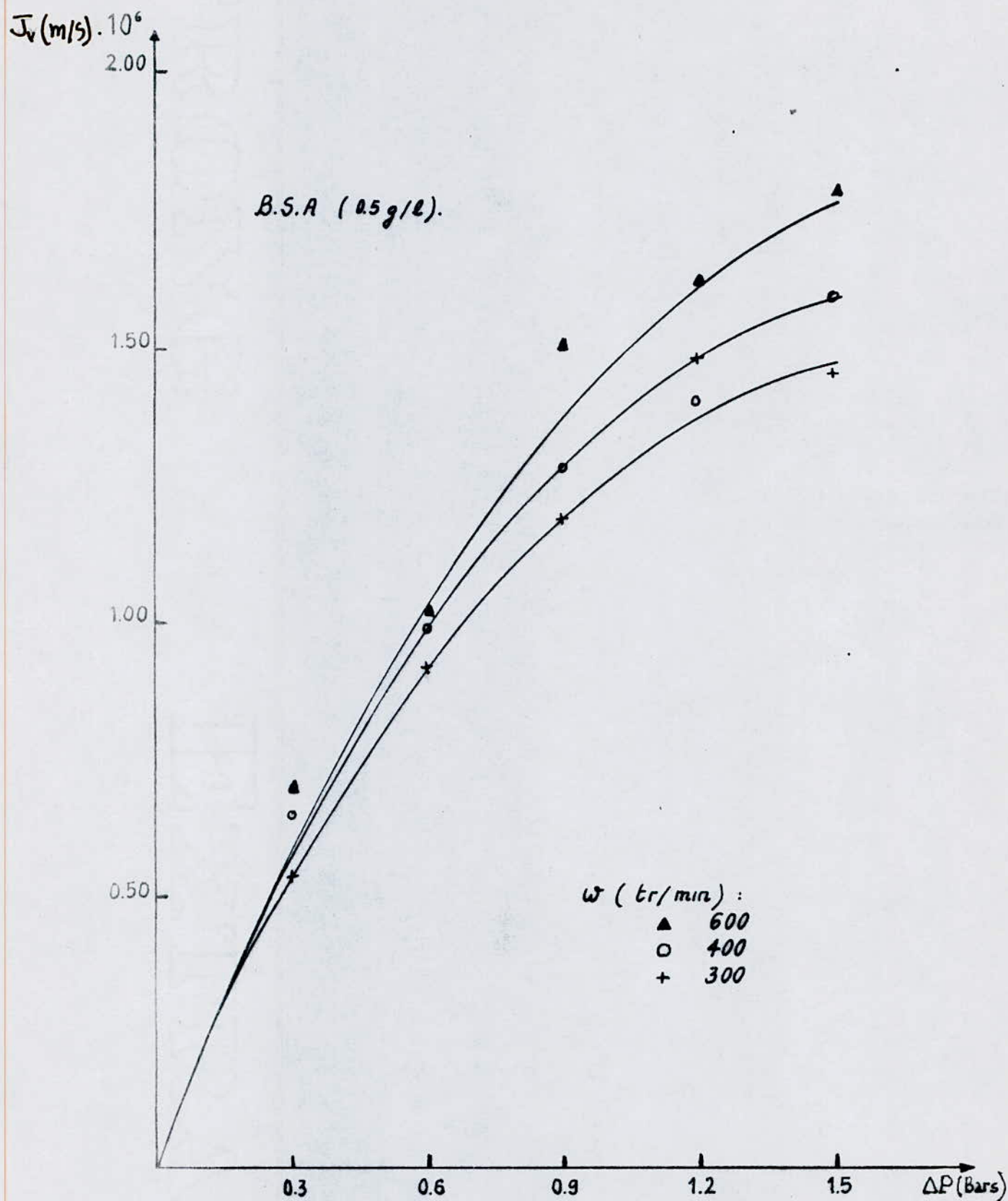


Fig. N° 5: Influence de la pression sur la densité de flux de perméation à différentes vitesses d'agitation

Ces résultats confirment bien l'hypothèse de la formation d'une couche de polarisation.

La figure (6) montre une plus nette baisse du flux de perméat du serum sanguin à celui de la B.S.A. Ceci peut s'expliquer par la présence d'une couche de polarisation relativement importante à celle de la B.S.A., constituée essentiellement des protéines, hémoglobines etc... L'étude de comportement de la membrane vis à vis de ces liquides biologiques a montré que le phénomène d'adsorption n'est pas négligeable.

En effet, les courbes de solvant déterminées avant et après ultra-filtration présente une différence considérable (Figure (4) (12)) ce qui indique une modification de la texture de la membrane.

### III-2-3- ASPECT ECOLOGIQUE:

Pour une étude complète d'U.F., il est intéressant de voir dans quelle mesure ce procédé pourrait contribuer à diminuer la charge polluante introduite par le sang. Les résultats des investigations effectués sur des prises d'essais de sang, serum sanguin et l'ultrafiltrat conservées au réfrigérateur à +4°C durant 48 H. au plus, sont rassemblés dans le tableau suivant:

#### Caractéristiques des rejets de concentration du sang.

de l'échantillon Nature Caractéristiques	Sang	Serum Sanguin	
		Initial	Ultra-filtrat
pH	7,8	7,8	7,4
Conductivité (Us/cm) à 17,5°C	6.105	9.408	10.584
Matières seches à 105°C (g/l)	16,28	6,76	2,38
Matières volatiles seches à 500°C (mg/l).	50	22	1,05
Demande chimique en oxygène (mg/l).	1.324.800	296.000	19.872

$J_v(m/s) \cdot 10^6$

2.00

$\omega = 600 \text{ (tr/min)}$

1.50

1.00

0.50

■ Solvant pur.  
▲ B.S.A (0.5g/l).  
○ B.S.A (1g/l).  
+ Serum sanguin.

0.3 0.6 0.9 1.2 1.5  $\Delta P \text{ (Bars)}$

FIG. 6 : INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LA DENSITE DE FLUX DE PERMEATION.

La conductivité de l'ultrafiltrat est la plus élevée, car le passage des ions à travers la membrane est important. Dans tous les cas, le traitement sur membranes entraîne une diminution non négligeable de la charge polluante<sup>(16,25)</sup> exprimée en demande chimique en oxygène.

### III-3- ELECTRO-ULTRAFILTRATION D'UNE SOLUTION PROTEIQUE DE (B.S.A.):

L'objectif de cette étude expérimentale est de réduire l'influence de la couche de polarisation par l'application d'un champ électrique. Ce qui revient à tenter de se rapprocher le plus possible de la courbe de solvant. <sup>(10)</sup>

Cet exemple a été mis en oeuvre dans le dispositif d'E.U.F. décrit ci-dessus. La solution d'albumine à traiter, envoyée dans le compartiment haute pression, présente un pH tamponné à 7,5 dont la concentration en albumine est  $C_0 = 1\text{g/l}$ . La solution électrolytique est envoyée dans les compartiments basses pressions et présente une concentration de 0,05 M de chlorure de sodium.

#### III-3-1- INFLUENCE DE L'INVERSION DE POLARITE:

La technique d'E.U.F. présente un défaut pratique provenant de sa nature elle-même; en effet, pour un sens du champ électrique donné, la diminution du gradient de concentration au voisinage d'une membrane s'accompagnerait nécessairement d'une augmentation de ce gradient au voisinage de l'autre membrane. Les manipulations ont été effectuées comme suit: on varie le champ électrique ( $E$ ) et la vitesse de recirculation à la membrane ( $U$ ) et on mesure à diverses pressions ( $\Delta P$ ) le flux de perméation ( $J_v$ ). Les résultats obtenus pour une inversion de polarité d'une fréquence  $f = 1,67 \cdot 10^{-2}$  Hz, sont regroupés dans les tableaux (5 et 7). Ainsi, l'application d'un champ électrique périodiquement inversé a été utilisé pour tenter de minimiser cet inconvénient. <sup>(26,27)</sup> En effet, la Figure ( 7 ) montre l'écart observé entre une E.U.F d'une solution de B.S.A avec et sans inversion de polarité. Une nette amélioration des performances du procédé membranaire est observée. De ce fait, Les expériences qui succéderont par la suite seront effectuées.

.../...

TABLEAU: 5

Variation de flux de perméation en fonction de la pression à différentes vitesses de recirculation.

B.S.A. (1g/l); pH = 7,5

E = 3,63 (V/cm).

P(bar) \	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^5$		
	0,58 cm/S	1,27 cm/S	1,62 cm/S
1,1	2,708	2,903	2,815
1,2	2,934	3,233	3,300
1,3	3,398	3,505	3,518
1,4	3,608	3,825	3,886
1,5	3,671	3,841	3,930

TABLEAU: 6

Variation de flux de la perméation en fonction de la pression avec et sans inversion de polarité.

$U^c = 1,62 \text{ (cm/s)}$

P(bar) \	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^5$		
	0,00	2,72(avec)	2,72 (sans)
1,1	2,701	2,825	2,790
1,2	3,125	3,257	3,225
1,3	3,495	3,455	3,364
1,4	3,582	3,714	3,615
1,5	3,638	3,796	3,718

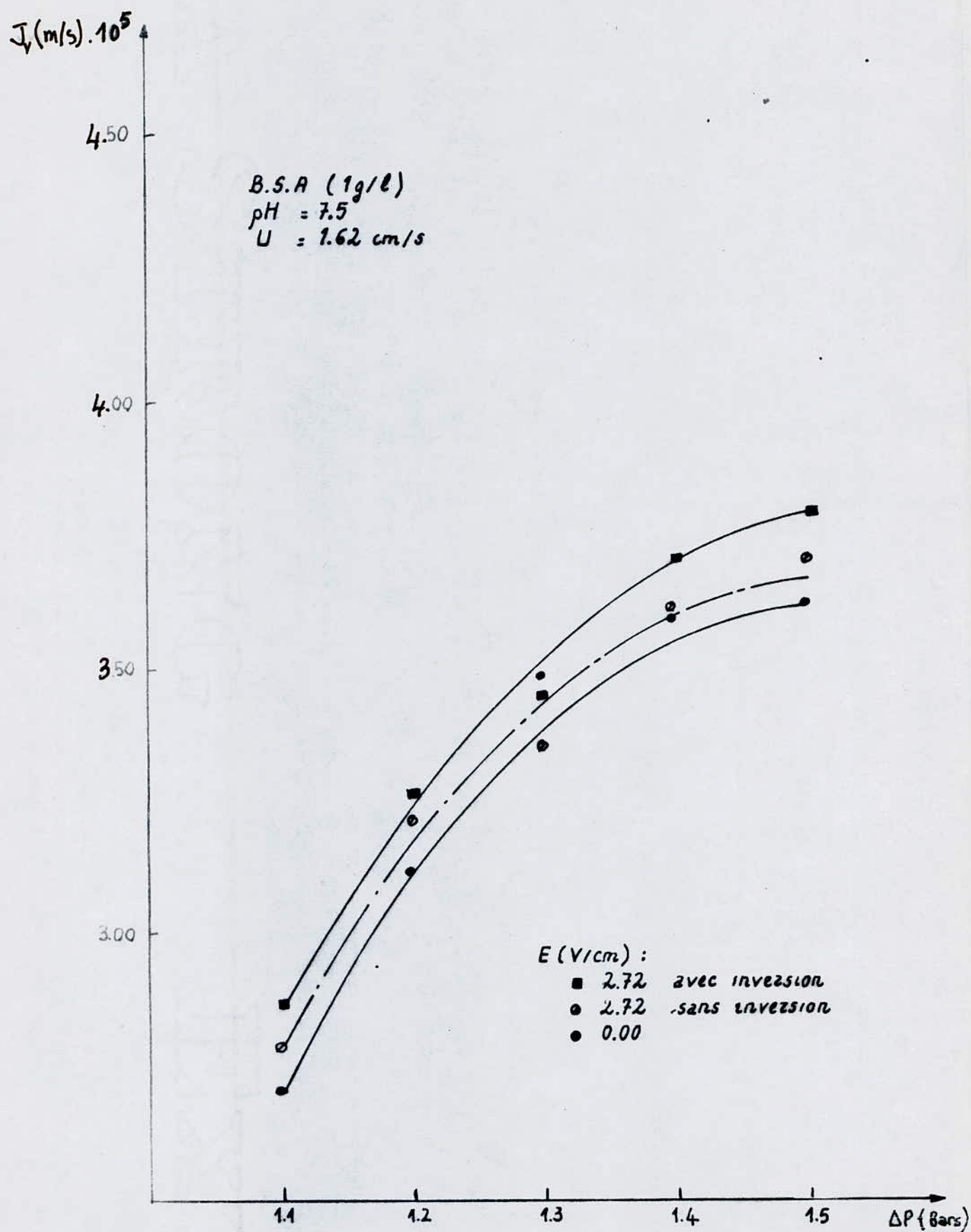


Fig. N°7. Variation de la densité de flux en fonction de la pression avec et sans inversion de polarité.

avec inversion de polarité..

### III-3-2- EFFET DU CHAMP ELECTRIQUE:

Les Figures 8, 9, 10 montre que l'application d'un champ électrique provoque une nette amélioration du flux de perméation. Ce résultat peut s'expliquer par la non possibilité de reconstitution de la couche de polarisation, vu la fréquence d'inversion de polarité choisie. <sup>(27)</sup> Ainsi, un flux de migration électrophoretique est induit et a tendance à réduire cette couche. Aux faibles valeurs du champ, le flux de perméation est peu influencé. Pour des valeurs du champ relativement élevées la densité du flux croît plus rapidement, mais reste éloigné de celle du solvant, cela se traduit par une présence d'une couche de polarisation réduite.

### III-3-3- EFFET DE LA VITESSE DE RECIRCULATION:

La Figure (11) nous montre les variations du flux de perméat en fonction de la pression pour trois vitesses de recirculation. Pour une valeur du champ électrique donnée, On obtient dans tous les cas des courbes qui s'infléchissent d'autant plus, avec la pression que la vitesse de recirculation est faible. Toute fois une recirculation tangentielle à la membrane conduit à une réduction de la couche de polarisation. Une fois la vitesse maximale atteinte, dans notre cas, le flux de perméat est plus important, ce qui se traduit par une moindre résistance au transfert du perméat.

### III-3-4- PHENOMENE D'ADSORPTION :

(26, 27)

Différents travaux de recherches entrepris sur le même type de membrane ont montrés que l'U.F de solutions protéiques peut provoquer une baisse considérable de la perméabilité de la membrane.

D'après la Figure (12), nous constatons qu'une réduction de 11% sur le flux de perméation dûe au phénomène de colmatage est obtenue. IL serait à l'avenir intéressant de poursuivre cette

.../...

étude pour confirmer ou infirmer ces résultats et cela pour des manipulations d'une durée importante (supérieure à 48 H.).

T A B L E A U X / : ( 7 ) Variation du flux de perméation de la B.S.A. (1g/l) en fonction de la pression pour différentes vitesses de recirculation.

$E = 0,00$  (V/cm) :

P(bar)	$J_v$ ( m/s ) . $10^5$		
	0,58 cm/s	1,27 cm/s	1,62 cm/s
1,1	2,504	2,612	2,701
1,2	2,925	3,054	3,125
1,3	3,157	3,315	3,495
1,4	3,550	3,502	3,582
1,5	3,506	3,509	3,638

$E = 2,72$  (V/cm) :

P(bar)	$J_v$ ( m/s ) . $10^5$		
	0,58 cm/s	1,27 cm/s	1,62 cm/s
1,1	2,640	2,771	2,825
1,2	3,025	3,302	3,257
1,3	3,452	3,434	3,455
1,4	3,496	3,628	3,714
1,5	3,648	3,501	3,796

$$E = 3,63 (V/cm) :$$

P(bar) \	$J_v \text{ (m/s)} \cdot 10^5$		
	0,58 cm/s	1,27 cm/s	1,62 cm/s
1, 1	2,708	2,903	2,815
1, 2	2,934	3,233	3,302
1, 3	3,398	3,505	3,518
1, 4	3,608	3,825	3,886
1, 5	3,671	3,841	3,930

$$E=5,45 (V/cm) :$$

P(bar) \	$J_v \text{ ( m/s ) } \cdot 10^5$		
	0,58 cm/s	1,27 cm/s	1,62 cm/s
1, 1	3,043	3,505	2,954
1, 2	3,251	3,602	3,482
1, 3	3,652	3,745	3,660
1, 4	3,750	3,906	4,032
1, 5	3,842	3,950	4,234

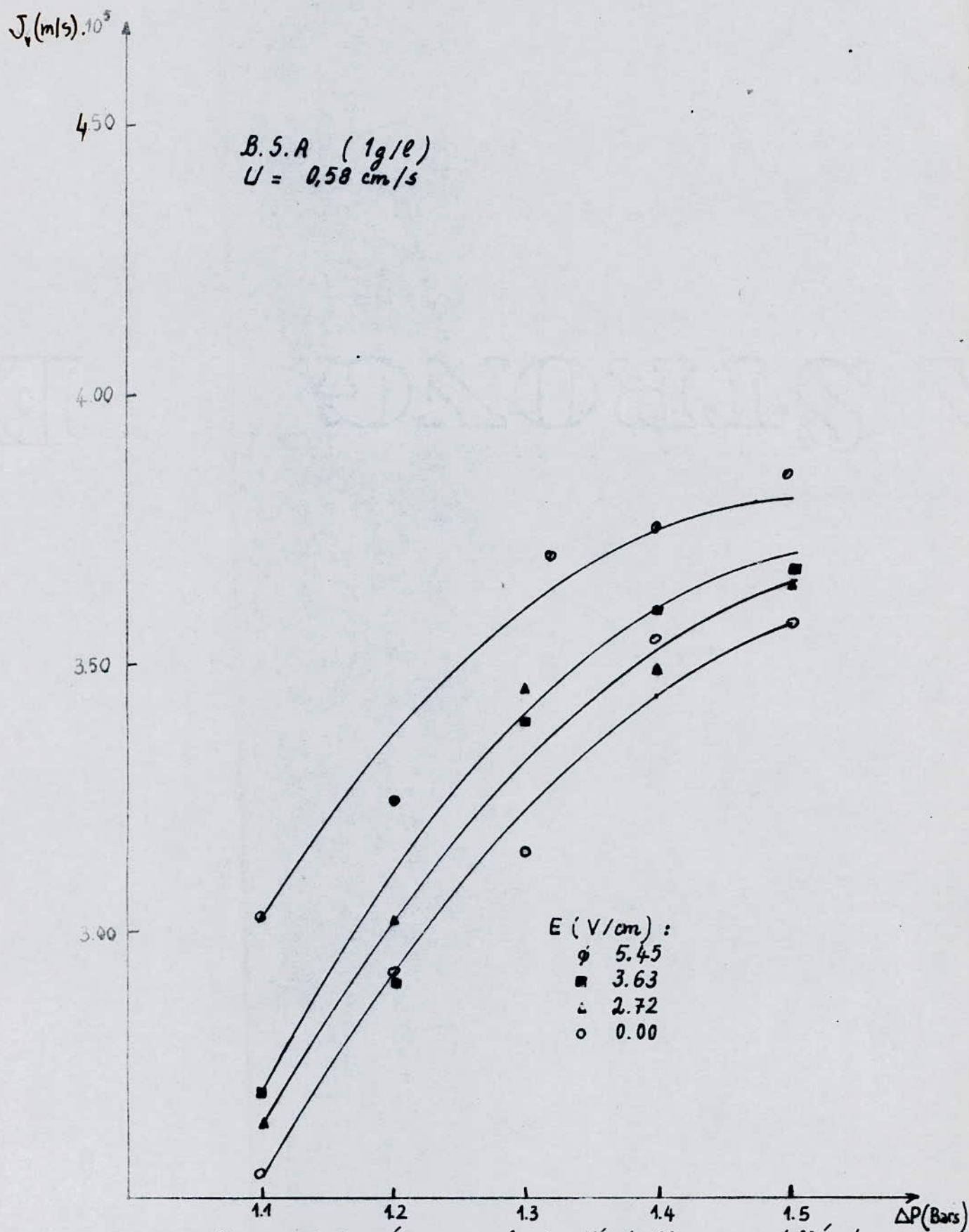


Fig N°8 Influence de la pression sur la densité de flux pour différentes valeurs du champ électrique

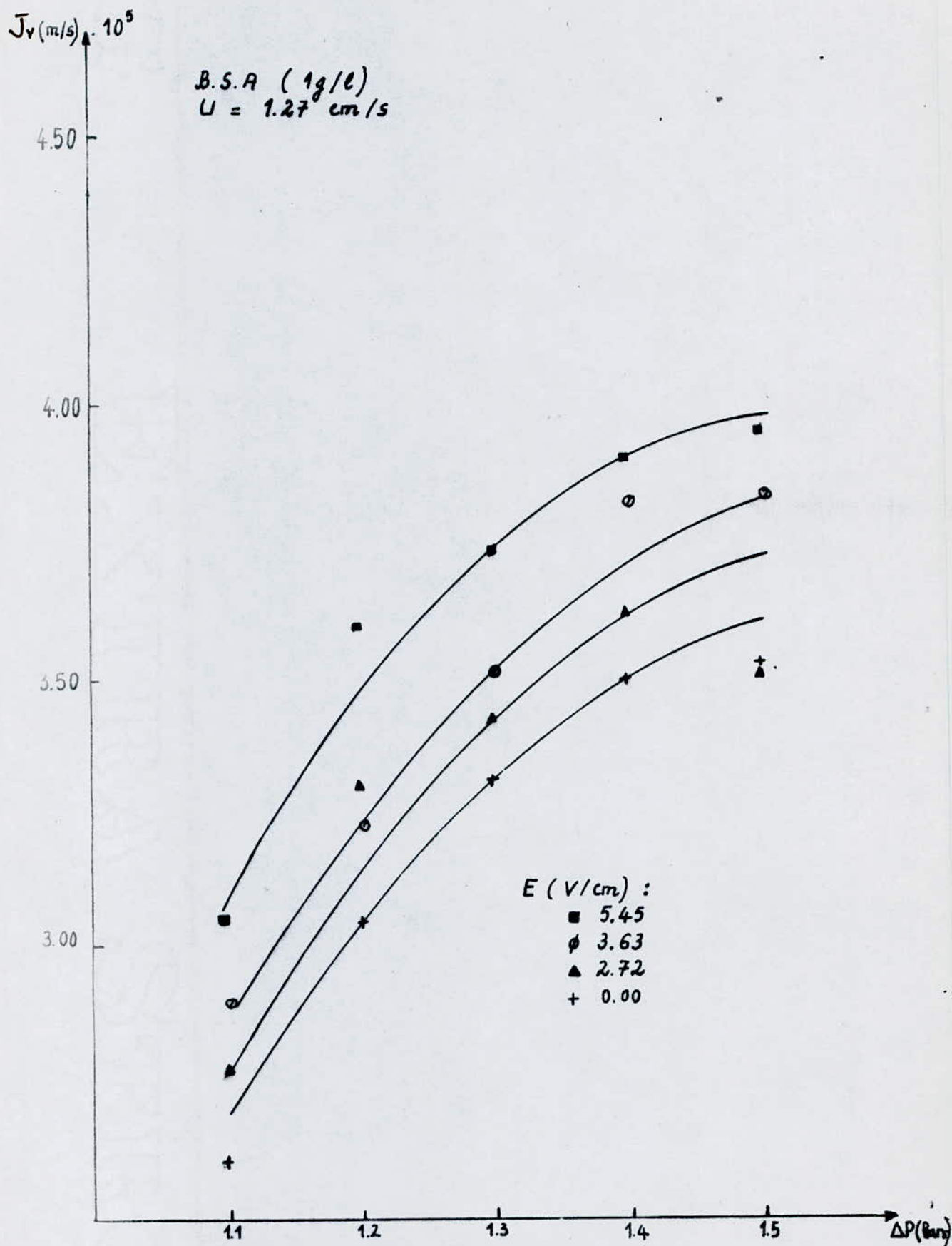


Fig. N° 9: Influence de la pression sur la densité de flux  
 pour différentes valeurs du champ électrique

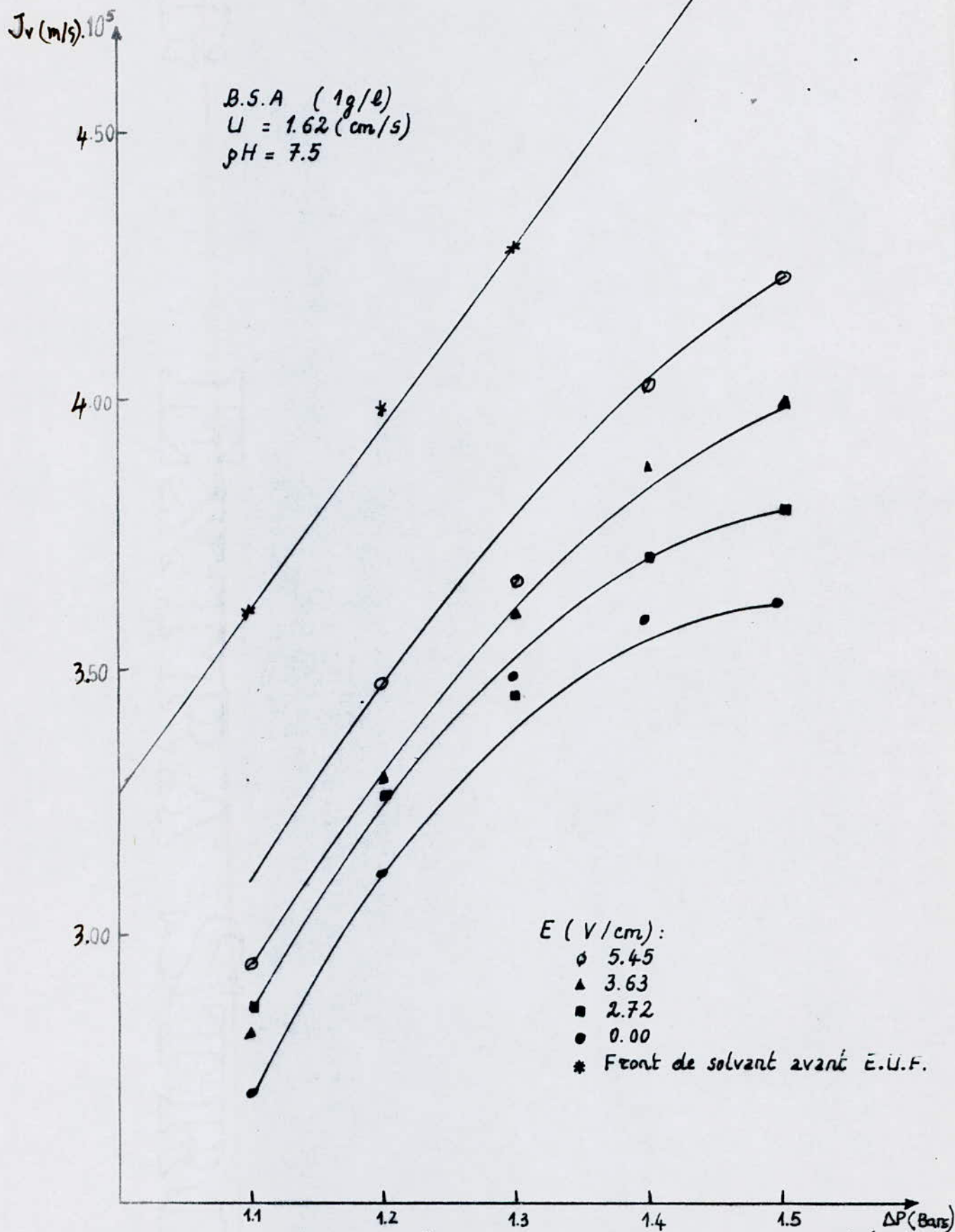


Fig N°10: Influence de la pression sur la densité de flux pour différentes valeurs du champ électrique.

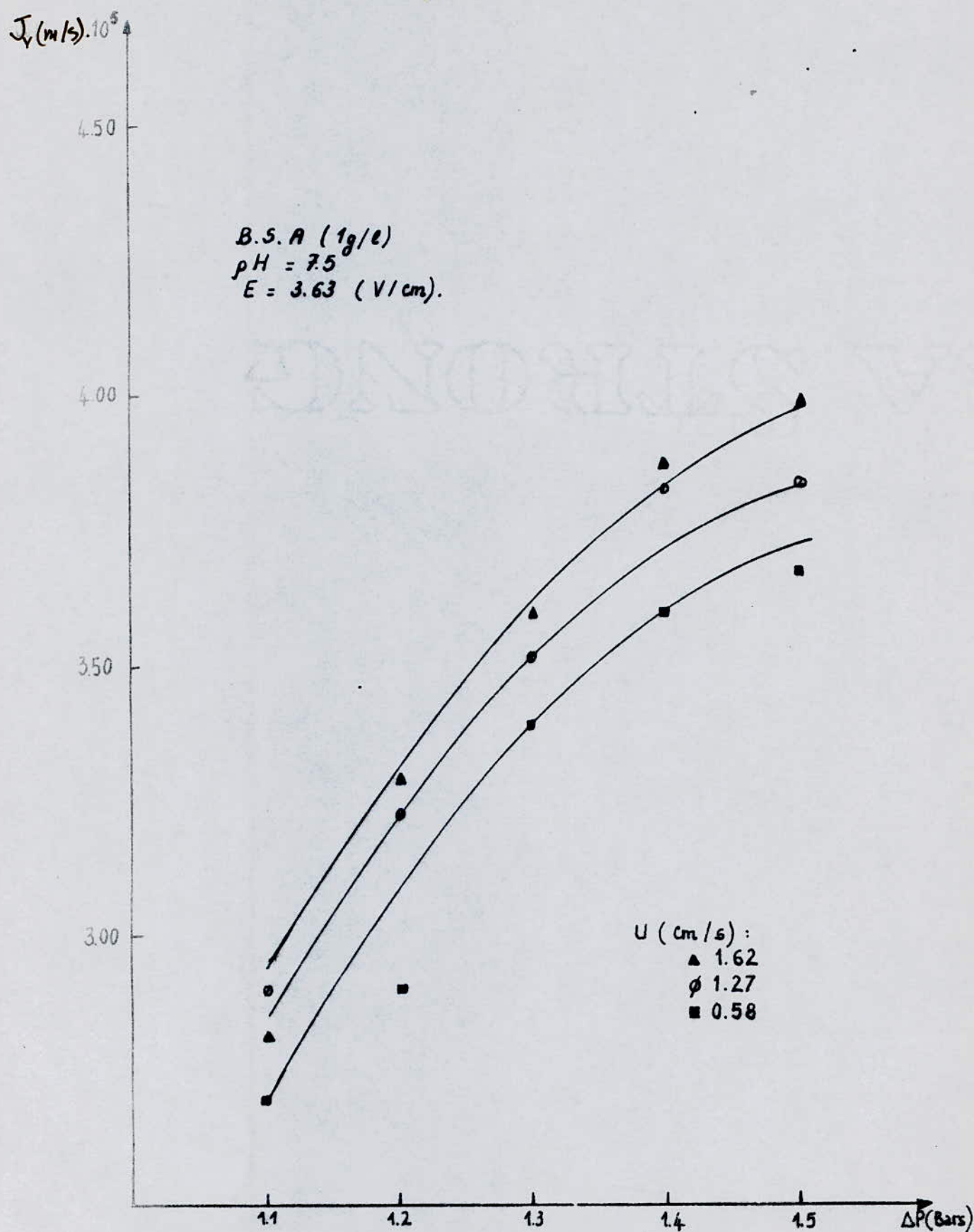


FIG. N°11: Influence de la pression sur la densité de flux à différentes vitesses de recirculation

TABLEAU: 8

Variation de flux de perméation de la pression pour  
un solvant pur.  $U = 1,62 \text{ Cm/S.}$

$J_v (\text{m/s}) \cdot 10^5$		
P(bar)	AVANT E.U.F.	APRES E.U.F.
1,1	3,107	3,419
1,2	3,484	3,650
1,3	3,773	3,942
1,4	4,125	4,284
1,5	4,330	4,616

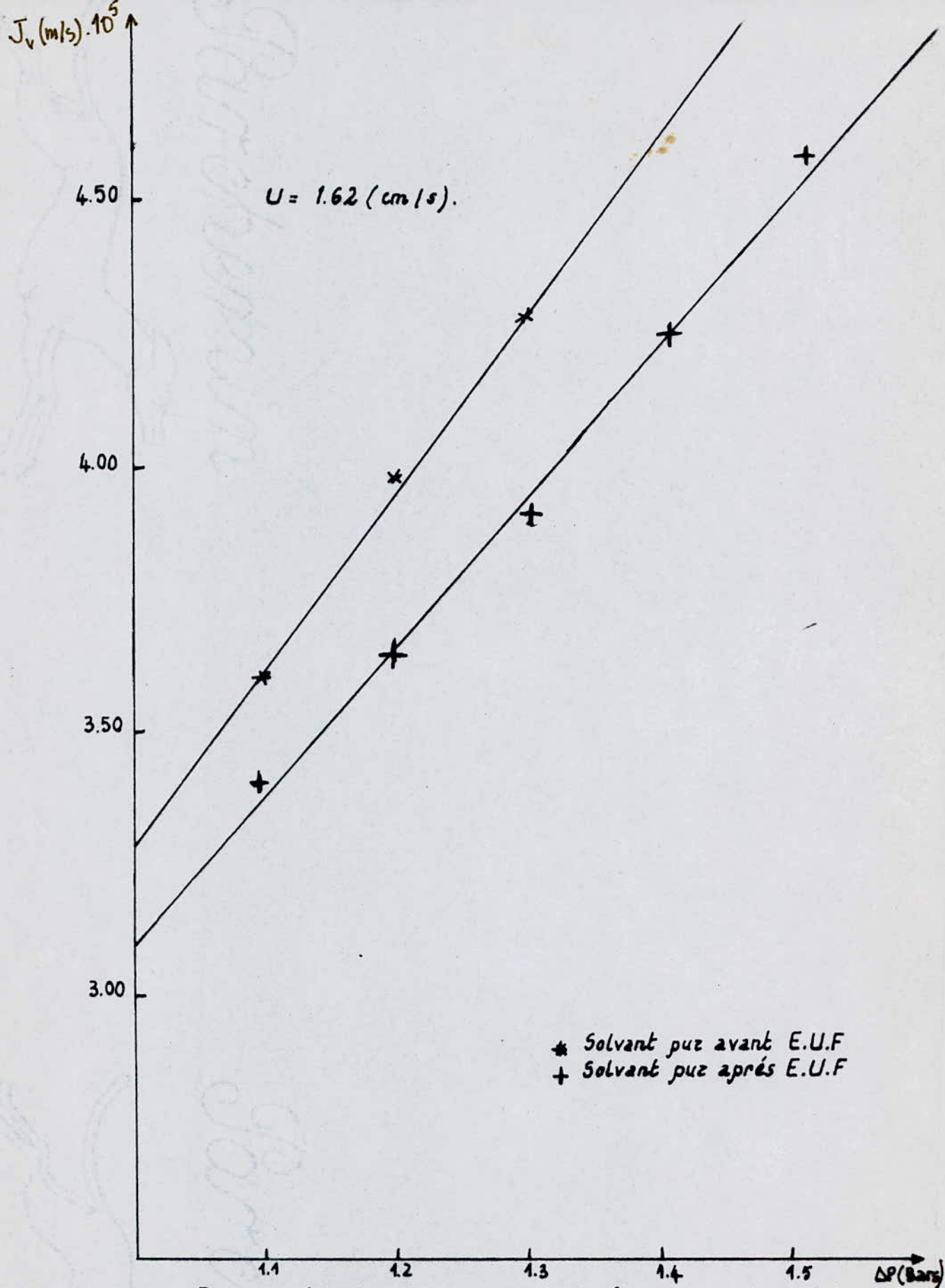


FIG N°12: Variation de la densité de flux en fonction de la pression



-\*-\*-

CONCLUSION

ET

RECOMMANDATIONS \* -\*-\*-

## - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS -

L'ultrafiltration est un procédé privilégié pour la concentration et la valorisation des effluents polluants, il peut devenir un facteur de progrès industriel efficace.

Ce travail nous aura permis de vérifier que le promoteur de turbulence testé permettait d'améliorer, dans les conditions opératoires choisies, sensiblement les flux de perméation.

Les résultats exposés concernent d'une part l'aspect écologique et d'autre part l'effet du champ électrique.

-L'ultrafiltration du serum sanguin permet d'atteindre des taux d'abattement de **98,5%** sur la D.C.O, **97,9 %** sur les M.V.S et **85,4 %** sur les M.E.S.

Toutefois, ces valeurs sont loins d'être négligeables et le rejet de ce perméat doit préalablement subir un traitement avant son rejet vers le réseau d'assainissement.

-L'effet du champ électrique sur la densité de flux de perméat lors de l'ultrafiltration d'une solution de bovine serumalbumine.

Nous avons montré l'efficacité de l'application du champ électrique relativement à l'ultrafiltration classique. Toutefois, le phénomène de polarisation de concentration peut être optimisé en déplaçant les protéines par l'action d'un champ électrique. Pour de faibles pressions on atteint une densité de flux relativement proche de celle obtenue avec un solvant pur.

Un meilleur contrôle de ce phénomène peut être acquis, en ajustant:

-Le champ électrique dans une plage de valeurs comprises entre 3 et 30(V/cm).

.../...

-Les vitesses de recirculation à des valeurs plus élevées.

Enfin, il serait nécessaire à l'avenir d'entreprendre une étude dans l'optique de déterminer la période optimale d'inversion de polarité.



-\*-

A N N E . X E -\*-

## DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (D.C.O.): <sup>(22)</sup>

C'est une mesure de carbone organique totale. La procédure normalisée fait appel à une oxydation à chaud par le dichromate de potassium. Le sulfate d'argent est ajouté comme catalyseur. Les chlorures interfèrent la D.C.O, en présence des chlorures, on ajoute du sulfate de Mercure en vue de les complexer. On a une oxydation des sucres, composés aliphatiques à chaînes ramifiées, noyaux aromatiques.

La demande chimique en oxygène est exprimée en milligramme d'oxygène par litre est égale à :

$$8000 \frac{V_o - V_l}{V}$$

$V_l$  : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

$V_o$  : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

$V$  : volume de la prise d'essai.

## CENTRIFUGEUSE: <sup>(11)</sup>

Une centrifugeuse comprend un moteur qui soumet à une rotation rapide, un rotor dans lequel se trouvent des tubes comprenant la suspension à centrifuger. La force centrifuge à laquelle est soumise une particule est proportionnelle à sa distance à l'axe du rotor, "r", et au carré de l'angle "W" parcouru par seconde.

$$G = W^2 \cdot r = \left( N \cdot \frac{2\pi}{60} \right)^2 \cdot r$$

Avec : W: la vitesse angulaire, exprimée en radians parcourus par seconde.

r: est la distance entre l'axe et la particule soumise à la centrifugation.

N: le nombre de tour par minute .



-- TABLE DES SYMBOLES --

UTILISES

---

---

$J_v$	$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	: Débit du solvant par unité de surface.
$\Delta P$	$\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$	: Différence de pression appliquée.
$\Delta X$	$\text{cm}$	: Épaisseur effective de la membrane.
$N$	$\text{cm}^{-2}$	: Nombre de pores par unité de surface.
$J_s$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$	: Flux de soluté traversant la membrane.
$C_o$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	: Concentration de soluté dans la solution.
$C_p$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	: Concentration du soluté dans le perméat.
$R$	%	: Taux de rejet.
$A_o$		: Surface de pore au transfert de solvant.
$K$	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	: Coefficient de transport de masse.
$D$	$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	: Coefficient de diffusion.
$C_m$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	: Concentration du soluté au niveau de la membrane.
$C_g$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	: Concentration du soluté dans le gel.
$L_p$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$	: Permabilité de la membrane.
$R$	$\text{bar} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$	: Résistance hydraulique de la membrane.
$R_p$	//	: " de la couche de polarisation.
$R_g$	//	: " due à la couche de gel.
$E$	$\text{V/cm}$	: Champ électrique normal à la membrane.
$u$	$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$	: La mobilité électrophoretique.
$J_s^m$		: Le flux de migration dû au champ électrique.
$\mu$	(POISEUILLE):	: Viscosité dynamique.
$\varepsilon$		: Porosité de la membrane.
$\tau$		: Facteur de tortuosité.
$V$		: Constante sans dimension.
$\delta$	$\text{cm}$	: Épaisseur de la couche polarisation.
$W$	$\text{tr/min}$	: Vitesse d'agitation.
$\Delta \Pi$		: Différence de pression osmotique.



--\*--

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

--\*--

--- B I B L I O G R A P H I E ---

- 1- AIMAR P., BAKLOUTI S., SANCHEZ V.-Membrane-Soluté interaction : Influence on pure solvant transfert during ultrafiltration, J.Memb.Sci, 29.PP:207-224.(1986).
- 2- AUDIGIE C.-Biochimie structurale-, Ed.Doin.PARIS. P:69.(1976).
- 3- CHARLES A.-L'Ultrafiltration, Revue des fermentations et des industries alimentaires-.
- 4- CHEFTEL J.C., CUO J.L., LORIENT D.-Protéines alimentaires, P:20,194.(1985).
- 5- COPAS A.L., MIDDLEMAN S.-Use of convection promotion in UF of a gel-forming solute, Ind.Eng.Chem.Process Des.Develop., 13,2. (1974).
- 6- DEGREMENT, -Memento technique de l'eau, .PP:82-86.(1978).
- 7- GOODING C.M.-Chemical engineering:Reverse osmosis and UF solve separation problems.January 7, .PP:56-62.(1985).
- 8- GUILLLOT G.-Sciences et techniques:Membranes, les trois procédés d'avenir, 15,Mai.PP: 21-31.(1985).
- 9- HIROCHI Y., TERUMIKO M., TOSHIYUKI K., MASSARU M.-J.Chem.Eng.: continuous separation of proteins from colloidal solution containing kinds of proteins with isoelectric focusing.21, JAPAN.PP:262-266.(1988).
- 10- KEISTER J.C., GERALD B.K.-J.Memb.Sci.:Ionic mass transport through a homogenous membrane in the presence of a uniform field-29.PP:155-167.(1986).
- 11- KELLAL D., NIMOUR N.-Valorisation des effluents de l'industrie agro-alimentaire:le sang et le lactosérum.Thèse d'ING.d'état. ENP.(1988).

.../...

- 12- KIKUO O., RISHICHI M., KIYOTAKA S.-Filtration characteristics of membranes for plasma separation and changes in membrane structure after blood contact-, J.Memb.of JAPAN, 20, 4. (1984).
- 13- LYNN E.-Chem.Eng.:Membrane separation process.June, 11,.PP: 64-89.(1988).
- 14- MAMERI D., MAMERI N.-Application de l'UF pour le traitement et la valorisation d'effluents de l'industrie agro-alimentaire.Premier Seminaire International sur l'environnement en ALGERIE.Novembre 1988.CONSTANTINE.
- 15- MAMERI N.-Les techniques à membranes:ultrafiltration et developpement-.Seminaire National du milieu.Decembre 1987. CHLEF.
- 16- MEINK F., STOFF H., KOHLSCHUTTER H.-Les eaux résiduaires industrielles-2<sup>ème</sup> edition. MASSON.PARIS.(1977).
- 17- MAUBOIS J.L., VEYRE R., BONIN A.-BIOFUTURE:Séparation par filtration et par échange d'ion.Octobre.(1983).
- 18- MENDJEL H.-Synthèse et caractérisation de nouvelles membranes synthétiques à propriétés hémocompatibles,Thèse Doct.d'Etat, Université des Sciences et techniques du LANGUEDOC.FRANCE,.PP:1- 67.(1984).
- 19- OSULLIVAN T.J., EPSTEIN A.C., KORCHIN S.R., BEATON N.C.- Application of UF in biotechnology, CEP:January.(1984).
- 20- POLONOVSKI-Biochimie:les peptides, OPU, Reimpression.(1987).
- 21- POYEN S., BARIOU B.-Optimisation d'un procédé d'UF, Congrès Filtra 1985.PP:123-133.
- 22- RODIER J.-L'analyse de l'eau, Ed.Dunod, PARIS.(1978).
- 23- SMEN J.S., RONALD F.-Proteing:Ind.chem.Process, 18, 3.PP: 547-554.(1979).

.../...

- 24- SUKI A., FANE A.G., FELL G.J.D.-Flux decline in protein UF.  
J.Memb.Sci., 21.PP:269-283.(1984).
- 25- TESSIER J.P.-UF etOI appliquées à la valorisation du plasma bovin, Congrès journées sur les membranes.TOULOUSE.(1980).
- 26- VISVANATHAN C., BENAÏM R.-L'application d'un champ électrique en microfiltration tangentielle pour éviter le colmatage interne des pores de la membrane. Congrès Filtra, Novembre, PARIS .(1986).
- 27- VIVONI D., AIMAR P., SANCHEZ V.-Modification de la polarisation de concentration par action d'un champ électrique. Congrès Filtra, Novembre, PARIS.(1986).
- 28- ZIDOUNE M.N., Thèse Doct.Ing., Université des Sciences et Techniques du LANGUEDOC.FRANCE, PP: 52-57.(1983).



