

4/98

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie de l'Environnement
Laboratoire des Biotechnologies

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement

THEME

CONTRIBUTION AU TRAITEMENT PAR
ULTRAFILTRATION DES EAUX
DE BARRAGE DE KEDDARA

Dirigé par :

MM. N. MAMERI
M. DROUCHE

Etudié par :

M. O. AOURRA

*** Promotion 1998 ***

E.N.P. 10, Avenue Hassen BADI, EL-HARRACH, Alger

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie de l'Environnement
Laboratoire des Biotechnologies

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement

T H E M E

CONTRIBUTION AU TRAITEMENT PAR
ULTRAFILTRATION DES EAUX
DE BARRAGE DE KEDDARA

Dirigé par :

MM. N. MAMERI
M. DROUCHE

Etudié par :

M. O. AOURRA

*** Promotion 1998 ***

E.N.P. 10, Avenue Hassen BADI, EL-HARRACH, Alger

DEDICACES



Avec les sentiments les plus profonds d'humilité, je dédie ce modeste travail à :

Ma mère ;

Mes frères et sœurs ;

Ma famille ;

Omar

AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé au laboratoire des Biotechnologies de l'Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach, sous la direction de Monsieur N.MAMERI, Maître de Conférences à l'E.N.P.

Il m'est agréable de lui exprimer ici, ma gratitude pour son accueil dans son laboratoire, l'attention suivie et les conseils avisés qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de cette étude.

Je remercie également Monsieur M.DROUICHE, Chargé de Cours à L'E.N.P., d'avoir codirigé ce travail et pour l'aide efficace qu'il m'a toujours apportée.

Je suis reconnaissant à Monsieur le Professeur R.KERBACHI, d'avoir bien voulu accepter de présider ce jury.

Que Messieurs A.CHERGUI et S.OUSSEDIK, chargés de cours à l'E.N.P et à l'université de Blida, veuillent bien accepter mes remerciements pour l'honneur qu'ils m'ont fait en examinant ce travail.

Je tiens à ce que Madame L.ADOUR et Messieurs H.LOUNICI et H.GRIB, chargés de cours à l'université de Tizi ouzou et à l'E.N.P., soient assurés de mes vifs remerciements pour leur collaboration.

J'adresse à Monsieur K. YOUSFI, ainsi qu'à l'ensemble du personnel de la station de traitement des eaux potables de Boudouaou et du laboratoire de l'EPEAL de Ben Omar, mes sincères remerciements pour leur disponibilité.

Enfin, je remercie tous les enseignants qui ont contribué à ma formation sans oublier mes amis et camarades qui m'ont aidé et encouragé à réaliser ce travail.

RESUME

L'analyse d'une eau brute de barrage de Keddara prélevée au mois d'avril 1998 a été effectuée par le suivi de quatre paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, turbidité et densité optique, facilement accessibles expérimentalement.

Le traitement de l'eau brute a été mené d'abord en mode discontinu pour choisir les paramètres hydrodynamiques adéquats (pression et vitesse de recirculation), puis en mode continu afin de traiter cette eau, l'amenant ainsi aux normes de potabilité.

Notre choix optimal a été de 2,5 bars pour la pression transmembranaire et de 7 m.s^{-1} pour la vitesse de recirculation, dans le cas de l'utilisation de la membrane organique.

Parmi les quatre paramètres étudiés (pH, conductivité, turbidité et matière organique), seul ces deux derniers présentent des variations avant et après traitement de l'eau brute, prouvant l'existence d'interactions entre les solutés (colloïdes et matière organique) et la membrane. Le choix optimal ($2,5 \text{ bars}$ et 7 m.s^{-1}) a été confirmé par le recours à une autre méthode d'analyse de la matière organique d'oxydabilité au KMnO_4 . Il n'en est pas de même pour les résultats des quatre paramètres obtenus lors du traitement de l'eau brute. En effet, des fluctuations dans les lectures des valeurs correspondantes se sont affirmées de nouveau, dus probablement à la quantité relativement faible et non négligeable de la turbidité et de la matière organique, montrant ainsi la nécessité d'utiliser d'autres techniques d'analyses plus sensibles, telle que la mesure de CO_2 total, afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles.

SOMMAIRE



NOMENCLATURE

CHAPIRE I : LES EAUX NATURELLES

I.1. Les ressources d'eaux souterraines	2
I.2. Les ressources d'eaux superficielles	2
I.2.1. caractéristiques générales des eaux superficielles	2
I.3. Les particules présentes dans les eaux naturelles	3
I.3.1. Les particules en suspension	3
I.3.2. Les particules colloïdales.....	3
I.3.2.1. Affinité des particules colloïdales pour l'eau	5
I.3.3. Les matières dissoutes	6
I.4. Généralités sur le traitement des eaux de consommation	
I.4.1. Objectif du traitement et normes de potabilité	6
I.4.2. Traitement des eaux de surface	6
I.5. Les paramètres de qualité de l'eau	
I.5.1. Les paramètres physico-chimiques	10
I.5.2. Les paramètres bactériologiques	11
I.5.2.1. les germes tests	11
I.6. Les procédés de traitement	
I.6.1. Par voie physico-chimique	
I.6.1.1. Coagulation-Floculation	12
I.6.1.2. La filtration	12
I.6.1.3. L'adsorption	13

CHAPITRE II : LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES

II.1. L'osmose inverse	17
II.2. La nanofiltration	17
II.3. L'ultrafiltration	18
II.4. La microfiltration tangentielle	18
II.5. La dialyse	18
II.6. L'électrodialyse	19

CHAPITRE III : L'ULTRAFILTRATION

III.1. Les applications de l'ultrafiltration	20
III.2. Caractéristiques des membranes	
III.2.1. Le seuil de coupure d'une membrane	21
III.3. Les membranes d'ultrafiltration	
III.3.1. Classement selon la structure géométrique	21
III.3.1.1. Les membranes homogènes	21
III.3.1.2. Les membranes asymétriques ou anisotropes	21
III.3.1.3. Les membranes composites	22
III.3.2. Classement selon la nature chimique	
III.3.2.1. Les membranes minérales	22
III.3.2.2. Les membranes organiques	22
III.4. Modules et systèmes d'ultrafiltration	
III.4.1. Les modules	22

III.5. Mécanismes de transfert dans la membrane	23
III.6. Le phénomène de polarisation de concentration	25
III.6.1. Polarisation primaire : modèle du film	25
III.6.2. Polarisation secondaire	26
III.6.3. Modèle osmotique	29
III.7. Le colmatage	29

CHAPITRE IV : ETUDE EXPERIMENTALE

IV.1. Mode opératoire	31
IV.1.1. Appareil d'UF utilisé.....	31
IV.1.2. Mode discontinu	32
IV.1.3. Mode continu	32
IV.1.4. Le module d'UF	32
IV.1.5. Membranes utilisées	32

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Ultrafiltration par une membrane minérale	
V.1.1. Détermination de la perméabilité de la membrane	40
V.1.2. Détermination des courbes de polarisation.....	40
V.1.2.1. Variation de la turbidité et de la densité optique en fonction de la pression transmembranaire	42
V.1.2.2. Influence de la pression transmembranaire et de la vitesse de recirculation sur le taux de rejet de la turbidité et de la densité optique a travers la membrane	44
V.1.3. Traitement de l'eau brute	45
V.2. Ultrafiltration par une membrane organique	47
V.2.1. Détermination de la perméabilité de la membrane	47
V.2.2. Détermination des courbes de polarisation.....	47
V.2.2.1. Variation de la turbidité et la densité optique en fonction de la pression et de la vitesse de recirculation.....	48
V.2.3. Influence de la pression transmembranaire et de la vitesse de recirculation sur le taux de rejet de la turbidité et de la densité optique a travers la membrane	52
V.2.4. Traitement de l'eau brute	53
V.2.5. Traitement de l'eau brute avec une autre méthode d'analyse	55

CONCLUSION

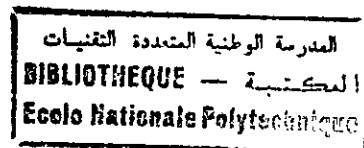
ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

NOMENCLATURE

A	Surface active de la membrane (m^2)
C	Concentration de la solution (mole . l^{-1})
Co	Concentration initiale du perméat (mole . l^{-1})
Cp	Concentration du perméat (mole . l^{-1})
Cm	Concentration du soluté en amont de la membrane (mole . l^{-1})
Cg	Concentration du soluté au niveau de la couche de gel (mole . l^{-1})
D	Coefficient de diffusion du soluté ($m^2 s^{-1}$)
e	Epaisseur de la membrane (m)
Jv	Flux volumique ($l.h^{-1}.m^{-2}$)
L	Longueur de la membrane (m)
Lp	Perméabilité hydraulique de la membrane ($l.h^{-1}.m^{-2} bar^{-1}$)
N	Nombre de pores par unité de surface de la membrane
ΔP	Pression transmembranaire (bars)
$\Delta \Pi$	Variation de la pression osmotique (bars)
P1	Pression d'entrée du fluide (bars)
P2	Pression de sortie du fluide (bars)
Tr	Taux de rejet observé (%)
Rg	Résistance de la couche du gel (m^{-1})
Rm	Résistance hydraulique de la membrane (m^{-1})
r	Rayons de pores (m)
S	Section de la membrane (m^2)
T	Température ($^{\circ}C$)
Z	Potentiel zéta (Volt)
U	Vitesse de recirculation (ms^{-1})
μ	Viscosité dynamique (pa.s)
η	Viscosité cinématique (pa.s . $kg .m^{-3}$)
V	Volume d'empotage (m^3)
a, b, c, n	Constantes
d	Diamètre intérieur de la membrane (m)
δ	Epaisseur de la couche limite (m)
ρ	Masse volumique de la solution ($kg.m^{-3}$)
ε	Porosité de la membrane
K	Coefficient de transfert de matière (ms^{-1})
D.B.O ₅	Demande biochimique en oxygène pendant cinq jours ($mg d'O_2.l^{-1}$)
D.C.O	Demande chimique en oxygène ($mg d'O_2.l^{-1}$)
MES	Matières en suspension
U.F	Ultrafiltration
DO	Densité optique
Turb.	Turbidité (NTU)
Tr(DO)	Taux de rejet de la densité optique (%)
Tr(turb.)	Taux de rejet de la turbidité (%)
Tr (KMnO ₄)	Taux de rejet de l'oxydabilité au KMnO ₄ (%)

INTRODUCTION



Le traitement de l'eau est la préoccupation quotidienne de l'homme depuis les temps anciens à nos jours, a cause des diverses pollutions engendrées par les nuisances de l'environnement. Actuellement la demande en eau est de plus en plus importante à cause des besoins liés aux activités domestiques et industrielles.

Des améliorations progressives, en qualité et en quantité d'eaux utilisables dans de nombreux domaines d'application, ont été apportées au fur et à mesure de la mise au point de procédés de traitement de plus en plus performants, tenant compte des critères d'efficacité et d'économie.

C'est ainsi, qu'actuellement il est fait appel aux nouvelles techniques à membranes pour rendre l'eau utilisable dans de nombreux domaines, en particulier, propre à la consommation humaine.

C'est à ce but particulier de rendre l'eau potable à partir d'une eau brute, que nous nous sommes intéressés, en utilisant ces nouvelles techniques, maintenant bien connues, en particulier l'ultrafiltration, qui permet de rivaliser voire supplanter les méthodes physico-chimiques (Coagulation-Floculation), appliquées couramment dans le traitement des eaux. Ces méthodes classiques comportent des inconvénients tels que la formation de boues dues à l'utilisation des produits chimiques, créant ainsi une pollution résiduelle. Ces techniques classiques ne répondent pas ainsi aux normes de potabilité les plus sévères, par exemple pour la turbidité le safe drinking water (U.S.A.) recommande une valeur de celle-ci inférieure à 0,1 NTU [1], d'où la nécessité d'intégration des techniques membranaires dans le domaine de traitement des eaux.

Notre contribution sera consacrée d'abord à des rappels sur les eaux naturelles, les techniques membranaires en général et à l'ultrafiltration en particulier, présentés respectivement aux chapitres I, II et III. L'étude expérimentale sera présentée au quatrième chapitre. Le cinquième chapitre portera sur l'interprétation des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion et des recommandations seront énoncées.

CHAPITRE I

LES EAUX NATURELLES

C'est le produit d'un processus cyclique d'évaporation et de précipitation qui, avec le contact des terrains traversés permet de charrier et de dissoudre une multitude de substances d'origines diverses (minérales, organiques et biologiques). La composition de ces eaux est le résultat d'interactions avec les substrats (sol, végétation, ...) rencontrés au cours de leur cheminement jusqu'à leur destinations finales (eaux souterraines et eaux de surface), où le phénomène de recyclage naturel reprend son cycle normal.

1.1. Les ressources d'eaux souterraines

Cette ressource englobe une partie des eaux d'infiltration et celle des eaux de profondeur (nappes phréatiques).

Les eaux souterraines sont caractérisées par une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, l'oxygène est presque absent. Il faut noter que dans le cas des nappes en milieu fermé principalement en circulation de type karstique, on peut relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de pollutions diverses.

Dans les eaux souterraines, les concentrations des éléments qui s'y trouvent peuvent dépasser largement les normes de potabilité. Ceci dépend essentiellement de la nature du terrain qui les englobe.

Ces eaux doivent donc être contrôlées et traitées chaque fois que la concentration d'un ou plusieurs éléments dépasse les normes en vigueur [2].

1.2. Les ressources d'eaux superficielles

Ce terme englobe toutes les eaux circulant ou stockées à la surface des continents. Ces eaux ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eaux, caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles tels que les lacs ou artificielles tels que les barrages, les retenues. Ces eaux sont caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable[2].

1.2.1. Caractéristiques générales des eaux superficielles

La composition des eaux de surface dépend essentiellement de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains par échange à la surface eau-atmosphère. Ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Dans les eaux de surface on note également la présence :

- de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivants à la surface des bassins versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort,

- de planctons : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense peut se développer (développement de végétaux macrophytes et de poissons),

- de concentrations importantes en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments grossiers entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante des débits. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale (Tableau I.1).

I.3. LES PARTICULES PRESENTES DANS LES EAUX NATURELLES

I.3.1. Les particules en suspension

Les particules en suspension (solides, liquides ou gaz) sont généralement visibles à l'œil nu, donnant un aspect hétérogène à ces eaux. Elles ont tendance à sédimenter ou émerger dans l'eau plus ou moins rapidement selon l'importance de leur taille (supérieur au micron). Les phénomènes dus à leur masse sont prépondérants par rapport à ceux liés à leur surface, qui sont faibles mais pas toujours négligeables. Ces particules peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que : bactéries, algues, planctons et virus. Ces particules en suspension sont responsables en particulier de la turbidité et de la couleur.

I.3.2. Les particules colloïdales

Ce sont des matières en suspension de même origine que les précédentes mais de plus petites taille (inférieur au micron). Les forces de surface sont alors prépondérantes par rapport à celles de masse. L'état de dispersion stable de ces colloïdes peut s'expliquer par les effets conjugués du mouvement brownien et des forces électrostatiques de surface, dues à la présence des charges électriques. Celles-ci se répartissent en deux couches :

- la première, appelée couche d'adsorption, est celle où se trouvent les molécules d'eau fortement liées à la particule colloïdale et qui se déplacent avec elle ;

- la seconde constitue une région diffuse (couche diffuse) où les ions sont, d'une part, attirés électrostatiquement par la particule et, d'autre part, tendent à s'écarter librement dans tous les sens sous l'effet de l'agitation thermique.

Dans les deux zones, il existe un gradient de concentration ionique qui se traduit par un gradient de potentiel, appelé potentiel zêta. Il est donné par la formule suivante :

$$Z = \frac{4 \times \pi \times e \times q}{D} \quad (I.1)$$

Z : potentiel zêta.

e : épaisseur de la couche diffuse.

q : charge de l'entité mobile par unité de surface.

D : constante diélectrique du milieu.

Tableau I.1 : Eléments caractéristiques des eaux de surface[2]

Caractéristiques	Commentaire
Température	Variable suivant les saisons.
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variable, parfois élevée.
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues, ...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques).
Minéralisation globale	Variable fonction des terrains, des précipitations, des rejets...
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.
CO ₂ agressif	Généralement absent.
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.
H ₂ S	Généralement absent.
NH ₄ ⁺	Présent seulement dans les eaux polluées.
Nitrates	Peu abondant en général.
Silice	Teneur en général modérée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal).
Solvants chlorés	Rarement présents.
Caractère eutrophe	Fréquent. Accentué par les températures élevées.

Ce sont, ce potentiel zêta et la couche de molécules liées à la particule, qui offrent une résistance au rapprochement des particules, de telle sorte que les forces de Van der Waals ne puissent les réunir en amas plus gros (Figure I.2).

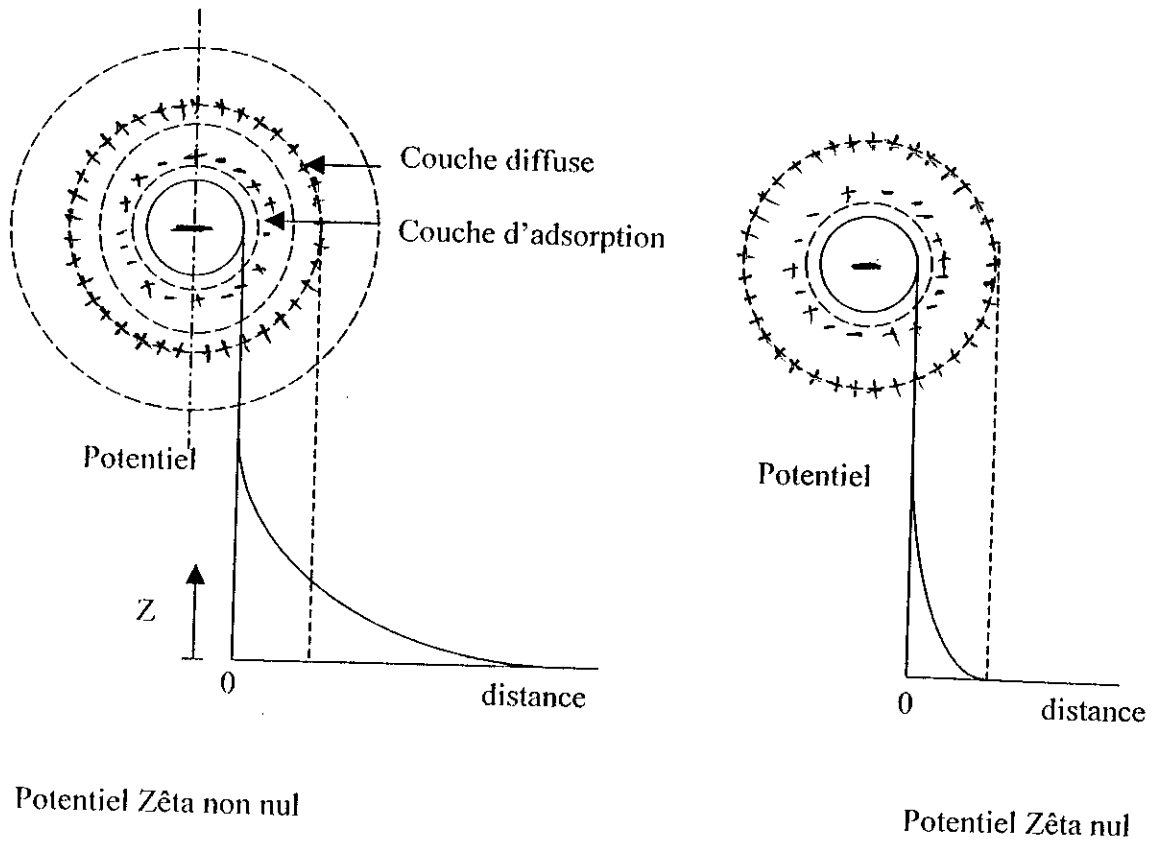


Figure I.2 : Colloïdes et potentiel zêta [3]

1.3.2.1. Affinité des particules colloïdales pour l'eau

Les particules colloïdales se classent en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau, elles peuvent être de nature hydrophile ou hydrophobe [3].

a. Les particules hydrophiles

Ce sont en général des particules organiques entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre les colloïdes.

Parmi les substances qui sont de nature hydrophile, on peut citer : les détergents, la gélatine, les protéines et les matières humiques...

b. Les particules hydrophobes

Ce sont en général des particules inorganiques tels que : la silice, les colloïdes d'argile. Ces particules sont caractérisées par leur charge électrique qui les stabilise.

Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les colloïdes hydrophobes, du fait de leur formation des liaisons hydrogènes avec l'eau [4,5].

1.3.3. Les matières dissoutes

Ce sont des particules de l'ordre de l'Angström qui se présentent sous forme de molécules plus ou moins polarisées (molécules organiques) et ionisées (sels minéraux).

1.4. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX DE CONSOMMATION

1.4.1 Objectifs du traitement et normes de potabilité

Dans le domaine de production d'eau potable, il faut :

- connaître la qualité de l'eau à traiter : analyses complètes effectuées sur des échantillons représentatifs (la représentativité des échantillons étant un problème délicat dans le cas des eaux souterraines lorsqu'il s'agit de traiter l'eau d'un forage qui n'est pas encore exploitée), variation annuelle de ces caractéristiques, avec connaissance précise des minima et des maxima, éventuellement révision d'une future détérioration de l'eau brute.

- définir les objectifs exacts de traitement, qui peuvent être répartis en trois groupes [6] :

- la santé publique, qui implique que l'eau distribuée, ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes.
- l'agrément du consommateur, car une eau peut être agréable à boire tout en étant insidieusement dangereuse (cas des sources polluées) ; il s'agit surtout ici de ce qu'on appelle les qualités organoleptiques de l'eau, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens du consommateur : couleur, goût, odeur...
- la protection du réseau de distribution et des installations de l'utilisateur (robinets, chauffe-eau, chaudières...) contre l'entartrage et/ou la corrosion.

Dans chaque pays, il existe des normes de potabilité. Dans le cas où les normes nationales ne seraient pas élaborées, on adopte en général celles de l'O.M.S. (Tableau I.2). Celles-ci sont relativement tolérantes pour certains critères (comme la turbidité) pour tenir compte des moyens limités des pays en voie de développement dans lesquels les consommateurs sont habitués à une eau de moins bonne qualité.

1.4.2 Traitement des eaux de surface

Les eaux de surface sont plus ou moins chargées en matières en suspension, en matières colloïdales et dissoutes. Leurs caractéristiques bactériologiques sont très variables.

Les paramètres faisant l'objet de traitement sont de types physico-chimiques et bactériologiques tels que la couleur, la turbidité, les indices chimiques de pollution, les germes microbiens et virus... (Tableaux I.3, I.4, I.5)

Tableau I.3 : Teneurs maximales admissibles selon les normes O.M.S. dans les eaux de distribution publique[7]

a. Paramètres physico-chimiques
- *Impératifs*

Turbidité (mastic)	15 gouttes de mastic (30 gouttes dans les circonstances exceptionnelles)
Couleur (ppm Pt – Co)	20,00
Pouvoir colmatant	0,10
Odeur – Saveur	Absence
Indices chimiques de pollution	Absence
Fer (mg/l)	0,20
Mn (mg/l)	0,10
Zn (mg/l)	5,00
As, Se (mg/l)	0,05
Pb (mg/l)	0,10
Fluorures, Cu (mg/l)	1,00
Cr ^(VI) , CN ⁻ (mg/l)	Teneurs inférieures au seuil de détermination analytique
Phénols	Absence
Algues, éléments figurés	Absence
Minéralisation totale (mg/l)	200
NO ₃ ⁻ (mg/l)	44 (soit 10 mg/l de N _{NO3})

- *Souhaitables*

TH (°F)	30 (optimum : 12à 15)
Cl ₂ (mg/l)	0,10
Mg (mg Mg/l)	120
Chlorures (mg Cl ⁻ /l)	250
Sulfates (mg SO ₄ ²⁻ /l)	250

b. Paramètres bactériologiques
- *Impératifs*

Escherichia Coli	Absence dans 50 ml pour une eau non traitée Absence dans 100 ml pour une eau traitée
Streptocoques Fécaux	Absence de 50 ml

Tableau I.4 : Quelques maladies hydriques[7]

Organismes	Maladies	Principal site atteint
1- Bactéries : Salmonella hyphipara A.B.C. Salmonella choleraesris Salmonella antériidités Vibrio choléra Escherichia coli Hycobacterium	Fièvre typhoïde Fièvre entérique Gastro-entérites Choléra Gastro-entérites Tuberculose	Système gastro-intestinal Intestins Système gastro-intestinal Poumons
2- Protozoaires : Entamoebahistolotica Naegleria gruberi	Amibiase Méningite encéphalique Amibienne	Système gastro-intestinal Système nerveux central
3- Vers parasites : Taenia saginata Ascaris lubricoides Schistozoma Kansoni japonica, haematobium	Ascariase Schistosema	Intestin grêle Reins

Tableau I.5 : Eléments toxiques ou indésirables dans l'eau potable (Normes C.E.E.)[7]

Eléments	Symboles	C.M.A. (mg.l ⁻¹)
Aluminium	Al	0,200
Argent	Ag	0,010
Arsenic	As	0,050
Cadmium	Cd	0,005
Cyanure	Cn	0,005
Chrome	Cr	0,005
Fer	Fe	0,200
Fluor	F	1,500
Mercure	Hg	0,001
Manganèse	Mn	0,050
Nickel	Ni	0,050
Phosphore	P	2,00
Plomb	Pb	0,050
Antimoine	Sb	0,010
Sélénium	Se	0,010
Zinc	Zn	0,100
Radioactivité Alpha globale		3 pCi.l ⁻¹
Radioactivité bêta globale		30 pCi.l ⁻¹

1.5. LES PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU

1.5.1. les paramètres physico-chimiques

a. La turbidité

La turbidité est le caractère trouble d'une eau qui traduit la présence de matières insolubles : colloïdes et/ou matières en suspension d'origine minérale, organique et biologique. Cette turbidité doit être éliminée pour permettre à l'eau une bonne désinfection.

b. La couleur

La couleur est due le plus souvent à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales issues de la décomposition de la faune et de la flore. Ce sont, en général, les substances humiques (acides humiques et fulviques) qui confèrent à l'eau une forte coloration. La couleur doit donc être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire.

c. Les matières en suspension (M.E.S)

Les matières en suspension sont des composés dont l'origine peut être minérale ou organique. A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, planctons, algues et virus. Elles sont responsables de la turbidité et de la couleur.

La connaissance du poids et du volume de ces substances dans l'eau est nécessaire pour la détermination des dimensions des ouvrages de traitement et d'adduction[3].

d. Le pH

Le pH est un paramètre important dans le domaine de traitement des eaux. Il détermine la qualité de celles-ci vis-à-vis des ouvrages de traitement et d'adduction (agressivité, corrosivité et entartrage), ainsi que les traitements de correction apportés aux eaux avant et après traitement.

Pour les eaux de consommation, le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5.

e. Les cations et les anions

Au cours de son ruissellement ou son cheminement au sein de la croûte terrestre, l'eau attaque les sols et les roches. Une grande partie de substances minérales se trouve dissoute dans l'eau suivant des processus complexes (hydrolyse, oxydation, carbonatation,...).

Les éléments présents dans l'eau en quantité importante sont :

*pour les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , NH_4^+ .

*pour les anions : HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- .

Ces différents éléments déterminent la minéralisation de l'eau et lui donnent son goût.

f. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

C'est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de l'oxydation de la matière organique présente dans l'eau pendant cinq jours. La DBO₅ représente la pollution organique carbonée biodégradable. Il doit avoir la plus faible valeur possible.

g. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables présentes dans l'eau. Ce paramètre représente la majeure partie des composés organiques ainsi que des sels minéraux oxydables. sa valeur doit être réduite le plus possible pour que l'eau soit apte à être consommée. Ce paramètre est souvent très faible voire négligeable dans le cas des eaux naturelles.

h . Le carbone organique total (COT)

Le COT est la teneur en carbone liée à la matière organique. La mesure de la quantité de CO₂ dégagé après une oxydation complète de la matière organique donne la valeur du COT. La teneur en COT reste relativement faible dans les eaux naturelles.

i. Substances extractibles au chloroforme (SEC)

L'extraction liquide-liquide au chloroforme de certaines matières toxiques, colorantes et odoriférantes permet d'apprécier les pollutions apportées aux eaux par ces matières. La méthode consiste à une extraction de ces matières par absorption sur charbon actif puis élution au chloroforme. Cette méthode permet de suivre la qualité de l'eau lors de différentes étapes de traitement, elle est applicable même pour un traitement d'affinage [3].

j. Minéralisation totale (Résidu Sec)

Parmi les éléments présents dans l'eau en quantité notable, on trouve les ions Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻², NO₂⁻, NO₃⁻. Ce sont ces éléments qui déterminent la minéralisation de l'eau. Après une évaporation à 100-105°C d'une eau débarrassée de ses matières en suspension on obtient un résidu sec dont le poids est presque égal à la somme des poids des ions déterminés par l'analyse chimique complète. Le résidu sec donne donc une idée sur la teneur des sels minéraux présents dans l'eau. Sa valeur ne saurait dépasser 1,5 g.l⁻¹ dans les eaux naturelles.

K. Résistivité

La résistivité qui est l'inverse de la conductivité, est liée à la quantité des ions présents dans l'eau (sels minéraux) et à leur mobilité en fonction de la température. Dans les solutions diluées, la résistivité est en relation linéaire avec l'inverse de la concentration ionique. La résistivité diminue chaque fois que les sels se trouvent dissous en quantité importante dans l'eau.

I. L'alcalinité

L'alcalinité détermine la teneur en ions hydroxyde, carbonate et bicarbonate présents dans l'eau. Elle représente respectivement l'alcalinité caustique, carbonatée et bicarbonatée.

I.5.2. Les paramètres bactériologiques

I.5.2.1. Les germes tests

Les germes tests de la contamination fécale recherchés dans les eaux de boisson sont principalement :

- E. coli,
- Les Streptocoques fécaux ;
- Les Clostridium sulfitoréducteurs.

Ces micro-organismes d'origine fécale, animale ou humaine, sont apportés par les rejets d'eaux résiduelles urbaines effectués dans l'environnement.

Les eaux de surface (rivières, lacs naturels ou artificiels) sont plus contaminées que les eaux souterraines.

Ces micro-organismes et leurs sous-produits toxiques représentent donc des cibles à haut risque sanitaire qu'une filière de traitement doit atteindre [8].

La réglementation requiert l'absence de germes tests de contamination fécale dans tout échantillon de 100ml d'eau analysée [9].

A ces micro-organismes s'ajoutent les virus (bactériophages, entérovirus) qui affectent la santé de l'homme, et de ce fait ils doivent être éliminés afin d'éviter toute maladie infectieuse.

1.6. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT

1.6.1. Par voie physico-chimique

1.6.1.1. Coagulation –floculation

La coagulation- floculation permet l'agrégation des particules d'origine organique ou minérale difficilement éliminables par simple décantation ou filtration, parce que chargées négativement, se repoussent mutuellement.

Cette méthode consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser ces charges négatives et de former des floes. Ces coagulants chimiques qui sont en général des sels d'aluminium ou de fer (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, ...) doivent être utilisés à des doses convenables pendant le traitement de manière à ne pas dépasser les normes de potabilité. Parfois des adjuvants de floculation sont ajoutés (silice activée, alginates, polymères anioniques de synthèse) pour faciliter la formation des floes.

L'efficacité de la coagulation- floculation est difficile à contrôler parce que plusieurs facteurs entrent en jeu dans cette étape (pH, température, sels dissous, turbidité, couleur de l'eau, conditions de mélange, doses de réactifs) [8].

1.6.1.2. La filtration

La filtration est le procédé de séparation solide-liquide où un grand nombre de processus peut intervenir [7] :

- La retenue mécanique dans la couche supérieure de la masse filtrante,
- Floculation et sédimentation,
- Absorption et adhésion aux grains de la masse filtrante et aux matières déjà retenues.

La filtration conduit à l'élimination des particules ayant des dimensions largement supérieures aux pores du matériau de filtration.

- Types de filtres

Il existe trois types de filtres :

- Filtres à sable lent,
- Filtres rapides ouverts,
- Filtres rapides fermés.

a. Filtres à sables lents

Ils sont généralement utilisés pour les eaux de surface relativement claires. Ces filtres occupent un grand espace et travaillent à faible vitesse (0.1 à 0.4 m/h).

b. Filtres à sables rapides ouverts

Ces filtres travaillent sous pression atmosphérique et sont adaptés aux grandes vitesses de filtration de 7 à 30 m/h.

Pour le traitement des eaux potables, industrielles ou résiduaires. les eaux filtrées sont recueillies par l'une des deux méthodes suivantes :

- La couche filtrante peut se reposer sur des dalles en béton maigre, qui soient munies de bougies poreuses ou de buselures à fentes.
- La deuxième méthode consiste à recueillir l'eau filtrée au moyen de tuyaux perforés noyés dans une couche de sable.

c. Les filtres rapides fermés

Ils sont constitués de cylindres sous pression. L'avantage de ces filtres ce qu'ils occupent une surface très réduite et qu'ils travaillent à forts débits. Leur inconvénient c'est qu'ils nécessitent un personnel qualifié.

1.6.1.3 L'adsorption

Certaines matières dissoutes dans l'eau sont incomplètement éliminées par les procédés de traitement connus (coagulation- floculation- décantation).

L'élimination d'une majeure partie de la fraction restante fait intervenir un autre procédé qui est l'adsorption.

Quand un corps solide est plongé dans un liquide contenant des corps dissous, il se produit une fixation de certains corps dissous sur le solide. Cette fixation s'explique par la formation des liaisons entre les corps dissous et le solide. L'adsorption est de deux types :

- physique, met en jeu des liaisons faibles(Van der Waals et hydrogène),
- chimique, faisant intervenir des liaisons fortes (covalence).

L'adsorption d'une quantité déterminée d'un soluté sur un adsorbant (charbon actif par exemple) s'accompagne d'une chaleur d'adsorption.

L'adsorption est influencée par plusieurs facteurs qui sont :

- la concentration de l'adsorbant en solution,
- la température,
- la vitesse d'adsorption,
- la nature du soluté,

Les lois isothermiques qui gouvernent l'adsorption dérivent de la relation de Gibbs :

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \frac{d\sigma}{dC} \quad (1.2)$$

Γ : nombre de molécules par unité de surface.

C : concentration moyenne du soluté.

$d\sigma$: variation de la tension superficielle du solvant.

dC : variation de la concentration du soluté.

L'intégration, à température constante de l'équation différentielle précédente conduit aux lois isothermiques de Langmuir et de Freundlich qui sont données respectivement par les relations suivantes :

$$\frac{x}{m} = \frac{abC}{1 + bC} \quad (1.3)$$

Et
$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \quad (1.4)$$

$\frac{x}{m}$: Quantité du soluté adsorbée par la masse de l'adsorbant.

a, b, k : constantes pour un adsorbant et un soluté donnés

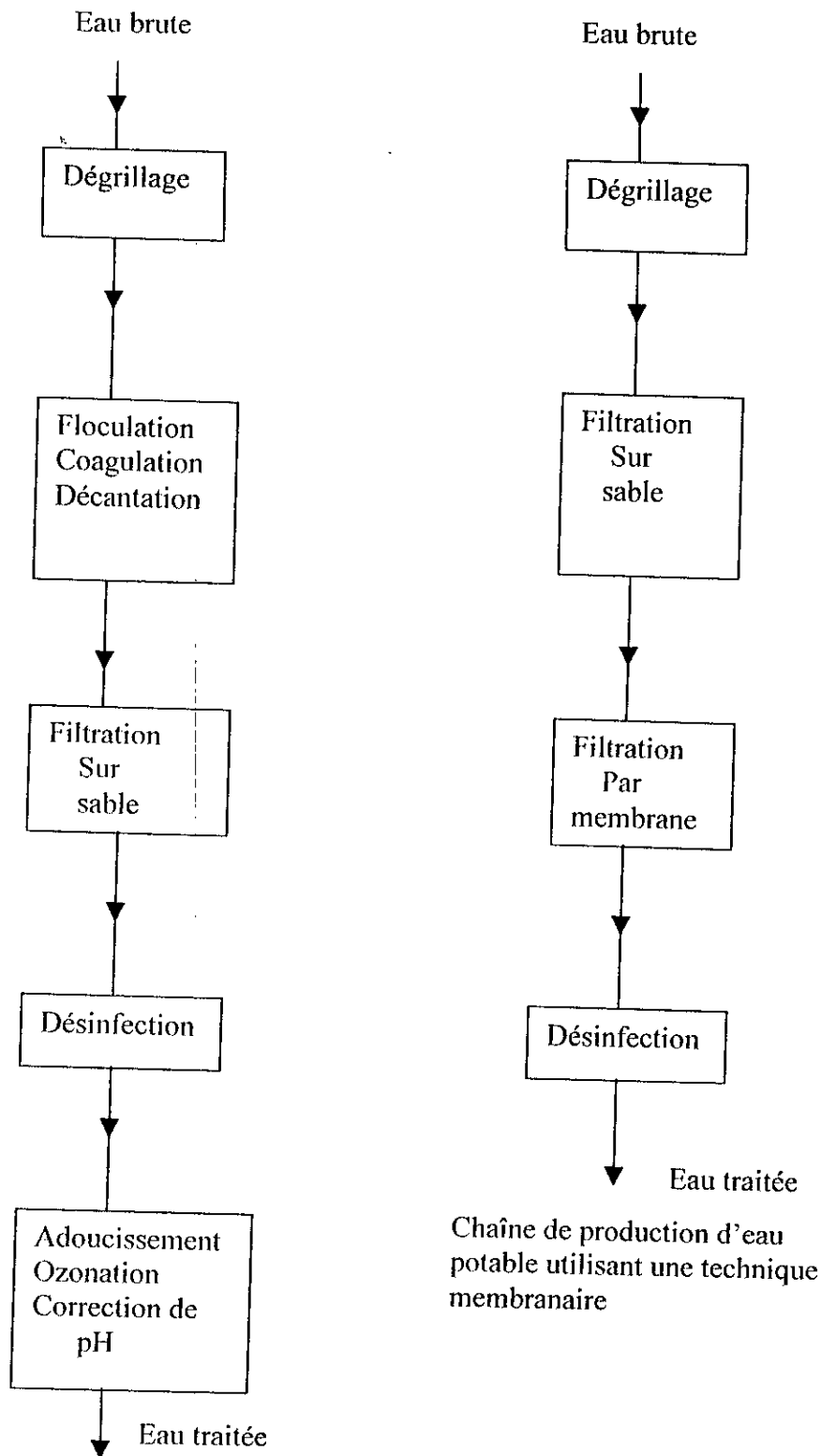
C : concentration de soluté à l'équilibre d'adsorption

Dans le domaine des concentrations habituellement rencontrées, la loi de Freundlich convient mieux pour définir le comportement des adsorbants vis-à-vis des substances organiques.

Tableau I.5 : Caractéristiques de l'adsorption physique et chimique [10]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	5 k cal/mol environ	10 k cal/mol environ
Liaison entre l'adsorbât et l'adsorbant	Physiques	Chimiques
spécificité	Processus non spécifique	Spécifique
désorption	Facile	difficile

La figure (I.3) représente deux chaînes de traitement de l'eau brute, l'une par voie physico-chimique (coagulation- floculation-filtration) et l'autre par voie membranaire.



Chaîne classique de production d'eau potable

Chaîne de production d'eau potable utilisant une technique membranaire

Figure I.3 : Procédés de production d'eau potable

CHAPITRE II

LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES

Les techniques à membranes (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse...) jouent un rôle très important dans les procédés propres. Ces techniques se caractérisent, par leur aptitude à clarifier, concentrer, séparer de façon continue et automatique, ce qui facilite leur intégration dans des unités existantes ou leur mise en place dans des procédés nouveaux [11].

Elles sont actuellement présentes dans de nombreux secteurs industriels : agro-alimentaires, métallurgie, textile...

Ces techniques occupent une place primordiale lors du traitement des eaux en voie de leur potabilisation. Les domaines d'application des techniques membranaires sont présentés sur la figure(II.1) et le tableau (II.1).

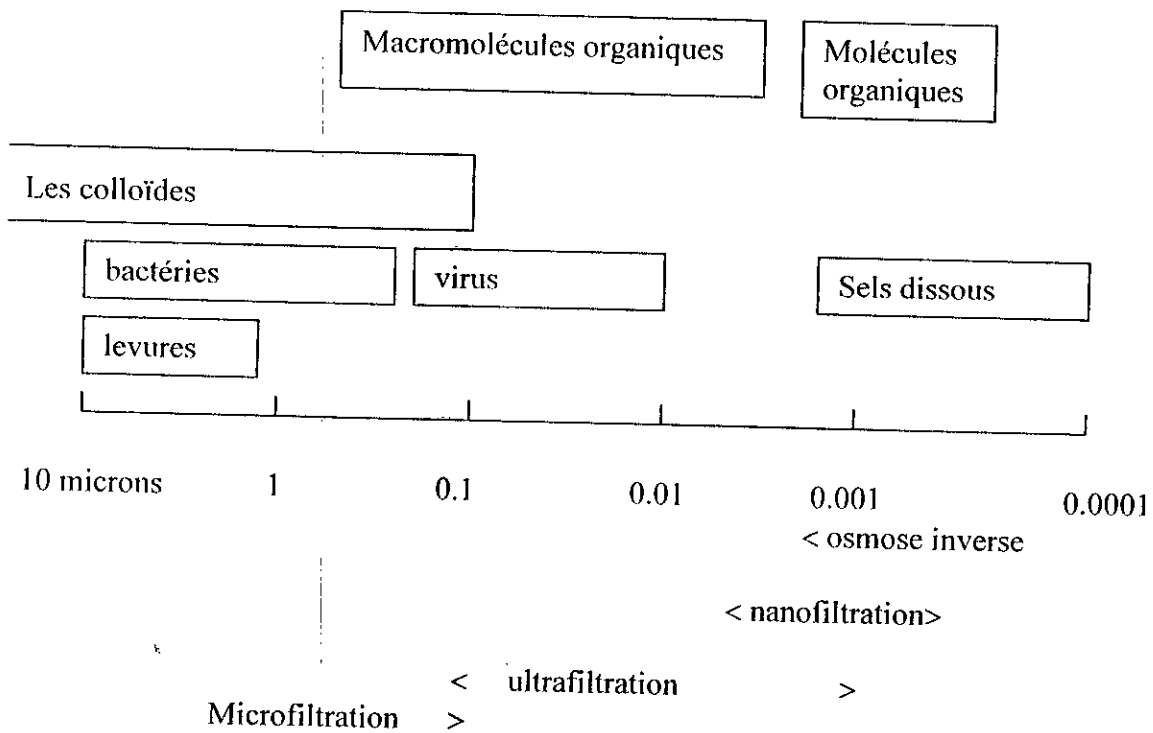


Figure II.1 : Domaines d'application des techniques à membranes [12]

Tableau II.1 : Domaines d'application des techniques à membranes, d'après H.Starthman [13]

Procédés	Type de membrane	Force motrice	Méthode de séparation	Domaines d'application
Microfiltration	microporeuse, symétrique, rayon de pore de 0,1 à 10 μ m	Pression hydrostatique de 0,1 à 1bar	tamissage mécanique	filtration à but de stérélisation et clarification
Ultrafiltration	microporeuse, asymétrique, rayon de pore de 1 à 10 μ m	Pression hydrostatique de 0,5 à 5bar	tamissage mécanique	séparation de solutions macro-moléculaires
osmose inverse	asymétrique à peau dense	Pression hydrostatique de 20 à 100bar	diffusion	séparation des sels et microsolutés
dialyse	microporeuse, symétrique, rayon de pore de 0,1 à 10 μ m	Gradient de concentration	diffusion	séparation des sels et microsolutés de solutions macro-moléculaires
électrodialyse	échangeuses de cations et d'anions	Gradient de potentiel électrique	taille et charge électrique des particules	dessalement
séparation des gaz	homogène	Pression hydrostatique et gradient de concentration	solubilité et diffusion	séparation d'un mélange de gaz

II.1. L'OSMOSE INVERSE

L'osmose inverse est un procédé de séparation qui repose sur l'utilisation des membranes perméables au seul solvant (généralement l'eau) sous l'action d'une forte pression [11,12]; il s'agit de membranes denses dont la perméabilité est due à une affinité sélective pour le , solvant. Les membranes d'osmose inverse laisse passer le solvant et arrêtent tous les sels.

Cette technique est utilisée :

- Pour la déminéralisation des eaux (dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer, production d'eau ultrapure).
- Pour la concentration de solutions (concentration de jus de fruits par exemple).

Il est nécessaire d'appliquer une pression transmembranaire supérieure pour obtenir un flux de solvant en aval de la membrane et par conséquent une concentration du soluté en amont.

Le transport sélectif du solvant par rapport au soluté résulte de la nature et de la structure de la membrane et de la différence de pression transmembranaire. Le perméat sortant en aval est généralement recueilli sous la pression atmosphérique.

II.1.2. LA NANOFILTRATION

La nanofiltration est une technique séparative à membranes se situant entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composés ayant une taille en solution voisine du nanomètre.

Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 300g/mole ne sont pas retenus par ce type de membrane. les sels ionisés multivalents(calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 300g/mole sont fortement retenus[14].

Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre ceux de l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

Les applications de la nanofiltration sont nombreuses, citons :

- La déminéralisation sélective(adoucissement des eaux).
- La concentration de composés organiques de faible masse molaire(antibiotiques).

II.3. L'ULTRAFILTRATION

Cette technique qui a fait l'objet de notre travail sera traitée dans le chapitre III.

II.4. LA MICROFILTRATION TANGENTIELLE

La microfiltration tangentielle peut être défini comme un procédé de séparation solide-liquide qui met en œuvre des membranes dont les diamètres des pores sont compris entre 0,1 et 10 μ m. Ce procédé permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation[12,14].

Cette technique s'apparente à l'ultrafiltration mais s'en distingue par la dimension des pores de la membrane. De ce fait, son objectif peut être :

- la clarification d'une suspension (eau ou solvant à recycler),
- la concentration d'une fraction particulaire ou colloïdale valorisable.

Pratiquement tout ce qui concerne l'ultrafiltration s'applique à la microfiltration tangentielle, aussi bien les dispositifs utilisés que l'influence des conditions opératoires et des phénomènes de couche limite sur le transport .

L'écoulement tangentiel à grande vitesse est également nécessaire pour limiter la formation du dépôt en amont de la membrane [11].

Le principe de fonctionnement des techniques membranaires citées précédemment est représenté par la figure II.3.

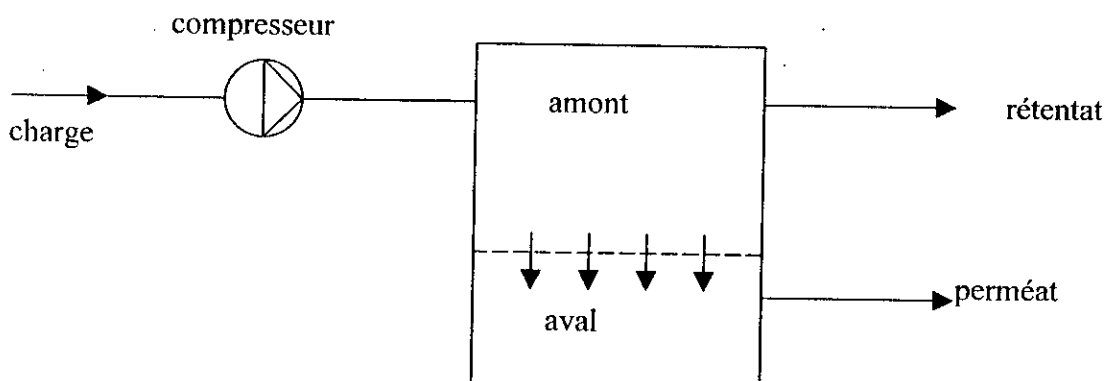


Figure II.3 : Schéma de principe des techniques à membranes

II.5.LA DIALYSE

Cette technique est utilisé pour l'extraction des impuretés de faibles masses moléculaire contaminant un soluté macromoléculaire.

La solution à épurer est mise en contact d'un solvant par l'intermédiaire d'une membrane imperméable au soluté macromoléculaire, les impuretés diffusent sous l'action de gradient de concentration et peuvent être éliminées totalement si le solvant est renouvelé en continu.

II.6L'ELECTRODIALYSE

L'électrodialyse a pour objet une séparation ionique dans un champ électrique en présence de membranes respectivement perméables aux anions et aux cations. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans le compartiment séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode et les anions vers l'anode par l'action d'un champ électrique.

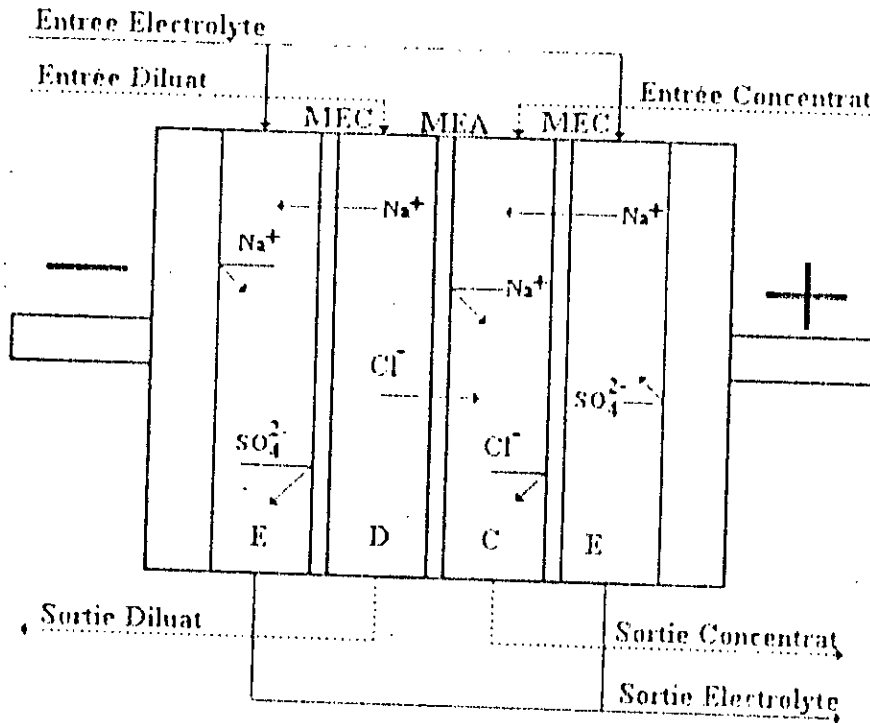


Figure II. 4 : Schéma de principe de fonctionnement d'un électrodialyseur.

- C : compartiment concentrat.
- D : compartiment diluat.
- E : compartiment électrolyte.
- MEA : membrane échangeuse d'anions.
- MEC : membrane échangeuse de cations.

CHAPITRE III

L'ULTRAFILTRATION

L'ultrafiltration est définie comme étant un procédé de séparation dont la force agissante est un gradient de pression de l'ordre de quelques bars, et dont la sélectivité est obtenue à partir d'une membrane artificielle qui agit comme un tamis macromoléculaire.

Les espèces à séparer restent partiellement ou totalement retenues en amont de la membrane alors que le reste est en aval. L'ultrafiltration permet d'atteindre trois objectifs [12] :

- concentration de solutions macromoléculaires tel que les enzymes, les protéines, les polymères variés et les polysaccharides.
- rétention de macrosolutés plus ou moins nocifs, présents notamment dans les effluents industriels ou simplement dans destinée à usage médicale.
- fractionnement par élimination des petits solutés tels que la récupération des protéines à partir de lactosérum, de l'alcool polyvinylique dans les eaux mères de l'industrie textile, de pigments présents dans les bains d'électrophorèse, de substances huileuses en émulsion dans l'eau ou par transport sélectif des macrosolutés (séparation albumine/globuline).

L'intérêt de l'ultrafiltration est fonction des performances de la membrane, c'est à dire de ses propriétés de transport (rétention et flux dans des conditions opératoires données), mais aussi de l'incidence d'un certain nombre de variables.

III.1. LES APPLICATIONS DE L'ULTRAFILTRATION

Parmi les nombreuses applications de cette technique, nous citerons notamment [15,16] :

a. L'industrie électronique

- débarrasser les gaz des particules et micro-organismes ;
- utilisation de l'eau ultrapure ;
- contrôle de l'air pour le transport des plaques de silicium sur coussin d'air.

b. Médecine et pharmacie

- préparation de différentes protéines plasmiques et des facteurs de coagulation à partir du plasma humain pour l'hémothérapie.

c. L'industrie agro-alimentaire

- traitement du plasma bovin pour concentration du sang additionné d'anticoagulant,
- purification et concentration du jus de fruits,
- fabrication du fromage,
- récupération du lactosérum à partir du lait,
- Traitement de moût de fermentation.

d. L'industrie textile

- traitement des effluents provenant de lavage de la laine servant au tissage.

e. Les industries biologiques et pharmaceutiques :

- concentration et purification des protéines ;
- isolement des virus de certains milieux ;
- purification des antibiotiques et de vaccins.

f. L'industrie automobile

- la purification des bains d'électrophorèse de peinture permettant de recycler les bains de rinçage afin de récupérer la peinture et d'éviter la pollution ;
- traitement des huiles de coupe de machines outils afin de les récupérer et éviter la pollution,
- régénération des huiles de moteurs.

III.2. CARACTERISTIQUES DES MEMBRANES

Toute membrane est caractérisée par sa perméabilité au solvant et par son seuil de coupure.

III.2.1. Le seuil de coupure d'une membrane

Il existe deux définitions selon qu'on considère la masse ou la taille de molécule retenue.

III.2.1.2. Définitions

a. Le seuil de coupure d'une membrane est la plus petite masse moléculaire correspondant à une rétention du soluté. Cette rétention est soit totale, soit supérieure à une référence donnée[17].

b. Le seuil de coupure d'une membrane est la taille du soluté de plus faible masse rejetée par la membrane.

La notion de seuil de coupure n'est qu'indicative, car celui-ci dépend des conditions du milieu (pH, température, ...).

Le seuil de coupure d'une membrane est obtenu à partir de la courbe de rétention d'un soluté donné, laquelle représente la variation du taux de rejet de la membrane en fonction de la masse du soluté traversant celle-ci.

Le taux de rejet est défini comme étant la fraction de soluté retenu par la membrane[18], il est donné par la relation :

$$Tr = 1 - \frac{C_p}{C_0} \quad (III.1)$$

Tr : Taux de rejet (%)

C_p : Concentration du perméat(mole/l).

C_0 : Concentration initiale(mole/l)

III.3. LES MEMBRANES D'ULTRAFILTRATION

Les membranes sont classées selon leur structure géométrique ou leur nature chimique.

III.3.1. Classement selon la structure géométrique

On distingue :

III.3.1.1. Les membranes homogènes

Ce sont des parois de trous quasi-cylindriques. Elles sont obtenues par technique de bombardement suivie d'une attaque chimique.

La perméabilité de telles membranes est trop faible pour présenter un intérêt industriel.

III.3.1.2. Les membranes asymétriques ou anisotropes

Elles sont constituées de deux couches superposées :

- Une couche permselective réduite à une peau très fine de 0,1 à 1,5 μm d'épaisseur qui limite la résistance au transfert de matière, qui est proportionnelle à cette couche.
- Une couche plus épaisse de 100 à 200 μm d'épaisseur, de texture poreuse qui joue le rôle d'un support.

L'intérêt de la structure asymétrique réside dans le fait que les particules à séparer sont retenues en surface et non à l'intérieur des pores de la membrane.

III.3.1.3. Les membranes composites

Elles sont élaborées dans le but d'augmenter la perméabilité des membranes asymétriques classiques. L'épaisseur de la couche active est suffisamment réduite ; cette réduction est obtenue par un dépôt, sur le support, d'une mince pellicule semi-perméable de 10 à 100 nm.

La structure de ces membranes permet d'utiliser au mieux les propriétés de chaque matériau qui sont :

- Une bonne sélectivité pour la peau.
- Bonnes propriétés mécaniques pour le support.

III.3.2. Classement selon la nature chimique

On distingue deux types de membranes dont les propriétés sont les suivantes :

III.3.2.1. Les membranes minérales

- grande stabilité thermique (400°C).
- elles supportent de fortes pressions (40 bars).
- elles travaillent dans toute la gamme du pH.
- une meilleure conservation à l'air.
- une possibilité de stérilisation à la vapeur.
- une insensibilité aux bactéries.
- une meilleure possibilité de décolmatage à contre courant.
- possibilité de nettoyage chimique.

III.3.2.2. Les membranes organiques :

- un rapport encombrement-surface disponible plus faible,
- une possibilité de travail avec une vitesse de circulation plus faible, ce qui n'est pas le cas pour les membranes minérales,
- une plus importante diminution de la turbidité des eaux filtrées lors du traitement.

III.4. MODULES ET SYSTEMES D'ULTRAFILTRATION

III.4.1. LES MODULES

Les modules peuvent être classés en quatre catégories selon la géométrie de la membrane : plans, spiralés, tubulaires et à fibres creuses.

Les modules sont conçus de manière à atteindre les objectifs suivants :

- limiter le phénomène de polarisation de concentration et le dépôt de particules en assurant une circulation suffisante du fluide à traiter au niveau de la membrane ;
- surface spécifique d'échange élevée (surface de la membrane/ volume du module en m^2/m^3) ;
- montage et démontage faciles.

a. Les modules plans

Les membranes planes sont fixées sur un cadre qui constitue le support mécanique. Ils furent, au départ, utilisés en osmose inverse mais pour des problèmes de résistance mécanique, ils se limitent aujourd'hui à l'ultrafiltration.

b. Les modules à enroulement spiral

Ce type de module est assimilable à un module plan enroulé autour d'un tube qui recueille le perméat. L'empilement comprend un intercalaire poreux qui draine le perméat et un intercalaire tissé qui draine le rétentat.

c. Les modules à fibres creuses

Les fibres creuses sont des capillaires dont le diamètre est de l'ordre de 1mm pour l'ultrafiltration et inférieur pour l'osmose inverse. Les fibres sont rassemblées en faisceau pour former un module très compact.

d. Les modules tubulaires

Ils sont constitués par un assemblage en parallèle de tubes en matériau poreux, la couche active de la membrane étant plaquée soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des tubes.

Cette configuration tubulaire a été adoptée pour les membranes minérales qui n'existe que sous cette forme (tubes de quelques mm de diamètre) mais elle est bien adaptée à la micro-filtration tangentielle et des membranes organiques sont également mises en œuvre sous cette forme.

Le tableau III.1 résume les avantages et inconvénients des différents types de modules.

Tableau III.1 : Avantages et désavantages des différents types de modules

	plaques	tubulaire	spirale	Fibres creuses
Avantages	- compact - faible coût de remplacement des membranes	- facilité de nettoyage - préfiltration non nécessaire	- compact - faible prix d'achat	- très compact - faible prix d'achat - nettoyage par inversion de pression
Inconvénients	- préfiltration nécessaire - remplacement fastidieux	- prix d'achat élevé - coût énergétique élevé	- Préfiltration nécessaire	- Préfiltration nécessaire

III.5. MECANISMES DE TRANSFERT DANS LA MEMBRANE

Les tentatives de description du mécanisme de transfert ont montré que les transferts transversaux de matière se font de moins en moins facilement en allant vers la membrane et que la polarisation est un phénomène très complexe et les modèles mathématiques avancés n'arrivent pas à élaborer tous les paramètres intervenant [18].

Supposons que la membrane est un tamis moléculaire dont les pores sont assimilés à des canaux cylindriques droits. La loi de Poiseuille est dans ce cas applicable :

$$J_v = \frac{N \times \pi \times r^4}{8 \times \mu} \times \frac{\Delta P}{\Delta X} \quad (III.2)$$

J_v : Débit de solvant par unité de surface.

N : Nombre de pore par unité de surface.

r : Rayon de pore moyen.

μ : Viscosité dynamique du solvant.

ΔP : Pression transmembranaire appliquée.

ΔX : Epaisseur de la membrane.

Cette équation montre que le flux de solvant est inversement proportionnel à la viscosité, qui est elle-même fonction de la température et à l'épaisseur de la partie utile de la membrane mais varie linéairement avec la pression transmembranaire et au rayon du pore intervenant à la puissance quatre.

Du point de vue macroscopique, le solvant, en absence de soluté, suit la loi de Darcy qui s'avère d'un usage plus commode car elle ne nécessite pas d'hypothèse sur la géométrie des pores.

$$J_v = \frac{\Delta P}{\mu \times R_m} = L_p \times \Delta P \quad (\text{III.3})$$

R_m : Résistance hydraulique de la membrane.

L_p : Perméabilité hydraulique de la membrane.

Cependant, quand la solution à ultrafiltrer contient un ou deux solutés en plus de solvant, plusieurs phénomènes peuvent influencer sur le flux qui au-delà d'une certaine pression tend à devenir indépendant de la pression transmembranaire (figure III.3).

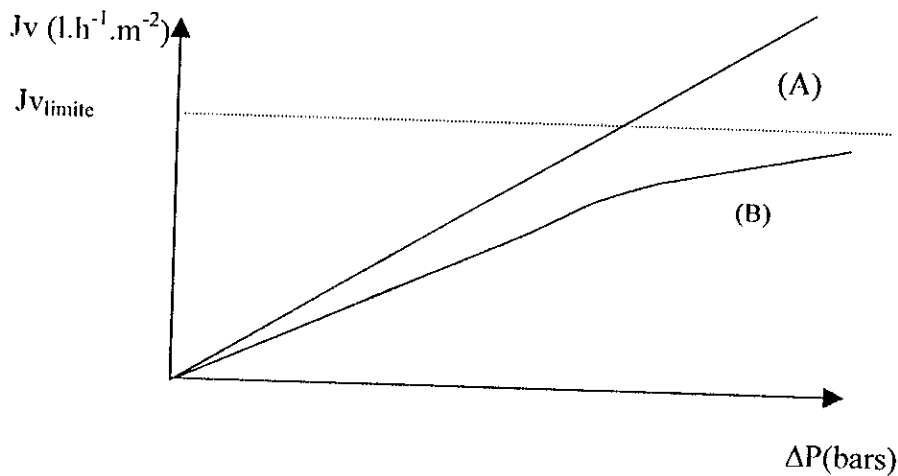


Figure III.1 : Courbe (A) : dans le cas d'un solvant pur.
Courbe (B) : dans le cas d'une solution de macromolécules.

Ceci peut s'expliquer par :

- l'accumulation de matière au voisinage de la membrane formant ainsi une couche limite appelée polarisation de concentration ;
- l'adsorption de soluté sur la surface de la membrane ;
- le colmatage de la membrane.

Plusieurs modèles ont été avancés pour décrire le transfert de masse à travers les membranes semi-perméables et expliquer le mécanisme de la sélectivité de ces membranes [19].

Les principaux modèles les plus couramment utilisés sont :

- le modèle du film ou polarisation primaire ;
- le modèle de gel ou polarisation secondaire ;
- le modèle osmotique.

III.6. LE PHENOMENE DE POLARISATION ET DE CONCENTRATION

III .6.1. POLARISATION PRIMAIRE : MODELE DU FILM

Ce modèle suppose qu'au voisinage de la membrane, il y a une formation d'une couche d'épaisseur δ faible dans laquelle la concentration en macromolécule passe de C_0 à C_m .

Le solvant est éliminé par filtration à travers la membrane. Le soluté s'accumule à l'interface et s'élimine par diffusion (figure III.2).

Les transferts de solutés entre deux régions :

- la diffusion selon la première loi de Fick ;
- la convection due au flux transmembranaire J_v .

La résultante de ces deux phénomènes aboutira à la formation d'une couche de polarisation de concentration.

En régime permanent, le flux s'écrit comme suit :

$$J_v(c - C_p) = -Ddc/dy \quad (III.4)$$

Si l'on considère que le coefficient D constant dans l'épaisseur δ l'intégration de cette équation conduit à l'expression :

$$J_v = \frac{D}{\delta} \ln \frac{C_m - C_p}{C_0 - C_p} \quad (III.5)$$

$$J_v = K \ln \frac{C_m - C_p}{C_0 - C_p} \quad (III.6)$$

$$K = \frac{D}{\delta} \quad (III.7)$$

C_0 : Concentration en soluté dans la charge, mole/l.

C_m : Concentration à la surface de la membrane, mole/l.

C_p : Concentration du perméat, mole/l.

K : Coefficient de transfert de masse à l'interface fluide-membrane.

lorsque le soluté est parfaitement retenu par la membrane, c'est à dire que le taux de rejet est égal à 1, la relation (III.6) devient :

$$J_v = K \ln \frac{C_m}{C_0} \quad (III.8)$$

III.6.2. POLARISATION SECONDAIRE : MODELE DU GEL

Lorsque sous l'action d'une forte pression, par exemple quand la concentration du soluté retenu par la membrane atteint sa valeur limite de solubilité dans la couche de polarisation, le flux du perméat atteint à son tour une valeur limite.

La solution à la surface de la membrane devient si concentrée en macromolécules qui s'accumulent au amont de la membrane et il y a donc formation d'un gel qui s'oppose au passage du fluide et provoque une résistance supplémentaire à celle de la membrane et de la couche de polarisation primaire, ce phénomène est la polarisation de concentration secondaire (Figure III.3). Le flux de perméat qui traverse la membrane s'écrit[20] :

$$J_v = KLn \frac{C_{gel} - C_p}{C_0 - C_p} \quad (III. 9)$$

Lorsque le soluté est parfaitement retenu par la membrane la relation précédente devient :

$$J_v = KLn \frac{C_{gel}}{C_p} \quad (III. 10)$$

Le coefficient de transfert de matière K dépend des conditions hydrodynamiques du milieu système et des propriétés physico-chimiques de la solution (viscosité, coefficient de diffusion...). Il peut être calculé à partir des relations empiriques entre les nombres adimensionnels qui sont reliés entre eux par la relation[12] :

$$Sh = \frac{K \times d}{D} = a_1 \times Re^{n_1} \times Sc^{m_1} \quad (III. 11)$$

dans le cas d'un régime turbulent et par la relation :

$$Sh = \frac{K \times d}{D} = a_2 \left(Re \frac{d}{l} \right)^{n_2} Sc^{m_2} \quad (III.12)$$

dans le cas d'un régime laminaire,

$$SH = \frac{K \times d}{D} \quad \text{:nombre de SHERWOOD.}$$

$$Re = \frac{d \times U \times \rho}{\mu} \quad \text{:nombre de RYNOLS.}$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad \text{:nombre de SCHMIDT.}$$

l : Chemin parcouru par le liquide à l'intérieur du module(m)

d : Diamètre hydraulique (m)

U :Vitesse du fluide(m. s⁻¹)

ρ :Masse volumique du fluide(kj. m⁻³)

μ : Viscosité dynamique (Pa.s)

$a_1, a_2, n_1, n_2, m_1, m_2$, sont des coefficients déterminés expérimentalement le tableau (III.2) donne la corrélation du coefficient de transfert K .

Tableau III.2 : corrélation du coefficient de transfert de matière K [12].

Régime laminaire équation générale : $Sh = a_2 (Re \frac{d}{l})^n Sc^m$				
Auteurs	A	n	m	Conditions
BIRD et Coll.	1.86	0.33	0.33	$100 < Re$ et $Sc \frac{d}{l} < 5000$
GROBER et Coll.	0.664	0.50	0.33	
PORTER	1.62	0.33	0.33	
BLATT et Coll.	1.18	0.33	0.33	
PROBSTEIN et Coll.	1.31	0.33	0.33	
Régime turbulent équation générale : $Sh = a_1 Re^n Sc^m$				
CHILTON et COLBURN	0.023	0.80	0.33	$Sc > 1000$ $Sc > 10$ $Re > 3000$
HORRIOT et HAMILTON	0.0096	0.913	0.346	
LEVICH	0.015	0.88	0.33	
DWORAK et WENDT	0.011	0.90	0.33	
SHERWOOD et Coll.	0.023	0.33	0.33	
CALDERBANK et YOUNG	0.082	0.69	0.33	

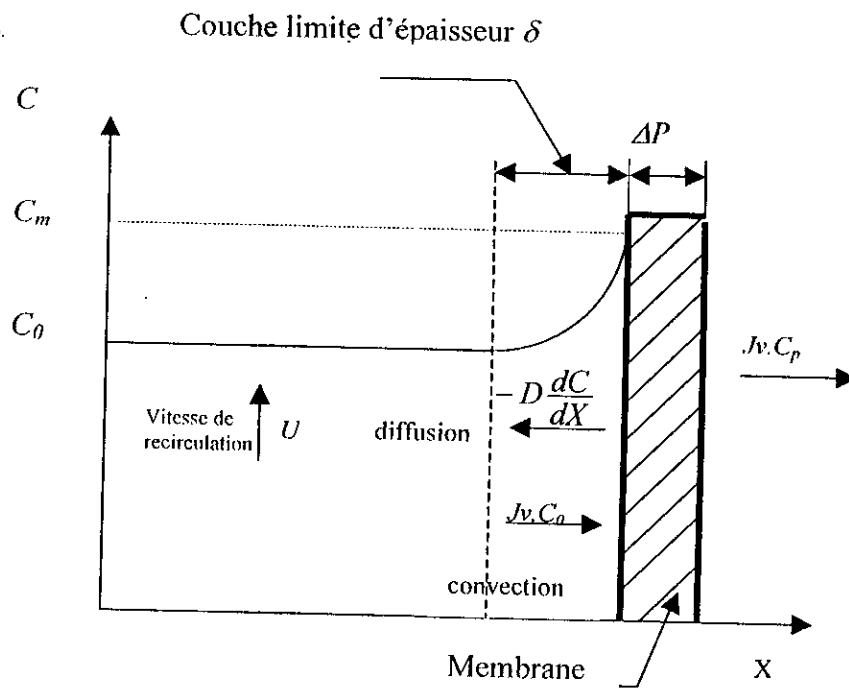


Figure III.2 : Phénomène de polarisation de concentration primaire

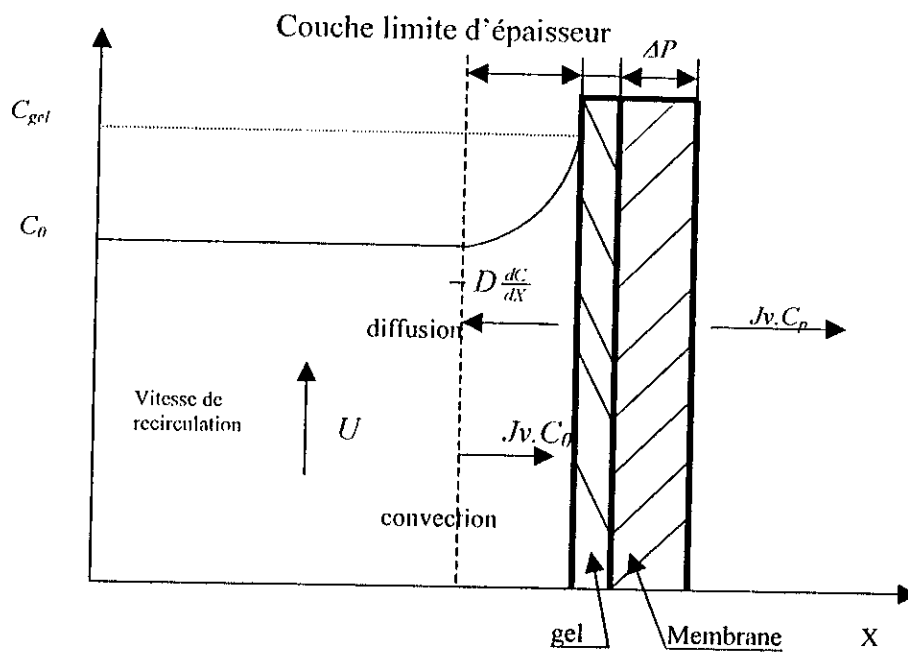


Figure III.3 : Phénomène de polarisation secondaire

III.6.3. MODELE OSMOTIQUE [21]

Le flux du solvant en absence de polarisation de concentration est régi par la loi de DARCY qui s'écrit :

$$J_v = L_p \Delta P \quad (\text{III.13})$$

J_v : flux de perméat ;

ΔP : pression transmembranaire appliquée ;

L_p : perméabilité hydraulique de la membrane.

L'équation précédente peut se mettre sous la forme :

$$J_v = \frac{\Delta P}{R} \quad (\text{III.14})$$

R : Résistance hydraulique de la membrane.

En présence de polarisation l'équation devient :

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{R + \frac{R_p}{p}} \quad (\text{III.15})$$

$\Delta \pi$: Pression osmotique ;

R_p : Résistance de la couche limite de polarisation.

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

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{R + \frac{R_p}{p} + R_g} \quad (\text{III.16})$$

R_g : Résistance due à la couche de gel.

III.7. LE COLMATAGE

Le colmatage d'une membrane est un phénomène généralement irréversible correspond directement à la baisse de flux observé au cours d'ultrafiltration. Il résulte de l'obstruction mécanique des pores de la membrane [22]. Cette obstruction peut être superficielle ou en profondeur (Figures III.4, III.5).

Le colmatage est du au phénomène d'adsorption à la couche de gel et la formation de blocs ou précipités, il augmente avec la concentration et avec la pression. L'adsorption consiste en une fixation de la matière en surface ou à l'intérieur des pores de la membrane sous l'action des forces physico-chimiques. Selon PALMER et Coll. [22], l'adsorption peut être importante dans le cas de la solution protéique.

Le décolmatage de la membrane nécessite un lavage chimique, mécanique ou enzymatique.

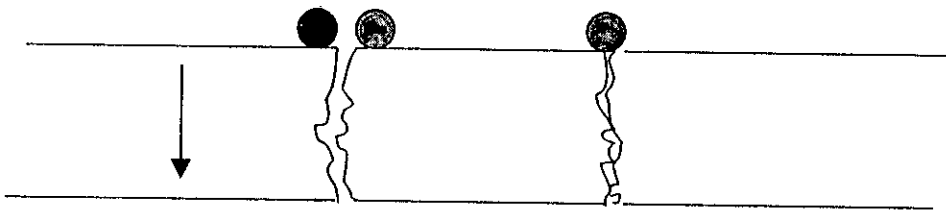


Figure III.4 : Colmatage en surface

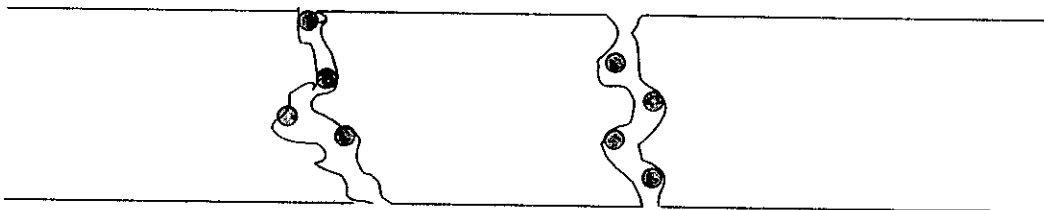


Figure III.5 : Colmatage en profondeur

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE

Le traitement par U.F (Figure IV.1) de l'eau brute étudiée à partir des conditions initiales (température, pH, conductivité, turbidité, densité optique, oxydation au KMnO_4) consiste à déterminer d'abord les meilleurs paramètres hydrodynamiques (pression transmembranaire, et vitesse de recirculation) en mode discontinu (Figure IV.2) puis traiter cette eau en continu (Figure IV.3) en analysant les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, turbidité, densité optique à 254 nm et 270 nm, oxydation au KMnO_4).

Ces expériences ont été menées à la température de 20°C , correspondant à celle du laboratoire et peuvent être rencontrée dans la nature. Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau adoptés ici, s'explique par le caractère global de ces valeurs vu le mélange complexe de cette eau. Ce choix étant fait, les expériences que nous avons menées avec deux types de membranes (minérale et organique) ont eu pour objectif :

- de choisir les paramètres hydrodynamiques (pression et vitesse de recirculation) convenables,
- de connaître la composition de cette eau après traitement par ultrafiltration par le biais des quatre paramètres globaux choisis.

IV.1. Mode opératoire

L'eau brute a été prélevée au mois d'avril 1998 au laboratoire de la station de traitement des eaux potables de BOUDOUAOU (Annexe 1).

Un volume de 25 litres est introduit dans le bac d'alimentation de pilote d'ultrafiltration (Figure IV.1), en s'assurant que tout l'air a été bien purgé dans les canalisations de l'appareil d'U.F en ouvrant les vannes pour chasser l'air restant. Une fois que l'air a été évacué par l'eau, on ferme les vannes de nouveau. L'appareil étant en marche, une fois que l'on a observé la sortie du perméat et du rétentat, on fixe une pression et une vitesse de recirculation données. Le mode discontinu (figure IV.2) consiste à recueillir le perméat et le rétentat dans le même bac en faisant varier la pression transmembranaire avec fixation de la vitesse de recirculation tangentielle.

Des prélèvements d'échantillons d'eaux sont alors effectués en fonction de la variation de la pression. Une fois les paramètres hydrodynamiques choisis (pression et vitesse de recirculation), on procède au traitement de l'eau brute en continu en suivant la variation des paramètres analytiques déjà cités.

IV.1.1.Appareil d'U F utilisé

C'est un pilote mixte de microfiltration et d'ultrafiltration de type Microlab 130 S de la firme Gamma filtration (figure IV.1 et Tableau IV.1). Il est destiné à de nombreux domaines d'applications, notamment les milieux biologiques et aqueux.

Il comprend :

- un bac d'alimentation,
- une membrane d'UF contenu dans un module,
- une pompe volumétrique d'alimentation,
- une pompe de recirculation,
- un débitmètre électromagnétique à débit réglable allant jusqu'à $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,
- un échangeur de chaleur,
- deux touches de mise en marche des pompes d'alimentation et de recirculation,
- deux touches de variation de la vitesse de recirculation permettent de l'augmenter ou de la diminuer.

La pression transmembranaire est fixée avec une manette réglable liée à la pompe d'alimentation. La lecture de la pression se fait par deux indicateurs de pression à l'entrée et

à la sortie du module. Ces indicateurs sont munis d'un point de mesure et de deux points de consigne réglables. Ces deux points de consigne donnent respectivement les valeurs de la pression minimale et maximale. Dans le cas d'un dépassement de ces valeurs l'appareil s'arrête automatiquement. La température du fluide au voisinage de la membrane est fixée avec un point de mesure contenant deux points de consigne réglable réservés pour la température minimale et maximale.

IV.1.2. Mode discontinu

Le perméat est recyclé (Figure IV.2)

On opère de la manière suivante :

- remplir le bac d'alimentation avec de l'eau brute en maintenant les sorties du perméat et du rétentat dans le bac,
- ouvrir la vanne d'alimentation,
- enclencher la pompe d'alimentation puis celle de recirculation,
- fixer un débit de recirculation,
- régler la pression par l'ouverture plus ou moins grande de la vanne correspondante,
- noter le temps nécessaire pour remplir un volume de perméat donné, par la méthode d'emportage.

IV.1.3. Mode continu

Le perméat n'est pas recyclé (Figure IV.3)

Après avoir choisi les meilleurs paramètres hydrodynamiques de travail (pression et vitesse de recirculation), obtenus lors du mode discontinu, on procède au traitement en mode continu en suivant les étapes ci-après :

- remplir le bac d'alimentation par l'eau brute,
- ouvrir la vanne d'alimentation,
- déclencher les pompes d'alimentation et de recirculation,
- fixer la vitesse de recirculation,
- fixer la pression,
- Régler le cas échéant la vanne de réglage de pression,
- Effectuer des prélèvements par emportage à différents instants au niveau du perméat et du rétentat pour étudier l'évolution des paramètres physico-chimiques.

IV.1.4. Le module d'U F

C'est un carter cylindrique en acier inoxydable où la membrane est glissée.

IV.1.5. MEMBRANES UTILISEES

Les essais effectués ont porté sur l'utilisation de deux types de membranes, l'une minérale et l'autre organique (Figures IV.4, IV.5) dont les caractéristiques sont représentées dans le tableau IV.2

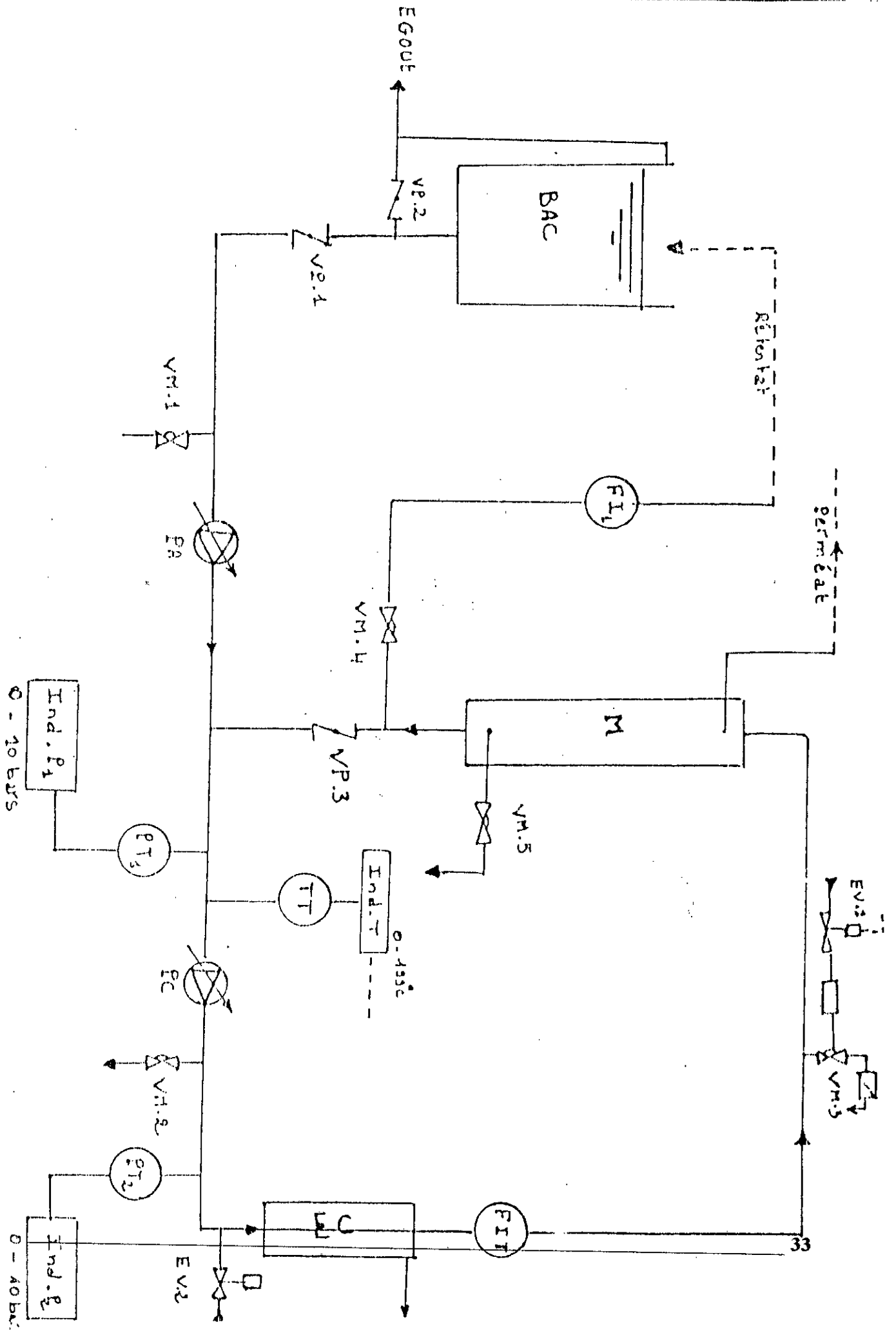


Tableau IV.1 : Eléments constitutifs du Microlab 130 S

Repère	Désignation
VP1	Vanne d'alimentation
VP2	Vanne de vidange de la cuve d'alimentation
VP3	Vanne d'ouverture de la boucle
VM1	Vanne de purge de la pompe d'alimentation
VM2	Vanne de purge de la pompe de recirculation
VM3	Vanne de purge d'air de la boucle
VM4	Vanne de réglage de pression
VM5	Vanne de vidange du perméat
PA	Pompe d'alimentation
PC	Pompe de recirculation
P1-P2	Indicateurs numériques de pression
PT1-PT2	Capteurs de pression d'entrée et de sortie du module
TT	Sonde de température
T	Indicateurs numériques de température
EV1-EV2	Electrovannes
EC	Echangeur de chaleur
FIT	Débitmètre électromagnétique
FI	Débitmètre du rétentat
M	Module porte-membrane

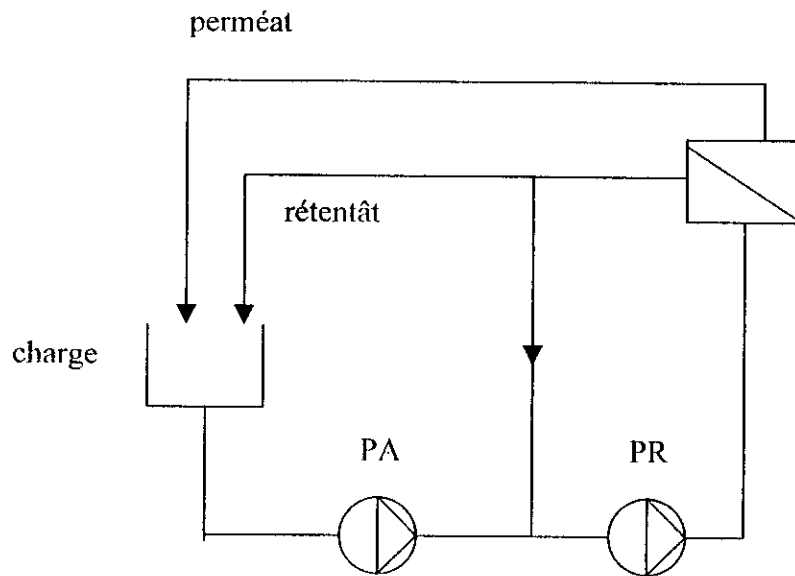


Figure IV. 2: Ultrafiltration en mode discontinu

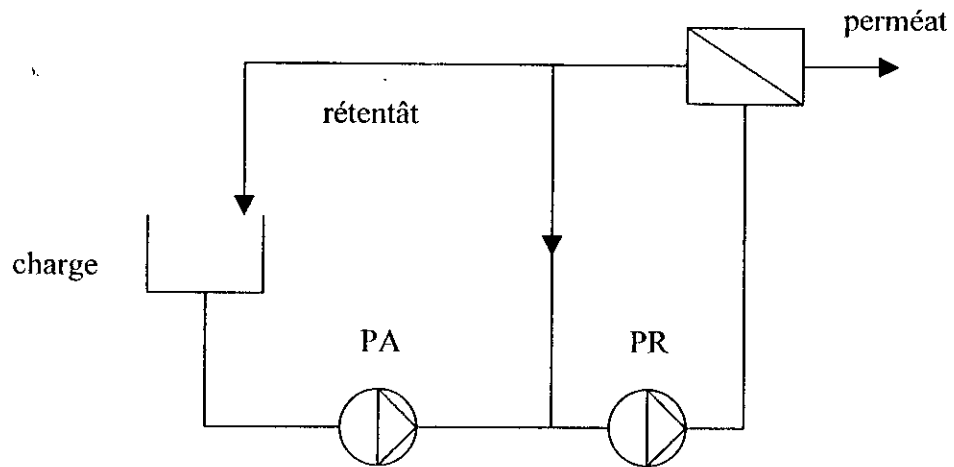


Figure IV. 3: Ultrafiltration en mode continu

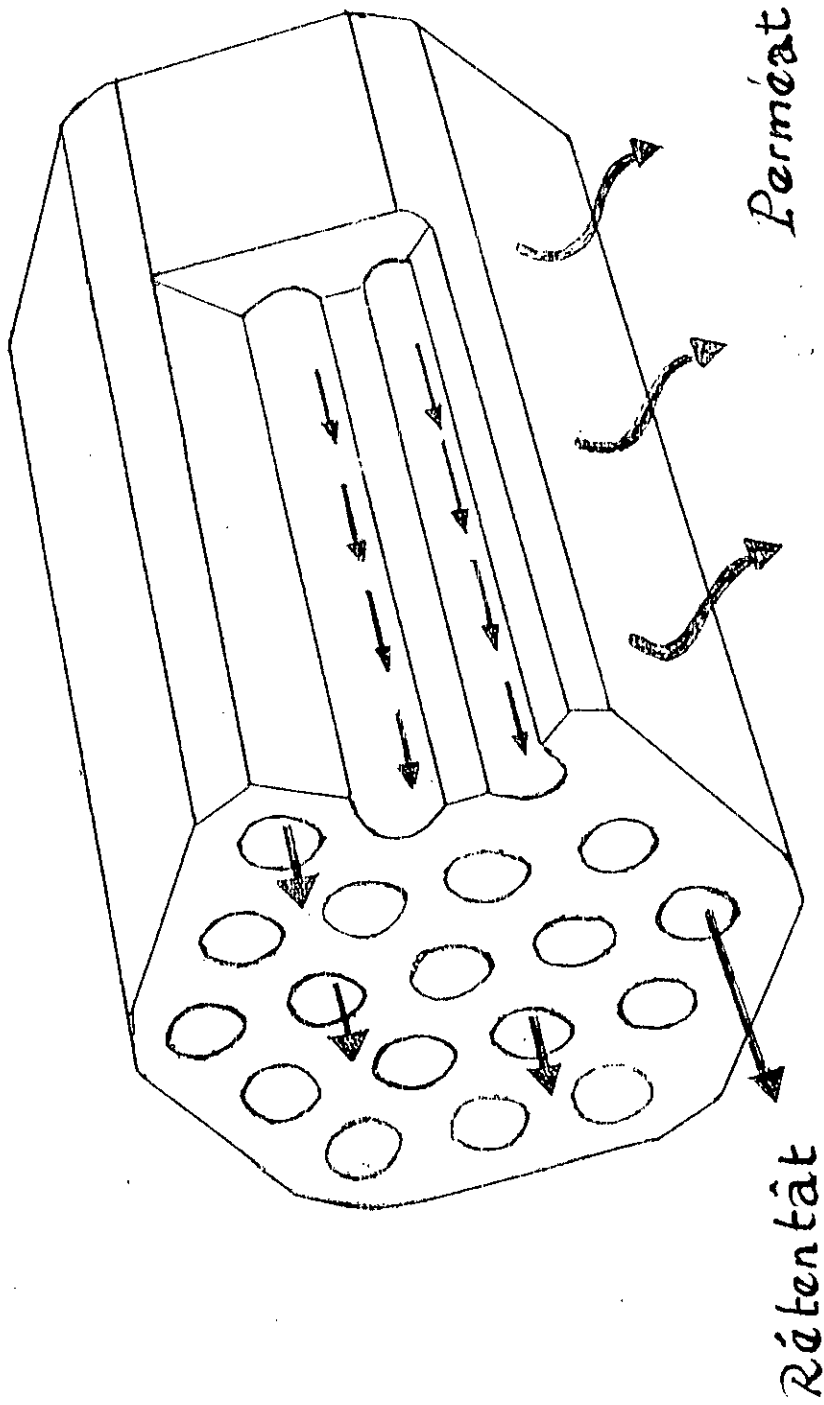


Figure IV.4: Membrane minérale multi canal

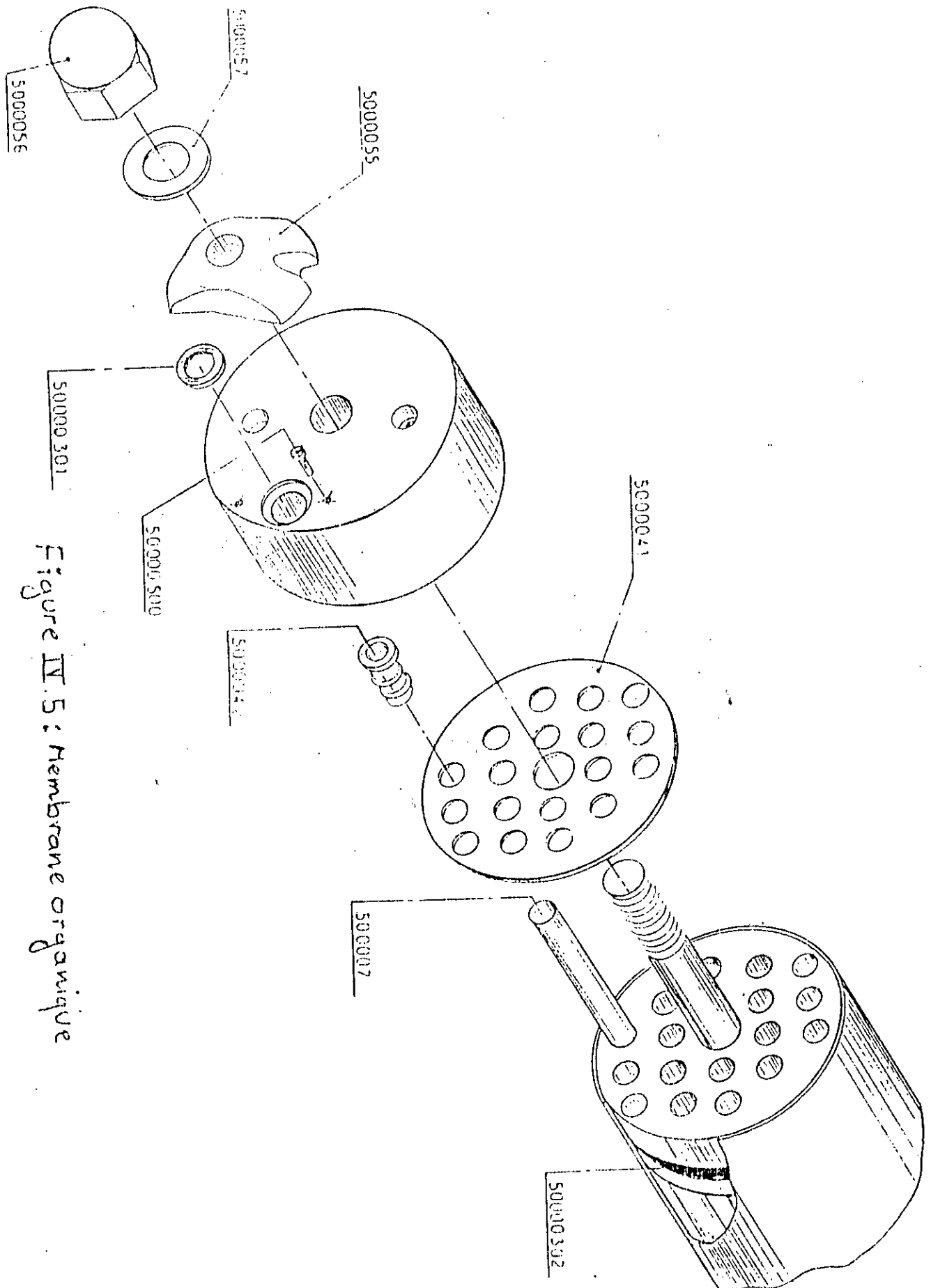


Figure IV.5 : Membrane organique

Tableau IV.2 : Caractéristiques des membranes d'U.F. utilisées

Membranes	Minérale	Organique
Matériau	Oxyde d'alumine et zircon	Polyéthersulfone
Diamètre des pores ou seuil de coupure	500 °A	20000 Daltons
Surface utile(m ²)	0.2	0.86
Diamètre du canal (mm)	4	12.46
Longueur (mm)	850	1220
Pression maximale (bars)	12	15
Tolérance au chlore libre(mg.l ⁻¹)	-	500
pH de fonctionnement	6 à 8	2 à 12
Température maximale de travail (°C)	80	70

IV.1.6. Détermination du pH

Ces mesures sont faites en utilisant un pH-mètre WTW 1223 et une électrode de verre de même type. Celle-ci permet d'opérer à des températures variant de 0 à 100°C après avoir été calibrée à l'aide de tompans pH dont les valeurs sont connues à différentes températures.

IV.1.7. Mesure de la conductivité

Cette grandeur a été mesurée avec un conductimètre de type TOA et de modèle CM-8 ET à affichage gradué variant de 0 à 20 mS.cm⁻¹. Il est muni d'une constante de cellule de type CG-201PL, et d'une sonde de température variant de 0 à 50 °C.

IV.1.6. Mesure de la turbidité

La turbidité a été déterminée avec un turbidimètre optique de type HACH et de modèle 2100 A.

L'échantillon à mesurer est introduit dans une cellule en verre où il est soumis à un rayonnement où les matières insolubles ont tendance à diffuser.

L'étalonnage est effectué à partir de l'étalon 10 NTU, puisque notre eau brute ne dépasse pas en général cette valeur.

IV.1.7. Détermination la concentration de la matière organique

Cette détermination a d'abord été effectuée par la mesure de la densité optique aux longueurs d'onde de 254 et 270 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV de type MILTON ROY et de modèle Spectronic 1201, pouvant prendre cinq échantillons dans des tubes à quartz. Celui-ci permet de mesurer la DO allant de 0 à 2 après avoir fixé le zéro avec de l'eau distillée prise comme référence.

*Remarques

- Le choix de ces deux longueurs d'ondes s'explique par le fait que l'absorbance des substances susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont principalement constituées d'acides humiques et fulviques. Ce sont des constituants solubles de grand poids moléculaire (20000 à 50000 Daltons) et qui comporte un grand nombre de groupes fonctionnels : carboxyle, hydroxyle phénolique et alcoolique, métoxyle, amines, acides aminés, etc.

- La mesure de la densité optique est basée sur l'application de la loi de Beer-Lambert :

$DO = \epsilon l c$, qui montre sa proportionnalité avec la concentration, ce qui n'est pas le cas à priori de la turbidité.

- Cette méthode présentait des fluctuations probablement dues à la quantité faible de ces substances recherchées, néanmoins pouvant être non négligeables. Il a été donc fait appel à la confirmation de nos résultats par l'oxydabilité au KMnO₄.

IV.1.8. Régénération des membranes

Les membranes d'UF sont soumises aux phénomènes de colmatage et d'usure au cours du temps de leur utilisation. La perméabilité de ces membranes a tendance à diminuer.

Pour remédier à ces problèmes, on procède à leur lavage adéquat. Dans notre cas, nous avons utilisé la soude à 0,5 % pour éliminer les dépôts d'origine organique suivie de l'acide citrique 0,5 % pour éliminer ceux d'origine minérale, la régénération de la membrane est ainsi réalisée.

CHAPITRE V

RESULTAS ET DISCUSSION

Des essais de détermination de la perméabilité à l'eau distillée et à l'eau de robinet ont été effectués avant et après lavage chimique [soude (0,5%) + acide citrique (0.5%)] des membranes (organique et minérale).

Des mesures de quatre paramètres de qualité de l'eau (pH, conductivité, turbidité et absorbance à 254 nm et 270 nm) ont été obtenues, d'abord en mode discontinu pour choisir les meilleures conditions de traitement par ultrafiltration (pression et vitesse optimales), puis en mode continu pour évaluer l'efficacité du traitement en comparant les valeurs de ces paramètres avant et après traitement. Ces expériences ont été menées à la température de 20°C.

V.1. ULTRAFILTRATION PAR UNE MEMBRANE MINERALE

La membrane est de type Ceraver multicanal à base d'oxyde d'alumine dont le diamètre de pores est de 500Å et de surface utile de 0,2 m².

V.1.1. DETERMINATION DE LA PERMEABILITE DE LA MEMBRANE

Cette perméabilité à l'eau distillée et à l'eau de robinet a été déterminée avant et après lavage de la membrane, on faisant varier la pression transmembranaire pour une vitesse de recirculation fixée. A chaque fois on détermine par la méthode d'empotage, le temps nécessaire pour remplir un volume de 500 ml de perméat.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures (V.1 et V.2).

La perméabilité à l'eau distillée et à l'eau de robinet présente des valeurs proches de l'ordre de 45 l.h⁻¹.m⁻². Désormais nous adopterons cette valeur pour la perméabilité de la membrane régénérée par rapport à l'eau de robinet.

La variation du flux de solvant eau en fonction de la pression transmembranaire est conforme à la loi de Darcy.

V.1.2. DETERMINATION DES COURBES DE POLARISATION

Le tracé de ces courbes consiste à suivre en mode discontinu, la variation du flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire pour différentes vitesses de recirculation.

L'eau brute a été prélevée au mois d'avril 1998, possède les caractéristiques suivantes : pH=8,1 ; X=1,03 mS.cm⁻¹ ; Turb.=1,6 ; DO(254nm)=0,048 ; DO(270nm)=0,043

La variation du flux du perméat en fonction de la pression est linéaire (Figure V.3), ce qui montre que notre eau n'est pas assez chargée en soluté. Les phénomènes de polarisation et de colmatage sont faibles voire négligeables

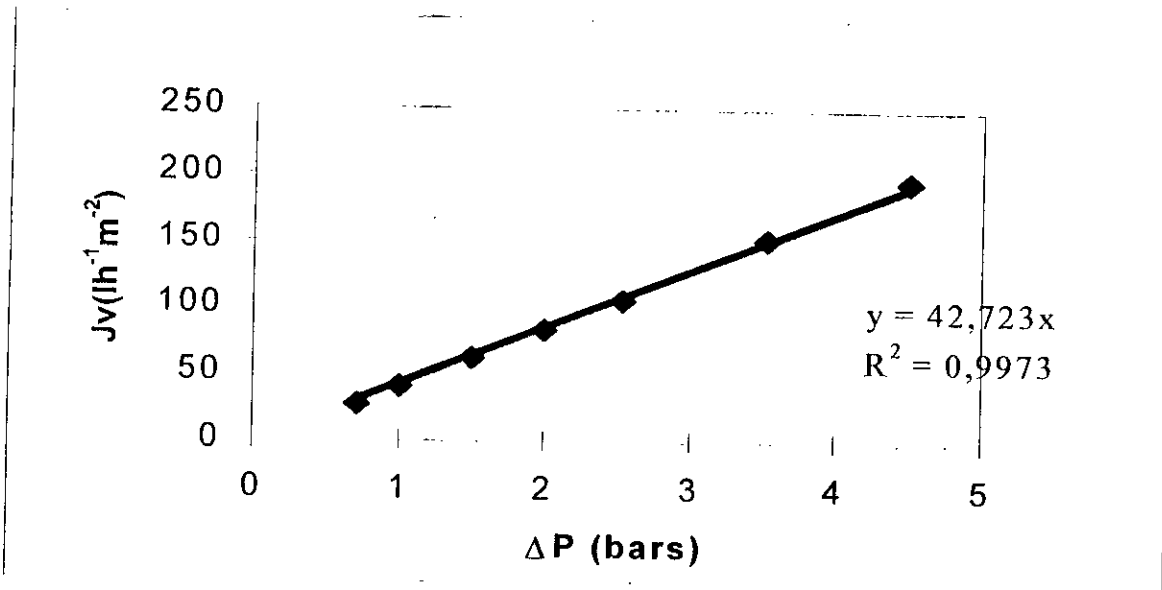


Figure V.1 : Perméabilité de la membrane à l'eau distillée avant lavage

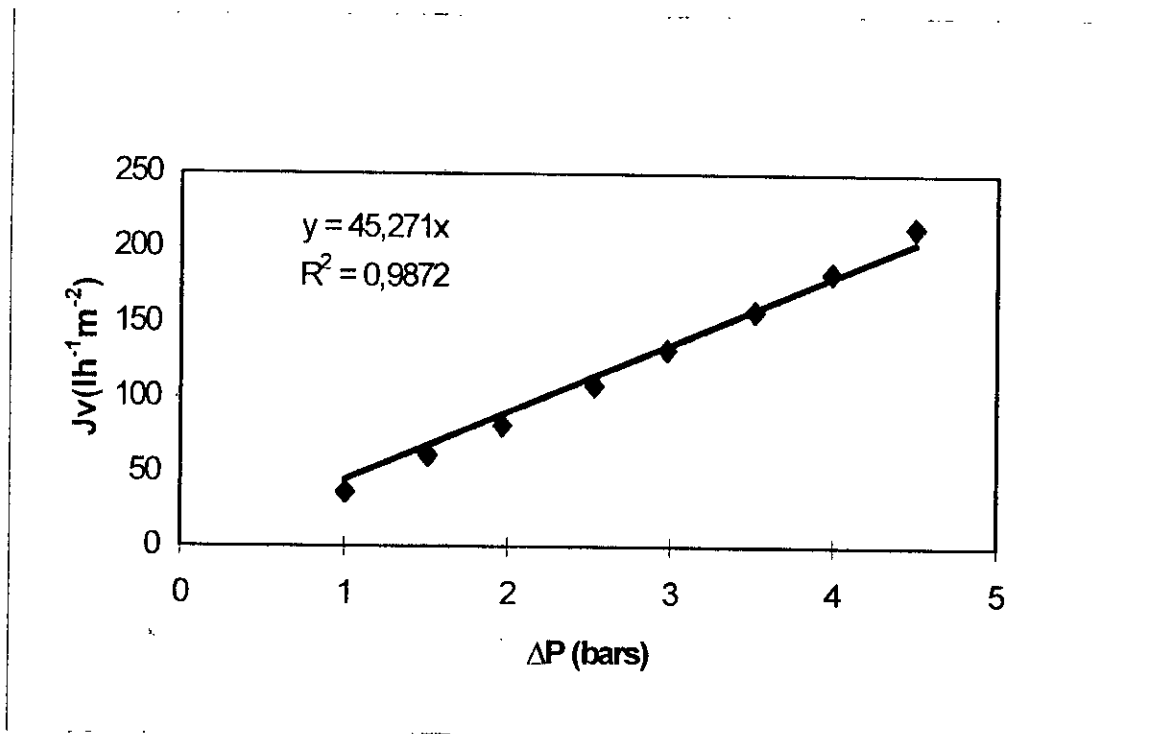


Figure V.2 : Perméabilité de la membrane à l'eau de robinet après lavage

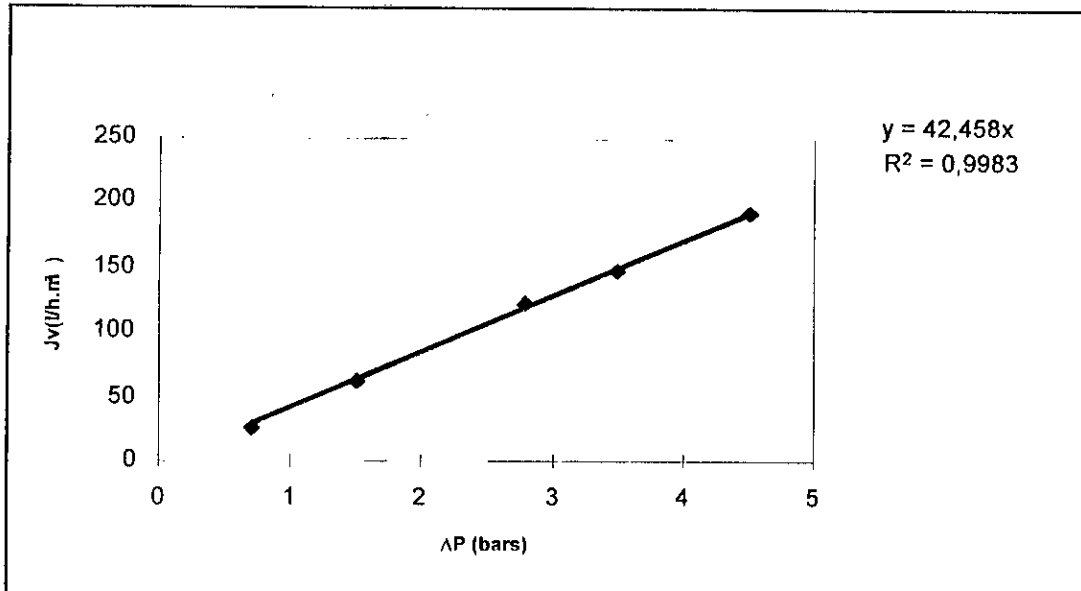


Figure V.3 : Courbe de polarisation de l'eau brute

V.1.2.1: VARIATION DE LA TURBIDITÉ ET DE LA DENSITÉ OPTIQUE EN FONCTION DE LA PRESSION TRANSMEMBRANAIRE

a- Turbidité

La turbidité en fonction de la pression (Figure V.4) permet d'énoncer que :

- la turbidité du rétentat est constante de l'ordre de 1,5 NTU,
- la turbidité du perméat est plus faible que celle du rétentat et présente une légère baisse à partir de 0,9 jusqu'à 0,6 NTU. Ce résultat peut s'expliquer, d'une part, par une légère rétention de la turbidité de l'ordre de 0,8 NTU, et d'autre part, par une fluctuation des valeurs de la turbidité à très faible niveau de concentration.

b- Densité optique

La densité optique en fonction de la pression (Figure V.5), permet de faire les observations suivantes :

- la densité optique du rétentat est toujours supérieure à celle du perméat,
- la DO à 254 nm du perméat présente un palier à 0,045, contrairement au rétentat où la DO reste constante à 0,047,
- la DO à 270 nm présente un palier autour de 0,05 pour le perméat et un autre vers 0,052 pour le rétentat.

Des fluctuations de valeurs de la DO sont encore constatées, à cause de la très faible concentration de la matière organique. Sa rétention ne semble pas significative.

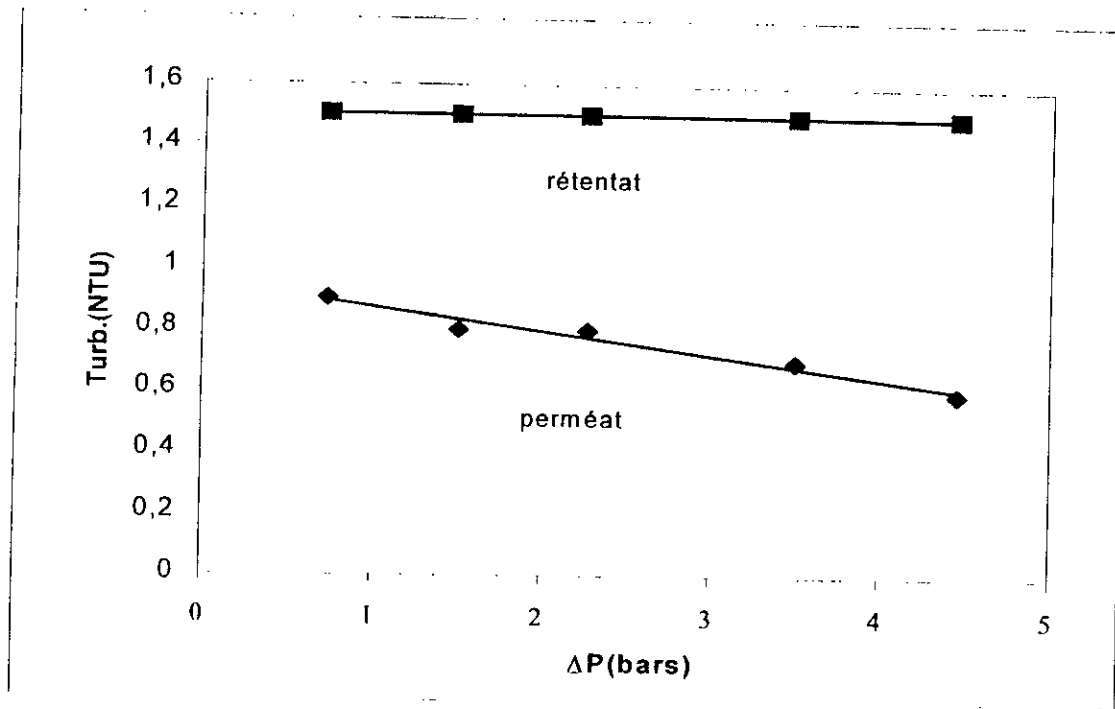


Figure V.4 : Variation de la turbidité du perméat et du rétentat en fonction de la pression pour une vitesse de 39 m.s⁻¹

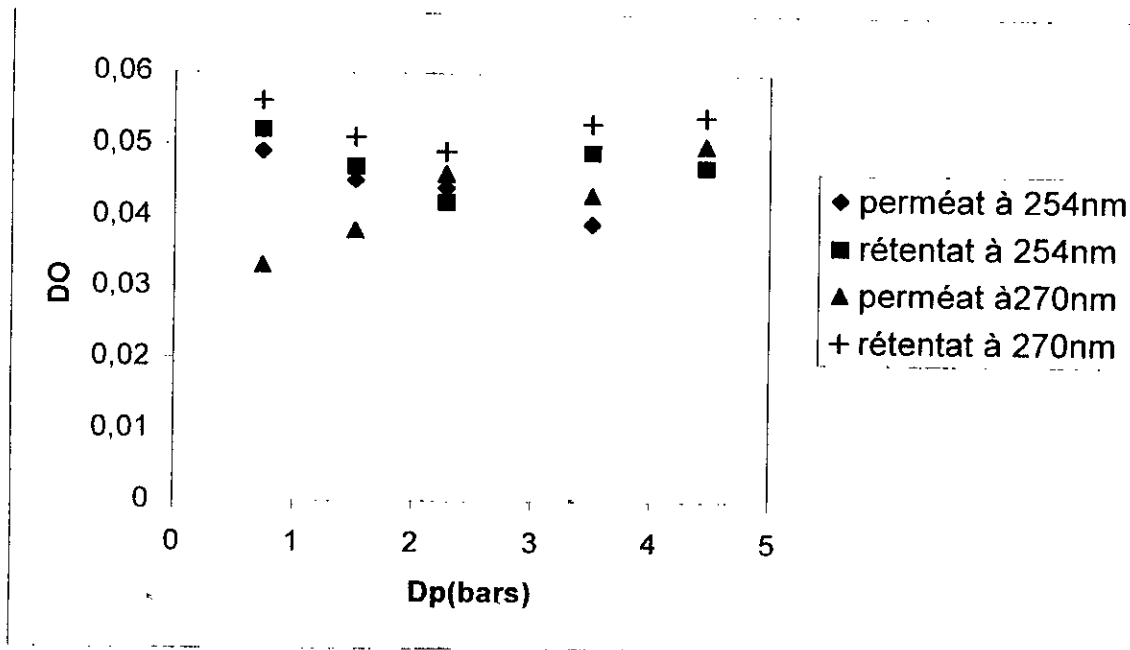


Figure V.5 : Variation de la densité optique du perméat et du rétentat en fonction de la pression

V.1.2.1. INFLUENCE DE LA PRESSION TRANSMEMBRANAIRE ET DE LA VITESSE DE RECIRCULATION SUR LE TAUX DE REJET DE LA TURBIDITE ET DE LA DENSITE OPTIQUE A TRAVERS LA MEMBRANE

On constate que les valeurs des taux de rejet de la turbidité et de la densité optique présentent des variations parfois aléatoires (Figures V.6, V.7), mettant à priori en doute, l'interprétation et le choix simpliste des résultats obtenus. C'est la raison pour laquelle nous avons préféré interrompre nos essais avec la membrane minérale et effectuer les essais avec la membrane organique.

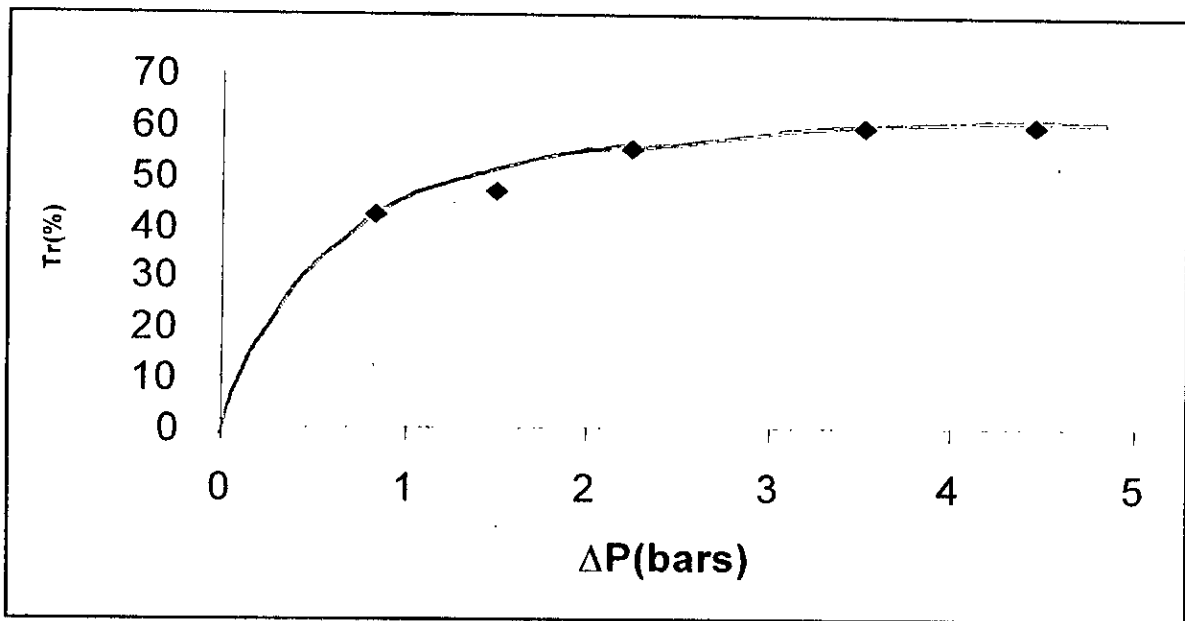


Figure V.6 : Influence de la pression sur le taux de rejet de la turbidité

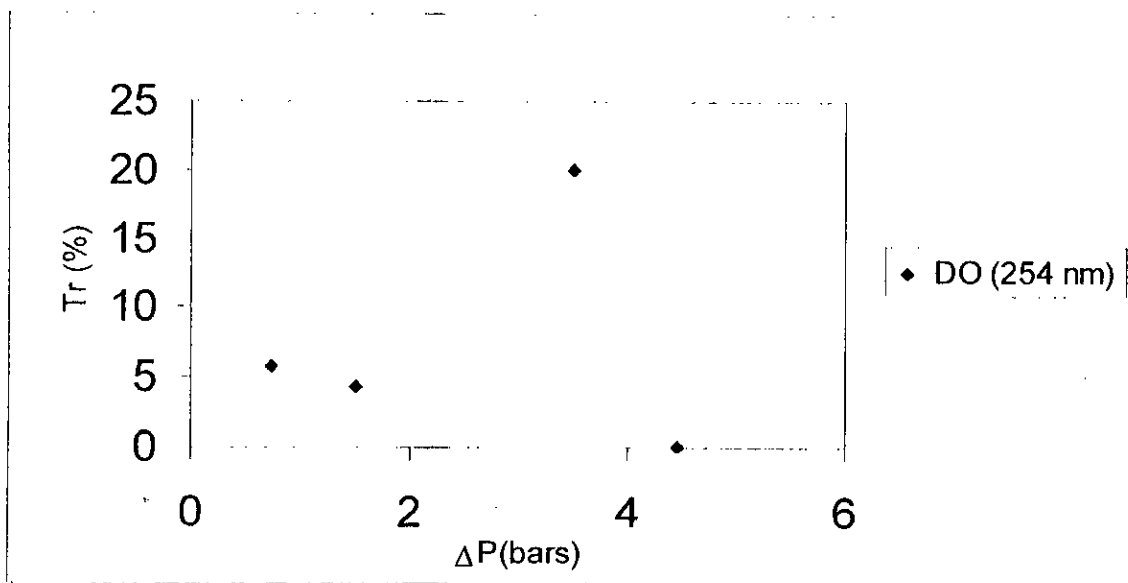


Figure V.7 : Influence de la pression sur le taux de rejet de la densité optique

Le lavage de la membrane minérale montre que sa perméabilité à l'eau de robinet n'a pas changée (Figure V.8). Le tracé du flux du solvant en fonction de la pression transmembranaire est une droite de même pente que précédemment, ce qui prouve que le phénomène de polarisation et de colmatage restent faibles.

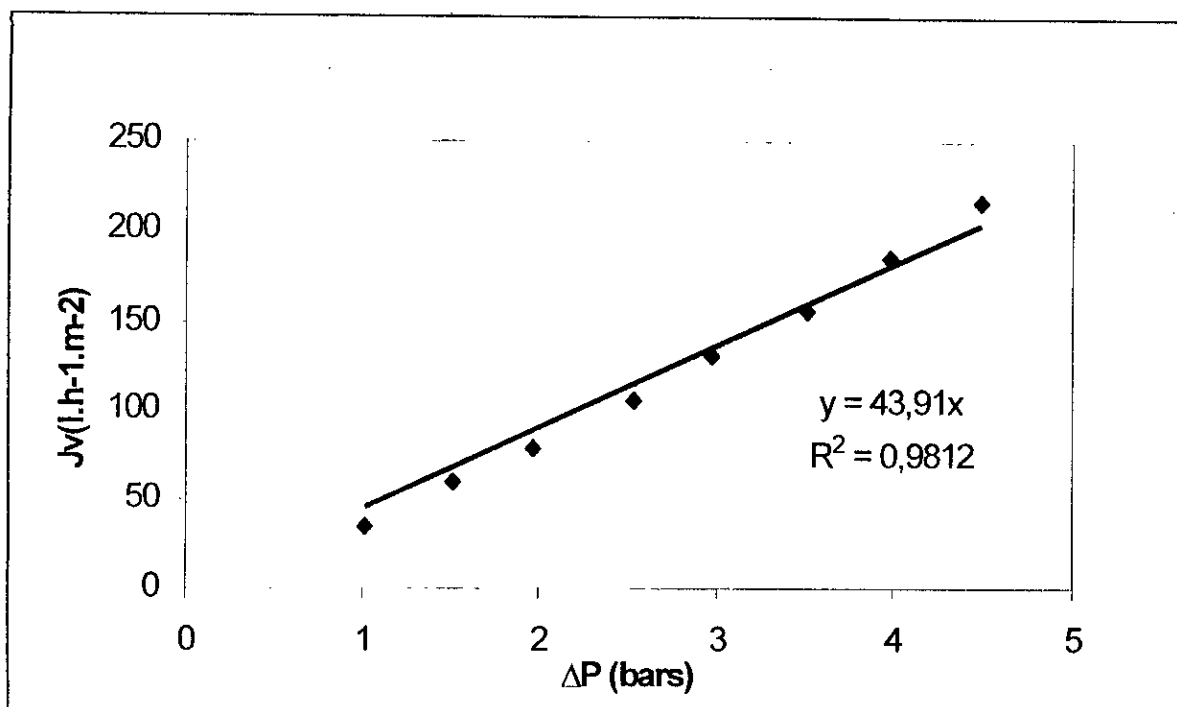


Figure V.8 : Perméabilité à l'eau de robinet après lavage

V.1.3. TRAITEMENT DE L'EAU BRUTE

L'analyse des quatre paramètres physico-chimiques choisis ont été mesurés après traitement en mode continu sur le perméat et le rétentat par la méthode d'emportage, avec une pression égale à 2,5 bars et une vitesse de recirculation de 39 m.s^{-1} tout le long de chaque essai de concentration. Ce choix n'étant pas optimal en raison des difficultés analytiques rencontrées.

Les caractéristiques initiales de l'eau brute sont : $\text{pH}=8$; $X=1,06 \text{ mS.cm}^{-1}$; $\text{Turb.}=1,8$; $\text{DO}(254\text{nm})=0,068$; $\text{DO}(270\text{nm})=0,048$

V.1.3.1. EVOLUTION DU TAUX DE REJET DE LA TURBIDITE ET DE LA DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DU TEMPS

Le taux de rejet de la turbidité en fonction du temps (Figure V.9) est constant à une valeur de 50% au bout de 15 mn de fonctionnement.

Le taux de rejet de la densité optique à 254 nm et à 270 nm en fonction du temps (Figure V.10) présente une diminution les quinze premières minutes puis augmente à une valeur de 20% en 33 mn de fonctionnement. Cette diminution n'est pas prévisible parce que si

la membrane n'arrête pas les matières organiques dissoutes, le taux de rejet devrait être constant, et en cas de rétention, celui-ci devrait augmenter. Ces résultats peuvent être interprétés par les difficultés analytiques signalées auparavant.

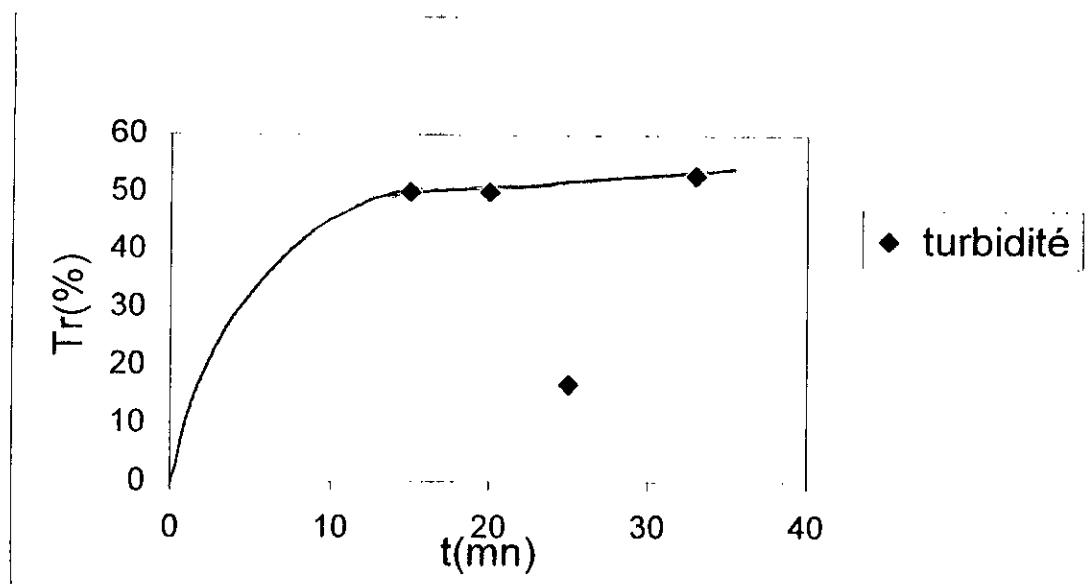


Figure V.9 : Evolution du taux de rejet de la turbidité en fonction du temps pour une vitesse de recirculation de 39 m.s^{-1}

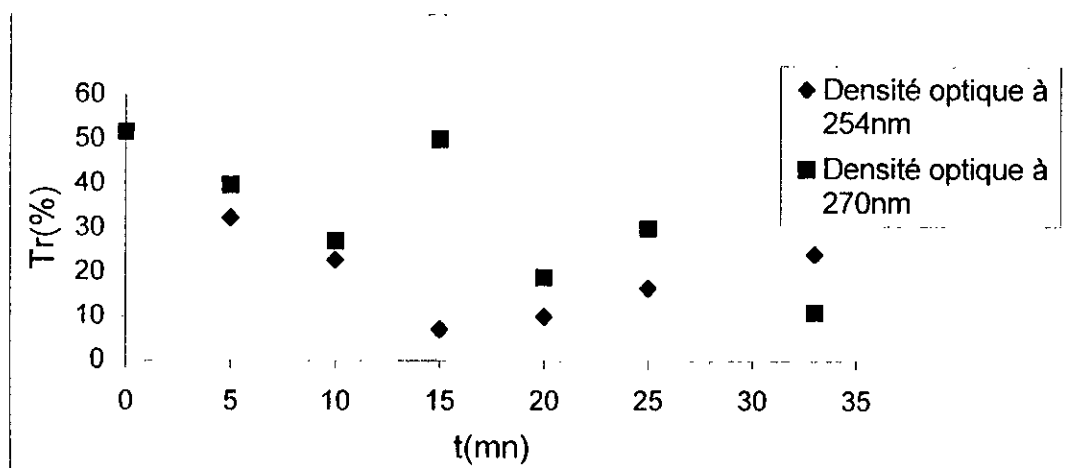


Figure V.10 : Evolution du taux de rejet de la densité optique en fonction du temps pour une vitesse de recirculation de 39 m.s^{-1}

V.2. ULTRAFILTRATION PAR UNE MEMBRANE ORGANIQUE

La membrane est de type PCI-BX6 à base de polyethersulfone dont le seuil de coupure est de 20000 Daltons avec une surface utile de 0.86m^2 .

V.2.1. Détermination de la perméabilité de la membrane

Cette perméabilité à l'eau de robinet a été déterminée après lavage de la membrane par la même méthode décrite précédemment.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure (V.11).

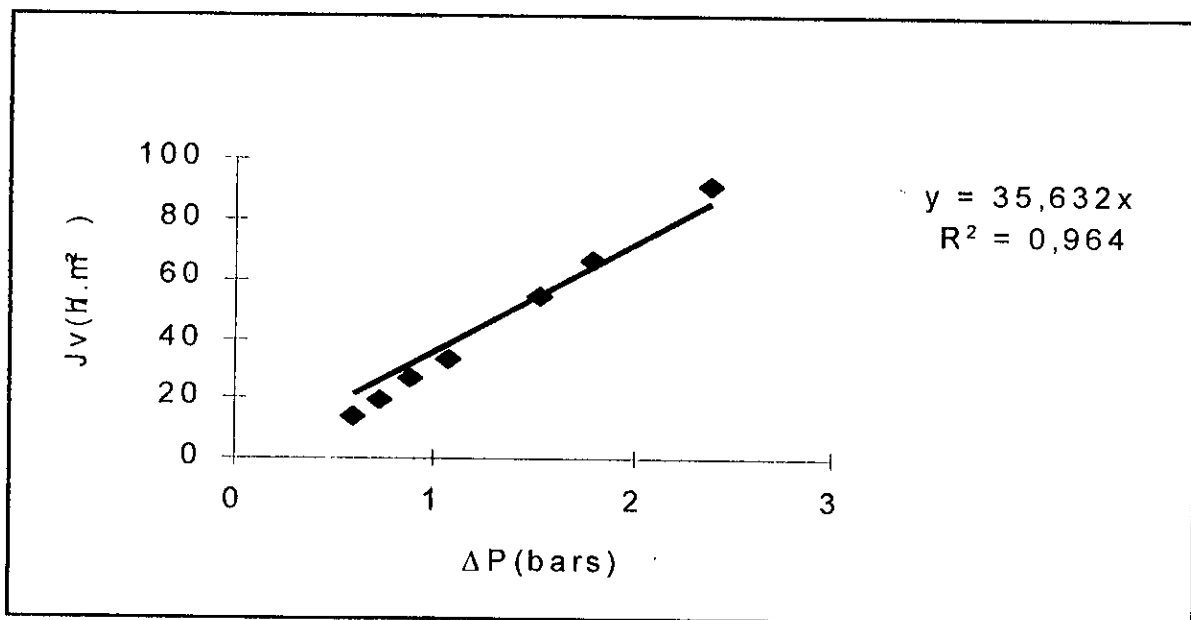


Figure V.11 : Perméabilité de la membrane à l'eau de robinet après lavage

La courbe de solvant qui exprime la variation du flux en fonction de la pression est une droite. La perméabilité à l'eau de robinet est donc estimée à $35 \text{l.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

V.2.2. DETERMINATION DES COURBES DE POLARISATION

Le tracé de ces courbes a été effectué de la même manière que pour la membrane minérale, avec trois vitesses de recirculation.

Les résultats obtenus (Figure V.12) montrent une variation linéaire du flux du perméat en fonction de la pression. La pente de la droite $J_v = f(\Delta P)$ varie de manière croissante avec la vitesse de recirculation. L'augmentation de la vitesse de recirculation permet donc de réduire le phénomène de colmatage. Le phénomène de polarisation semble négligeable d'après nos expériences, puisqu'on observe pas de paliers sur nos courbes de polarisation.

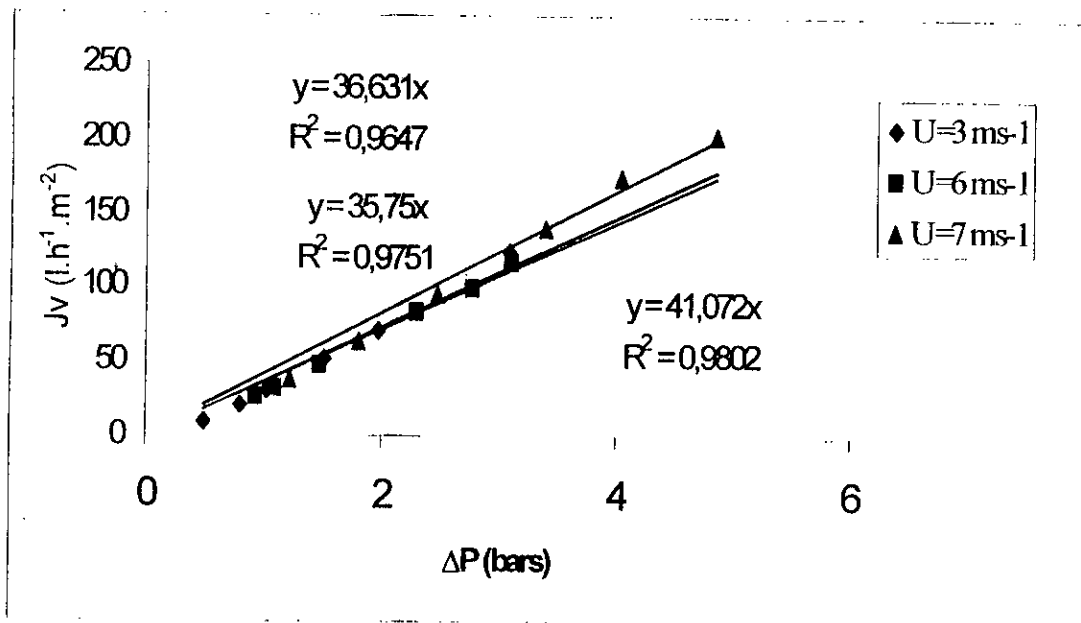


Figure V.12 : Courbes de polarisation pour différentes vitesses de recirculation

V.2.2.1 : VARIATION DE LA TURBIDITE ET LA DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DE LA PRESSION ET DE LA VITESSE DE RECIRCULATION

a. Pour $U = 3 \text{ m.s}^{-1}$:

La turbidité en fonction de la pression (Figure V.13) permet de remarquer que :

- La turbidité est constante à 0,7 NTU pour le perméat et à 0,8 NTU pour le rétentat. Des fluctuations sont observées à cause des quantités faibles de la turbidité.

Le tracé de la DO en fonction de la pression (Figure V.14) permet les observations suivantes :

- La DO à 254 nm est constante à environ 0,06 pour le rétentat et à 0,05 pour le perméat.
- La DO à 270 nm du rétentat est pratiquement constante à 0,07 et celle du perméat à environ 0,046.

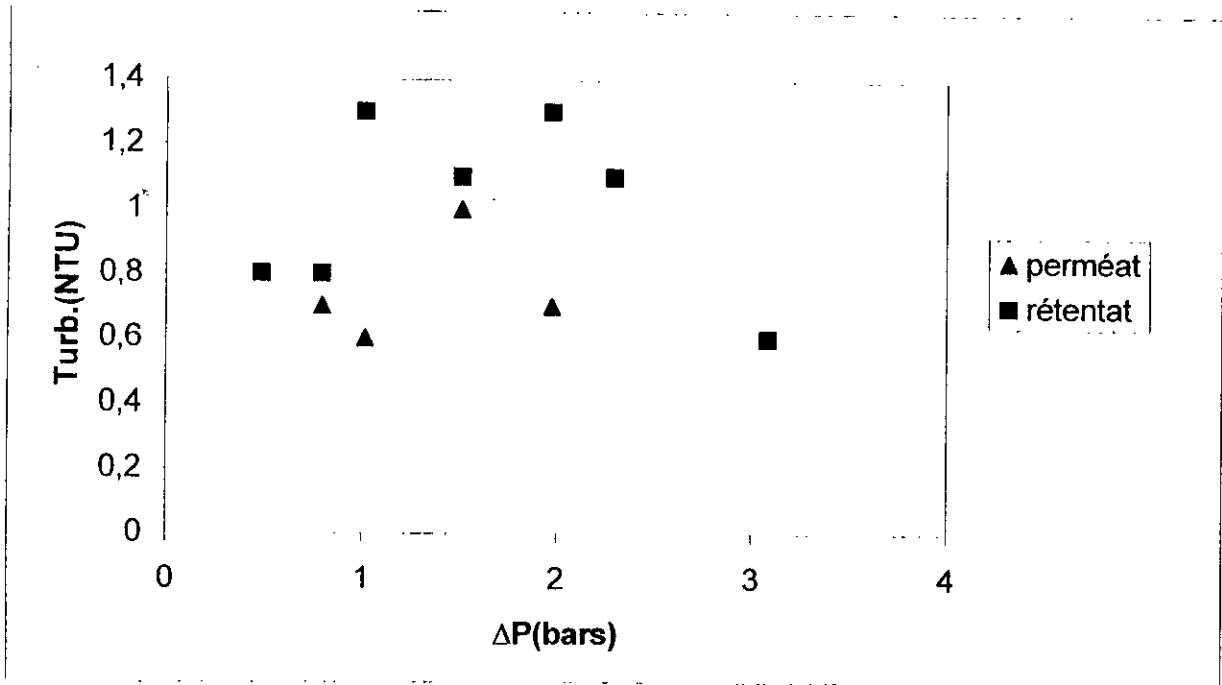


Figure V.13 : Variation de la turbidité du perméat et du rétentat en fonction de la pression pour une vitesse de recirculation $U=3 \text{ m.s}^{-1}$

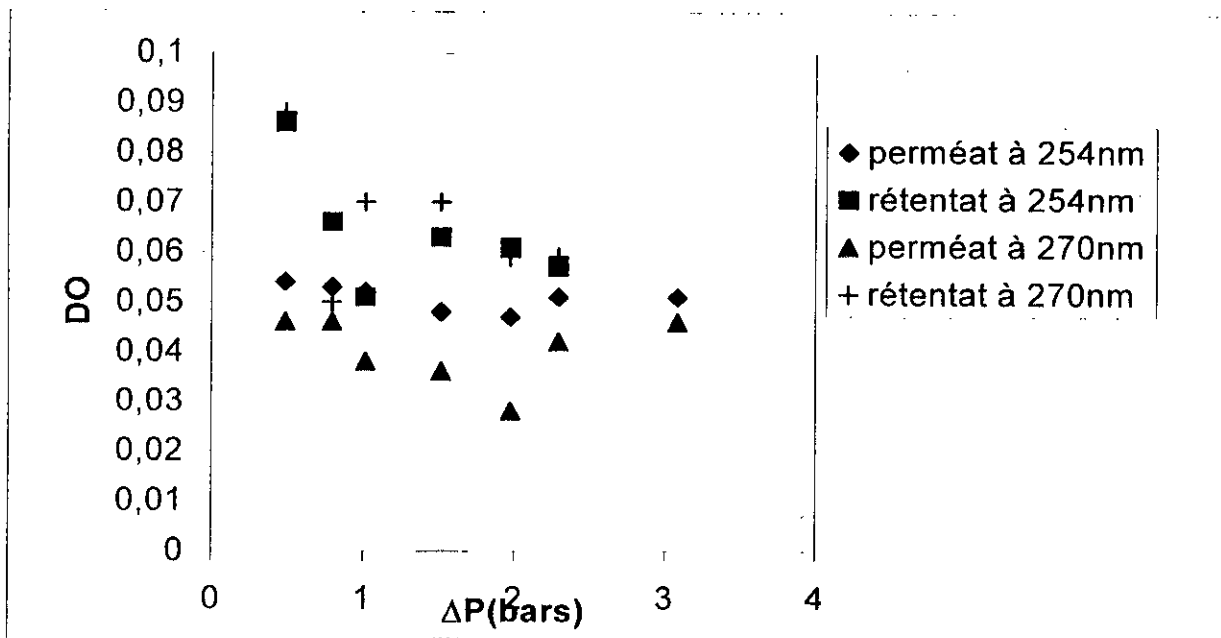


Figure V.14 : Variation de la densité optique du perméat et du rétentat en fonction de la pression pour une vitesse de recirculation $U=3 \text{ m.s}^{-1}$

b. Pour $U = 6 \text{ m.s}^{-1}$

On constate deux paliers, l'un tend vers 2,5 NTU pour le rétentat et l'autre vers 0,6 pour le perméat (Figure V.15).

La DO du rétentat varie de 0,003 jusqu'à un palier de 0,007. Pour le perméat, il augmente de 0,002 jusqu'à un palier de 0,005 (Figure V.16).

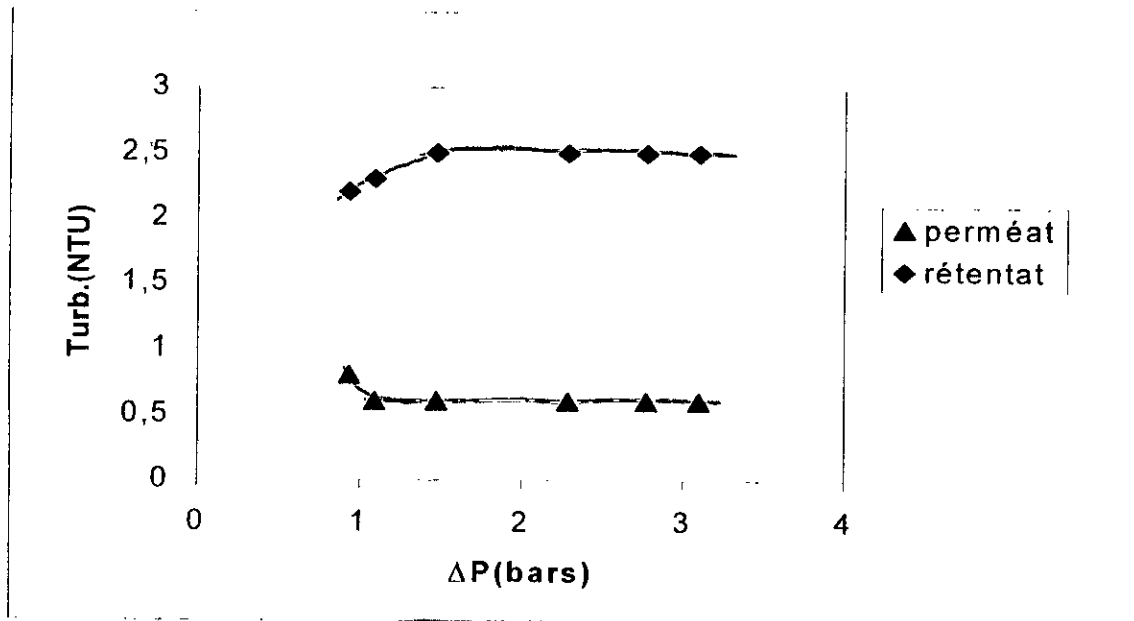


Figure V.15 : Variation de la turbidité du perméat et du rétentat en fonction de la pression transmembranaire pour une vitesse de recirculation $U = 6 \text{ m.s}^{-1}$

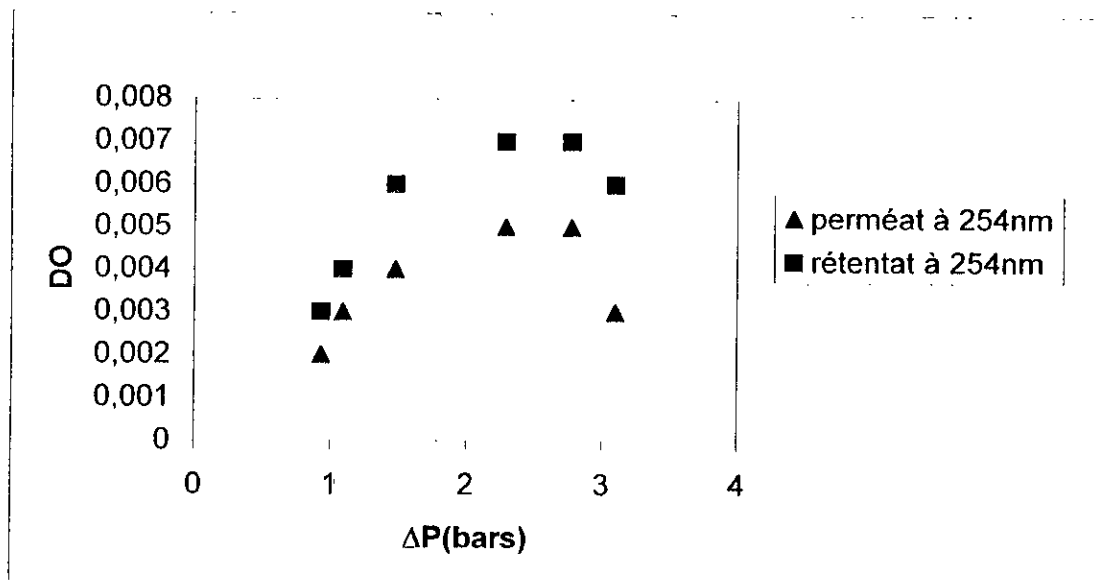


Figure V.16 : Variation de la densité optique du perméat et du rétentat (avec dilution) en fonction de la pression transmembranaire pour une vitesse de recirculation $U = 6 \text{ m.s}^{-1}$

c. Pour une vitesse $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$

Pour cette vitesse de recirculation on constate que :

- la turbidité est constante à 0,5 NTU pour le perméat et à 1 NTU pour le rétentat (Figure V.17).

- la DO à 270 nm du perméat est constante à 0,014 par contre celle du rétentat augmente de 0,07 à 0,025. La DO du rétentat à 254 nm est en moyenne constante à 0.014 et celle du perméat à 0,005 (Figure V.18).

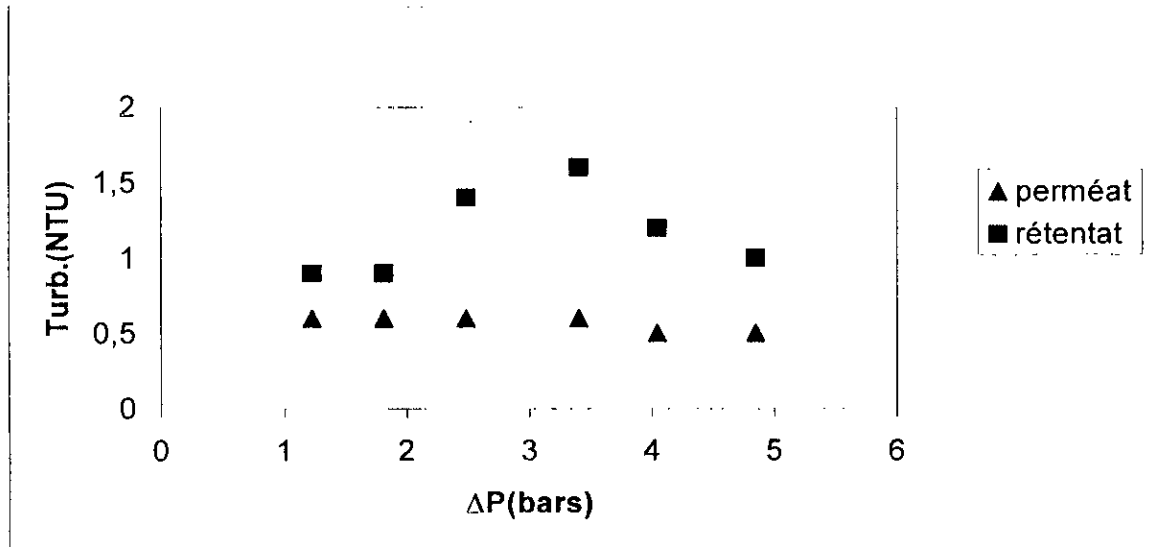


Figure V.17 : Variation de la turbidité du perméat et du rétentat en fonction de la pression transmembranaire pour une vitesse de recirculation $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$

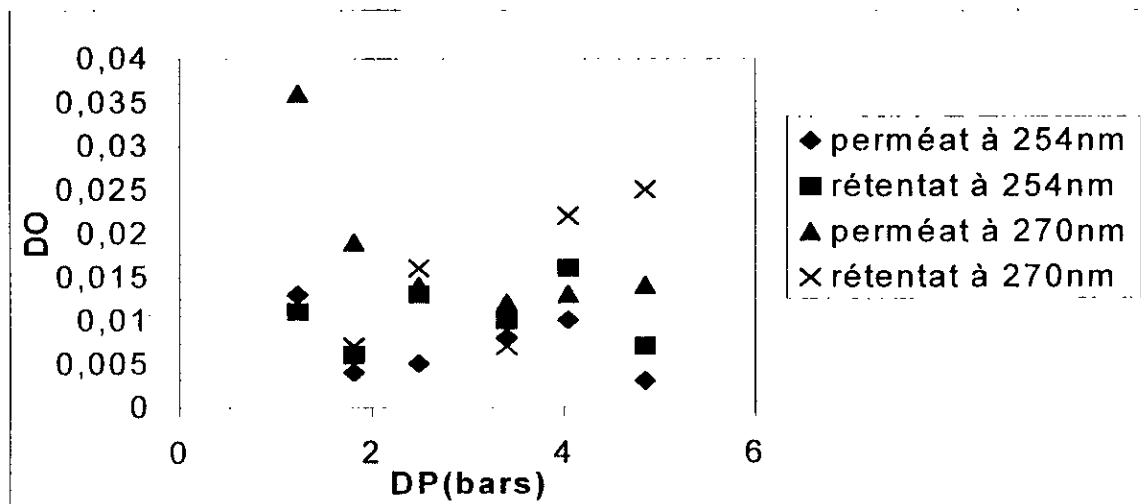


Figure V.18 : Variation de la densité optique du perméat et du rétentat (avec dilution) en fonction de la pression transmembranaire pour une vitesse de recirculation $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$

V.2.3. Influence de la pression transmembranaire et de la vitesse de recirculation sur le taux de rejet de la turbidité et de la densité optique a travers la membrane

La variation du taux de rejet de la turbidité et de la densité optique à 254 nm et 270 nm en fonction des paramètres hydrodynamiques, la pression et la vitesse de recirculation, nous permettent de choisir les meilleures conditions de traitement pour ces deux paramètres cités précédemment (figures V.19, V.20).

La comparaison des taux de rejet de la densité optique et de la turbidité en fonction de la pression, pour les trois vitesses de recirculation, nous permettent d'opter pour une pression transmembranaire égale à 2,5 bars et une vitesse de 7 m.s⁻¹. Ce choix s'explique par l'obtention d'une meilleure rétention des matières organiques, correspondant à un taux de rejet supérieur à 60 % par rapport à la densité optique. Le taux de rejet de la turbidité présentant une valeur supérieure à 50 % (Figures V.19, V.20).

Le pH et la conductivité restent constants respectivement à 8,1 et 1mS.cm⁻¹ durant nos essais, ce qui laisse penser que ces deux paramètres n'ont pas varié au cours du traitement.

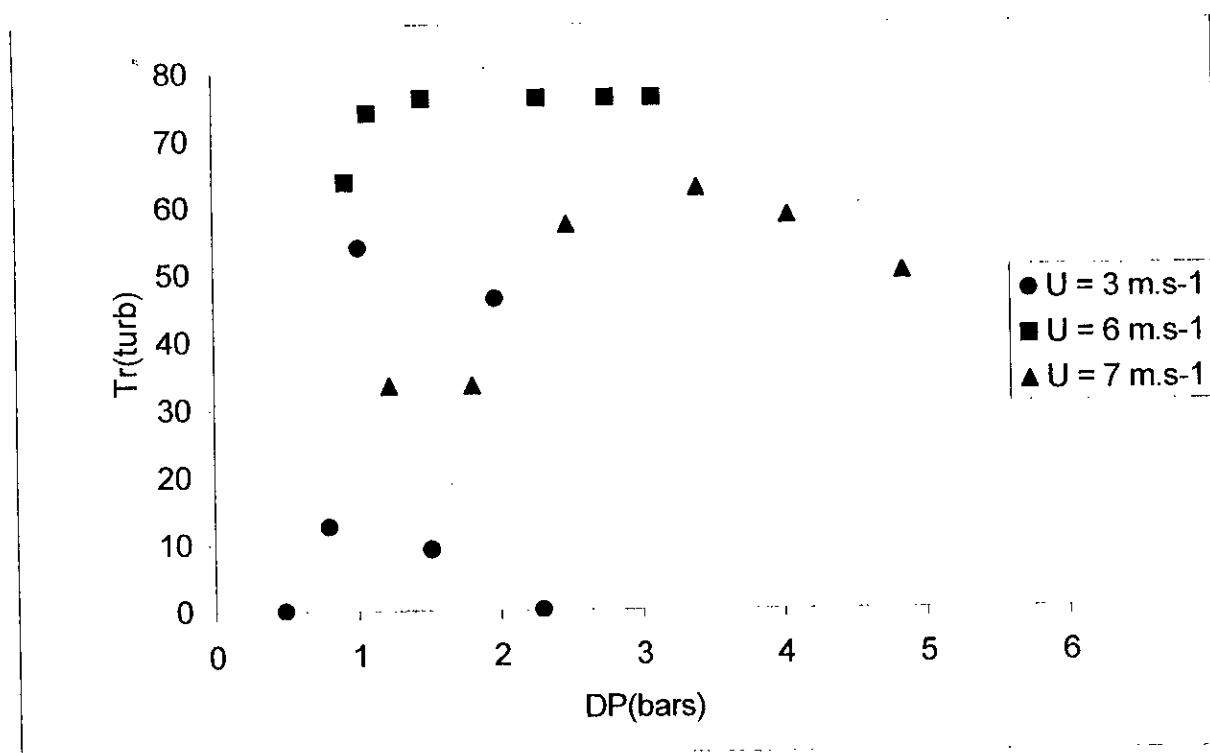


Figure V.19 : Influence de la pression et la vitesse de recirculation sur le taux de rejet de la turbidité

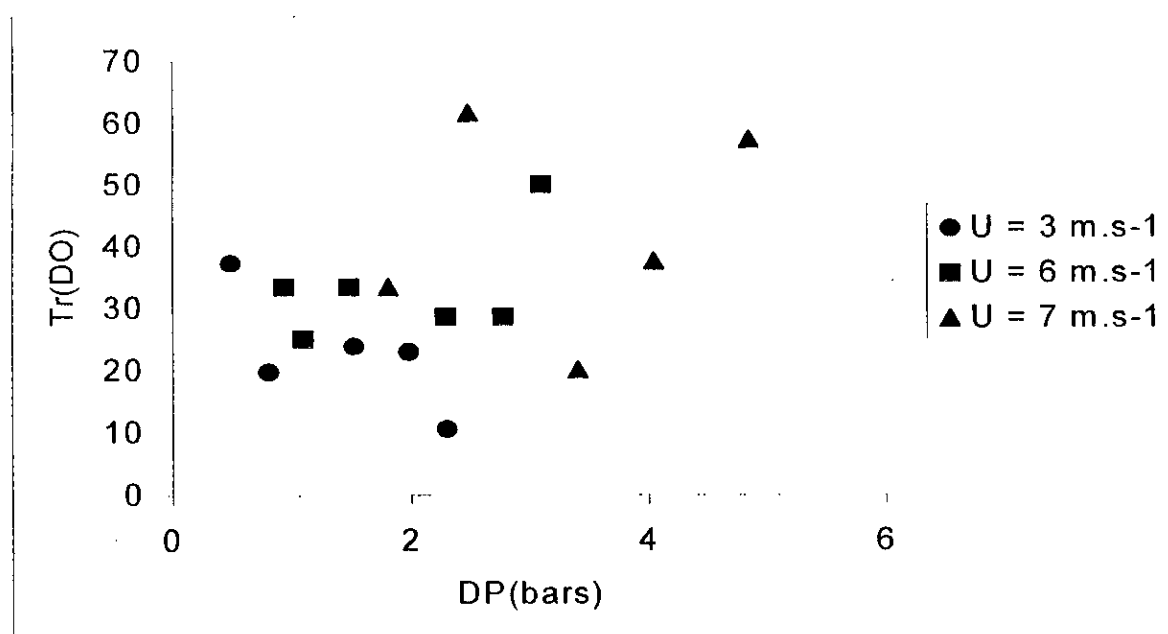


Figure V.20 : Influence de la pression et la vitesse de recirculation sur le taux de rejet de la densité optique

V.2.4. TRAITEMENT DE L'EAU BRUTE

Les quatre paramètres physico-chimiques ont été mesurés après traitement en mode continu sur le perméat et le rétentat, en adoptant le choix des deux paramètres hydrodynamiques précédents, à savoir une pression égale à 2,5 bars et une vitesse de recirculation de 7 m.s⁻¹.

Les caractéristiques initiales de l'eau brute sont : pH=8,6 ; X=0,98 mS.cm⁻¹ ; Turb.=1,8 ; DO(254nm)=0,072 ; DO(270nm)=0,057

La lecture des résultats des paramètres physico-chimiques obtenus après traitement peuvent s'interpréter de la manière suivante (tableau V.1) :

- le pH et la conductivité restent constants,
- la turbidité et la densité optique du rétentat sont légèrement supérieures à ceux du perméat,
- le taux de rejet de ces deux derniers paramètres atteignent des valeurs supérieures à 70 % au bout de dix minutes environ,
- on constate des fluctuations des valeurs de ces paramètres, dues probablement aux quantités relativement faibles mais non négligeables des matières en suspension et de la matière organique en général.

Tableau V.1 : Valeurs des paramètres physico-chimiques après traitement de l'eau brute en continu avec les paramètres optimaux ($\Delta P = 2,5$ bars et $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$)

t(mn)	3	6	9	12	15
Xp(mS.cm-1)	0,98	0,98	1	1	1
Xr(mS.cm-1)	1	1,02	1,02	1,02	1,02
Turb.p(NTU)	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7
Turb.r(NTU)	1,8	2,1	2,6	2,8	2,9
DOp(254nm)	0,007	0,008	0,008	0,01	0,003
DOr(254nm)	0,008	0,007	0,009	0,011	0,007
DOp(270nm)	0,004	0,005	0,009	0,01	0,006
DOr(270nm)	0,01	0,008	0,009	0,007	0,009
Tr DO ₂₅₄ (%)	12,5	11,11	11,11	9,1	57,14
Tr DO ₂₇₀ (%)	60	37,5	0		33,33
Tr Turb.(%)	55,55	61,9	76,92	75	75,86

La représentation du taux de rejet en fonction de la turbidité (Figure V. 21) montre que le meilleur taux de rejet est atteint après 10 mn de fonctionnement (plus de 70%). La turbidité passe de 0,7 dans le perméat à 2,8 NTU dans le rétentat.

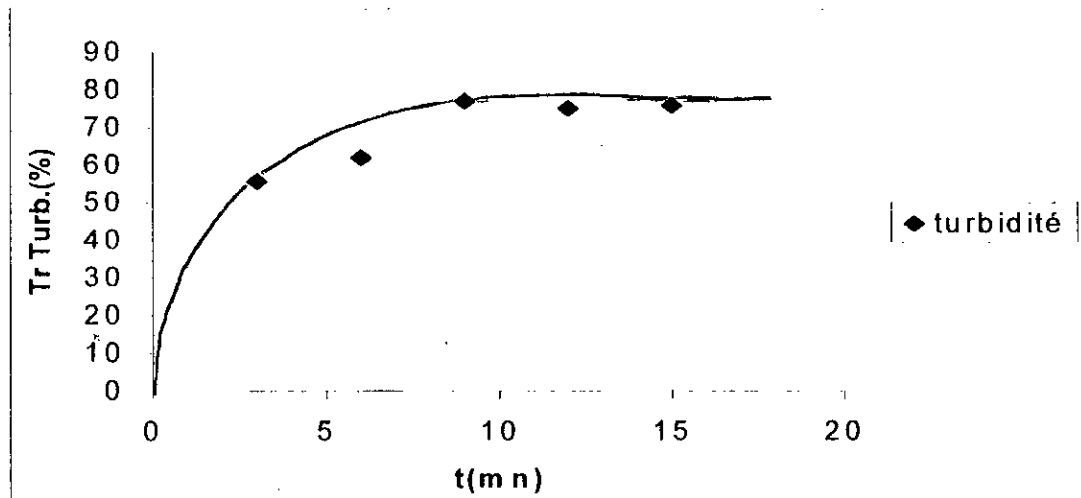


Figure V.21 : Taux de rejet de la turbidité en fonction du temps

La rétention de la DO ne semble pas dépasser 10 % (Figure V.22). Ces mesures ont été faites en utilisant la dilution, ce qui rend plus difficile le suivi de l'opération d'analyse de la matière organique présente en quantité déjà faible dans l'eau

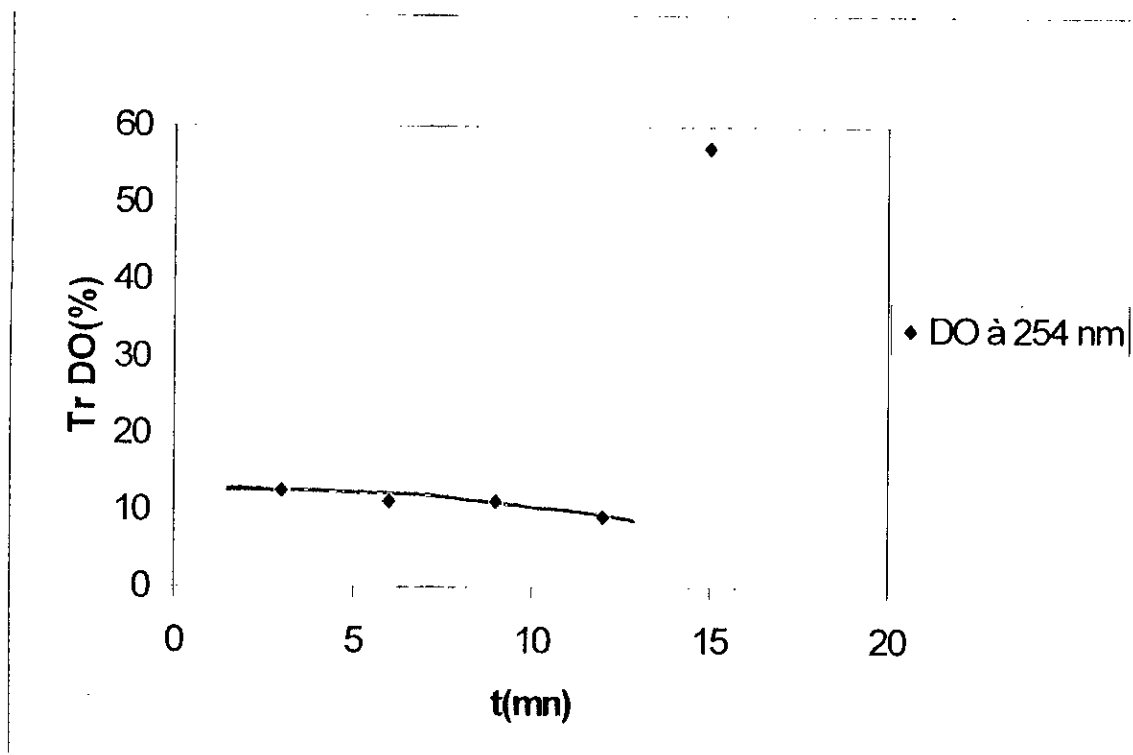


Figure V.22 : Taux de rejet de la densité optique en fonction du temps

V.2.5. Traitement de l'eau brute avec une autre méthode d'analyse

Comme il a été déjà signalé, des fluctuations des valeurs de la turbidité et de la densité optique ont persisté. Il a été donc fait appel à une autre méthode analytique de dosage de la matière organique (oxydabilité au KMnO_4). Les caractéristiques initiales de l'eau brute : $\text{pH}=8,17$; $X=1,1 \text{ mS.cm}^{-1}$; $\text{Turb.}=1,4$; $\text{DO}(254\text{nm})=0,075$; $\text{DO}(270\text{nm})=0,060$; $\text{KMnO}_4(\text{eb})=3,4$

La même démarche que précédemment a été adoptée, à savoir d'abord le choix convenable de la pression et de la vitesse en mode discontinu, puis le traitement de l'eau brute en continu.

Cette nouvelle approche a confirmé le choix optimal des paramètres hydrodynamiques adoptés précédemment ($\Delta P = 2,5 \text{ bars}$ et $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$) en discontinu (Tableau V.2).

Par contre la rétention de la matière organique en continu n'a pas donné de résultats concordants avec les expériences précédentes, ce qui laisse suggérer d'essayer d'autres méthodes analytiques plus sensibles et reproductibles. En effet, les teneurs en matières en suspension et en matières organiques de notre eau s'avèrent relativement faibles, d'où la difficulté de leur suivi analytique avec reproductibilité et précision (Tableau V.3).

Tableau V.2 : Paramètres physico-chimiques, après traitement de l'eau brute en discontinu, pour les vitesses : (a) $U = 3 \text{ m.s}^{-1}$, (b) $U = 6 \text{ m.s}^{-1}$, (c) $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$

(a)					
l(s)	251	95	37	27	24
P1(bar)	0,66	0,98	1,73	2,21	3,26
P2(bar)	0,21	0,54	1,29	1,79	2,86
DP(bar)	0,435	0,76	1,51	2	3,06
Jv(l.h-1.m-2)	8,347	22,032	56,568	77,519	87,209
pH(p)	8,46	8,41	8,41	8,44	8,41
pH(r)	8,37	8,37	8,31	8,42	8,4
Xp(mS.cm-1)	1,02	1,02	0,92	0,98	0,92
Xr(mS.cm-1)	0,96	0,96	0,96	0,96	0,94
TURBp(NTU)	1,6	0,9	1	1,3	0,9
TURBr(NTU)	3,1	3,9	3,8	3,6	2,3
DOp(254nm)	0,08	0,069	0,079	0,081	0,074
DOp(254nm) (dilution)	0,022	0,017	0,021	0,017	0,013
DOr(254nm)	0,095	0,083	0,093	0,092	0,083
DOr(254nm) (dilution)	0,022	0,019	0,021	0,021	0,02
DOp(270nm)	0,077	0,07	0,079	0,092	0,08
DOr(270nm)	0,084	0,07	0,083	0,082	0,077
TRDO(%) (dilution)	15,789	16,867	15,054	11,956	10,843
TRDO(%) (dilution)	0	10,526	0	19,048	35
TRTURB(%)	48,387	76,923	73,684	63,889	60,869
KMnO4(p)	2,6	1,7	2,6	3	2,6
KMnO4(r)	1,6	2,7	2,6	2,7	4,7
TR KMnO4(%)		37,037	0		44,681

Caractéristiques initiales de l'eau brute (pH=8,44, X=0,74 mS.cm-1, Turb.=2,7, DO(254nm)=0,109, DO(270nm)=0,088)

Tableau V.3 : Valeurs des paramètres physico-chimiques après traitement de l'eau brute en continu avec les paramètres optimaux ($\Delta P = 2,5$ bars et $U = 7 \text{ m.s}^{-1}$)

Xp(mS.cm-1)	0,88	0,88	0,89
Xr(mS.cm-1)	0,9	0,92	0,94
TURBp(NTU)	0,8	0,6	0,8
TURBr(NTU)	3,3	4,5	8
DOP(254nm)	0,055	0,053	0,058
DOP(254)*	0,005	0,006	0,008
DOR(254nm)	0,09	0,11	0,15
DOR(254)*	0,01	0,01	0,011
DOP(270nm)	0,049	0,051	0,055
DOP(270)*	0,011	0,005	0,007
DOR(270nm)	0,085	0,104	0,136
DOR(270)*	0,008	0,005	0,01
TRDO(254)	38,89	51,38	61,33
TRDO(254)*	50	40	27,27
TRDO(270)	42,35	50,96	59,56
TRDO(270)*		0	30
TRTURB	75,76	86,67	90
KMnO4(p)	3,1	3,2	3,2
KMnO4(r)	3,2	3,4	3,9
TRKMnO4	3,12	5,88	17,95

(*) : avec dilution

CONCLUSION

L'étude que nous avons effectuée a eu pour but le traitement par ultrafiltration d'une eau brute de barrage de Keddara après l'avoir préalablement analysée. L'analyse a été menée par le suivi de quatre paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, turbidité et densité optique à 250 nm et 270 nm.

Ces paramètres ont été choisis à cause d'une part, des écarts constatés souvent en dehors des normes de potabilité édictées par l'O.M.S. et d'autre part, par leurs caractères globaux permettant ainsi une approche plus aisée de notre mélange complexe d'eau étudiée où ces paramètres sont facilement accessibles expérimentalement.

A cet effet, après un rappel théorique relatif aux eaux naturelles et aux techniques membranaires, en particulier l'ultrafiltration, nous avons cherché :

- 1- A déterminer expérimentalement à la température de 20°C les courbes de polarisation $J_v = f(\Delta P)$ pour différentes vitesses de recirculation respectivement égales à 39 m.s⁻¹ pour la membrane minérale, 3 m.s⁻¹, 6 m.s⁻¹ et 7 m.s⁻¹ pour la membrane organique.
- 2- A choisir la pression et la vitesse optimales correspondant à une rétention maximale, surtout des matières en suspension et de la matière organique.
- 3- Traiter enfin cette eau brute en mode continu pour l'amener le cas échéant aux normes de potabilité, en utilisant les deux paramètres hydrodynamiques (pression et vitesse de recirculation) choisis préalablement en mode discontinu.

Les résultats expérimentaux obtenus n'étant pas toujours concordants, nous avons essayé de montrer que la cause principale des écarts et fluctuations se situait au niveau de la mesure de la turbidité et de la densité optique, contrairement au pH et à la conductivité qui restent constants au cours de nos expériences avant et après traitement de l'eau brute. Cela est dû à l'existence d'interactions entre les solutés (colloïdes et matières organiques) et la membrane, et probablement aux teneurs relativement faibles mais non négligeables des M.E.S et de la matière organique (quelques mg.l⁻¹ et au dessous) contenues dans notre eau.

Nous avons constaté en effet, que les mesures de turbidité et de densité optique de l'eau étudiée conduisaient à des fluctuations dans les lectures de ces grandeurs, pouvant varier de manière aléatoire, et cela malgré les précautions prises.

Compte tenu de ces difficultés analytiques, nous avons eu recours à une autre méthode de dosage de la matière organique (oxydabilité au KMnO₄) et ainsi tenter de confirmer ou d'infirmer le choix optimal (pression de 2,5 bars et vitesse de recirculation de 7 m.s⁻¹) adopté précédemment, obtenus lors de l'utilisation de la membrane organique, en évaluant les taux de rejet correspondants par rapport à la densité optique.

Cette autre méthode analytique a confirmé le choix optimal des paramètres hydrodynamiques obtenus auparavant en mode discontinu. Néanmoins, des fluctuations des valeurs de taux de rejet relatif à la matière organique subsistent encore lors du traitement de l'eau brute en continu, et ne concordent pas toujours avec les résultats obtenus avec la densité optique.

En conclusion nous retiendrons que les mesures apparemment simples comme celles de la turbidité et de la densité optique, réclament beaucoup de soin et d'esprit critique dans le cas des eaux de composition relativement faible.

D'autres méthodes analytiques plus sensibles doivent être essayées afin d'enlever toute suspicion subsistant, tant en ce qui concerne le choix optimal des deux paramètres hydrodynamiques que le traitement de l'eau brute, assurant ainsi des résultats fiables et reproductibles.

ANNEXES

ANNEXE 1

PRESENTATION DE LA RETENUE DE KEDDARA

Jusqu'en avril 1987 les eaux souterraines sont restées la seule source de production d'eau potable avant que la capitale ne soit renforcée par la mobilisation d'une quantité supplémentaire d'eau en provenance des oueds Isser et Keddara.

Le barrage de Keddara est situé sur le territoire de la wilaya de Boumerdes à 8 km au sud de la localité de Boudouaou et à 40 km à l'est d'Alger.

Ce barrage est alimenté par l'oued Isser, dont les eaux sont emmagasinées au barrage de Beni Amrane, qui a une capacité de stockage de 16 millions de m³. Le transfert de cette eau vers le barrage de Kaddara est assuré par une station de pompage dont la capacité de refoulement est de 7 m³.s⁻¹.

En plus des eaux de l'oued Isser, le barrage de Keddara de capacité égale à 145 millions de m³ reçoit les eaux de l'oued de Keddara ainsi que le trop plein du barrage Hamiz destiné à l'agriculture.

Le transfert de l'eau du barrage de Keddara vers la station de traitement de Boudouaou se fait par gravité (Figure VI.1).

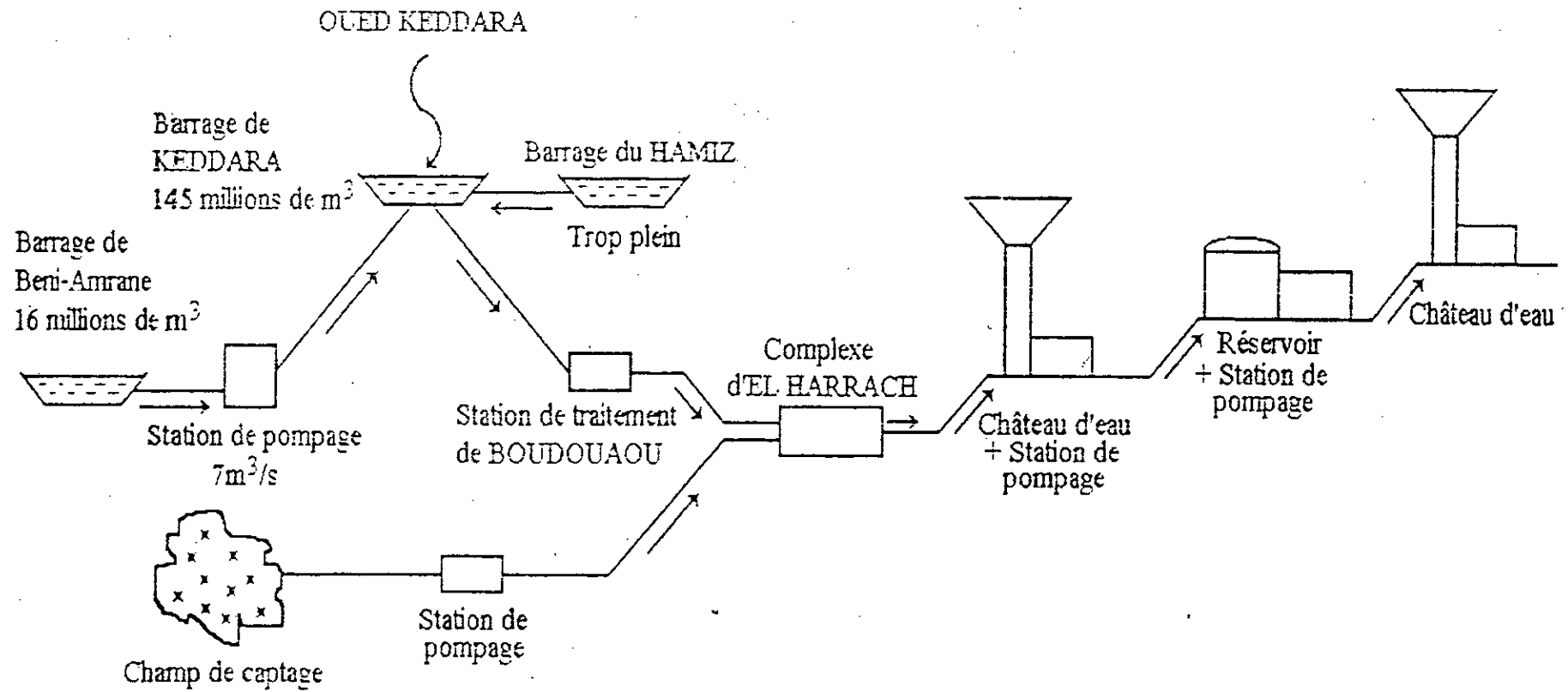


Figure VI-1: Transfert de l'eau

ANNEXE 2

Détermination de la densité optique

Elle est basée sur la loi de Beer-Lambert [19] : $DO = \epsilon l c$, qui exprime que la densité optique (DO) d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant non absorbant est proportionnelle à l'épaisseur l de la solution traversée et à la concentration de la solution C .

ϵ est le coefficient d'extinction molaire, qui dépend de la substance absorbante, de la température et de la longueur d'onde du faisceau incident.

La loi de Beer-Lambert n'est vérifiée que si les conditions suivantes sont respectées :

- la lumière est monochromatique,
- les solutions sont très diluées,
- il n'y a pas de réflexion, de diffusion ou de fluorescence du faisceau incident.

$$DO = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon l C$$

I_0 : Intensité du faisceau incident.

I : Intensité transmise.

L : Epaisseur traversée en cm.

C : Concentration en mole.l⁻¹.

ϵ : Coefficient d'extinction molaire.

La formule théorique relative à l'absorption peut être calculée à partir de la formule de Rayleigh et devient dans ce cas :

$$I = I_0 \exp(-KN_1 d^3 / \lambda^4)$$

d : Diamètre des particules.

N_1 : Nombre de particules dans l'unité de volume.

Facteurs influençant les mesures de turbidité

L'intensité de la radiation émergente dépend de la dimension et du nombre de particules en suspension ainsi que des indices de réfraction.

Pour une concentration donnée, l'effet optique d'une suspension augmente avec les dimensions des particules, tant que les dimensions sont inférieures à $\lambda/2\pi$; au delà, l'effet optique diminue avec leurs dimensions.

Donc, si deux suspension examinés dans les mêmes conditions donnent des effets optiques identiques, il faut être certain que les particules sont du même ordre de grandeur pour conclure à l'égalité des concentrations. Pour le nombre de particules, la confrontation montre qu'il n'y a pas de formule théorique permettant de relier l'absorption ou la diffusion à la masse de matières en suspension pour tous les cas possibles.

Aussi, pour avoir des mesures précises, devrait-on établir des courbes d'étalonnage avec des caractéristiques identiques à celles des troubles à mesurer. Dans la pratique, on se borne seulement à faire des comparaisons avec des troubles standards.

Pour l'influence des indices de réfraction, on note que deux suspension de même matière, de concentration et de dimensions particulières identiques réalisées dans des liquides différents ne donnent pas le même effet optique, ceci est dû aux indices de réfraction du liquide et du solide[19].

ANNEXE 4

Détermination de l'oxygène consommé par les matières organiques de l'eau

Ce test conventionnel a pour but d'estimer la teneur en matières organiques présentes dans l'eau, où d'autres substances réductrices peuvent interférer [19].

Il s'agit d'évaluer en milieu acide ou alcalin la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique d'origine animale ou végétale.

La méthode en milieu alcalin consiste à introduire dans un erlenmeyer 200 ml d'eau à analyser et 5 ml de solution saturée de NaHCO_3 .

Placer l'erlenmeyer sur une plaque chauffante et porter à ébullition. Ajouter 20 ml de solution de KMnO_4 (N/80), ramener à l'ébullition, la maintenir pendant 10 minutes. Refroidir rapidement sous un courant d'eau froide, ajouter 20 ml de solution de sulfate ferreux ammoniacal (N/80).

Titre par le KMnO_4 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose faible mais persistante. Soit V le nombre de ml de solution de KMnO_4 utilisés.

Vérifier le titre de la solution de KMnO_4 en effectuant un essai témoin avec 200 ml d'eau distillée. Soit V' le nombre de ml de solution de KMnO_4 nécessaires.

L'oxygène cédé par le KMnO_4 , exprimé en mg.l^{-1} , est donné par $\frac{V-V'}{2}$.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **C. ANSELLME**, *L'ultrafiltration appliquée au traitement de l'eau potable*, L'eau, l'industrie, les nuisances, Paris, 1989.
- 2- **DEGREMONT**, *Mémento technique de l'eau*, Tec et Doc – Paris, 1989.
- 3- **C. GOMELLA** et **H. GUERREE**, *Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées*, Eyroilles, Paris, 1978.
- 4- **J.P. BEAUDRY**, *Chimie des eaux*, Le Griffon, Paris, 1984.
- 5- **J.P. BEAUDRY**, *Le traitement des eaux*, Le Griffon, Paris, 1984.
- 6- **DEVILLIERS**, *Principes de traitement des eaux potables*, Lyonnaise des eaux, Paris, 1992.
- 7- **H. ZEKKEUR**, *Optimisation du traitement de coagulation-floculation des eaux de barrage de Keddara*, Projet de fin d'études, E.N.P, 1980.
- 8- **F. NAKACHE**, *Elimination des micro-organismes pendant la clarification d'une eau destinée à la potabilisation*, T.S.M- L'eau, France, 1995.
- 9- **D. GATEL**, *Examen des diverses techniques de désinfection en eau potable*, T.S.M-L'eau, France, 1996, page 489.
- 10- **TERRADELLAS**, *Adsorption*, Institut du génie de l'environnement, Lausanne, 1976.
- 11- **ROGER BENAÏM**, *Techniques à membranes et procédés propres*, Info déchets, France, 1990.
- 12- **G.P. BRUN**, *Techniques séparatives par membranes*.
- 13- **DENDENE**, *Optimisation du procédé d'ultrafiltration pour la récupération des protéines des eaux de lavage de poisson*, projet de fin d'études, E.N.P, 1990.
- 14- **ALAIN MAUREL**, *Techniques séparatives à membranes*, Techniques de l'ingénieur, France, 1992, page 4
- 15- **G. GUILLOT**, *Membranes : trois procédés de l'avenir*, Sciences et techniques, France, 1990.
- 16- **S. SORBIAN**, *Biotechnologie*, Paris, 1988.
- 17- **R. BENACER**, *Traitement des eaux de surface par les techniques membranaires*, projet de fin d'études, E.N.P, 1994.
- 18- **D. ABDESSEMED**, *Valorisation et traitement des eaux de lavage de poissonnerie par ultrafiltration*, Thèse de Magister, E.N.P, 1992.
- 19- **J. RODIER**, *L'analyse de l'eau*, Dunod, Paris, 1984.
- 20- **Cl. AUDIGIE**, *Principes des méthodes d'analyse biochimique*, Douin, Paris, 1982.