

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

2^{ème} Année Master

*I. application de l'osmose inverse dans le traitement des eaux industrielles :
cas de l'unité de conserverie de Amor Ben Amor D'Elfdjouj*

Filière : Génie des Procédés

Spécialité: Matériaux et Génie des Procédés : Génie Chimique

Présenté par :

Khalla Meriem

Sous la direction de :

Dr. Frioui Salah

Juin 2012

12/2778

Remerciement

***Au terme de ce mémoire, nous tenons à exprimer nos
remerciement et notre profond gratitude avant tout au bon dieu
qui nous à donner le courage et la force pour mener bien se
modeste travail.***

***Et sans oublier notre encadreur - Mr. Frioui
Et je tien à remercier spécialement Mme. Safia et Fouad pour
les conseils qui me facilité mon travail***

***A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce travail.***

Dédicace

En ce jour tant attendu qui vient couronner mes efforts, je profite de l'occasion pour exprimer toute ma gratitude et mes remerciements, avant tout, à Allah qui m'a donné la foi, la force, la santé, la volonté et le courage pour l'accomplissement de mon travail.

Bien que toute dédicace ne puisse exprimer les sentiments d'amour, de reconnaissance et de gratitude que j'éprouve à ton égard, je tiens à t'offrir ce modeste travail qui est le fruit de tes sacrifices et de ta confiance. Que Dieu te procure santé, clémence et longue vie.

A toi ma chère maman "nadia"

A celui qui m'a offert la vie, source de sagesse et de tendresse, qui m'a appris le respect et le sens du devoir.

A toi mon cher papa "hacen"

A la mémoire de mes chers grands-parents. Rien au monde ne peut effacer le chagrin que votre disparition a laissé dans nos cœurs,

A mes frères. Pour votre indéfectible sens de fraternité et en témoignage de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Que Dieu vous protège et vous garantisse santé et bonheur.

A toute la famille

Ainsi que tous mes cousins et cousines.

A la mémoire de notre très cher oncle "Mourad" qui restera toujours dans nos pensées.

Que Dieu t'accueille en son vaste paradis.

A tous mes chères amies

SOMMAIRE

Sommaire

Liste des Tableaux-----	(i)
Liste des Figures-----	(ii)
Introduction général-----	(01)
Chapitre I : généralités des procédés de séparation membranaires	
I-Introduction-----	(02)
I-1. Définition des membranes-----	(02)
I-2. Présentation des procédés de séparation membranaire -----	(03)
I-3. Les procédés membranaires à gradient de pression -----	(04)
1-Introduction-----	(04)
2-Les différentes techniques de filtration membranaire -----	(06)
❖ Microfiltration (MF) -----	(07)
❖ Ultrafiltration (UF) -----	(08)
❖ Nanofiltration (NF)-----	(10)
❖ Osmose inverse-----	(10)
Chapitre II : les membranes	
II-1. Introduction-----	(13)
II-2. Types de membrane-----	(13)
➤ Nature des membranes-----	(13)
➤ Porosité des membranes-----	(14)
a-Membranes poreuses-----	(14)
b- Membranes denses-----	(14)
II-3. Mode de fabrication-----	(14)
➤ Membranes anisotropes (ou asymétriques)-----	(15)
➤ Membranes composites-----	(15)
➤ Membranes à charge électrique-----	(15)
II-4. Caractéristiques des membranes -----	(16)

II-4-1. Taille des pores -----	(16)
II-4-2. Seuil de coupure-----	(16)
II-4-4. Sélectivité -----	(17)
II-4-5. Perméabilité -----	(17)
II-5.principe de mise en œuvre des membranes-----	(17)
1-l'écoulement frontal -----	(17)
2-Ecoulement tangentiel-----	(18)
II-6. Les modules-----	(19)
➤ Les modules tubulaires-----	(19)
➤ Les modules à fibres creuses-----	(20)
➤ Les modules plans-----	(21)
➤ Les modules spiralés -----	(21)
II-7. Limitation du flux de perméat -----	(23)
II-8.Polarisation de concentration-----	(23)
II-9.Colmatage des membranes-----	(25)
➤ Colmatage par adsorption -----	(26)
➤ Colmatage par dépôt de matière par convection -----	(27)
➤ Colmatage par dépôt de matière par gélification, dénaturation, agrégation ou réaction -----	(27)
➤ Colmatage par développement d'un bio film-----	(27)
II-10. Critères technico-économiques -----	(28)

Chapitre III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine de Amor Ben Amor

III-1-Généralité-----	(30)
III-1-1 -pollution domestique -----	(30)
III-1-2-pollution industrielle -----	(30)
III-1-3-pollution agricole -----	(30)
III-1-4- pollution des eaux pluviales -----	(30)
III-2-Débit de fonctionnement -----	(32)
III-3-Le principe de traitement -----	(32)

III-4-Description de l'installation de la station------(34)

- Autonettoyant------(34)
- Décanteur------(35)
 - a- Coagulation floculation------(35)
 - b- sédimentation /décantation ------(35)
- filtration sur sable------(36)
- ultrafiltrations------(36)
- Déférisateur------(36)
- osmose inverse ------(37)
- Adoucisseur------(37)
- principe de fonctionnement général d'un adoucisseur ----- (37)
- Filtre à charbon actif------(38)

III-5-caractéristique des eaux potables------(38)

- Les caractéristiques physiques ------(38)
- Les caractéristiques physico-chimiques -----(40)
- Caractéristique dimensionnelles -----(41)

III-6.Qualité d'eau traitée ------(43)

Chapitre IV : étude pratique de l'osmose inverse

IV-1-Généralité------(45)

IV-2-Définition ------(45)

IV-3-Les membranes du procédé d'osmose inverse------(44)

IV-4-Les matières retenues par l'osmose------(46)

IV-5.Terminologies de l'osmose inverse------(47)

IV-6.La comparaison entre l'osmose inverse est d'autre système------(49)

- ❖ La comparaison des systèmes de microfiltration et de l'osmose inverse -----(49)

❖ Comparaison entre l'osmose inverse et la nano filtration -----	(49)
❖ Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration -----	(56)
IV-7. Caractéristique principale de l'osmose inverse-----	(51)
• Mécanisme de transfert -----	(51)
• Définition du taux de conversion-----	(52)
• Définition de la sélectivité-----	(52)
IV-8. Pression osmotique -----	(53)
VI-9 Limitations de l'osmose inverse -----	(54)
➤ Colmatage par entartrage-----	(54)
➤ Colmatage par dépôt -----	(55)
➤ Le bio-colmatage -----	(55)
IV-10. Applications de l'osmose inverse -----	(55)
➤ Production d'eau-----	(55)
➤ Traitement d'effluents industriels -----	(56)
➤ Couplage avec d'autres procédés-----	(56)
➤ Interprétation sur le tableau de contrôle de l'osmose inverse avant lavage-----	(60)
IV-11. La solution pour éviter le phénomène de colmatage-----	(61)
➤ Interprétation sur le tableau après lavage-----	(67)
➤ Interprétation des graphes d'analyse de l'osmose inverse-----	(71)
Conclusion-----	(72)

Références bibliographiques

Introduction générale

Introduction générale

Les procédés de dessalement sont principalement issus de deux technologies : les procédés thermiques et les procédés membranaires. La première usine de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse a vu le jour à la fin des années 1970. Les décennies suivantes ont vu le développement de nouveaux matériaux membranaires, et des membranes d'osmose inverse ont alors été utilisées pour le dessalement des eaux de mer et l'eau potable.

Aujourd'hui, plus de 15 000 usines de dessalement sont en opération dans le Monde, environ 50 % sont des usines de dessalement par osmose inverse.

Les membranes d'osmose inverse permettent d'éliminer les ions divalents et monovalents tels que le chlorure de sodium. Le taux de rejet de sels peut être supérieur à 99 % dans certaines conditions.

Cependant, certains verrous technologiques et scientifiques subsistent et doivent être levés.

Amélioration de la qualité de l'eau, augmentation du taux de conversion, réduction des coûts de traitement et minimisation de l'impact du rejet des saumures.

Ce travail s'inscrit dans une approche innovante d'intégration de différents procédés Membranaires. L'objectif général est l'étude du prétraitement des eaux usées après dessalement par osmose inverse afin de réduire le potentiel de colmatage de l'eau vis-à-vis des membranes d'osmose.

On présente tout d'abord l'état de procédés de séparation membranaires, et puis une étude générale des membranes suivie par l'étude de description de la station de traitement de l'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor.

On base sur l'étude pratique de l'osmose inverse, à évaluer l'influence des différents prétraitements sur les performances de la membrane d'osmose inverse.

Enfin, les principaux résultats obtenus au cours de ce travail sont synthétisés et des perspectives sont proposées.

Chapitre I

Généralité DES Procédés de Séparations MEMBRANAIRES

I- Introduction :

Les procédés membranaires deviennent de plus en plus importants dans de nombreux secteurs comme l'industrie pharmaceutique, l'industrie agro-alimentaire, la production d'eau potable, l'environnement et la production d'énergie. Pendant longtemps, l'essentiel des opérations basées sur des membranes ont été des séparations. Cependant plus récemment, les nouveaux matériaux développés ont été exploités comme contacteurs. Dans ce cas là, ce n'est plus la sélectivité de la membrane qui est recherchée, mais sa capacité à matérialiser une interface entre des phases qui doivent échanger de la matière ou de l'énergie. On s'intéresse dans cette étude à un procédé de séparation membranaire qui est l'osmose inverse.

I-1. Définition des membranes :

Les membranes font l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche dans leur conception et leur mode de mise en œuvre. La membrane, du latin « membrana, membre » est tout simplement un filtre qui agit comme un tamis. Les trous de ce tamis sont tellement petits qu'ils peuvent filtrer des molécules. On parle donc de membrane ou « tamis moléculaire ». La membrane est définie comme une « structure matérielle mince permettant l'arrêt ou le passage de substances entre les volumes qu'elle sépare, sous l'effet d'une force de transfert ». Elle autorise le passage préférentiel de certaines substances entre deux phases: « l'alimentation » et le « perméat » (Figure 2) [2].

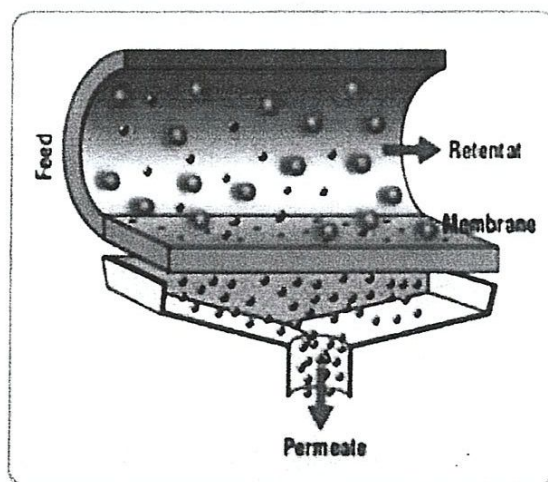


Figure I-1: Schéma du principe de fonctionnement d'une membrane sélective

I-2. Présentation des procédés de séparation membranaire :

Les procédés de séparation membranaire sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution, ou pour séparer des particules ou des microorganismes en suspension dans un liquide. Pour ce faire, des membranes sélectives sont utilisées, c'est-à-dire des barrières minces de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, qui sous l'effet d'une force de transfert, vont permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elles séparent. Comme le précise la définition, un aspect fondamental des procédés membranaires est la force motrice mise en jeu. Cette force peut être un gradient de pression (ΔP), un gradient de potentiel électrique (ΔE) ou un gradient de potentiel chimique, souvent assimilé à un gradient de concentration (ΔC) ou de température (ΔT) (Figure 2).⁵ Les procédés de séparation membranaire sont utilisés dans bien des domaines industriels tel que l'industrie laitière, celle des jus, de la bière, du vin et des produits dérivés, du traitement des eaux ou encore de l'industrie pharmaceutique.

Si vous réfléchissez au problème, votre machine à café est un réacteur sophistiqué de génie des procédés. Le filtre à café peut être en effet considéré comme une membrane de filtration. Elle retient le café mais laisse passer l'eau et les arômes préalablement extraits. La force motrice de cette séparation est une force de pression liée à la gravitation. Imaginez que vous mettiez votre cafetière à l'envers ! Il n'y aurait plus de procédé possible et votre cuisine serait dans un triste état.

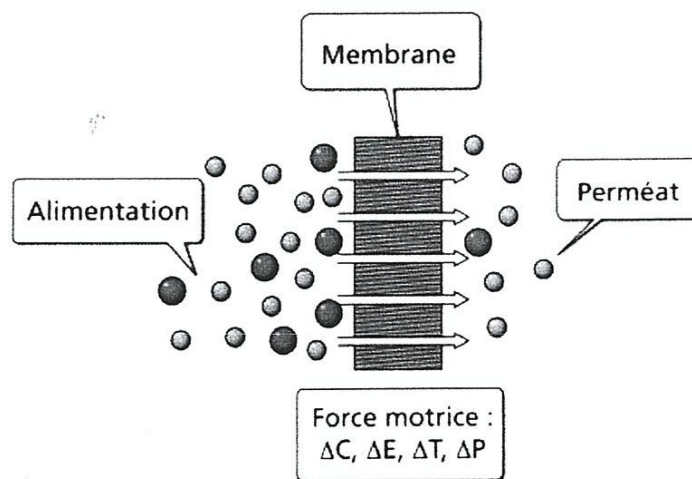


Figure I-2: Schéma de principe de la séparation membranaire.

Les critères de sélection d'un procédé dépendent des caractéristiques des substances à séparer, de celles des membranes (dimension, forme, nature chimique, état physique, charge électrique ...) et des conditions hydrodynamiques d'opération.

Le transfert sélectif des espèces repose soit sur leur capacité à diffuser à travers le matériau membranaire, soit sur leur taille par rapport à celle des pores de la membrane (effet de tamis, ou effet stérique), soit sur une exclusion ionique, soit encore sur une combinaison de ces différents mécanismes.

Les avantages des procédés de séparation membranaire sur d'autres procédés de séparation sont :

- une séparation à température modérée, ce qui est particulièrement intéressant vis-à-vis des composés thermosensibles traités surtout en agro-alimentaire et biotechnologies;
- une absence de changement de phase, donc une moindre dépense énergétique comparée à des opérations comme la distillation ou l'évaporation;
- accumulation nulle de constituants dans la membrane, d'où un fonctionnement quasiment en continu, n'ayant pas besoin de cycle de régénération comme en échange d'ions. Des arrêts sont cependant nécessaires pour le nettoyage périodique des membranes

I-3. Les procédés membranaires à gradient de pression :

1-Introduction :

La force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité ou de potentiel électrique. De ce fait les membranes incluent une grande variété de matériaux et de structure qui forme autant de possibilités de configuration et de classification.

Ainsi, il existe différents procédés de séparation sur membranes qui peuvent être regroupés en fonction des forces de transfert mises en œuvre. Parmi les divers procédés de séparation membranaire, on distingue bien sur la filtration et la technique d'osmose inverse. Il existe cependant d'autres techniques telles que les évaporations (basée sur un gradient de potentiel chimique) ou l'électrodialyse (basée sur un gradient de potentiel électrique). Ce manuscrit théorique est dédié exclusivement aux procédés pour lesquels le transfert de matière à travers la membrane est dû à un gradient de pression, soit la filtration membranaire et l'osmose inverse.

Il existe 4 procédés membranaires à gradient de pression: la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano filtration (NF) et l'osmose inverse (OI). Ces procédés se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer. Ces procédés membranaires sont utilisés pour séparer et/ou concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou séparer des particules ou microorganismes en suspension dans un liquide.

Chapitre I: Généralité des procédés de séparation membranaires

Ces procédés membranaires sont des techniques de séparation peu consommatrices d'énergie : de quelques dizaines de kWh/m³ de produit traité, suivant la taille des composés qui doivent être séparés.

Leur consommation énergétique est faible voir figure, (quelques kWh/m³ de perméat) par rapport à des procédés thermiques (de 100 à 900 kWh/m³ de produit traité pour un évaporateur, avec ou sans effets multiples) [1].

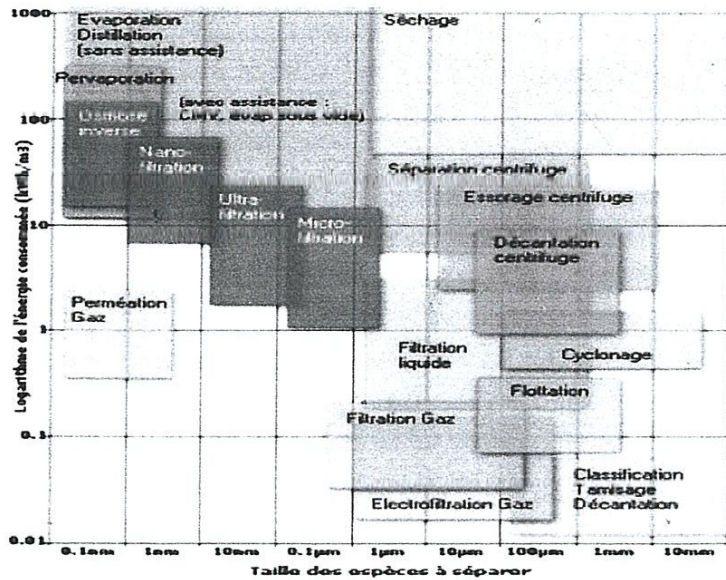


Figure I-3 : Consommation d'énergie relative des procédés de séparation

- *Principe de fonctionnement*

Le liquide traverse la membrane sous l'effet d'une différence de pression. Sous l'action de cette différence, les entités capables de traverser la membrane se retrouvent dans le filtrat, appelé aussi perméat. Le fluide qui reste en delà de la membrane est appelé retentât, il circule généralement tangentielllement à la membrane. En effet, en filtration frontale, l'accumulation de matière à la surface de la membrane gêne la filtration. Le procédé est de plus discontinu. En filtration tangentielle, la circulation du retentât tangentielllement à la membrane permet de limiter cette accumulation et ainsi de diminuer le colmatage. Le procédé peut de plus être continu (soutirage du retentât).

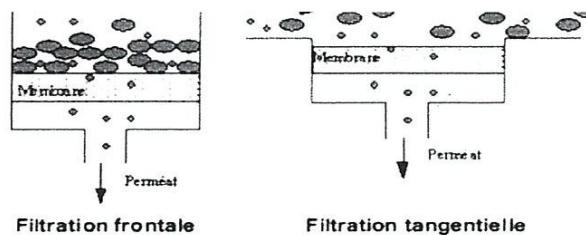


Figure I-4: Principe de filtration

Les conditions opératoires sont donc, outre la température, la pression transmembranaire et la vitesse de circulation tangentielle du fluide. Schématiquement, la microfiltration retient les particules, l'ultrafiltration les macromolécules, la nano filtration les ions divalents, l'osmose inverse ne laisse passer que le solvant (eau généralement). Plus le procédé retient des entités de petite taille, plus la pression à appliquer est forte (moins d'un bar pour la microfiltration, jusqu'à plusieurs dizaines de bar pour l'osmose inverse) et plus la consommation énergétique est élevée. La consommation énergétique dépend également de la vitesse tangentielle de la circulation du fluide [1].

Les mécanismes de filtration sont différents suivant les procédés: en MF, UF et NF, les membranes sont poreuses et les mécanismes sont la convection et la diffusion dans les pores de la membrane; la convection domine en MF, la diffusion est prépondérante en NF. Pour l'OI, la membrane est dense et le mécanisme est une solubilisation puis une diffusion dans le matériau membranaire.

2-Les différentes techniques de filtration membranaire :

Ces techniques de filtration membranaire ont recours à des membranes de type poreuses. Les composés retenus sont sélectionnés sur une base stérique, c'est-à-dire en fonction de la taille des molécules qui les composent. Aux effets stériques peuvent s'ajouter des effets d'interaction électrostatique lorsque des membranes à petites tailles de pores sont utilisées.

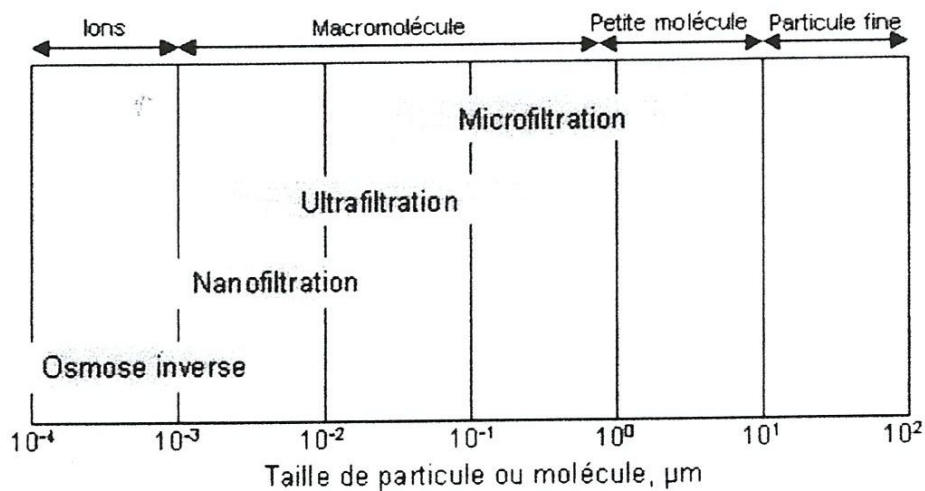


Figure I- 5: Classification des procédés barométriques membranaires

Selon la taille de séparation

Donc comme mentionné sur la Figure 5, on distingue trois niveaux de filtration membranaire, principalement par la taille des pores :

- la microfiltration (MF) pour laquelle la taille des pores est de l'ordre du micromètre se situant généralement entre 0,1 à 10 μm ;
- l'ultrafiltration (UF) se situe entre la microfiltration et la nano filtration, avec une taille de pores variant de 1 à 100 nm (0,001 à 0,1 μm);
- la nano filtration (NF) ou la taille de pores est de l'ordre du nanomètre (0,001 μm).

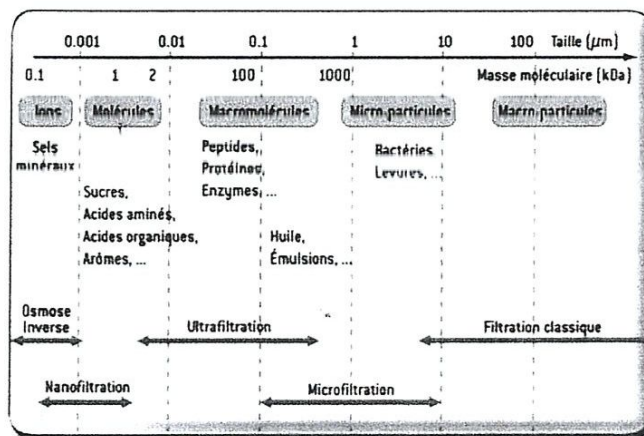


Figure I- 6 : Schéma de Procédés membranaires et performances de séparation

Pour savoir quels procédés vous devez utiliser en fonction des composés à séparer, la figure 6 ci-dessus vous permet de devenir rapidement un chimiste spécialiste des procédés membranaires utilisant la différence de pression (ΔP) pour mettre les espèces en mouvement [2].

❖ Microfiltration (MF) :

Ce procédé de séparation solide-liquide met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μm . Il permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur les plus grosses particules obtenues par complexations, précipitation ou floculation.

Dans la pratique, on rencontre ce type d'opération lorsqu'on procède à la clarification d'un milieu, en recherchant à éliminer la matière colloïdale, avant utilisation ou post-traitement du milieu. Une autre grande application de cette technique est la rétention de micro-organismes tels que les bactéries.

Cette opération se caractérise par des débits volumiques de perméat plutôt élevés et par la présence, parfois, de particules en suspension dans le retentât.

Les configurations planes et spirales sont alors peu adaptées. Des modules à fibres creuses et des membranes tubulaires sont plutôt employés.

La mise en œuvre de la microfiltration doit tenir compte des caractéristiques des membranes et de leur facilité au colmatage. La membrane étant choisie, sa mise en marche a une importance très grande sur le colmatage, donc sur le rendement de l'opération. De façon générale, deux règles aux contraintes parfois antagonistes doivent être observées :

- la pression transmembranaire (PTM) doit être maintenue très faible, en particulier, au démarrage de l'installation, lors de la mise en route de pompes et lors de la fermeture des vannes de régulation de la pression. Il est indispensable de veiller à ce que la pression transmembranaire augmente très progressivement. En effet, pour les membranes de microfiltration ayant une très grande perméabilité, si la pression initiale augmente trop rapidement, le flux risque d'être immédiatement très élevé, mais pour une durée de temps très courte. Un tel fonctionnement génère un colmatage de la membrane très important compromettant ainsi le rendement pour le restant de l'opération. Une régulation de l'installation sur la base d'un flux de filtration constant plutôt que sur une pression de consigne est en général bien plus avantageuse du point de vue de la maîtrise du colmatage.
- La vitesse de circulation doit être élevée, car l'origine du colmatage est ici particulière. Plus les particules que l'on souhaite éliminer de la surface de la membrane sont petites, plus la vitesse doit être élevée. Cette règle va cependant à l'encontre de la précédente, car un débit de recirculation élevé entraîne une perte de charge le long de chaque module, donc nécessite une augmentation de la pression d'entrée, ce qui augmente la différence de pression transmembranaire.

Un compromis est donc à chercher entre longueur de modules, vitesse de circulation et pression transmembranaire maximale qui est, très souvent, le critère le plus important. Des modules à fibres creuses et des membranes tubulaires sont généralement employés.

Les membranes de microfiltration sont caractérisées essentiellement par un diamètre nominal de pores [4].

❖ Ultrafiltration (UF) :

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Pour cette raison, cette technique est utilisée pour l'élimination de macro solutés, présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical.

Toutes les espèces de plus grande dimension sont retenues également. Outre la dimension des espèces concernées, la différence majeure avec les autres procédés de filtration tangentielle connexes réside dans les mécanismes de transport mis en jeu et les propriétés des fluides.

La plus importante application dans le domaine agroalimentaire est dans l'industrie laitière.

Le traitement du lactosérum permettant la récupération de protéines et la réduction de la charge polluante dans les rejets sont un exemple d'application. Dans la pratique, ce type de membrane est souvent utilisé pour réaliser des opérations de séparation de petites particules ou de gros colloïdes. La raison est le fait que les pores de ces membranes étant plus petits en moyenne que ceux d'une membrane de microfiltration, on peut éviter dans certains cas un colmatage interne difficile à nettoyer. La décision de procéder de la sorte repose sur le flux moyen de filtration obtenu. Des essais pilotes peuvent permettre de trancher entre l'utilisation de membranes de microfiltration de perméabilité à l'eau élevée, mais qui se colmatent beaucoup, et l'utilisation de membranes d'ultrafiltration de perméabilité moyenne, mais dont le colmatage peut être moins sévère.

Dans la pratique, il est utile de connaître le flux limite, qui doit être déterminé expérimentalement tout en assurant que les conditions industrielles soient bien représentées d'un point de vue hydrodynamique. Une règle empirique recommande souvent de choisir le flux de travail à 80 % du flux limite. Travailler à un flux proche du flux limite favorise le colmatage irréversible et induit des coûts de nettoyage excessifs.

Les membranes d'ultrafiltration sont probablement celles pour lesquelles on trouve la plus grande variété de matériaux et de géométries. Des modules tubulaires, à fibres creuses, plans et spirales sont employés en ultrafiltration. Ces membranes sont caractérisées par leur perméabilité et par leur seuil de coupure qui remplace la taille des pores lorsque les membranes sont classées par la sélectivité [4].

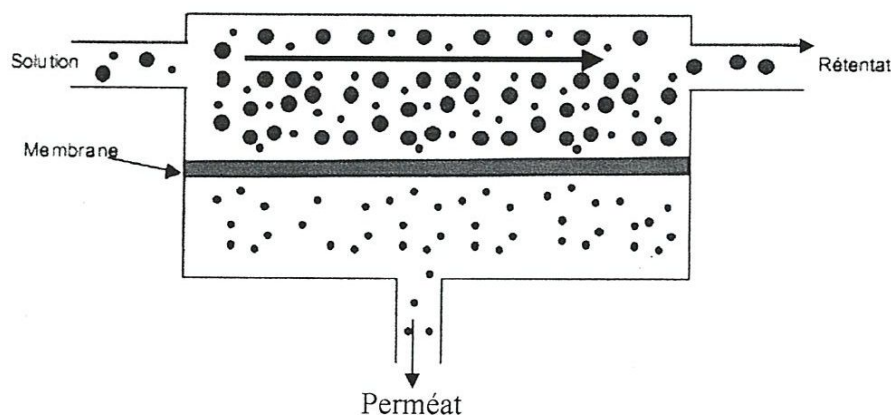


Figure I-7 : Principe de l'ultrafiltration

❖ Nanofiltration (NF) :

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom.

Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 - 250 g/mol 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 250 g/mol sont, par contre, fortement retenus.

Les espèces concernées par la nanofiltration ont des tailles proches à celle de la molécule d'eau. Des molécules et des ions sont souvent partiellement retenus par ces membranes. Plus que toutes les autres membranes, ces membranes présentent des mécanismes de sélectivité mixtes basés à la fois sur la charge et sur la taille des molécules. Elles permettent donc des séparations entre ions et petites molécules sur la base de leur taille. Les tailles des pores étant petites, les pressions nécessaires sont plus levées qu'en ultrafiltration et les flux sont en général modérés. Les applications de la nanofiltration sont développées dans le domaine du traitement de l'eau et du traitement de certains fluides biologiques.

Les membranes de nanofiltration sont presque exclusivement polymériques et se présentent essentiellement sous forme de modules en fibres creuses et de modules spiralés. Ce sont des membranes anisotropes, parfois composites, mais toujours avec une peau aux pores de petite taille. Quelques membranes inorganiques sont également proposées sur le marché dans une gamme de sélectivité se situant entre la ultrafiltration et nano filtration.

Ces membranes se caractérisent par leur rétention pour un ou plusieurs sels inorganiques simples (NaCl, CaCl₂, etc.) et par leur rétention pour des molécules neutres (en général des sucres tels que fructose, glucose, etc.). La concentration des solutions à laquelle ces mesures sont faites est une donnée qui peut être utile à l'utilisateur, lorsqu'elle est disponible, car ces caractéristiques dépendent fortement de l'environnement physico-chimique.

Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre ceux de l'osmose inverse et ceux de l'ultrafiltration. Cette technique est souvent utilisée pour l'adoucissement des eaux [5].

❖ Osmose inverse :

La technique d'osmose inverse (OI) ne s'apparente en rien aux techniques de filtration décrites ci-dessus. L'espace libre entre les enchevêtrements des matériaux qui composent ces membranes est voisin de l'Angstrom (1/10 du nanomètre ou 1/10000 du micromètre), soit de l'ordre de la taille d'une molécule d'eau. A cette échelle, on ne parle plus de membrane poreuse,

Cette expérience démontre qu'un gradient de concentration peut être compensé par un gradient de pression. L'osmose inverse consiste ainsi à appliquer une différence de pression plus élevée que la pression osmotique de façon à provoquer un flux de solvant du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré, tout en maintenant un gradient de concentration déterminé. Celui-ci sera d'autant plus important que la différence de pression est levée.

Les membranes sont des membranes denses et, pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'osmose inverse sont l'élimination de sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau ou bien la concentration de jus sucrés, par exemple.

Les membranes d'osmose inverse se présentent aujourd'hui presque exclusivement sous forme des modules spiralés. Il existe également des modules en fibres creuses. Les membranes sont en général en polyamide, acétate de cellulose ou polysulfure.

Les caractéristiques de ces membranes sont données sous forme de taux de rejets pour des sels inorganiques, comme NaCl, KCl ou encore CaCl₂. La pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration est élevée et que la masse molaire est faible [5].

Chapitre II

LES MEMBRANES

II-1. Introduction :

Il existe une grande diversité de membranes. Elles sont classées par familles, selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique liée à leur mode de fabrication.

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimension finie ou contenant des couches superposées.

II-2. Types de membrane :

Il existe une grande diversité de membranes que l'on classe selon leur matériau et leur forme (liée à leur mode de fabrication [6]).

➤ Nature des membranes :

Les membranes sont fabriquées à partir de différents matériaux, de type organique ou minéral. Les membranes minérales ou céramiques sont de type composite (zircone ZrO_2 sur support carbone macroporeux ou sur alumine Al_2O_3 , ou oxyde de titane TiO_2 sur alumine ou encore totalement en carbone ou en alumine). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs sans trop être altérées. Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique.

NF Les membranes organiques sont fabriquées à partir de polymères. Les dérivés cellulosiques restent encore très utilisés, ainsi que les polyamides (en OI et). D'autres polymères, tels les polyacrylonitriles (PAN), les polysulfones (PS) et les polyfluorures de vinylidène (PVDF) sont de plus en plus répandus car ils résistent mieux à l'oxydation, au pH ou à la température.

Les membranes minérales sont plus robustes à l'utilisation (résistance mécanique, chimique et thermique) que les membranes organiques, mais plus coûteuses. Le choix entre ces deux types de membranes s'effectue en fonction de la nature des milieux à traiter et des conditions de fonctionnement [6].

➤ Porosité des membranes :

a-Membranes poreuses :

Ce type de membrane est similaire par sa structure au filtre conventionnel (de diamètre de pore supérieur au micron), mais elle diffère par la taille de ses pores 0,01 à 1 micron. Les particules plus grosses que les pores sont toutes retenues, celles de taille comprise entre les plus gros pores et les plus petits sont partiellement retenus, et les particules de plus petites tailles passent en totalité. La séparation de soluté par des membranes poreuses est donc principalement une fonction de taille moléculaire et de distribution de taille de pores.

En général, seulement les molécules qui diffèrent largement de taille peuvent être séparées par des membranes poreuses, par exemple en microfiltration ou ultrafiltration.

Généralement, en vue d'une meilleure sélectivité, une membrane poreuse est confectionnée de façon à comporter une distribution des diamètres des pores centrée autour d'une seule valeur :

- soit un diamètre inférieur à 2 nm environ dans le cas de micropores;
- soit un diamètre compris entre 2 et 50 nm dans le cas des mésopores;
- soit une taille supérieure à 50 nm dans le cas des macropores.

Le mécanisme de transfert de matière sous l'effet de la pression est exclusivement convectif pour le solvant et n'entraîne avec lui que les espèces dont la taille est plus petite que celle des pores (effet tamis).

b- Membranes denses :

Cette membrane consiste en un film dense à travers lequel le perméat est transporté par diffusion sous l'effet d'une force de pression, de concentration ou de gradient de potentiel électrique. La séparation des composés d'un mélange est directement reliée à leur diffusivité et leur solubilité à travers la membrane. Ainsi, une membrane dense peut séparer des composés de taille voisine si leur solubilité (concentration dans la membrane) diffère.

Dans une membrane dense, lorsque les pores se réduisent aux espaces libres situés entre les chaînes de polymères, leur taille est voisine de celles des molécules organiques simples ou des ions hydratés. L'effet tamis devient donc négligeable.

II-3. Mode de fabrication :

Pour obtenir une perméabilité sélective élevée, compatible avec un usage industriel, il est nécessaire que la barrière soit la plus mince possible. Il en résulte une certaine fragilité

qui a été palliée par la consolidation de la barrière mince par différents moyens que ce soit, un support à pores de même nature ou de nature différente, un support tissé [5].

➤ **Membranes anisotropes (ou asymétriques) :**

Ces membranes sont formées d'une couche de surface très fine déposée sur un support poreux plus épais. Les propriétés de séparation et de perméabilité sont assurées par la fine couche extérieure, alors que la structure interne assure le support mécanique. Les bénéfices résultant en gain de flux sont tels que la plupart des procédés de séparation commerciaux utilisent des membranes anisotropes. Le flux à travers une membrane est inversement proportionnel à son épaisseur. Des flux élevés sont recherchés pour des raisons économiques, donc les membranes devraient être aussi fines que possible. Les technologies de fabrication conventionnelles de membranes permettent de fabriquer des membranes suffisamment résistantes et sans défaut, d'épaisseur minimale de 20 μm .

Les membranes organiques de microfiltration à nanofiltration ont une matrice organique de 100 à 200 μm qui sert de support à la membrane filtrante ou peau dont l'épaisseur se situe entre 0,1 et 1 μm .

Les membranes minérales, aussi asymétriques, sont composées d'une matrice à base d'alumine ou de carbone sur laquelle sont appliquées une ou plusieurs couches d'oxydes minéraux. La dernière couche est appliquée par frittage. Ainsi, la taille des pores est déterminée par granulométrie de la poudre initiale.

La peau peut être dense ou poreuse selon l'application envisagée et la tenue mécanique peut encore être améliorée par l'incorporation d'un support textile.

➤ **Membranes composites :**

Ces membranes sont de type organique et anisotrope. Cependant les deux couches la composant sont formées de polymères différents. Les membranes composites de nanofiltration et d'osmose inverse sont formées d'une matrice de 200 μm au centre, sur laquelle est appliquée une couche anisotrope de 40 μm de polymère poreux qui supporte une fine couche de 0,3 à 3 μm de polymère conférant à la membrane ses propriétés de rétention et de flux.

➤ **Membranes à charge électrique :**

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec

des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions.

Dans les solutions à force ionique levée la sélectivité diminue. On rencontre ce type de membranes principalement en électrodialyse, mais aussi en osmose inverse.

Les différents types de membranes décrits ci-dessus sont présentés dans la Figure II-1.

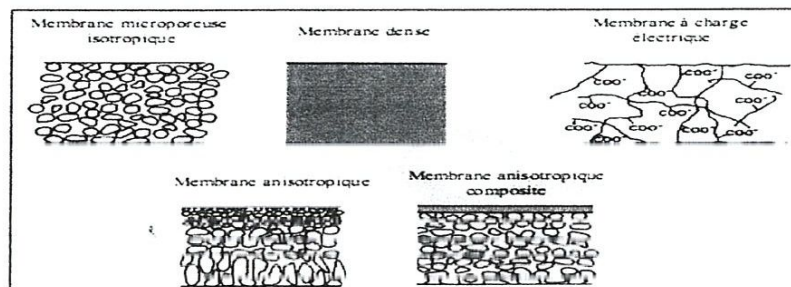


Figure II-1 : Description des différents types de membrane

II-4. Caractéristiques des membranes :

Les membranes sont généralement caractérisées par la taille des pores, leur seuil de coupure relatif à une masse moléculaire critique, leur sélectivité ainsi que leur perméabilité à l'eau pure dans des conditions standard [1].

II-4-1. Taille des pores :

La taille des pores varie de quelques microns en microfiltration à un nanomètre en nanofiltration. La porosité d'une membrane n'est jamais parfaitement uniforme. En delà du nanomètre, le mécanisme de transfert de solvant est plutôt de type solution/diffusion que convection; l'eau n'est pas seulement poussée pour s'infiltrer au travers de la membrane, mais aussi elle diffuse au travers du matériau membranaire. La structure polymérique du matériau change en fonction des énergies d'activation, donc de la température. La sélectivité de ces membranes dépend de l'affinité chimique du matériau avec les différents composés qui traversent la membrane.

II-4-2. Seuil de coupure :

Le seuil de coupure est défini comme étant la masse molaire critique pour laquelle 90 % des solutés sont retenus par la membrane. Celui-ci se mesure en g/mol ou en Dalton. Le seuil de coupure est une façon pratique de caractériser les membranes, mais pas tout à fait rigoureuse du point de vue scientifique, car il dépend aussi des autres caractéristiques du

soluté ainsi que des conditions d'opération. Aussi le seuil de coupure doit-il être défini par rapport à un soluté donné.

II-4-4. Sélectivité :

La sélectivité est une caractéristique difficile à quantifier et pourtant essentielle. C'est une caractéristique de surface de la membrane, qui détermine quels composés de la solution la traversent. Cette caractéristique est liée à la nature même de la membrane, physique et chimique.

II-4-5. Perméabilité :

La perméabilité est un paramètre qui caractérise l'aisance avec laquelle l'eau traverse la membrane. La perméabilité dépend principalement de la taille des pores ainsi que de l'épaisseur de la membrane pour les membranes poreuses. Elle dépend aussi des propriétés chimiques pour les membranes denses.

II-5-principe de mise en œuvre des membranes :

Dans cette section nous allons décrire les deux grands types de mise en œuvre des membranes : l'écoulement frontal et l'écoulement tangentiel [1].

1-l'écoulement frontal :

En écoulement frontal, l'écoulement se fait dans une seule direction soit perpendiculairement à la surface de la membrane.

Ce type de mise en œuvre est souvent utilisé pour des essais à l'échelle de laboratoire dans des cellules de membranes est sa simplicité, en effet il n'est pas utile de recirculer la solution à filtrer, et donc il n'y a pas besoin de pompe de recirculation qui simplifier énormément le montage expérimental une source des pressions statique peut assurer la force motrice nécessaire à la filtration.

-l'écoulement frontal est utilisé à l'échelle industrielle aussi, mais dans une proportion beaucoup moins élevée que l'écoulement tangentiel, le principal système à membranes qui l'utilisent sont le système à fibre creuse.

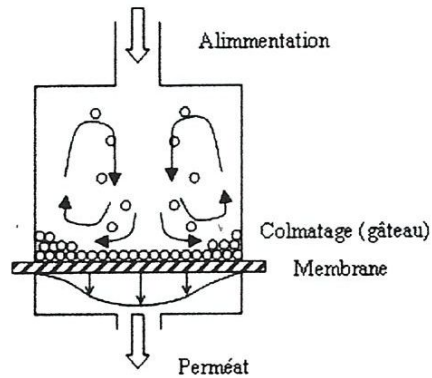


Figure II-2: Cellule de Filtration Frontal

En filtration frontale, le courant à travers la membrane entraîne toutes les espèces dissoutes ou en suspension vers la surface de la membrane. Les espèces retenues par la membrane s'y accumulent très rapidement. En absence de courant de balayage tangentiel de la surface de la membrane, l'efficacité des processus de transport qui limitent l'accumulation à la surface de la membrane est restreinte. Ceci favorise un colmatage rapide de la membrane. A la figure 1.7 nous pouvons aussi observer, dans une cellule de filtration frontale, les particules retenues qui se déposent à la surface de la membrane. Les flèches indiquent les trajectoires des particules, trouvées à la fois sous l'influence du gradient de pression (d'opération) et sous l'influence des divers mécanismes de remise en suspension.

2-Ecoulement tangentiel :

Dans ce mode de mise en œuvre, il y a deux écoulements : un écoulement à travers la membrane qui est perpendiculaire à la surface de la membrane comme en écoulement frontal et un écoulement tangentiel à la surface de la membrane. Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée (l'alimentation) et deux sorties (le perméat et le courant qui correspond à l'eau qui n'est pas passée à travers la membrane et qui est appelé concentrate ou retentât).

Ce mode de mise en œuvre amène aussi à définir des canaux d'écoulement tangentiel comme étant les espaces entre les membranes (ou entre une membrane et une paroi non poreuse) ou le courant d'alimentation s'écoule parallèlement à la surface des membranes et se concentre d'amont en aval en substances retenues par les membranes.

Ce type de mise en œuvre est utilisé aussi bien à grande échelle (industrielle) qu'à l'échelle laboratoire. Dans ce dernier cas, il faut noter que cela oblige à utiliser des volumes plus grands que dans le cas de l'écoulement frontal.

Le principal avantage de l'écoulement tangentiel, par rapport à l'écoulement frontal, est le fait que le mouvement tangentiel de l'alimentation balaie la surface de la membrane. Ce balayage

accélère la remise en suspension des particules déposées ou accumulées à proximité de la membrane. Cela accélère aussi le transport des solutés, qui tendent à s'accumuler à la surface de la membrane, vers le cœur de l'écoulement.

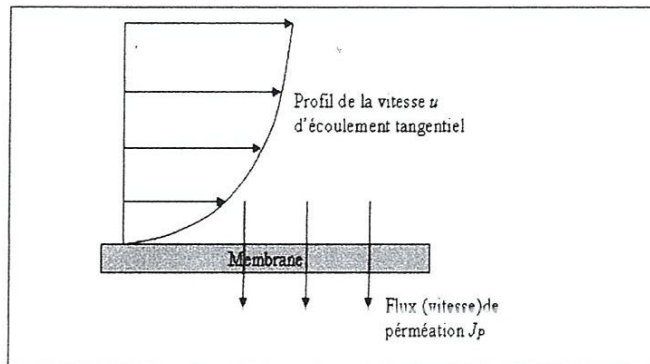


Figure II- 3 : Ecoulement frontal

II-6. Les modules :

Les modules supportent les membranes. Les membranes se présentent sous forme de films plans (feuilles), de tubes ou de fibres creuses. Elles sont mises en œuvre dans des modules regroupant un ou plusieurs éléments de base.

Les différents types de modules développés au cours du temps se distinguent en termes de performance par leur coût, la surface filtrante par module, la consommation énergétique par unité de volume de perméat produit, la susceptibilité au colmatage, la facilité de nettoyage et l'aptitude à travailler dans les conditions de procédé (température, viscosité, pression, débit, pH, abrasion, résistance aux traitements de nettoyage). Les quatre types de module disponibles de nos jours pour des applications industrielles sont les suivants[7] :

- Les modules tubulaires ;
- Les modules fibres creuses ;
- Les modules plans ;
- Les modules spiralés.

➤ Les modules tubulaires :

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle voir Figure 14. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes. L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent,

A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne à priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations. Leurs principaux défauts sont le coût et l'encombrement. Ce type de module est surtout utilisé pour des membranes minérales.

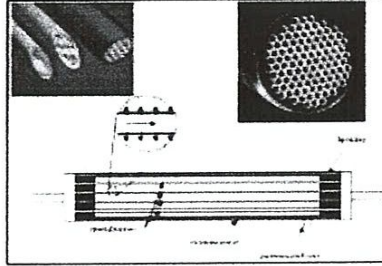


Figure II-4 : Module à membrane tubulaire

➤ **Les modules à fibres creuses :**

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations (Figure 15):

- Configuration Int-ext. (schéma a): comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres ;
- Configuration Int-ext. (schéma b et c): l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.

Dans les deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter. Un module industriel peut-être constitué de dizaines de milliers de fibres. Les fibres creuses supportent des rétro lavages. L'écoulement à l'intérieur des fibres creuses est, selon toutes probabilités, laminaire.

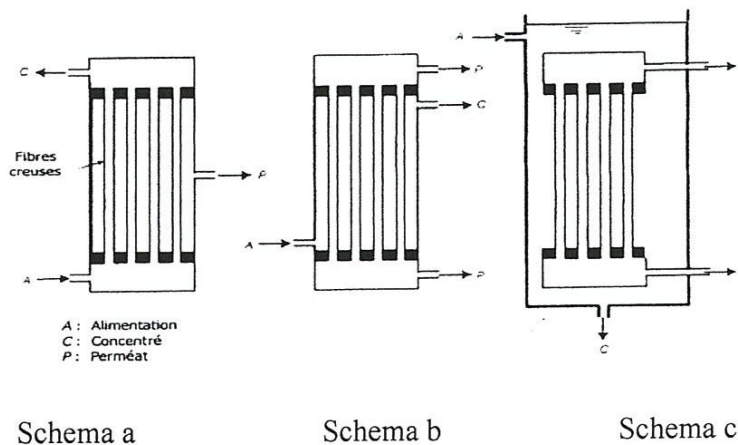


Figure II -5 : Modules à fibres creuses.

➤ Les modules plans :

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples, les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

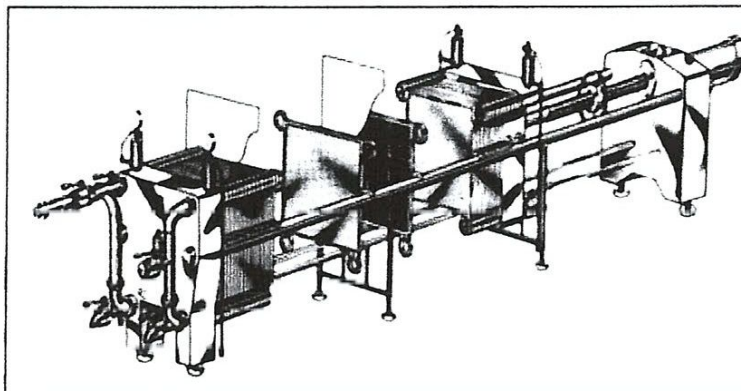


Figure II-6 : Module à plaques

Les membranes sont montées de part et d'autre de cadres rigides, empilés selon le principe du filtre pressé (Figure 16). Cet arrangement présente beaucoup de flexibilité, et un bon accès aux membranes pour le nettoyage ou le remplacement. Ces systèmes sont cependant peu adaptés aux débits élevés, se colmatent facilement et nécessitent généralement une pré-filtration.

➤ Les modules spiralés :

Au sein des modules spiralés, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

Ces modules sont les plus utilisés pour la nanofiltration et l'osmose inverse. Ils sont composés d'un tube perforé, sur lequel sont enroulées successivement une membrane, une grille fine en plastique, une membrane et une grille en plastique plus grossière voir figure 17. Le retentât circule dans la grille grossière alors que le perméat est acheminé par la grille fine jusqu'au tube central. Cet arrangement est très compact et convient pour les traitements à

haute pression. Le nettoyage et la désinfection sont cependant peu aisés et le débit d'opération est limité.

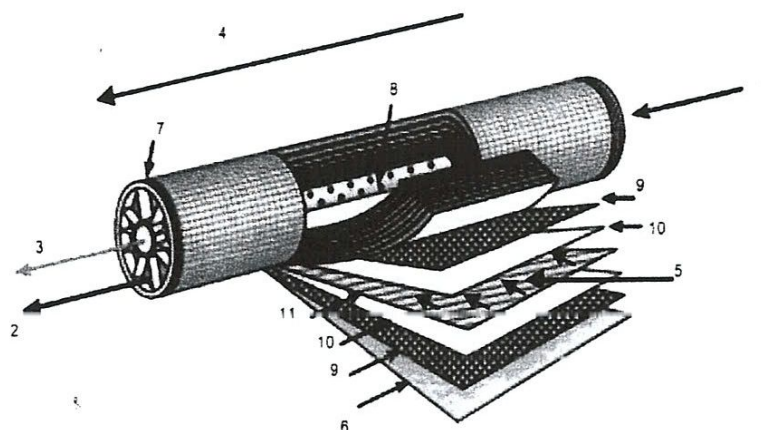


Figure II-7: Structure interne d'une membrane à spirale

- Entrée d'eau
- Sortie de concentrât
- Sortie de perméat
- Sens d'écoulement de l'eau brute
- Sens d'écoulement du perméat
- Matériau de protection
- Joint d'étanchéité entre module et enveloppe
- Perforations collectant le perméat
- Espaceur
- Membrane
- Collecteur de perméat

Le choix du type de module dépend d'un certain nombre de critères, liés au contexte industriel. Ainsi, dans une application sanitaire, les zones mortes sujettes au colmatage et au développement bactérien sont à proscrire. Aussi le module doit être facilement nettoyable et parfois même stérilisable à la vapeur. Les matériaux utilisés dans le module doivent être conformes à la législation concernant le contact avec les produits alimentaires.

II-7. Limitation du flux de perméat :

Les modèles décrits dans la section précédente ne prennent pas en compte tous les mécanismes qui ont lieu dans un procédé membranaire pourtant, certains d'entre eux ont une importance déterminante dans le fonctionnement des membranes. En effet, les divers mécanismes de polarisation de concentration et de colmatage, présentés ci-dessous, compliquent quelque peu la situation [1].

II-8. Polarisation de concentration :

La couche de polarisation de la concentration est formée de solutés et colloïdes accumulés dans la couche limite de concentration située entre la surface de la membrane et la masse du fluide à filtrer (cœur de l'écoulement). Cette couche est l'effet d'un état d'équilibre formé entre l'écoulement par convection vers la membrane et le rétro-transport dû aux différents processus.

-Pour les espèces retenues, la concentration à la surface de la membrane est donc plus élevée que dans le cœur de l'écoulement. Plus le flux de perméation est élevé par rapport à la vitesse de rétro-transport vers le cœur de l'écoulement et plus la concentration à la surface de la membrane est élevée. Le balayage de cette surface accélère le rétro-transport et réduit donc sa concentration en ions.

-On peut alors dire que la polarisation de concentration est une augmentation de concentration des ions à la surface de la membrane avec plusieurs effets néfastes : réduction du taux de séparation, colmatage des membranes par dépôt, et augmentation du gradient de pression osmotique. La conséquence directe, est que la concentration dans le perméat (C_p) est plus faible que dans l'alimentation (C_a), (figure II -8).

Les solutés retenus s'accumulent progressivement à la surface sous l'effet du flux de convection normale à la membrane (J_c), et la concentration croît graduellement dans la zone inter faciale entre membrane et veine liquide : c'est le phénomène de la polarisation de concentration. Une telle augmentation génère un flux diffusionnel de l'interface membranaire vers la solution assurant l'évacuation du flux des solutés en excès.

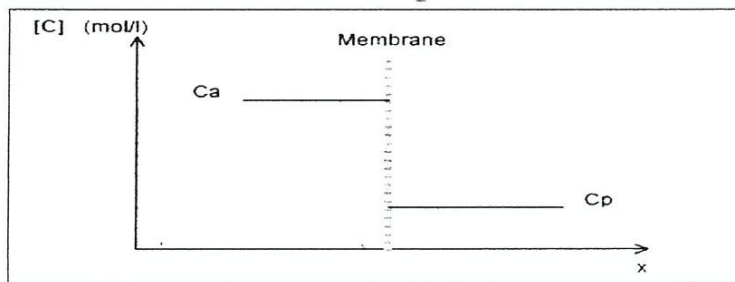


Figure II-8: Séparation membranaire : concept de base

A l'état stationnaire, le flux dans le sens solution interface (J_c) est en équilibre avec le flux du soluté à travers la membrane (J_p) et avec aussi le flux diffusionnel (J_d) dans le sens interface membranaire - solution (figure II-12). L'équation s'écrit alors :

$$\left. \begin{aligned} J_c &= J_p + J_d & (1) \\ J \cdot C_x &= J \cdot C_p - D \cdot \frac{dC_x}{dx} & (2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow J \cdot C_p = J \cdot C_x + D \cdot \frac{dC_x}{dx} \quad (3)$$

D : Coefficient de diffusion (m^2/s) ; J : Densité de flux de solvant (m^3/s) ;

C_p : Concentration du perméat (mol/m^3) ; C_x : Concentration dans la solution d'alimentation (sa valeur varie avec la distance x par rapport à l'interface dans l'épaisseur de la couche limite δ).

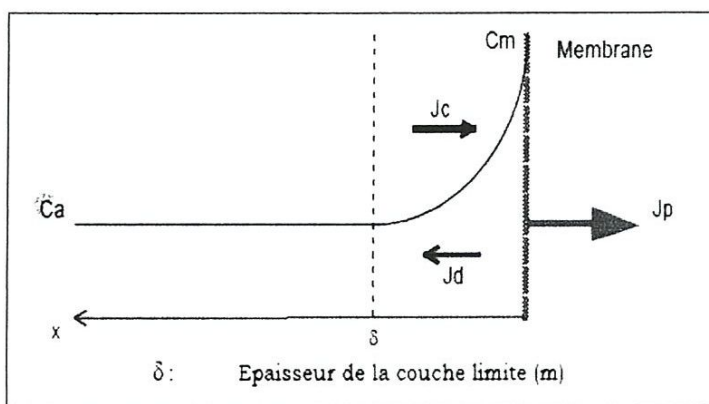


Figure II- 9. Polarisation de concentration

Les conditions aux limites sont : $x = 0 \Rightarrow C_x = C_m$ & $x = \sigma \Rightarrow C_x = C_a$

En intégrant l'équation (1), on obtient la relation dite du "modèle du film" telle que :

$$\ln \left(\frac{C_m - C_p}{C_a - C_p} \right) = \frac{J \cdot \delta}{D} \quad (4) \Leftrightarrow \frac{C_m - C_p}{C_a - C_p} = \exp \left(\frac{J \cdot \delta}{D} \right) \quad (5)$$

k : coefficient de transfert massique (m.s^{-1}) égale au rapport du coefficient de diffusion D du soluté à l'épaisseur de la couche limite σ tel que : $k = \frac{D}{\delta}$; On introduit ensuite la rétention intrinsèque:

$$R_{\text{int}} = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (6) \Rightarrow \quad \frac{C_m}{C_a} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R_{\text{int}} + (1 - R_{\text{int}}) \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (7)$$

$\frac{C_m}{C_a}$: Module de polarisation, augmente avec le flux J , avec l'augmentation de R_{int} et quand k décroît. Si le soluté est complètement retenu $R_{\text{int}} = 1 \Rightarrow$ Le coefficient de transfert massique k dépend fortement de l'hydrodynamique du système.

Par ailleurs, l'effet de la polarisation de concentration est très fort en MF et en UF puisque, dans ces deux cas, J est élevé tandis que k est faible [2].

II-9. Colmatage des membranes :

Le colmatage est défini comme l'accumulation de matière à la surface de la membrane (en particulier à l'entrée des pores) ou à l'intérieur des pores de la membrane. Le colmatage est considéré comme irréversible lorsque les lavages chimiques ne permettent pas de rétablir la perméabilité de la membrane à son niveau initial. Il nécessite donc périodiquement un arrêt des opérations pour fin de nettoyage, celui-ci est coûteux et a un impact sur la durée de vie des membranes.

Le colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'opération, ainsi que de modifier la sélectivité des membranes. Le but du nettoyage est de retrouver, par une procédure chimique, mécanique ou enzymatique, les caractéristiques initiales des membranes. Cependant, les membranes propres ne retrouvent jamais les caractéristiques qu'elles avaient lorsqu'elles étaient neuves et au fur et à mesure des nettoyages, elles ont toujours plus ou moins tendance à se dégrader.

La détermination de la nature et de la structure des éléments qui colmatent la membrane est nécessaire pour établir le choix des agents de nettoyage et des conditions d'opération les plus efficaces. Les caractéristiques de ces éléments sont fonction de la composition physicochimique du fluide filtré (solvant et soluté), de la nature chimique de la membrane, de sa perméabilité ainsi que des conditions d'opération (température, pression,

hydrodynamique, pH, force ionique, etc.) du procédé de séparation. Il est possible de classer les éléments colmatant en deux groupes :

- les résidus solubles dans l'eau, qui peuvent être éliminés par une étape de rinçage (par exemple, les sucres)
- les résidus non solubles dans l'eau, qui forment une couche poreuse et résistante, composée principalement de protéines et des sels, ainsi que de microorganismes, colloïdes, polysaccharides insolubilisés, etc.

Les protéines constituent le principal agent de colmatage dans le domaine agroalimentaire et biologique. L'expérience montre que leur élimination doit être réalisée avec des détergents à pH alcalin, et que plus la valeur du pH est élevée, plus son hydrolyse et sa solubilité augmentent.

Les matières grasses avec leur caractère hydrophobe sont favorablement adsorbées sur les matériaux membranaires hydrophobes et insolubles en milieu aqueux alcalin ou acide. L'élimination des lipides s'appuie sur l'action de tensioactifs qui émulsifient la matière grasse

Certains sels minéraux sont à l'origine d'un colmatage sévère, par exemple la formation de phosphate de calcium insoluble. Ces sels forment aussi des composés complexes avec les protéines, contribuant ainsi à une autre forme de colmatage des protéines[7].

Les différents mécanismes de colmatage sont décrits ci dessous:

➤ **Colmatage par adsorption :**

Phénomène physico-chimique dû à des interactions entre certains constituants du fluide et la surface ou l'intérieur des pores de la membrane. Les facteurs d'influence sont le type de molécules en présence, le pH, la présence de cations spécifiques (par exemple le calcium) et aussi la cinétique du processus de filtration, soit la polarisation de concentration et le flux à travers la membrane. En effet, un flux lent favorise les échanges et interactions possibles entre les composés du fluide et la surface de la membrane, entre le soluté et l'intérieur des pores de la membrane.

Les molécules les plus susceptibles de colmater les membranes par adsorption sont les macromolécules, les matières organiques telles que les protéines qui sont peu solubles et ont une diffusivité élevée.

➤ Colmatage par dépôt de matière par convection :

La présence des particules dans les fluides peut conduire au simple dépôt de ces particules à la surface de la membrane, pourvu que leur taille soit supérieure ou égale à la taille des pores de la membrane. Un tel dépôt croît en continu au cours du temps. Ceci a pour effet de réduire le flux à travers la membrane et augmenter progressivement la pression osmotique.

➤ Colmatage par dépôt de matière par gélification, dénaturation, agrégation ou réaction :

Le dépôt de matière par convection sur la membrane a pour effet d'en modifier les conditions physicochimiques, et de modifier le comportement rhéologique du fluide à l'interface membranaire. Ceci peut avoir les conséquences suivantes:

- Gélification, due à des insolubilisations locales;
- Apparition de seuils d'écoulement, du fait de l'accroissement de la concentration, ayant pour conséquence un blocage de flux;
- Apparition de nouvelles espèces à la surface de la membrane, du fait de réactions, de floculation, de dénaturation moléculaire ou de précipitation.

➤ Colmatage par développement d'un bio film :

L'accumulation de matière crée une condition favorable à l'ancrage de micro-organismes sur les membranes ou dans les modules, ce qui peut donner lieu au développement d'un biofilm. Celui-ci a pour effet d'augmenter la résistance hydraulique, de dégrader les membranes (celle en acétate de cellulose en particulier) et aussi de contaminer le perméat. Une des caractéristiques de ce type de colmatage est le développement rapide de ces micro-organismes sur leurs points d'ancrage.

En microfiltration, le colmatage est généralement élevé et la perméabilité initialement élevée réduit progressivement, mais de façon très importante. Il se produit du colmatage interne de la structure de la membrane inhérent à la taille et à la distribution de tailles des pores et des dépôts en surface inhérent à la taille des particules retenues. Les effets de charge sont cependant négligeables.

En ultrafiltration, l'accumulation des macromolécules et des particules colloïdales forme des agrégats ou des gels, la polarisation de concentration devient très importante et une pression osmotique se développe du fait de cette augmentation de concentration. L'ultrafiltration est particulièrement sujette au colmatage par adsorption.

En nanofiltration et en osmose inverse, une pré-filtration est généralement pratiquée. Celle-ci a pour effet de réduire la possibilité de colmatage particulaire ou colloïdal. La densité des membranes fait en sorte qu'il y ait peu de colmatage à l'intérieur des pores. Les dépôts de surface peuvent avoir comme effet de modifier la sélectivité des membranes. Le principal risque de colmatage est cependant dû à la possibilité de développer des bio films ce qui engendre des risques plus élevés de contamination.

II-10. Critères technico-économiques :

Afin d'évaluer les capacités des procédés de séparation membranaire face à une application donnée, il est nécessaire de connaître à priori un certain nombre de données relatives au fluide à traiter et de définir clairement les objectifs visés. Ces renseignements permettront d'orienter le choix des membranes et des modules.

En premier lieu, il est important de connaître la qualité que l'on souhaite atteindre pour le retentât et pour le perméat (concentrations minimales et/ou maximales, niveau de pureté). Il est ensuite nécessaire de définir la répartition entre les volumes (ou les débits) du retentât et du perméat en fonction du facteur de concentration volumique souhaité.

Dans un deuxième temps, le choix de la membrane et des modules est conditionné par une connaissance approfondie du fluide à traiter et en particulier des espèces présentes et de leur concentration. Ces connaissances nécessitent parfois des études analytiques approfondies. Dans tous les cas, l'analyse du fluide à traiter est une étape préalable nécessaire avant la conception du procédé.

Enfin, l'analyse technico-économique d'un procédé est fondée sur trois critères qui sont à la fois indissociables et indépendants:

- critères de sélectivité et de choix de membranes: avec la membrane choisie, on doit pouvoir effectuer le type de séparation désiré pour obtenir des perméats et/ou des rétinaux dont les compositions se rapprochent au mieux de celles définies dans le cahier des charges du procédé. La sélectivité garantit la qualité du produit recherché mais s'obtient souvent au détriment du flux;
- le choix des modules et le rendement de l'installation: avec le procédé de séparation membranaire mis en place, on doit pouvoir réaliser la séparation désirée avec des coûts d'investissement et de fonctionnement plus faibles qu'avec des techniques concurrentes;
- la tenue dans le temps et la régénération des membranes: avec un même module et une même membrane, il faut pouvoir répéter les cycles de production le plus grand nombre de fois possible.

Les membranes doivent être régénérées à leur état initial par des cycles de lavage qui permettent d'éviter les pertes de performance et d'augmenter leur durée de vie [5].

Chapitre III

Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine

AMOR BEN AMOR

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

III-1-Généralité

La conserverie alimentaire Amor ben Amor (CAB) sise à la commune de Bouati Mahmoud wilaya de Guelma a construit une annexe à la D'Elfedjoug qui sera alimenté en eau brut provenant d'oued Seybouse par le biais du réseau d'irrigation des terres agricoles à lequel notre usine est connecté .les eaux de l'oued représentent généralement quatre aspects de pollution identifiés suit :

III-1-1. Pollution domestique : concerne la pollution organique graisses déchet végétal et crèment et la pollution chimique (poudre à laver et détergent).

III-1-2. Pollution industrielle : organique et toxique libérées par les industriels.

III-1-3. Pollution agricole : causée principalement par les engrais et pesticides utilisée par les agriculteurs qui s'infiltrent dans les nappes souterraines (la déjection animales /purin ; lisser).cette pollution est transmise dans les rivières par les nitrates dissous.

III-1-4. Pollution des eaux pluviales : où ces eaux de pluies se chargent par les impuretés de l'air polluée qui entraînent les résidus déposés sur les toits et les chaussées (métaux lourds ; huiles de vidange carburants.....).

Compte tenu de cette pollution, les industriels en particulier sont obligés de se mettre en conformité à la disposition légales par la mise en place d'une station de traitement nécessaire a la potabilité des eaux industriels, domestiques et agricultures. En plus les désionisation et la déminéralisation des eaux alimentant l'usine en amont d'une part et la clarification des eaux des rejets, en aval d'autre part doit être entreprise.

Pour ce faire, on détermine tous les paramètres physico-chimique et bactériologique de l'eau de l'oued Seybousse, source d'approvisionnement, pour disposer des indicateurs pertinents pour le dimensionnement des installations et la détermination de la différente phase de traitement selon les normes algériennes [4].

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

Paramètres physico chimiques	Unités	normes algériennes
pH à 20°C	-	6,5-8,5
Conductivité	$\mu\text{S},\text{cm}^{-1} 20^\circ\text{C}$	2800
Turbidité	(U ; NTU)	5
température	$^\circ\text{C}$	8
oxygène dissous	mg/l	8
Résidu à sec 105°C	mg/l	2000
Chlore résiduel	mg/l	<0,1
MES à 105°C	mg/l	
MVS	%	
TD3	$\mu\text{g}/\text{l}$	
Paramètres de pollution	Unités	normes algériennes
nitrates NO3	mg/l	50
nitrites NO2	mg/l	0,1
Ammonium NH4	mg/l	0,5
ortho phosphates PO4	mg/l	0,5
matière oxydables	mg/l	
analyse fines	Unités	normes algériennes
DBO5	mg/l	
DCO	mg/l	
plomb Pb	mg/l	0,05
Nickel Ni	mg/l	0,01
Cadmium Cd	mg/l	0,05
Cobalt Co	mg/l	0,005
Chrome Cr	mg/l	
Cuivre Cu	mg/l	
minéralisation globale	Unités	normes algériennes
calcium ca	mg/l	200
magnésium	mg/l	150
sodium	mg/l	200
potassium	mg/l	20
chlorure	mg/l	500
sulfate	mg/l	400
bicarbonates	mg/l	
dureté totale TH	mg/l	500
dureté totale TH	$^\circ\text{F}$	

Tableau III-1. Tableau des normes algériennes

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

III-2. Débit de fonctionnement :

Débit journalier=3360m³/j ; Débit horaire =140m³8h

III-3. Le principe de traitement :

Compte tenu de l'hypothèse ci-dessus et de l'usage auquel sont destinées les eaux traitées à savoir l'obtention d'une eau potable répondant aux normes de l'OMS et les normes algériennes, le traitement à effectuer sur l'eau brute aura pour but :

-de la clarifier

-de la rendre bactériologiquement pure et exempte de micropolluant.

Dans la clarification : on s'efforce de débarrasser l'eau brute de ces particules colloïdales et en suspension, on les retient à leur passage dans une masse filtrant après éventuellement un traitement approprié.

Dans le but de rendre l'eau bactériologiquement pure, on la stérilise par des oxydants tels que le chlore, l'ozone grâce à des installations spéciales, car la stérilisation s'applique aussi bien aux eaux de surface qu'aux eaux souterraines.

Enfin, pour éliminer le micropolluant classé parmi les Corp. dissous, on effectue un traitement dit d'affinage [4].

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

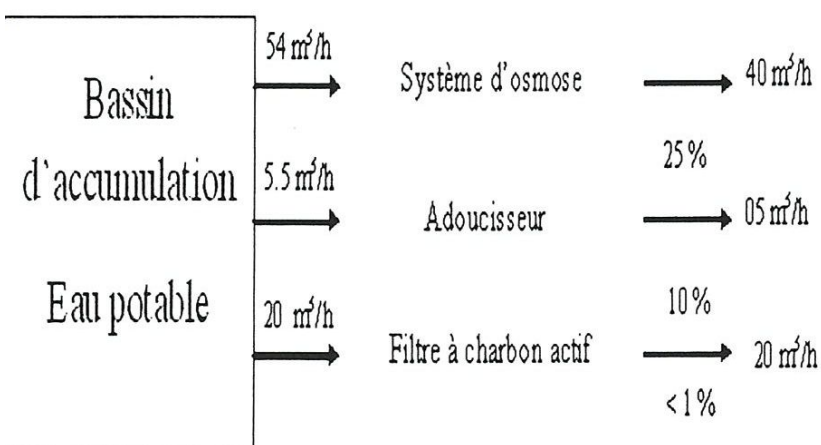
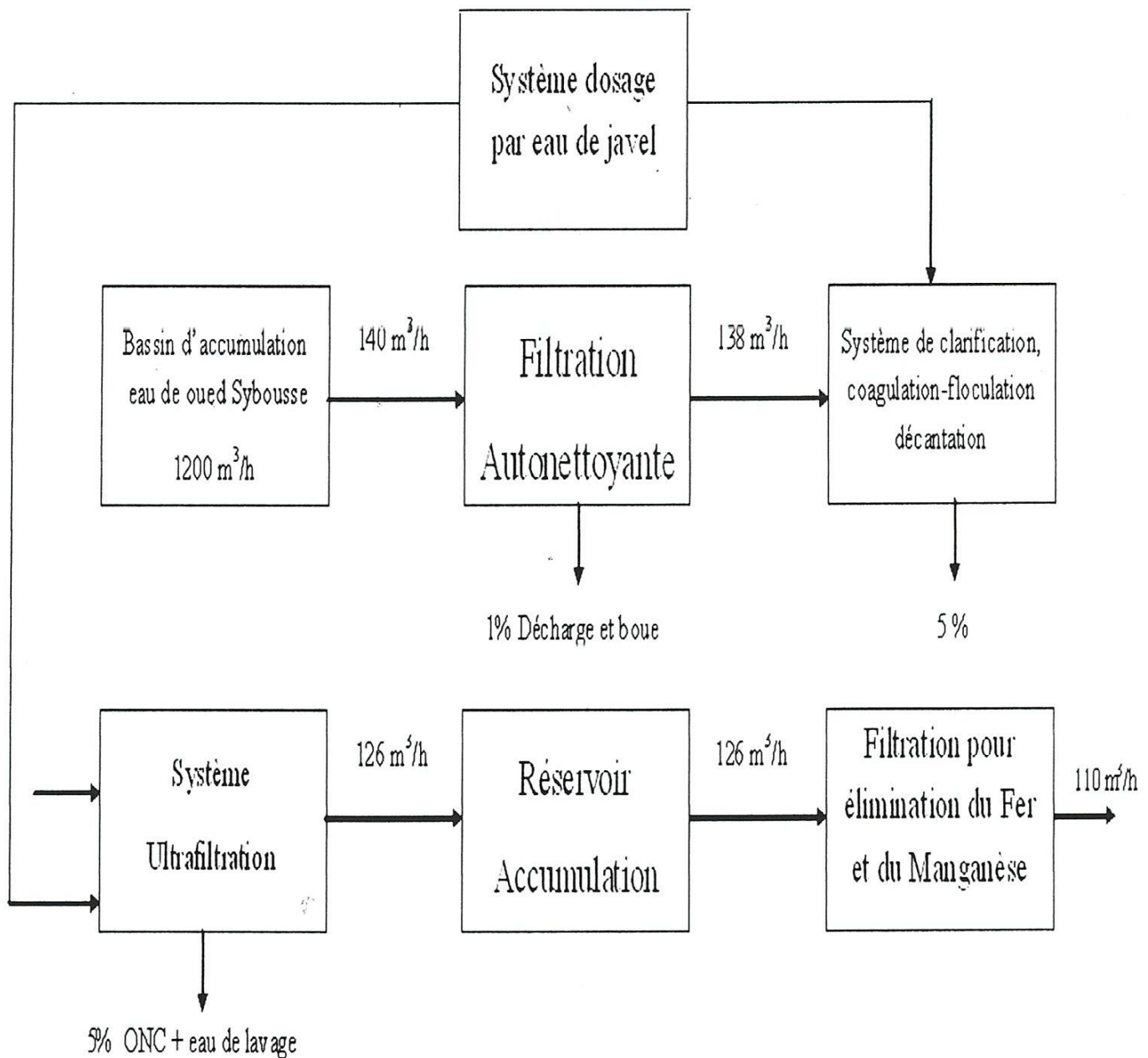


Figure III.1 : Représentation schématique de la station

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

III-4-Description de l'installation de la station :

Les principales étapes de traitement sont:

- autonettoyant
- décanteur
- ultrafiltration
- déferrisateur
- osmose inverse
- adoucisseur
- filtre à charbon

➤ **autonettoyant :**

L'autonettoyant est un système de filtration grossière composé de :

- deux Corp. filtre et cartouche de soutien en acier inox AISI 304
- brosses en polypropylène
- degré de filtration 300 à 70 micro ; sert à éliminer les petites particules (boue)
- alimentation électrique
- pression max d'exercice 10 bar
- le filtrage s'effectue en canalisant l'eau brute à travers l'élément filtrant de l'intérieur vers l'extérieur manomètres positionnés à l'entrée et à la sortie du filtre permettent de vérifier si le fonctionnement est correct. Au moment où on relève une différence de pression ; il est nécessaire d'effectuer une régénération.

Le système de régénération porte sur le contrôle différentiel de pression entrée-sortie. Au cas où un différentiel de pression de 0.5 atm se vérifierait, on enclenche le cycle d'auto nettoyage

1-fermeture totale de l'hydro vanne soutien pression laquelle on se ferme complètement, portera la pression intérieure et extérieure du grillage filtrant à un équilibre parfait.

2-évacuation sans circulation des impuretés retenus par le grillage à l'aide d'hydro vanne de décharge qui moyennant un by-pass, alimentera un turbine capable de conférer un mouvement

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

circulaire à une brosse se trouvant à l'intérieure du filtre après avoir équilibré de saleté n'adhèrent plus à la paroi du grillage et, par effet du brossage et de la vitesse de l'eau en sortie créée par l'hydro vanne de décharge, le cycle complet de régénération a lieu [4].

➤ **décanteur :**

Après l'autonettoyant, l'eau passe à travers un décanteur ou on introduit les produit chimique suivant.:

- CHA 750= joue le rôle d'un coagulant.
- CHE Q 300M (poly électrique = qui joue le rôle d'un flocculant.
- la soude caustique concentration 33%= qui joue le rôle d'un alcalinisant.
- l'eau de javel 28-33%= comme désinfection au niveau sédimentation.

L'eau va être mélangé avec ces produit dans la première phase ou la réaction va se déroule à l'aide agitateur, on obtient dans cette phase des floccs des particules solides qui passe à la deuxième phase de décantation et de séparation l'eau va montrer et les floccs vont se précipiter sur la paroi des cellules, l'eau clarifier passe au bac d'accumulation [4].

a- Coagulation flocculation :

La coagulation et la flocculation sont au cœur du traitement de l'eau potable, il s'agit ici du traitement secondaire que nous effectuons sur une eau brute suivant le dégrillage et le dessablage .premièrement , nous ajoutons un coagulant, un produit qui aura pour effet de neutraliser la charge des particules colloïdales (responsable entre autre de la couleur et turbidité) de façon à ce qu'elle ne se repoussent plus les uns des autre.

Le coagulant est ajouté juste avant ou dans un bassin à mélange rapide pour aider à faire effet plus rapidement .une fois cette étape accomplie ,nous injectons un flocculant ou aide coagulant qui aura pour effet d'agglutiner toutes les particules devenues neutres cade les rassembler pour qu'elle forment des floccs assez gros pour sédimenter (couleur au fond) par eux-mêmes .cette étapes a lieu dans un bassin à mélange plus lent de manière à ne pas briser les floccs une fois formés mais pour tout de même avoir un effet de diffusion[4].

b- sédimentation /décantation :

Cette étapes suit la coagulation et flocculation et précède la filtration .une fois le flocculant ou aide coagulant injecté et mélangé l'eau, cette dernière est dirigée vers les bassins

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

de sédimentation aussi appelées décanteur. se sont de gros bassin avec un temps de rétention assez élevé pour permette au floquant qui formait la turbidité et la couleur de au fond du bassin et de s'accumuler pour former de la boue qui devra être régulièrement extraire pour prévenir les accumulations.

L'eau sera ensuite acheminer vers les filtres qui enlèvement les plus petites particules qui l'auront pas sédimenté ou décanté lors de l'étape précédente [4].

➤ **filtration sur sable.**

La filtration est un procédé permettant la séparation solide /liquide a travers un support poreux.

L'objectif recherché par la filtration est tout d'abord celui d'améliorer la qualité de l'eau décanté essentiellement du point de vue de la turbidité (obtention de turbidité < 2 NTU) mais aussi l'utilisation du lit de sables comme support biologique à la bactérie nitrifiante pour l'élimination de l'azote de ammoniacale non éliminer a l'oxydation[4].

➤ **ultrafiltrations :**

Le système d'ultrafiltration UF est composé par d'eaux unités qui peuvent fonctionnées l'un séparé à l'autre .chaque unité est composée par un numéro variable de membranes en fonction du débit et de la qualité de l'eau qu'il faut traiter. Chaque membrane est posée à l'intérieur d'une vesse en fibre de verre. L'eau à traverser des membranes et elle va former deux débit d'eau ;le concentré qui passe au vidange et le filtre qui va être utiliser.

Le système peut être accompagné par autre systèmes de prétraitement de l'eau brute ou de l'eau traitée en particulier.

L'objectif de la pré-chloration est d'oxyder les métaux et les substances organiques dans l'eau brute d'optimiser la filtration sur les membranes .la pré-chloration est en genre faite avec dosage de l'eau brute par l'eau de javel en quantité pour avoir un résiduel de 0.2 ppm de chlore libre en alimentation [3].

➤ **Déferisateur :**

La défrisassions est fait pour enlever tous le fer et le manganèse en l'oxydant et le faisant précipiter sur le lit filtrant de sable et pyrolusite (filtre deférisateurs).pour éviter le dépôt de ces métaux sur les membranes de l'osmose sous forme d'hydrate[4].

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

a- Fonctionnement de système :

-phase 1 exercice : est la phase de la production de l'eau potable, à l'aide de deux pompe supresseurs l'eau ultrafiltre passe au deférisateur.

-phase 2 contre lavage par l'air : à l'aide d'un compresseur, l'air passe à contrecourant Traverse les filtres à sable pour maintenir l'espace entre les grains de sable et facilité le passage à l'étape suivante.

-phase 3 contre lavage par l'eau potable : pour éliminer les résidus des métaux.

-phase 4 lavage par l'eau ultrafiltre : c'est la dernière étape de lavage des filtres, pour éliminer le reste de résidu.

➤ osmose inverse :

L'eau à traiter arrive de bassin d'accumulation de l'eau potable, passe par un filtre qui va retenir les particules présentent dans l'eau avant de les passés aux membranes de l'osmose, après l'eau filtré s'écoule à travers les membranes, afin de la concentration de l'eau plus salée en introduit trois produits chimique :

-l'acide chlorydrique : pour maintenir le pH de l'eau osmose dans l'intervalle (6.5-7.5).

-méta bisulfite de sodium : pour éliminer le chlore résiduel.

-hidroperme : éliminer les tartres (entai tartre) ou séquestrons [4].

➤ Adoucisseur :

Un adoucisseur est un appareil qui vous permet de transformer une eau dure en eau douce par passage de cette eau sur une résine .cette résine va capter les ions calcium et magnésium à l'origine du calcaire et les remplacer par des ions sodium.il s'agit d'une résine échangeuse d'ions[4].

❖ principe de fonctionnement général d'un adoucisseur :

●au départ la résine est saturée en ions sodium, elle est donc prête à l'emploi et peut adoucir l'eau dure.

●au passage de l'eau dure, la résine va capter les ions calcium et magnésium (le calcaire) et les ions sodium sont libérés.

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

- lorsque tous les ions sodium ont été consommés, la résine ne permet plus d'enlever le calcaire de l'eau.
- pour adoucir l'eau de nouveau, il faut régénérer la résine .c'est –a –dire apporter des ions sodium provenant de la saumure contenue dans le bac à sel qui est rejetée à l'égout avec le calcaire.
- une fois la régénération effectuée la résine est de nouveau utilisable pour adoucir votre eau jusqu'à la prochaine régénération [4].

➤ **Filtre à charbon actif :**

Le filtre à charbon actif est particulièrement efficace pour la captation des odeurs et polluant qui s'échappent dans l'atmosphère. Sa principale caractéristique est de pouvoir absorber de grandes quantités des composés organiques volatiles (COV) par rapport à sa taille .en fonction de la nature des polluants, les filtres à charbon actif seront traités pour une meilleure absorption [4].

III-5-caractéristique des eaux potables:

Par définition, l'eau potable désigne toute eau destinée à être utilisée à la consommation par et pour l'homme. Curieusement, ce qui définit une eau potable n'est pas une eau "bonne à boire" mais une eau qui réponde à une norme établie par une réglementation. L'Union Européenne et les textes français ont défini des critères de potabilité de l'eau [5].

▪ **Les caractéristiques physiques :**

Une eau de consommation ou d'alimentation ou doit être limpide, fraîche, exempte se couleur ainsi que d'odeur et de saveur désagréable [4].

a-Température :

Elle est d'une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux, une eau de boisson et de bonne fraîcheur a la consommation lorsque se température varie entre 9 et 12c. Une température élevée dans les ouvrage et réseaux de distribution peut favoriser le développement planctonique et une situation en gaz dissous confère à l'eau un aspect blanchâtre.

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

b-Limpidité :

Quand un pinceau lumineux traverse un liquide trouble, les corps en suspension dans le liquide trouble diffusent une partie des rayons et le liquide s'éclaire violemment =effet Tyndall.

C-saveur et odeur :

Une eau de consommation humaine doit présenter un bon goût et doit être inodore, sa saveur dépend essentiellement de la quantité et la nature des cors dissous, toute présence d'odeur est signe de pollution par des substances chimique telle que les hydrocarbures ou organiques telles que les matières organiques de décomposition s par exemple Les traitements de correction consistent en : l'adsorption, l'aération, l'oxydation, la filtration et la couleur.

La couleur de l'eau est due au différent élément s'y trouvent à l'état dissous ou colloidal.une eau colorée pose toujours un doute à la consommation et toujours rejetée mais une eau limpide n'est pas forcément potable.

Les traitements de corrections consistent en :

- La clarification
- L'adsorption
- L'oxydation.

E- la turbidité :

La turbidité d'une eau est déterminée par sa teneur en matière en suspension (grains de silice, matière organique, limons).lorsque cette teneur est élevée ; l'eau se trouble et forme d'importants dépôts dans les tuyauteries et les réservoirs.

La turbidité d'une eau de boisson doit être maintenue inferieur à 5NTV (unité céphalométrique de turbidité), elle se mesure à l'aide d'un appareil appelé turbidimètre.

Le traitement de correction consiste à faire une décantation et une filtration :

NTV<5=> eau claire

5<NTV<30=>eau légèrement trouble

NTV>50=> eau potable

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

▪ Les caractéristiques physico-chimiques [3] :

a- Le pH :

Le ph ou potentiel d'hydrogène est dit neutre à la valeur de (7), selon qu'il soit supérieur ou inférieur à cette valeur, on dit qu'il est basique ou acide, selon qu'il soit acide ou basique. Il confère des saveurs différentes à l'eau de boisson, les différents traitements que l'on fait subir à l'eau pour la rendre potable exigent des conditions précises de PH. Généralement les eaux naturelles ont un PH compris entre 6 et 8 favorables aux différents traitements.

Le traitement de correction consiste à faire :

-élévation du PH => filtration sur matériaux alcalinoterreux

-injection de réactifs basiques (carbonate de Na ; Ca)

b-la conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est le résultat de sa concentration en sels. Sa hausse entraîne souvent des pH hors normes, une solidité élevée, l'ors qu'elle est due à l'excès d'ion de calcium elle provoque l'entartage des conditions, sa correction consiste en la déminéralisation.

c-la dureté totale :

Dite aussi hydrométrique (TA) sa mesure exprime la concentration globale en sel de calcium et de magnésium, lorsque le TH d'une eau est élevé, elle est dite dure et douce dans le cas inverse, pour les besoins domestiques, il est recommandé d'avoir une eau dont le TH varie entre 80 et 150mg/l de $CaCO_3$.

d-acidité-alcalinité (TA, TAC) :

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et de sel d'acide fort et de base faible.

-l'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrocarbonates (HCO_3^-) carbonates (CO_3^{2-}) et l'hydroxyde de (OH^-).

-le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en alcalis libres en carbonates alcalins.

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

-le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres carbonates et hydrocarbonates.

- Les caractéristiques chimiques :

a- le calcium (Ca⁺) : Dans l'eau, le calcium est un composant majeur de la dureté. les eaux potables de bonne qualité doivent renfermer de 100 à 140mg /l de calcium.

b-magnésium :

L'excès du magnésium, qui est un élément nécessaire au métabolisme de l'homme n'a pas d'effets négatifs comme sur la santé aux concentrations susceptibles d'être trouvées dans l'eau de boisson .il contribue à la salinité de l'eau, donc peut activer la corrosion et par combinaison avec des sulfates confère un gout amer.

c-résidu sec :

Le résidu sec correspond au poids de la totalité des matières dissoutes par litre d'eau, une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée.

▪ Caractéristique dimensionnelles :

a-Filtres autonettoyants :

Débit d'exercice d'eau	140m ³ /h
Débit maximal	150m ³ /h
Pression de charge a filtre propre	0,3bar
Pression de charge a filtre sable	0,5bar
Débit de lavage	10m ³ /h
Eau de lavage	eau brute
Décharge	1%

b-Décanteur

Débit d'exercice	138m ³ /h
Débit maximal	140m ³ /h

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

Charge hydraulique	0,68m ³ /h
Longueur	7,5m
Largeur	2,4m
Hauteur	3,5m
Décharge	5%

c-Défirisateur :

Débit d'exercice d'eau	110m ³ /h
Débit de lavage à contre courant	10m ³ /h
Eau à traiter	de surface prétraitée
Finesse de filtration	10 microns
Commande lavage du filtre clavier	
Pression de service eau	2 à 5 bar
Fluides de service eau	au sous pression
Pression de fluide de service	6,5 bar
Décharge	2%

d-Osmose inverse :

Débit entré	54m ³ /h
Débit de sortie	40m ³ /h
La perte de charge	25%

La durée et la phase de lavage sont programmées sur le clavier.

e-Adoucisseur :

Débit entré	5,5m ³ /h
-------------	----------------------

CHAPITRE III : Description de la station de traitement d'eau brute à l'usine d'Amor Ben Amor

Débit de sortie 5m³/h

La perte de charge 10%

f-Filtre à charbon actif :

Débit entré 20m³/h

Débit de sortie 20m³/h

La perte de charge <1%

Pression de service eau 2 à 5 bar

III-6. Qualité d'eau traitée :

La qualité d'eau traitée est conforme aux normes OMS pour l'eau potable destinée à la consommation humaine pour autant l'eau ne présente aucune pollution particulière[3].

L'eau traitée présentera les caractéristiques suivantes :

▪ Qualité physico-chimique :

- PH 6,5 à 8,5
- turbidité <1 NTU en exploitation normal et à 5 NTU exceptionnellement
- saveur acceptable et sans désagrément.
- odeur acceptable et sans désagrément.

▪ Qualité bactériologique :

- bacille coli et coliforme absents dans 100cm³ d'eau
- streptocoques fécaux absents dans 50cm³ d'eau

Chapitre IV

Etude pratique de l'OSMOSE INVERSE

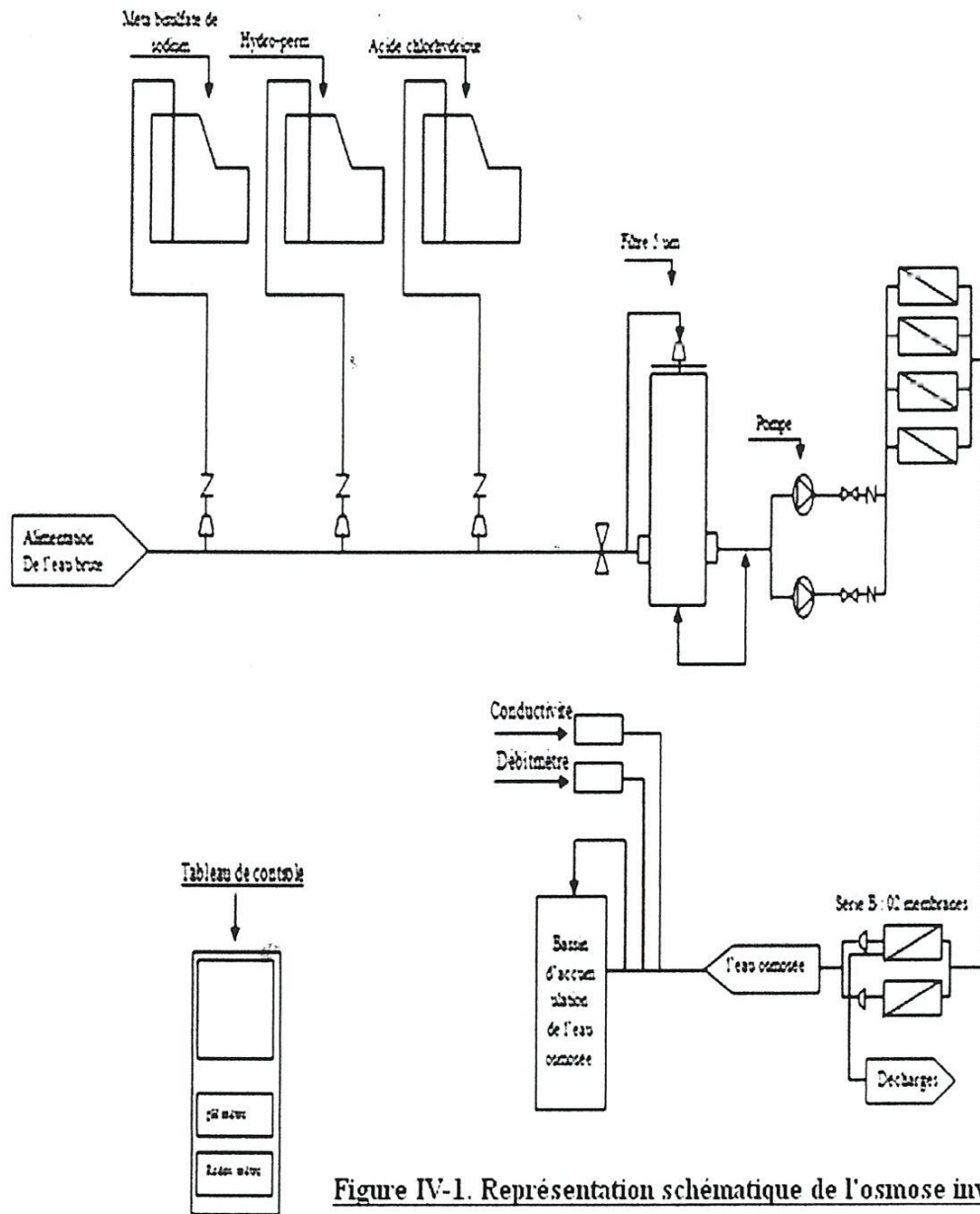


Figure IV-1. Représentation schématique de l'osmose inverse

IV-1-Généralité

L'osmose est la plus récente des techniques de traitement de l'eau, elle occupe déjà une part importante de marché et représente actuellement l'un des systèmes les plus répandus. Plusieurs raisons expliquent cette avancée :

- Production d'eau déstalinisée pour la production de vapeur à la place de l'installation classique de déminéralisation.
- simplicité de la gestion qui ne comporte pas l'utilisation de régénérant, d'où une production de rejets non soumis aux lois antipollution.
- dans la désalinisation de l'eau saumâtre et/ou de l'eau de mer, l'osmose inverse est un procédé irremplaçable.
- récupération et traitement des eaux usées.
- la durée et la résistance chimio-mécanique des membranes a considérablement augmenté puisque leur durée moyenne est maintenant supérieure à 5 ans.

IV-2-Définition :

L'osmose est un phénomène naturel de diffusion, entre deux solutions ayant une concentration différente, à travers une membrane semi-perméable faisant d'élément de séparation. L'eau pure s'écoule à travers la membrane pour réduire la concentration de l'eau plus salée. La valeur de la pression hydrostatique est appelée pression osmotique de la solution concentrée.

Le phénomène de l'osmose inverse est l'application à la solution plus concentrée d'une pression supérieure à sa pression osmotique de manière à annuler sa tendance naturelle à faire migrer l'eau pure vers l'eau salée et même à inverser le sens de ce flux. Ainsi à partir de l'eau salée il est possible de produire de l'eau pure. C'est en cela que consiste le phénomène de l'osmose inverse[4].



Figure IV-2. Le phénomène de l'osmose inverse.

Le passage de sels à travers la membrane est fonction de la différence de concentration saline et il ne dépend pas de la pression. aussi, lorsque la pression augmente, la salinité du perméat diminue. En effet, si l'on augmente la dépend pas de la pression de passage de l'eau à travers le module augmente alors que le passage des sels reste constant.

Une installation à osmose inverse est essentiellement constituée d'une ou plusieurs membranes semi-perméables placées dans des réservoirs aptes à supporter la pression.

Les installations de grande taille, qu'elles servent au traitement de l'eau douce, de l'eau saumâtre ou de l'eau de mer, sont toujours équipées d'une pompe élevant la pression aux environs de 10-15 bars pour les installations d'eau douce, de 20 à 40 bars dans celles d'eau saumâtre et entre 40 et 60 bars dans celles d'eau de mer.

Un osmoseur comprend normalement deux mesureurs de flux : un sur le concentrât, l'autre sur le perméat, le rapport entre la quantité de perméat produit et la quantité d'eau introduite dans le système d'osmose s'appelle récupération. cette récupération se situe aux environs de 75% pour l'osmose d'eau douce. un système de détection de la salinité consiste par un conductimètre est généralement installé sur la ligne du perméat.

IV-3-Les membranes du procédé d'osmose inverse:

L'osmoseur comprend principalement la membrane. On utilise aujourd'hui des membranes en acétate de cellulose et en tri-acétate de cellulose. Actuellement la plupart des membranes sont à base de polyamides aromatiques stables et non biodégradables avec cependant une faible résistance au chlore qui limite son application.

Les modules de l'osmose inverse sont spiralés. Ils déroulent autour d'un tube percé, à la place du sandwich et sont constitués de deux membranes et d'un support poreux. Ainsi se forme une spirale dont les extrémités sont scellées à périphérie et au niveau du tube. le système le plus utilisé actuellement pour le traitement de l'eau est celui du module spiralé doté de membranes à base de polyamides définies à film composite [5].

IV-4-Les matières retenues par l'osmose :

Les installations à osmose inverse sont utilisées pour potabilité l'eau d'une source ou d'un puits. Cette technique permet l'élimination des bactéries, virus, herbicides et pesticides

et composés organo-halogènes nitrates, de plus en nombreux dans les nappes aquifères, ainsi que la quasi-totalité des ions tels que le sodium et les chlorures.

Elle permet aussi à tout un ensemble d'usage, petits et moyens, de disposer d'eau dessalée, même à la simple utilisation domestique dans le cas de maison situées en bord de la mer. Le champ d'application de l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau saumâtre est encore plus vaste.

-L'osmose inverse est également utilisée dans le domaine industriel, notamment pour alimenter les chaudières à vapeur qui fonctionnent dans les meilleures conditions lorsqu'elles sont alimentées avec de l'eau dépourvue de sels. Ceci augmente considérablement la durée de vie des chaudières tout en assurant des économies importantes comme les frais de purge représentant toujours un gaspillage d'énergie. Elle restitue de l'eau douce, parfaitement inscrite dans les limites imposées par la loi merli.

-L'osmose inverse a par ailleurs résolu le problème du traitement de l'eau utilisée pour l'humidification pour les producteurs de fleurs et les pépiniéristes qui ne contiennent pas de sels après avoir été traitée. Cela est fort logique puisque, dans la nature, les plantes et les fleurs sont arrosées par la pluie, qui est une eau très pauvre en sel. L'utilisation pour l'arrosage d'une eau soumise à l'osmose inverse évite l'enrichissement salin du sol par les systèmes d'irrigation en gouttes ou pulvérisation. Elle évite le dépôt des sels contenus dans l'eau à la surface des feuilles, phénomène qui crée non seulement des dégâts au plan esthétique mais qui peut aussi provoquer une détérioration permanente de la plante.

La plus récente et intéressante application de l'osmose inverse est le traitement des eaux usées industrielles et par conséquent l'assainissement des sols pollués [2].

IV-5. Terminologies de l'osmose inverse:

- **Eau d'alimentation** : Eau brute à osmosé.
- **Perméat ou Production** : Eau osmosé (deminéralisée) produite par l'osmoseur.
- **Concentrât ou rejet** : Solution saline concentrée rejetée par l'osmoseur généralement à l'égout.
- **Taux de conversion** : Rapport entre les débits de production (perméat) et d'alimentation, exprimé en %.

$$\text{Taux de conversion} = \frac{\text{Débit de perméat}}{\text{Débit d'alimentation}}$$

- **Taux de concentration** : Rapport entre la salinité du concentrât et celle de l'eau d'alimentation.
- **Taux de passage de sels** : Rapport entre la salinité du perméat et celle de l'eau d'alimentation, exprimé en %.
- **Taux de rétention de sels** : Taux de rétention de sels = $100 - \text{Taux de passage de sels}$
- **Pression de fonctionnement** : La pression de fonctionnement de l'osmoseur est de l'ordre de 10 à 20 bars pour une eau brute ne dépassant pas 2 g/litre. Elle peut atteindre 60 bars pour de l'eau de mer (35 g/litre).
- **Température de l'eau d'alimentation** : La température influence largement les facteurs précédents car elle fait varier la viscosité de l'eau et donc la perméabilité de la membrane.

Le débit de perméat augmente de 2,5 à 3% lors d'une élévation de l'eau d'alimentation de 1°C. Il diminue dans les mêmes proportions lors d'une chute de température de l'eau d'alimentation de 1°C.

La température de référence pour les calculs est généralement de 15°C.

La température maximale d'utilisation des membranes est de 35°C.

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

IV-6. La comparaison entre l'osmose inverse et d'autre système :

Tableau IV-1 La comparaison des systèmes de microfiltration et de l'osmose inverse :

	Microfiltration	Osmose inverse
Domaine d'application	Uniquement pour l'eau de pluie ou pour la filtration de l'eau d'un puits ou d'une source, lorsque celle-ci est chimiquement bonne, mais contient des bactéries en trop grand nombre. Son utilité pour l'eau de ville est discutable.	Pour filtrer l'eau de pluie. Technique incontournable, lorsqu'on veut de l'eau biocompatible au départ de l'eau de ville.
Qualité physico-chimique	Ne modifie pas la composition minérale de l'eau. Celle-ci est parfaite dans le cas de l'eau de pluie.	Elimine 85 à 99 % des sels minéraux (suivant les éléments) et aussi les éléments radioactifs. Lorsqu'on osmose l'eau de ville, la qualité est comparable à l'eau de pluie traitée par microfiltration.
Qualité organoleptique (goût)	L'eau de pluie filtrée contient encore ± 50 mg/l de sels minéraux. Son goût s'apparente à celui des eaux minérales faiblement chargées en minéraux.	L'eau de pluie osmoses contient encore de 10 à 20 mg/l de sels minéraux, suffisant pour la qualité biocompatible.
Qualité médicale	Dépurative, légèrement diurétique.	Dépurative, légèrement diurétique.
Entretien	Lavage du filtre céramique tous les 7 à 30 jours, suivant la qualité de l'eau dans la citerne. Remplacement annuel du pré-filtre. Remplacement du filtre céramique après passage d'environ 25 m ³ d'eau.	Entretien tous les 2 ans par le fournisseur. Remplacement du pré-filtre et du charbon actif. Remplacement de la membrane après 3 à 6 ans.
Coût d'un litre d'eau filtrée	De 0,03 à 0,04 €/litre (2011)	De 0,01 à 0,15 €/litre suivant l'appareil acheté (2011)
Groupe hydrophore nécessaire	Tous les types conviennent	Il faut obligatoirement un groupe hydrophore muni d'un réservoir tampon.
L'eau rejetée	Toute l'eau qui entre dans le système sort sous forme d'eau filtrée.	Pour un litre d'eau filtrée, on rejette de 2 à 6 litres d'eau de rinçage.
Dispositif particulier	Néant	Il faut prévoir le retour de l'eau de rinçage dans la citerne.

❖ Comparaison entre l'osmose inverse et la nano filtration :

La filtration des solutions par les membranes d'osmose inverse et de nano filtration nous permet de caractériser les conditions opératoires et de choisir la membrane qui convient en fonction des objectifs (réutilisation de l'eau, valorisation des matières premières du lait, l'élimination de la pollution...) soit au niveau du laboratoire soit au niveau industriel.

Le flux de perméation lors de la filtration par la membrane de nano filtration est plus élevé qu'avec la membrane d'osmose inverse, conformément aux perméabilités.

La membrane d'osmose inverse a une perméabilité plus faible que la membrane de nano filtration et par ailleurs elle retient la totalité des constituants de la solution ce qui augmente la pression osmotique à la paroi de la membrane et diminue la pression efficace de filtration.

La transmission partielle des petites molécules lors de la nano filtration limite la pression osmotique dans le retentât et augmente ainsi la pression efficace de la filtration.

Les flux de filtration plus élevés en nano filtration qu'en osmose inverse, conduisent cependant à une augmentation de la polarisation de concentration (effet dominant de Convection). En conséquence le colmatage augmente avec la concentration à la membrane ce qui conduit finalement à un flux de nano filtration proche du flux de l'osmose inverse [8].

❖ Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration :

En règle générale les sels minéraux passent à travers la barrière de membrane de l'ultrafiltration (différence avec l'osmose inverse), par contre ils vont retenir les substances organiques à partir d'un certain poids moléculaire et donc ils retiennent les substances pyrogènes, les particules non dissoutes, les micro-organismes et les virus. Comme pour l'osmose inverse, on n'utilise généralement pas une ultrafiltration seule, on va faire précéder par exemple une filtration pour éviter un colmatage rapide [8].

Tableau IV-2. Caractéristique principale de l'osmose inverse

CONTAMINENTS	Osmose inverse	Ultrafiltration
Sels minéraux		
-Ions monovalents	80 a 90%	0%
-Ions divalents	95%	
-Ions trivalents	98%	
Matière organique dissoute	>99% pour PM>300	>99% pour PM>10000
Colloïde	>99%	>99%
Particules en suspension	>99%	>99%
Micro-organisme	>99%	>99%
Virus	>99%	>99%

IV-7. Caractéristique principale de l'osmose inverse :

- **Mécanisme de transfert :**

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

En absence de colmatage, le flux de solvant (ici l'eau) à travers la membrane est exprimé par l'équation suivante :

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu R_m} \quad \text{(Equation IV-1)}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane (L. h⁻¹ .m⁻²)

ΔP : Différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa)

ΔΠ : Différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa)

μ : Viscosité dynamique de l'eau (Pa.s)

R_m : Résistance de la membrane (m⁻¹.)

- **Définition du taux de conversion :**

Dans le cas des techniques à membrane, l'écoulement du fluide à filtrer peut être continu et tangentiel. La solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p) ;
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrât ou retentât (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0} \quad \text{(Equation IV-2)}$$

Dans le cas du traitement des eaux, c'est le perméat qui est le flux valorisé.

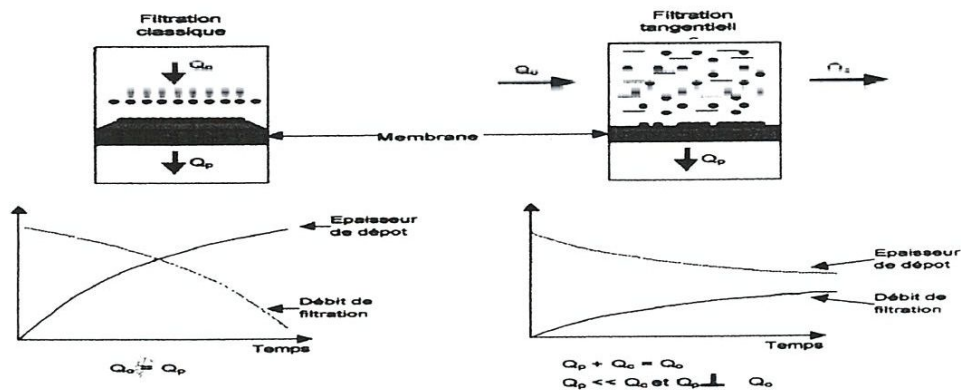


Figure IV-3: Comparaison entre filtration classique (ou frontale) et filtration tangentielle

- **Définition de la sélectivité :**

La sélectivité d'une membrane est, en général, définie par le taux de rejet (appelé aussi taux de rétention) de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir :

$$TR = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0} \quad \text{(Equation IV-3)}$$

Avec

C_0 = concentration de l'espèce à retenir dans la solution

Et C_p = concentration de la même espèce dans le perméat

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), la déminéralisation des eaux étant l'application la plus importante. Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium de 99% environ. D'autres, développées pour le dessalement des eaux saumâtres, présentent un taux de rejet au NaCl de 96 %.

Dans le cas de l'ultrafiltration, l'efficacité de la membrane est, en général, caractérisée par le seuil de coupure (cut-off en anglais). Il s'agit de la masse molaire (g/mol) correspondant à une rétention pratiquement totale (90 % le plus souvent) d'une macromolécule déterminée.

IV-8. Pression osmotique :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes (Figure IV-3). Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est le phénomène d'osmose. Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteindra à ce qui est appelé la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse [2].

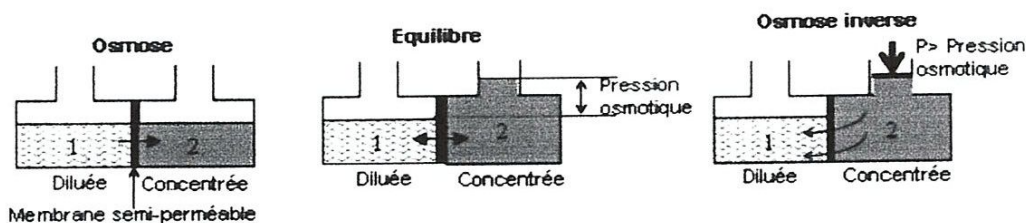


Figure IV-4. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hoff qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état

gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure.

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i.C.R.T \text{ (Equation IV-4)}$$

Avec :

Π Pression osmotique (bar)

i Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

C Concentration molaire (mol.L⁻¹)

R Constante des gaz parfaits (0,082)

T Température absolue (K).

VI-9.Limitations de l'osmose inverse :

Nous définissons sous le terme de colmatage l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux à travers une membrane. Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories suivantes:

- la précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage),
- la formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane,
- la formation du bio film et l'excrétion in situ d'exo polymères sur la membrane (le bio-colmatage).
- l'adsorption dans la membrane.

➤ Colmatage par entartrage :

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par :

- le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation,
- l'augmentation rapide de la vitesse de déposition.

Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est augmentée près de la membrane par la polarisation de concentration.

➤ Colmatage par dépôt :

Le colmatage par dépôt peut être de deux natures différentes qui peuvent coexister:

- le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage.
- le colmatage par la matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique.

➤ Le bio-colmatage :

C'est où les microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires et adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un bio film. En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur.

IV-10.Applications de l'osmose inverse :

L'osmose inverse présente des avantages par rapport à d'autres procédés de traitement des effluents. Elle permet d'avoir un traitement plus poussé que la nano filtration, en particulier en ce qui concerne l'abattement de la couleur, de la dureté et de la conductivité. A la différence des procédés biologiques, elle permet de séparer les molécules non biodégradables, en particulier les composés colorés. Contrairement à l'ultrafiltration, elle retient des composés dissous.

L'osmose inverse a été mise en place dans de nombreux cas de traitements des eaux et est de plus en plus utilisée pour le traitement d'effluents industriels. Diversité d'applications [1].

➤ Production d'eau :

Pour les pays dont les ressources en eaux sont limitées.

L'osmose inverse s'avère un bon procédé de traitement des eaux naturelles afin de les rendre aptes à leur utilisation en agriculture ou à la consommation humaine. Historiquement, l'osmose inverse a été employée pour dessaler l'eau de mer dans les pays côtiers. Par exemple, sur l'île de Malte, quatre usines de dessalement de l'eau de mer produisent 116 400 m³ d'eau potable par jour.

C'est encore aujourd'hui, et peut-être plus que jamais, l'application principale de ce procédé.

Devant l'augmentation des besoins en eau potable, les industriels ont dû étendre les sources d'eau à purifier.

Les eaux souterraines ou de surface plus ou moins saumâtres sont devenues de bonnes candidates. Les effluents de stations d'épuration peuvent également être utilisés pour générer, après passage dans une unité d'osmose inverse, une eau non potable mais utilisable en irrigation ou pour des industries de galvanoplastie.

Un des grands avantages de l'osmose inverse est qu'elle produit de l'eau suffisamment pure pour être utilisée comme vapeur pour les générateurs électriques ou les chaudières et dans les tours de refroidissement.

➤ **Traitement d'effluents industriels :**

En ce qui concerne les effluents industriels, l'osmose inverse est assez performante pour traiter les condensats de différentes origines. Les condensats de concentration de nitrate d'ammonium peuvent être traités et recyclés. Le perméat rejoint les circuits de refroidissement et le retentât l'unité de production. Au niveau d'une unité de production de triméthylolpropane (TMP) en Suède, le retentât est recyclé dans l'unité. Le perméat est utilisé comme eaux de chaudière ou de régénération des résines échangeuses d'ions (EI). Cette dernière utilisation de l'eau osmosée est présente dans d'autres usines de pétrochimie. -L'osmose inverse peut aussi être utilisée pour traiter, et non produire, ces solutions de régénération des résines. C'est le cas, entre autre, dans une usine de production d'acier où le perméat est ensuite utilisé comme eau de procédé [7].

➤ **Couplage avec d'autres procédés :**

Selon l'application envisagée, le procédé d'osmose inverse n'est pas toujours efficace employé seul. Il fait de plus en plus partie intégrante de systèmes de procédés, en particulier pour les effluents complexes. Au lieu d'utiliser une seule opération unitaire dans des conditions drastiques permettant d'obtenir la qualité de perméat souhaitée, il est parfois plus intéressant de coupler plusieurs opérations fonctionnant dans des conditions optimales et permettant d'atteindre le même but de manière plus douce.

L'ajout systématique et indispensable d'un système sommaire de pré filtration n'est pas considéré comme un couplage. Ce pré filtration, sur filtre à cartouche ou à manche, permet d'éliminer les particules qui endommageraient les pompes et les membranes. De même, le prétraitement de l'effluent (ajustement du pH, ajout de séquestrant antitartre) n'entre pas dans la catégorie « couplage ». Cependant, pour éviter les problèmes de colmatage de la membrane, ce prétraitement doit parfois être approfondi. Une étape de coagulation/floculation/filtration peut être ajoutée en amont de l'osmose inverse pour éliminer les particules et colloïdes. L'ultrafiltration (UF) est également beaucoup employée.

Dans d'autres cas, l'osmose inverse est considérée comme le post-traitement d'un autre procédé comme la nano filtration (NF) ou l'UF. Elle peut alors être conduite à des pressions moins élevées et avec moins de risque de colmatage pour retenir les ions monovalents et les petites molécules organiques.

Pour parfaire la déminéralisation de l'eau, en vue par exemple d'une utilisation en chaudière, un passage du perméat sur résines échangeuses d'ions peut être effectué en sortie du procédé. L'osmose inverse est parfois intégrée à d'importants systèmes de procédés. Par exemple, un enchaînement oxydation, filtration sur double média, adsorption sur charbon actif, ultrafiltration, désinfection par des rayons ultraviolets (UV), osmose inverse et dégazage a été mis en place pour traiter un effluent d'usine pétrochimique. Le perméat est utilisé comme eau de dilution pour les solutions de régénération des résines échangeuses d'ions. Un couplage réacteur à membrane/osmose inverse est effectué pour traiter les lixivats de décharge. Un couplage clarification/électrodialyse inversée désinfection par UV permet de recycler des eaux agricoles(8).

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

Date	Valeur	Pression Alimentation Filtre Sum (bar)	Pression Sortie filtre Sum	Pression Différentiel Filtre (bar)	Redox alimentaire Osmose (mV)	pH alimentation osmose	Pression Alimentation 1-er étage (bar)	Pression Sortie 1-er étage (bar)	Pression différentiel 1 er étage (bar) Pression Différentiel	Pression sortie 2-er étage (bar)	Pression différentiel 2er étage (bar)	Débit perméat M ³ /h	Débit de concentration M3/h	Conductivité Perceatet µS/cm	Heures de Fonctionnement H	Niveau antitrantrant	Analyse Chlore libre alimentaire Ppm Cl ₂	
		PT0 RO	PT1 RO	ΔP IN/OUT	RxT1 RO	pHT1 RO	PT2 RO	PT3 RO	ΔP IN/OUT	PT4 RO	ΔP IN/OUT	CT1 RO	QT2 RO	QT2 RO	QT2 RO			
		>1.5	>1	0.1	250	6.8	13.2	11.9	1.2	10.7	1.2	40	13					
		Démarriage																
		Limites																
23-01-12		1	0.8	1.2	300	7.0	20.0	20.0	1.5	20.0	1.5	40	13	100	2	97	0	
24-01-12		3,5	3,5	0,2	106	6,89	11,5	8	3,5	7,5	4	41,68	12,43	13	4	94	0	
25-01-12		3,7	3,5	0,2	205	6,70	10,5	9	1,7	7,8	1,7	40,88	12,5	14,2	6	92	0	
26-01-12		3,6	3,5	0,1	198	6,70	11,1	9,4	1,7	8,1	1,7	39,91	12,5	14,5	8	89	0	
29-01-12		3,4	3,3	0,1	172	6,81	11,5	9	1,5	8	3,5	40,37	12,18	14,8	10	80	0	
29-01-12		3,4	3,3	0,1	226	6,75	11,5	9,5	2	8	3,5	40,73	12,23	14,9	13	72	0	
29-01-12		3,6	3,5	0,1	201	6,66	11,4	9,5	1,8	8,3	3,1	40,51	12,3	15	16	67	0	
31-01-12		3,8	3,7	0,1	220	6,75	11,4	9,6	1,6	8,5	2,9	38,69	12,51	15,3	18	62	0	
02-02-12		3,6	3,5	0,1	244	6,67	11,8	9,8	1,8	8,5	3,3	40,22	12,49	15,9	21	57	0	
07-02-12		3,8	3,7	0,1	252	6,81	11,7	10	1,5	8,5	2,9	39,53	12,16	16	22	55	0	
09-02-12		3,6	3,5	0,1	217	6,64	12	10,2	1	8,5	2,5	39,13	12,07	16,1	24	51	0	
12-02-12		3,8	3,7	0,1	233	6,75	12	11	1,7	9,3	2,7	38,71	12,32	16,2	30	45	0	
13-02-12		3,8	3,7	0,1	224	6,48	12,6	10,3	1,5	9,8	1,3	39,57	12,54	16,4	31	45	0	
15-02-12		3,7	3,6	0,1	204	6,73	13	11,1	1,5	9,8	1,7	38,62	12,41	16,9	32	43	0	
16-02-12		3,8	3,7	0,1	264	6,64	13,1	11,5	1,4	10,6	1,1	38,18	12,47	17	38	127	0	
19-02-12		3,8	3,7	0,1	216	6,68	13,7	11,7	1,6	11,2	0,9	36,72	12,45	17,3	40	123	0	
20-02-12		3,7	3,6	0,1	198	6,69	14	12,1	1	11,5	1,5	36,29	12,62	19,3	40	120	0	
21-02-12		3,8	3,7	0,1	260	6,74	14,6	13	1,1	12,4	1,1	35,48	12,48	20	43	117	0	
22-02-12		3,8	3,7	0,1	220	6,85	15,9	13,5	1,3	13,6	1	35,78	12,41	25	47	109	0	
22-02-12		3,8	3,7	0,1	259	6,77	16,4	14,6	1,2	14,2	1	33,75	12,49	39	53	85	0	
23-02-12		3,8	3,7	0,1	279	6,80	17,1	15,2	1,3	14,8	1	32,42	12,88	35	57	67	0	

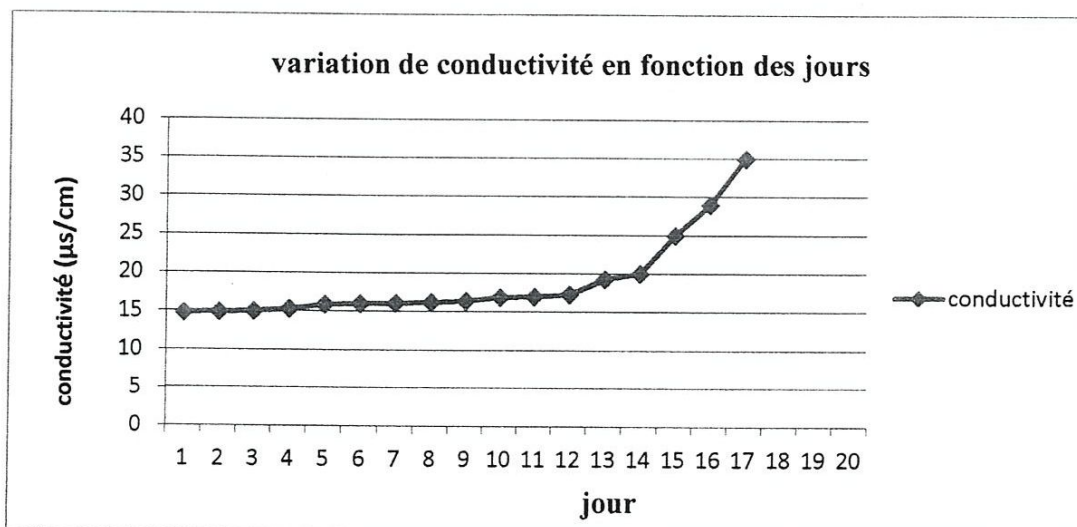
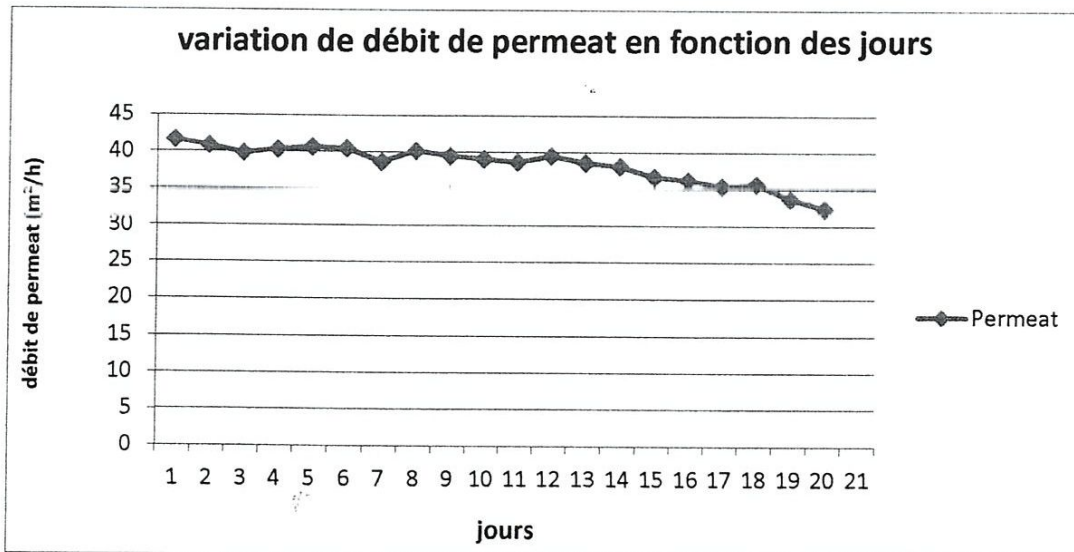
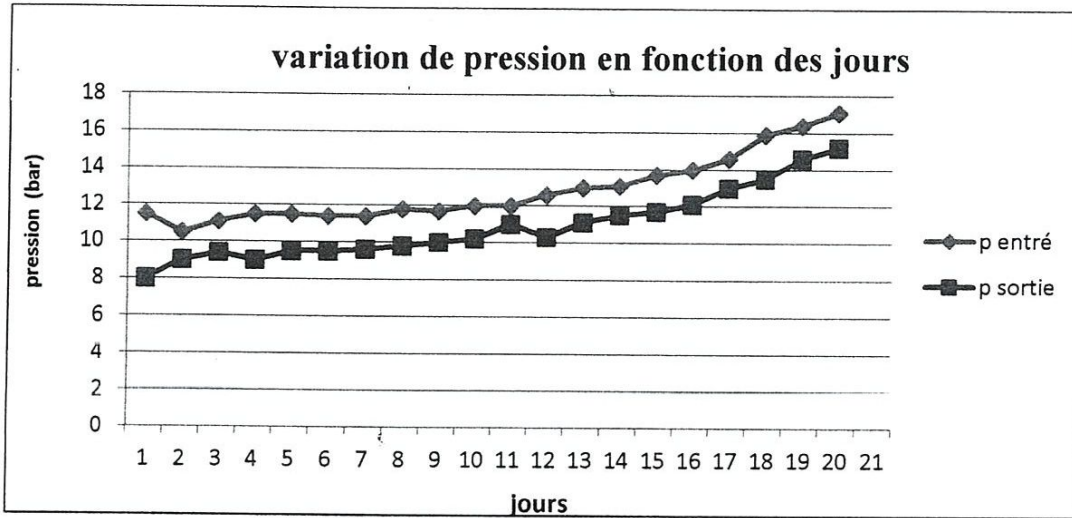
Tableau IV-3-Tableau de contrôles système osmose inverse modelé ORP avant lavage

L'ajout systématique et indispensable d'un système sommaire de pré filtration n'est pas considéré comme un couplage. Ce pré filtration, sur filtre à cartouche ou à manche, permet d'éliminer les particules qui endommageraient les pompes et les membranes. De même, le prétraitement de l'effluent (ajustement du pH, ajout de séquestrant antitartre) n'entre pas dans la catégorie « couplage ». Cependant, pour éviter les problèmes de colmatage de la membrane, ce prétraitement doit parfois être approfondi. Une étape de coagulation/floculation/filtration peut être ajoutée en amont de l'osmose inverse pour éliminer les particules et colloïdes. L'ultrafiltration (UF) est également beaucoup employée

Dans d'autres cas, l'osmose inverse est considérée comme le post-traitement d'un autre procédé comme la nano filtration (NF) ou l'UF. Elle peut alors être conduite à des pressions moins élevées et avec moins de risque de colmatage pour retenir les ions monovalents et les petites molécules organiques.

Pour parfaire la déminéralisation de l'eau, en vue par exemple d'une utilisation en chaudière, un passage du perméat sur résines échangeuses d'ions peut être effectué en sortie du procédé. L'osmose inverse est parfois intégrée à d'importants systèmes de procédés. Par exemple, un enchaînement oxydation, filtration sur double média, adsorption sur charbon actif, ultrafiltration, désinfection par des rayons ultraviolets (UV), osmose inverse et dégazage a été mis en place pour traiter un effluent d'usine pétrochimique. Le perméat est utilisé comme eau de dilution pour les solutions de régénération des résines échangeuses d'ions. Un couplage réacteur à membrane/osmose inverse est effectué pour traiter les lixiviats de décharge. Un couplage clarification/électrodialyse inversée désinfection par UV permet de recycler des eaux agricoles(8).

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse



IV-11. La solution pour éviter le phénomène de colmatage :

On peut décrire une solution pour résoudre le problème de colmatage c'est lavage chimique de l'appareil citez dans les points suivantes :

❖ Mise en marche :

- allumer de démarrage du système il faut mettre les valeurs de tous les paramètres dans le clavier comme c'est écrit :

- toucher le clavier et aller à la page de flow sheet ;

- entrer dans la section 1-CHEMICAL et mettre tous les sélecteurs en automatique ;

- entrer dans la section 3-POMPES et mettre tous les sélecteurs en automatique ;

- l'osmose démarré automatiquement s'il ya toutes les conditions de démarrage, En particulier il faut :

1- qu'il ya pression d'eau brute en alimentation

2- il n'y pas alarmes fatales en cours

3- il y niveau de l'eau osmose bas dans le réservoir

4- il n'y pas rinçages en cours.

- L'eau dans l'osmose avec un débit de 53 m³/h et sort d'un débit de 40 m³/h (permet) , et 13 m³/h comme décharge (concentra).

Un système de détection de la salinité constitué par un conductimètre et généralement installé sur la ligne de permet.

• préparation avant lavage.

- Il ya deux méthode pour faire cette technique ;

❖ lavage alcalin : en utilise comme produit la soude(NAOH) l'intervalle de PH entre

[11.5-12]

❖ -lavage acide : le produit qui est utilisé é c'est l'acide sulfamique

1-Lavage acide ;

Ecrire les paramètres avant le lavage chimique sur le tableau de l'osmose

- Refournir le bac de lavage jusqu'à 30cm du niveau maximum avec eau traité
- Arrête système à osmose inverse en tournant le disjoncteur général en position 0
- Insérer la prise électrique du système de lavage dans une prise 380 VCA

➤ **Lavage premier étage ;**

- connecter le tuyau flexible ;
- allée de la pompe sur la vanne d'enter
- retour à partir de la vanne 1 étage au bac de lavage
- eau traité à partir de la vanne de sortie au bac de lavage
- fermer les vannes de l'entre d'exclusion pompes haute pression
- fermer les vannes de deuxième étage
- fermer la vanne à épile de haute pression

✓ **Démarrage lavage chimique première étage**

- démarrer la pompe de lavage et vérifier que le tuyau de retour donne un bon débit
- introduire l'électrode PH sur la surface du liquide du bac et contrôler la valeur du pH –si la valeur est inférieure à 3.5 il faut ajouter l'acide sulfamique

Attendre quelque minute pour la stabilisation du PH .si la valeur va augmenter à PH=4 il faut mettre l'acide pour reporter la valeur du PH reste constant pour 20-30 minute

- arrêter la pompe du lavage
- Allumer de nouveau le tableau électrique de l'osmose
- Presser rinçages manuel de l'osmose pour trois ou quatre fois.

➤ **Lavage deuxième étage :**

- connecter le tuyau flexible
- allée a la pompe sur la vanne d'enter de deuxième étage
- fermer les vannes de premier étage
- Retour à partir de la vanne sortie du deuxième étage
- Eau traité a partirai de la vanne de sortie à bac

✓ **démarrage lavage chimique deuxième étage**

- Démarrer la pompe de lavage et vérifier que le tuyau de donne un bonne débit
- introduire l'électrode PH sur la surface du liquide du bac et contrôler la valeur du PH
- si la valeur du PH est inferieur à 3.5 il faut ajouter l'acide sulfamique
- attendre quelque minute pour la stabilisation du PH .si la valeur va augmenter a PH=4 IL faut mettre acide pour reporter la valeur du PH à 3.5
- répéter l'opération jusqu'à la valeur du PH reste constant pour 20-30 minutes
- arrêter la pompe de lavage
- alimenter de nouveau le tableau électrique de l'osmose
- presser rinçages manuel de l'osmose pour trois ou quatre fois

➤ **Mise en conservation :**

- écrire les paramètres avant le lavage chimique sur le tableau de l'osmose
- remplirai le bac de lavage jusqu'a 30 cm de niveau maximum avec eau traité .mettre 2kg de metabisulfite 1001 système de lavage dans une prise 380vac
- arrêter système à osmose inverse en tournant le disjoncteur générale en position< 0>
- insérer la pise électrique du système de lavage dans une prise vac
- connecter le tuyau flexible

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

- aller de la pompe sur la vanne de l'entrée.
- retour à partir de la vanne de sortie au bac de lavage.
- eau traitée à partir de la vanne de sortie au bac de lavage.
- fermer les vannes vsp1.

Recrercler pour 10 minutes .après fermer les vannes de l'enter et de sortie et déconnecter le tuyau de lavage.

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

Date et heure	Valeur	Pression Alimentation Filtration Sum (bar)	Pression Sortie filtre Sum	Pression Différentiel Filtration (bar)	Redox alimentation Osmose (mV)	pH alimentation osmose	Pression Alimentation 1-er étage (bar)	Pression Sortie 1-er étage (bar)	Pression différentiel 1-er étage (bar)	Pression sortie 2-er étage (bar)	Pression différentiel 2-er étage (bar)	Débit de perméat M ³ /h	Débit de concentré M ³ /h	Conductivité Permetet µS/cm QT2 RO	Analyse Chlorure libre alimentation Ppm Cl ₂
	Nominal	>1.5	>1	0.1	250	6.8	13.2	11.9	1.2	10.7	1.2	40	13		
	Démarrage														
	Limites	1	0.8	1.2	300	7.0	20.0	20.0	1.5	20.0	1.5	40	13	100	0
24-02-12		4,3	3,8	0,5	281	7,02	12,1	10,3	1,8	8,3	3,8	34,6	14,84	59,7	0
25-02-12		4,2	4	0,2	272	6,96	12	10	3	8,2	8,9	35	14,5	60,40	0
26-02-12		4,2	4	0,2	220	6,99	12	10	2	8	4	35,92	14,80	64,8	0
27-02-12		4,3	4	0,3	214	6,94	12	10	2	8	4	34,48	14,63	69	0
28-02-12		4,3	4	0,3	228	6,79	12,2	10	2,2	8	4,2	35,5	14,57	25,9	0
01-03-12		4,3	4	0,3	240	6,67	12,1	10,1	2	8,5	4,6	35,41	12,66	28,4	0
02-03-12		4,2	3,9	0,3	220	6,76	12,1	10	2,1	8	3,6	35,27	14,78	29	0
03-03-12		4,2	3,8	0,4	398	6,86	12	10,5	1,5	8	4	39,6	14,91	39,6	0
04-03-12		4,2	3,9	0,3	350	6,83	12,2	10,1	1,1	8,3	3,9	35,20	15,06	53	0
05-03-12		4,2	3,9	0,3	269	6,94	12,5	10,5	2	8,5	3,9	35,40	16,65	67	0

Tableau IV-05-tableau de contrôles système à osmose inverse modelé ORP après lavage

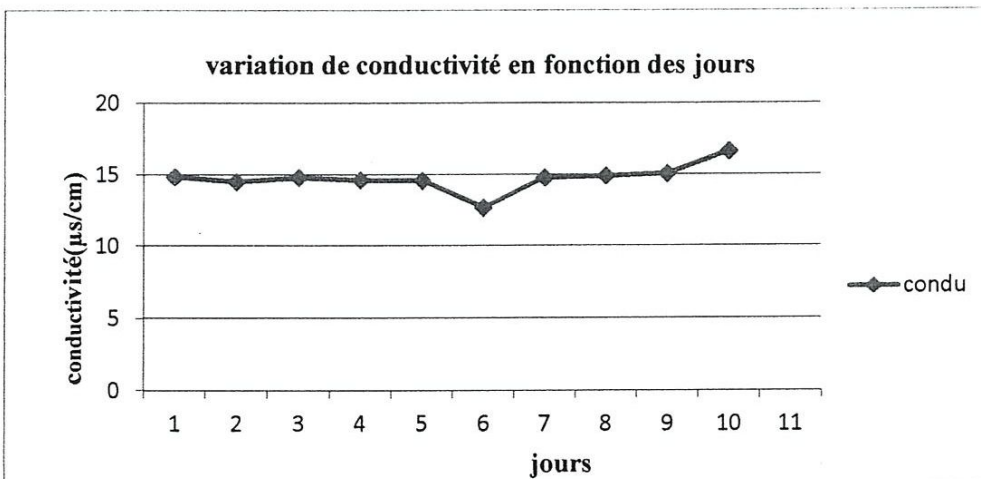
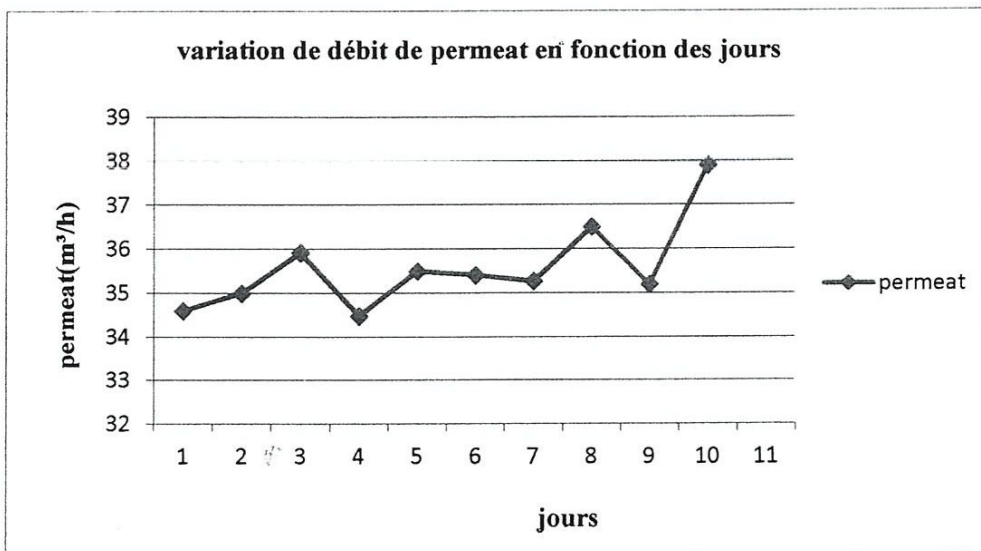
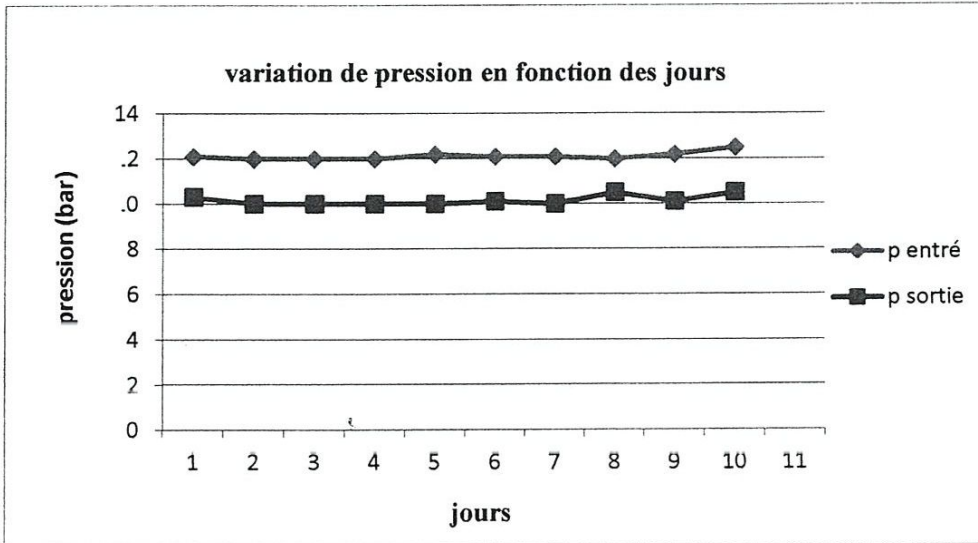


Figure VI- 6. Représente la variation des paramètres de l'osmose en fonction des mêmes jours

➤ **Interprétation sur le tableau après lavage :**

Après le lavage chimique de l'osmose on remarque que les paramètres de contrôles seront améliorés et reviennent à l'état normal.

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

OSMOSE INVERSE						OSMOSE INVERSE					
ENTREE						SORTIE					
Date et heure	PH	CON	CHLORURE	Cl ₂	TH	PH	CON	CHLORURE	Cl ₂	TH	
23-01-12 à 11 :30	8,04 à 19°	1651 à 19,7°	240	trace	34	6,43 à 20°	192,1 à 20,5°	35,5	0,00	40	
24-01-12 à 9 :45	8,05 à 25°	1815 à 25°	300	0,1	61	5,82 à 21°	89,1 à 21,2°	21,3	0,00	10	
25-01-12 à 8 :40	8,03 à 20°	1928 à 20,2°	300	0,3	64	6,27 à 21°	187,5 à 20°	28,4	0,00	20	
26-01-12 à 12 :50	8,02 à 21°	1968 à 21°	300	0,5	58	6,00 à 23°	98,4 à 23°	14,2	0,00	5	
29-01-12 à 8 :55	8,01 à 20°	1865 à 20,2°	320	0,3	52	6,50 à 22°	93,8 à 21°	21,3	0,00	20	
31-01-12 à 10 :05	8,00 à 22°	1709 à 22,1°	270	1	46	5,69 à 69	95,7	21,3	0,00	10	
02-02-12 à 10 :30	8,06 à 19°	1654 à 19°	-	0,1	44	5,72 à 21°	87,5	20	0,00	10	
07-02-12 à 11 :30	8,27 à 23°	1684 à 22,9°	240	0,35	38	5,16 à 18°	67,3 à 7,8°	20	0,00	10	
09-02-12 à 11 :35	8,16 à 22°	1893 à 21°	280	0,4	48	5,75 à 21°	66,2 à 19,9°	14,2	0,00	5	
12-02-12 à 15 :30	8,18 à 21°	1884 à 21°	260	0,1	46	5,70 à 21°	73,6 à 20,6°	20	0,00	10	
13-02-12 à 11 :25	8,25 à 20°	1864 à 20°	240	0,1	45	5,61 à 21°	77,3	20	0,00	10	
15-02-12 à 14 :40	7,57 à 23°	1150 à 23°	120	0,00	32	5,78 à 19°	76,1 à 19,1°	14,2	0,00	5	

Tableau IV-6 : Tableau d'analyse de l'osmose inverse

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

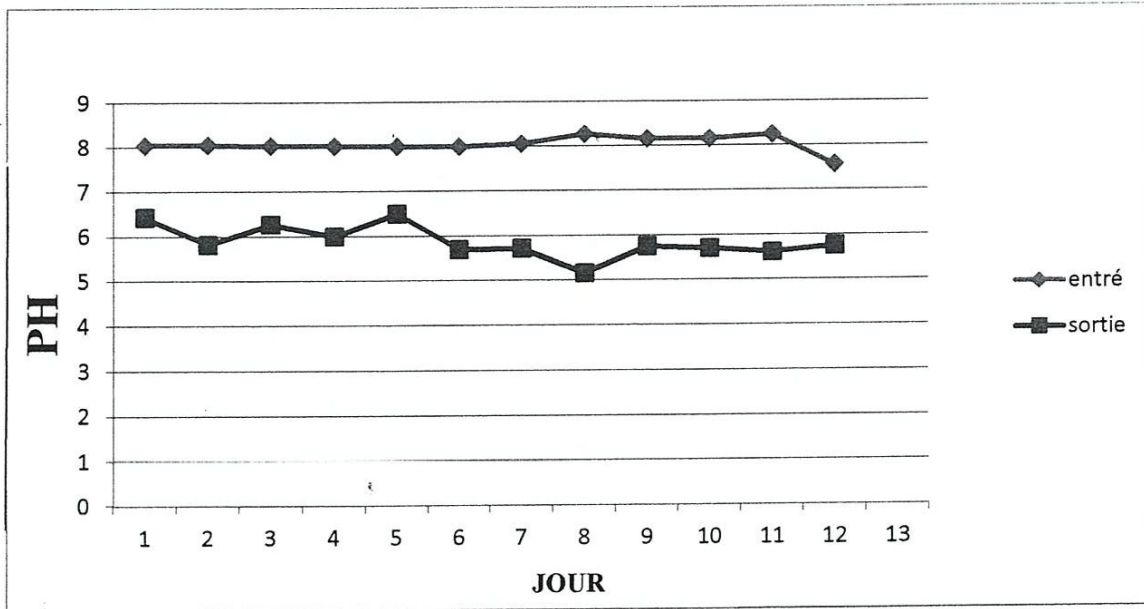


Figure IV- 07. graphe d'analyse de PH dans l'entrée et la sortie de l'osmose inverse

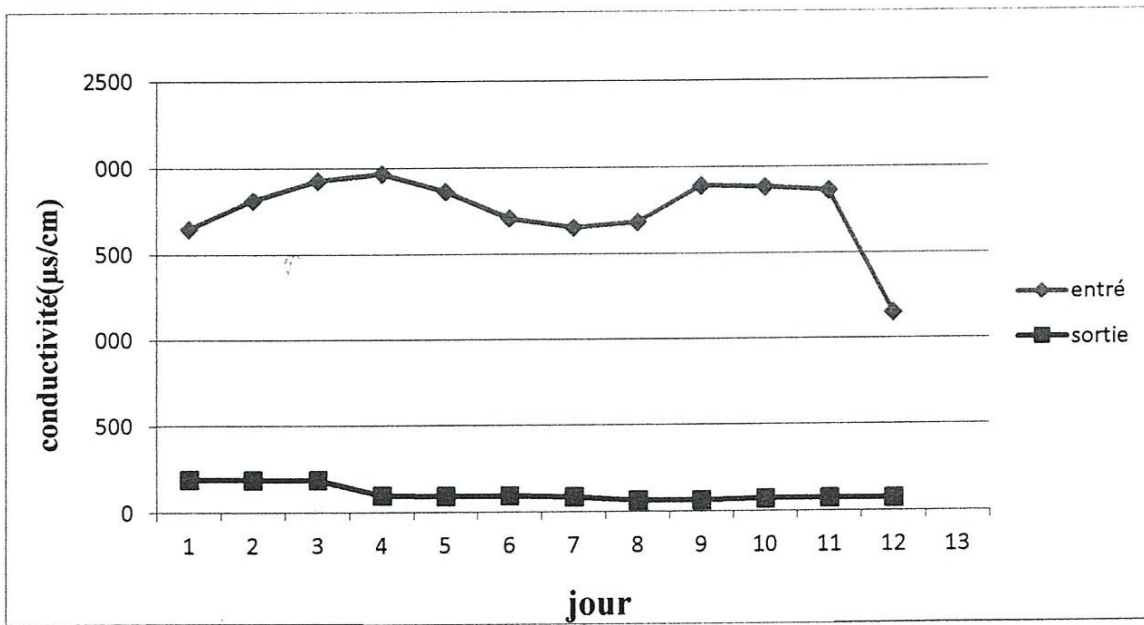


Figure IV- 08 .graphe d'analyse de la conductivité dans l'entrée et la sortie de l'osmose inverse

Chapitre IV : Etude pratique de l'osmose inverse

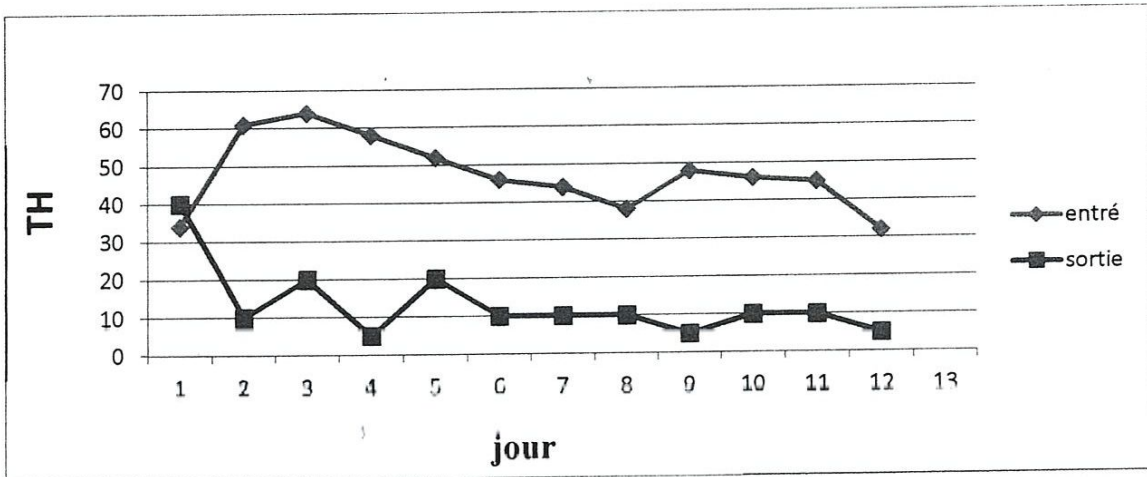


Figure IV-09 . Variation de titre hydrotimétrique dans l'entrée et sortie de l'osmose inverse

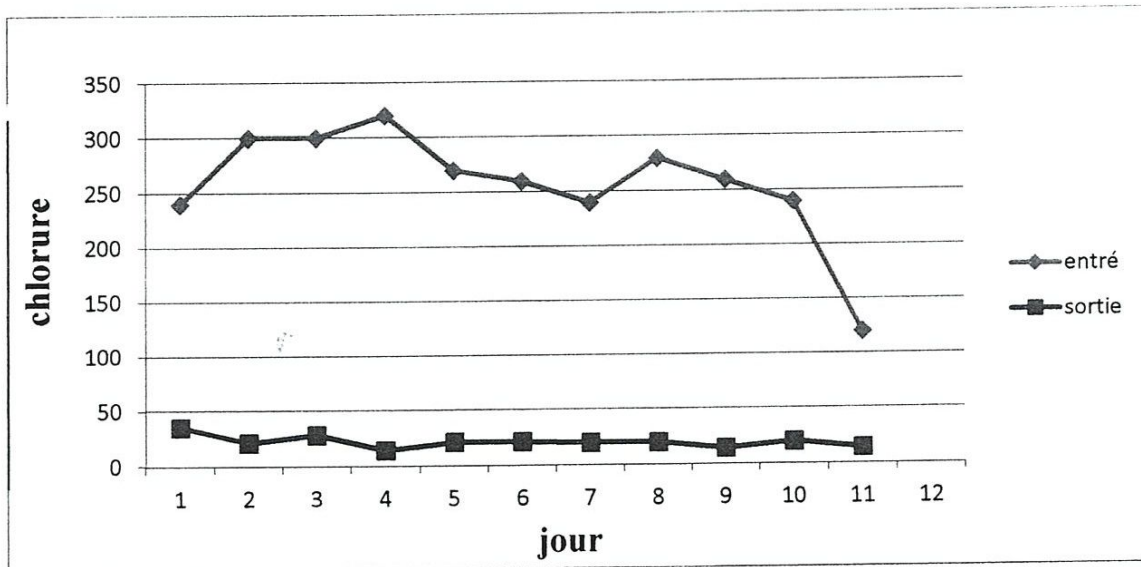


Figure IV-10 . Variation de titre chlorure dans l'entrée et sortie de l'osmose inverse

➤ **Interprétation des graphes d'analyse de l'osmose inverse :**

Dans la figure IV- 07 on a tracé le pH en fonction des jours, on remarque dans l'entrée de l'osmose inverse qu'il y a une augmentation du pH d'un intervalle de [7,57 à 8,27], mais à la sortie il y a une diminution du pH [5,18 à 6,50] la cause de ce phénomène résulte que les membranes appliquent leur fonctionnement et le milieu reste toujours acide pour éviter le phénomène de colmatage (les carbonates et les bicarbonates deviennent soluble dans le milieu acide).

Pour la figure IV-08 on a noté la même remarque, la conductivité dans l'entrée et plus élevée que dans la sortie c'est à dire l'osmoseur a travaillé son fonctionnement de d'élimination des sels minéraux de l'eau potable.

En ce qui concerne Les figure numéro (IV- 09et IV-10) c'est les mêmes remarques précédentes c'est à dire il y'a une élimination des sels de Ca^{+2} et Mg^{+2} et du chlorure.

A la fin on dit que l'osmoseur a travaillé son fonctionnement qui consiste à l'élimination des sels minéraux.

Conclusion générale

Conclusion :

Le procédé d'osmose inverse est de plus en plus utilisé pour le traitement d'effluents et permet d'éliminer, une grande variété de molécules.

Il est rarement utilisé seul au niveau industriel. Selon le but à atteindre, les unités d'osmose inverse peuvent être couplées à des prés ou des post traitements.

Il apparaît un fort souci de recyclage du perméat (irrigation, refroidissement,

Chaudières...) et du retentât, mais il est en général plus difficile de trouver une utilité à

Ce dernier. Il existe des exemples de traitements de condensats et de rétention de molécules Organiques.

Il est donc envisageable d'utiliser ce procédé pour le traitement des condensats de distilleries.

Les performances des différentes membranes choisies sont comparées en termes de taux de rétention et de colmatage. Les membranes les plus intéressantes sont ensuite testées avec un pilote de taille plus importante, en général avec un module spiral. Cela permet d'optimiser les paramètres de fonctionnement.

Référence bibliographique