

N° d'ordre : 09/2011-M/G.P

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne
U.S.T.H.B
Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procèdes



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

En : GÉNIE DES PROCÉDES

Spécialité : Génie de l'Environnement

Par : Mlle BOUSSEKINE Naima

Thème

**Contribution de la nanofiltration au traitement des
eaux du lac de Reghaia
- Elimination des métaux lourds -**

Soutenu publiquement, le 08/06/2011, devant le jury composé de :

Mr D.ABDESSEMED	Professeur à l'USTHB	Président
Mme R.MAACHI	Professeur à l'USTHB	Directrice du mémoire
Mme H.MOHRANI	Maitre de conférences /A, à l'USTHB	Examinatrice
Mr M.TALEB AHMED	Maitre de conférence /A, à l'USTHB	Examineur

Remerciements

Le présent travail a été réalisé au laboratoire de Génie de la Réaction Chimique (L.G.R), du département de Génie des Procédés, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés (USTHB).

Je remercie d'abord le bon dieu de m'avoir donné du courage et de la patience pour pouvoir mener à bien ce travail.

Je remercie profondément Mme R.MAACHI qui m'a grand ouvert les portes de son laboratoire, pour la confiance qu'elle m'a donné en me proposant ce sujet et pour son soutien moral et matériel.

Je remercie vivement M A. Taleb chargé de cours à l'USTHB, pour son soutien moral, ses conseils et orientations qui m'ont permis de réaliser ce travail.

Je remercie également, M D.ABDESSEMED et Mme MOGHRANI qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger ce travail.

Enfin je tiens à remercier mon cher mari pour son soutien moral, ses encouragements et son dévouement.

Liste des photos

- Photo I.1** : Vue du lac
- Photo I.2** : Ecosystème lacustre
- Photo I.3** : Ecosystème marécageux
- Photo I.4** : Ecosystème forestier
- Photo I.5** : Ecosystème dunaire
- Photo I.6** : Marmaronetta angustirostris
- Photo I.7** : Sarcelle marbré
- Photo I.8** : Aythya fuligula
- Photo I.9** : Erismature à tête blanche
- PhotoVI.1** : Prélèvement dans le lac
- PhotoVI.2** : Prélèvement dans la station d'épuration
- PhotoVI.3** : Appareillage de jar-test
- PhotoVI.4** : Dispositif expérimental de la nanofiltration

Liste des figures

- Figure I.1** : Schéma indiquant les sources de pollution du lac
- Figure I.2** : Représentation schématique de la DCO des eaux du lac
- Figure I.3** : Vue de la station d'épuration de Reghaia
- Figure III.1** : Structure des colloïdes
- Figure IV.1** : Configuration d'un module spiralé
- Figure IV.2** : Domaine d'application de la microfiltration
- Figure IV.3** : Domaine d'application de l'ultrafiltration
- Figure IV.4** : Domaine d'application de la nanofiltration
- Figure IV.5** : Domaine d'application de l'osmose inverse
- Figure V.1** : Emplacement de la nanofiltration
- Figure V.2** : Structure d'une membrane de nanofiltration
- Figure V.3** : Profil de la vitesse d'écoulement en présence du phénomène de polarisation de concentration.
- Figure V.4** : Formation de la couche de polarisation
- Figure V.5** : Accumulation des différentes matières sur, dans et au voisinage de la membrane.
- Figure V.6** : Rétrécissement des pores
- Figure V.7** : Formation du gâteau
- Figure V.8** : Blocage des pores
- Figure VI.1** : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.2** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.3** : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.4** : Variation des paramètres avant et après traitement
- Figure VI.5** : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.6** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.7** : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.8** : Variation du pH en fonction de la concentration du floculant
- Figure VI.9** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du floculant
- FigureVI.10** : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du floculant
- FigureVI.11** : Variation des paramètres de pollution avant et après traitement
- FigureVI.12** : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.13** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.14** : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant
- Figure VI.15** : Variation du pH en fonction de la concentration du floculant

Figure VI .16 : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du flocculant
Figure VI .17 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant
Figure VI .18 : Variation des paramètres de pollution avant et après traitement
Figure VI .19 : Représentation graphique du flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire
Figure IV.20 : Evolution du débit du perméat en fonction de la pression transmembranaire
Figure IV.21 : Evolution des débits du retentât en fonction de la pression transmembranaire
Figure IV.22 : Conductivité résiduelle en fonction de la pression transmembranaire
Figure IV.23 : Turbidité résiduelle en fonction de la pression transmembranaire
Figure IV.24 : DCO résiduelle en fonction de la pression transmembranaire

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les températures enregistrées
Tableau I.2 : Les précipitations enregistrées
Tableau I.3 : Différents polluants générés par les unités industrielles
Tableau I.4 : Qualité des eaux du lac (ANRH, premier semestre 2007)
Tableau I.5 : Qualité des eaux du lac (ANRH ,deuxième semestre 2007)
Tableau I.6 : Qualité physico-chimiques des eaux du lac avant et après installation de la station d'épuration
Tableau I.7 : Paramètres physico-chimiques au niveau de la STEP (Service technique, 2009).
Tableau II.1 : Teneurs en métaux lourds dans les végétaux irrigués par les eaux du lac en 1990
Tableau II.2 : Teneurs en métaux dans l'Oued de Régaia en 1989
Tableau IV.1 : Avantages et inconvénients des différents types de modules
Tableau IV.2 : Types de solutions de nettoyage adéquates pour chaque type de dépôt
Tableau IV.3 : Ordre de grandeurs de quelques propriétés des membranes
Tableau V.1 : Substances responsables du colmatage membranaire
Tableau V.2 : Types de solutions de nettoyage adéquates pour chaque type de dépôt
Tableau V.3 : Les différentes applications de la nonofiltration
Tableau VI.1 : Caractéristiques des eaux de la station d'épuration et du lac (ANRH, école de police, février 2008)
Tableau VI.2 : Concentration des métaux dans les eaux de la station d'épuration et du lac (Ecole de police, février 2008)
Tableau VI.3 : Résultats du suivi des eaux de la S.T.E.P avant et après traitement Biologique (Service technique de la station d'épuration)
Tableau VI.4 : Charge métallique avant et après introduction du module biologique.
Tableau VI.5 : Caractéristiques des eaux du lac et de la S.T.E.P
Tableau VI.6 : Concentration de quelques métaux dans les eaux du lac et de la station d'épuration (Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable, Mai 2010)
Tableau VI.7 : Résultats d'essais de coagulation sur les eaux du lac (Prélèvement du mois d'avril 2010)
Tableau VI.8 : Résultats d'essais de coagulation sur les eaux de la station d'épuration (Prélèvement du mois d'avril 2010)
Tableau IV.9 : Flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire
Tableau IV.10 : Evolution des différents paramètres en fonction de la pression transmembranaire (Prélèvement du mois de Mai 2010)

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE HUMIDE DE REGHAIA	
I.1 Présentation de la zone humide	3
I.1.1 Caractéristiques physiques	4
I.1.2 Importance de la zone humide	6
I.1.3 Menaces	9
I.1.4 Actions de protection	9
I.1.5 Intérêt scientifique	9
I. 2. Les différentes formes de pollution	10
I. 2.1 La pollution urbaine	10
I. 2.2 La pollution industrielle	10
I. 2.3 La pollution agricole	11
I. 2.4 La dégradation du paysage naturel	12
I. 3 La qualité des eaux du lac	12
I.4 Influence de la station d'épuration sur les eaux du lac	15
CHAPITRE II : POLLUTION DU LAC PAR LES MÉTAUX LOURDS	
II.1 Généralités sur les métaux lourds	18
II.1.1. Définition	18
II.1.2. Omniprésence de quelques métaux lourds	18
II.1. 3. Contamination de l'environnement	19
II.1.4 Concentration des métaux lourds le long des chaînes trophiques	20
II.1. 5 Nuisances causées par les métaux lourds	20
II.2 Pollution des eaux par les métaux lourds	21
CHAPITRE III : LA COAGULATION- FLOCCULATION	
III .1 Principe	23
III .2 Structure des colloïdes	23
III .3 La coagulation	24
III .4 La floculation	25

CHAPITRE IV : FILTRATION SUR MEMBRANES	
IV.1 Généralités sur les membranes	27
IV.1.1 Définition	27
IV.1.2 Classification des membranes	27
IV.1.3 Caractéristiques des membranes	29
IV.1.4 Les modules	30
IV.1.5 Techniques de nettoyage des membranes	33
IV.2. Procédés membranaires à gradient de pression	34
IV.2.1 Microfiltration (MF)	34
IV.2.2 Ultrafiltration (UF)	35
IV.2.3 Nanofiltration (NF)	36
IV.2.4 Osmose inverse (OI)	36
CHAPITRE V : LA NANOFILTRATION	
V. 1 Définition	38
V. 2 Structure des membranes	38
V. 3 Mécanismes de séparation des membranes	39
V. 4 Performances et avantages des membranes	40
V. 5 Facteurs limites du procédé	40
V. 6 Secteurs d'application de la nanofiltration	45
CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSION	
VI.1 Prélèvement et caractérisation	46
VI.1.1 Prélèvement	46
VI.1.2 Caractérisation des échantillons prélevés	48
VI.2 Etude expérimentale de la coagulation - floculation	53
VI.2.1. Matériel de mesure	53
VI.2.2 Méthode	53
VI.3 Etude expérimentale de la nanofiltration	55
VI.3.1 Matériel	55
VI.3.1.1 Description du pilote de nanofiltration	55
VI.3.1 .2 Caractéristiques de la membrane	55
VI.3.2 Méthodes	56
VI.3.2 .1 Détermination de la perméabilité de la membrane	56
VI.3.2 .2 Couplage de la coagulation - floculation et de la nanofiltration	56

VI.4 Résultats	58
VI.4 .1 Résultats des essais de coagulation – floculation	58
VI.4 .1 .1 Eaux prélevées avant l'introduction du module biologique	58
VI.4 .1 .2 Eaux prélevées après l'introduction du module biologique	60
VI .4.1.3 Interprétations des résultats	69
VI.4 .2 Résultats des essais de nanofiltration	70
VI.4 .2.1 La perméabilité hydraulique	70
VI.4 .2.2 Couplage coagulation – floculation et la nanofiltration	71
CONCLUSION GENERALE	74

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La pollution des eaux est un problème majeur qui préoccupe l'homme dans sa lutte pour améliorer les conditions de vie et sauvegarder la nature.

L'Algérie, comme de nombreux autres pays, est également concernée par ce problème et œuvre pour améliorer et développer les conditions de vie. Une sensibilité de plus en plus grande, tant au niveau politique qu'au niveau médiatique a pris naissance depuis quelques années.

Les eaux de surface sont souvent disponibles en plus grandes quantités que les eaux souterraines mais elles sont plus vulnérables aux sources de pollutions naturelles et anthropiques.

La lutte contre cette pollution est d'autant plus difficile que ce qui est au fond de l'eau, ou dilué dans l'eau est souvent invisible, et que certains toxiques infiltrés dans le sol ne produisent souvent leurs effets qu'après un long délai et que de nombreux polluants agissent en synergies complexes.

Le lac de Reghaia est l'un des sites naturels les plus importants en Algérie d'où sa classification le 04 Juin 2003 dans la convention de Ramsar relative aux zones humides d'importance internationale. Dernier vestige de l'ancienne Mitidja, il est actuellement l'unique zone humide de la région biogéographique de l'Algérois.

Mais du fait de sa proximité de la zone industrielle, urbaine et agricole, le lac est le réceptacle direct de divers types de rejets urbains et industriels .Il reçoit quotidiennement environ 80 000 m³ d'eau polluées dont une partie en provenance de la station d'épuration des eaux usées qui fonctionne depuis 1997.

Les eaux usées industrielles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures.

La présence des métaux dans les eaux du lac constitue une vraie menace pour les écosystèmes présents et leur accumulation dans la chaîne alimentaire au biais des cultures irriguées peut porter atteinte à la santé de l'homme.

C'est dans ce cadre de recherche que nous avons porté notre attention en examinant les conséquences de ces rejets sur la pollution du lac notamment la contamination en métaux lourds.

Notre travail est scindé en deux grandes parties :

Une partie théorique qui nous fournis les informations nécessaires et les outils de compréhension du sujet. Elle comprend :

- ✓ Une présentation détaillée du lac
- ✓ Un volet sur les métaux lourds et leur effet fatal sur la faune, la flore et la santé de l'homme en général
- ✓ Un volet sur les techniques membranaires leur principe de fonctionnement en privilégiant la nanofiltration procédé choisi pour l'étude d'élimination des métaux lourds et des autres paramètres de pollution.

Une partie expérimentale qui cible deux objectifs :

- ✓ Un bilan de pollution caractérisant les eaux de la station d'épuration et ceux du lac en privilégiant la présence des trace de métaux lourd, métaux non biodégradables et persistants dans l'environnement et qui se transmettent par la chaîne alimentaire et s'accumulent dans les organes.
- ✓ Traitement par nanofiltration qui est un procédé de filtration membranaire récemment développé qui se situe entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Ce type de procédés est relativement simple d'opération ne génère aucun sous-produit. Toutefois, le colmatage des membranes est généralement considéré comme un facteur limitant puisque cela tend à diminuer la productivité des systèmes membranaires et à augmenter la consommation de produits nettoyants et d'énergie.

Afin d'y remédier au problème de colmatage on a proposé un prétraitement par le procédé de coagulation - floculation.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DU LAC DE REGHAIA

I.1 Présentation de la zone humide [1] [2] [3]

La zone humide de Reghaia, se situe à cheval entre les deux communes, Heraoua et Reghaia, à 30 Km d'Alger et à la limite Nord-Est de la Mitidja.

Le lac correspond à l'estuaire de l'oued de Reghaia dont l'embouchure est barrée par un cordon dunaire.

Des marécages, à roseaux et scirpes, subsistent d'une part en aval de la digue et d'autre part sur les rives et dans les points amont du lac.

Le site s'étend sur plus de 3 km de long dans le sens Nord-Sud et plus de 500 mètres de large, il couvre une superficie de 1.100 ha intégrant l'île Agueli qui fait face aux marais à un kilomètre en mer et qui permet des échanges du point de vue ornithologique, notamment pour les Laridés, les grands Cormoran et le Martinet noir.

Le plan d'eau couvre une superficie variant de 75 à 150 ha avec une profondeur de 5 à 6 m.



Carte I.1 : Situation géographique du lac de Reghaia



Photo I.1 : Vue du le lac

I.1.1 Caractéristiques physiques [1]

I.1.1.1 La géologie

Située au Nord Est de la plaine de la Mitidja, la zone se caractérise par un synclinal néogène de dépôts fins du miocène et du plio-quaternaire).

Cette formation géologique est passée par un plissement puis un remblaiement .Les principaux faciès géologiques sont de type alluvionnaire et marécageux, ceux datant du quaternaire récent et actuel se composent de dépôts marins et lacustres, d'alluvions récents caillouteux et limoneux, de dunes consolidées, de grès marins, de sable argileux et d'alluvions anciens datant du quaternaire.

I.1.1.2 La géomorphologie

La zone est localisée sur un plateau central surélevé de la région de Reghaia. Sa surface, profondément creusée par de nombreuses vallées torrentielles, a une configuration ondulée sillonnée par l'Oued Reghaia qui forme une petite vallée étroite comprenant deux versants :

- Le versant Est, appartenant anciennement aux domaines agricoles de Saïdani et Ali Khodja, est actuellement occupé par un Centre Cynégétique et une Station de Pompage.
- Le versant Ouest, est occupé par le Douar Aïn El Khahla et le domaine agricole de Boudhane.

A la partie Nord de la vallée s'allongent des dunes, plus ou moins fixées, qui séparent l'embouchure de l'Oued Reghaia de la mer.

I.1.1.3 La Pédologie

La zone littorale de Reghaia présente un sol à tendance sablo-limoneuse, par contre la partie centrale, caractérisée par une terre fertile à tendance argileuse, est constituée par des sols bruns méditerranéens et des sols rouges brunifiés.

I.1.1.4 L'hydrologie

Les eaux du lac proviennent des précipitations et du ruissellement des eaux des nappes phréatiques à l'origine de la formation du lac, ce dernier est alimenté par trois cours d'eau :

- L'Oued Reghaia, dont le bassin versant atteint 75 km², une partie atteignant 25km² est constituée par un territoire monticuleux, le reste est une plaine inclinée vers la mer. Il est alimenté par deux affluents à savoir Oued Guesbaï et Oued Berraba.
- L'Oued El Biar, prenant naissance aux environs de la zone industrielle de Rouiba-Reghaia, traverse une grande partie des champs agricoles avant de se déverser au niveau du lac. Sa longueur atteint 4 075 mètres et son bassin versant 20 km².

- L'Oued Boureah, un affluent de l'Oued El Hamiz, qui prend naissance près de la ville de Rouiba. Il draine les eaux de ruissellement des terres agricoles de la Plaine de la Mitidja dans sa partie Nord-Est. Son bassin versant atteint 20 km².

Le marais de Reghaia est pourvu d'une station de pompage équipée de trois pompes verticales d'une capacité de 350 l/s chacune qui alimentent le réseau d'irrigation d'un périmètre agricole de plus de 1.200 hectares.

Grâce à une station d'épuration installée en amont de la retenue, le lac reçoit quotidiennement une quantité importante d'eau d'origine industrielle (20.000 m³/j) et urbaine (7000 m³/j).

Malgré la diminution en Eté des quantités d'eau provenant des unités industrielles (période des congés), le pompage est à son optimum et la réserve du lac est plus ou moins maintenue pour assurer une certaine capacité d'accueil pour les oiseaux d'eau jusqu'aux premières pluies.

Les eaux du lac sont douces mais assez polluées par les divers rejets industriels, urbains et agricoles.

I.1.1.5 Les données climatiques

Les données climatiques rassemblées dans les tableaux 2 et 3 sont ceux de la station la plus proche (Dar El-Beida) de 1987 à 1997.

Le mois de janvier représente le mois le plus pluvieux soit 839,4 mm et le mois de juillet représente le mois le plus sec soit 53,1mm.

Tableau I.1 : Températures enregistrées

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moyenne Des Températures (°C)	11.4	11.7	13.2	14.8	18.4	22.0	25.1	26.6	23.9	20.1	15.7	12.9

La température la plus élevée caractérise la période estivale 26.6 °C (Août).

La température la plus faible caractérise la période hivernale 11.4 °C (Janvier).

Tableau I.2 : Les précipitations enregistrées

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Précipitation (mm)	839.4	742.6	484.9	479.7	281.9	168.9	53.1	89.6	321.4	510.0	788.5	800.0

❖ L'Humidité

La période humide englobe les trois saisons (automne, hiver, et printemps) et la période sèche correspond à l'été.

❖ Les Vents

Ils sont d'habitude faibles à modérés, la direction prédominante est de Nord-Ouest. Le sirocco souffle en moyenne 5 jours par an et les orages sont fréquents, surtout en hiver et en automne avec en moyenne 23.3 jours/an.

Synthèse climatique

Le climat de la région est méditerranéen caractérisé par une saison humide de 7 mois et une saison sèche correspondant à la période estivale d'une durée de 5 mois. La zone humide est située dans l'étage bioclimatique sub-humide caractérisé par des étés secs et chauds et par des hivers doux et humides.

I.1.2 Importance de la zone humide

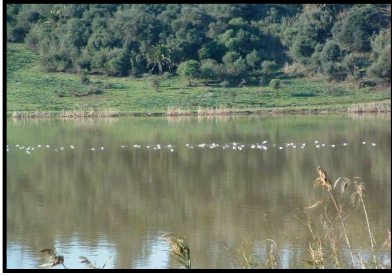



L'importance de la zone humide a permis sa classification le 04 Juin 2003 dans la convention de Ramsar relative aux zones humides d'importance internationale, signée à Ramsar (Iran) en 1971, qui vise à assurer l'utilisation rationnelle et durable des ressources en zones humides et à garantir leur conservation.

Les critères de son classement sont : [4]

- l'histoire (dernier vestige de la Mitidja)
- diversité des écosystèmes
- richesse en faune et flore
- milieu d'hivernage pour les oiseaux migrateurs
- étape de migration des oiseaux
- position entre le marin et le continental.

❖ Les écosystèmes de la zone humide [4]

Les écosystèmes recensés au niveau du lac sont les suivants :

	
Photo I.2 : écosystème lacustre	Photo I.3 : écosystème marécageux
	
Photo I.4 : écosystème forestier	Photo I.5 : écosystème dunaire

❖ **Richesse faunistique [1] [4]**

La zone humide de Reghaia a révélé une richesse et une diversité insoupçonnées non seulement en oiseaux migrateurs hivernants mais aussi en nicheurs rares. On recense :

- 20 mammifères.
- 09 espèces entre reptiles et amphibiens.
- 203 espèces d'oiseaux. On dénombre 82 oiseaux d'eau dont :
 - 55 espèces protégées par la législation algérienne;
 - 04 espèces rares à l'échelle internationale.

	
Photo I.6 : <i>Marmaronetta angustirostris</i>	Photo I.7 : <i>Sarcelle marbré</i>
	
Photo I.8 : <i>Aythya fuligula</i>	Photo I.9 : <i>Erismature à tête blanche</i>

La position géographique de Reghaia, à mi chemin des zones humides de l'oranie et d'El Kala, et face à la Camargue, offre un réel intérêt en matière de migration et d'hivernage des oiseaux dans l'Ouest de la mer Méditerranée.

❖ Richesse floristique [1]

La zone humide de Reghaia présente une richesse floristique non négligeable, estimée à un minimum de 233 espèces végétales recensées, soit l'équivalent de 13% de la flore du Nord de l'Algérie.

La distribution de cette flore est conditionnée par l'hydromorphie et l'halomorphie du sol qui génère la stratification spatiale suivante :

- Les groupements hygrophiles, liés à la présence de l'eau, se développent en bandes vertes dans les zones marécageuses en aval, en amont et sur la rive Est du lac. Cette végétation sert de refuge aux oiseaux.
- La zone de transition située entre le lac et le cordon dunaire où subsistent les vestiges du marais lagunaire se composant de phragmitaies à *Phragmites communis* mêlées de *Tamarix africana* et de massettes *Typha latifolia* envahis par un groupement halophile à *Plantago coronopus*.

- Les terrains en pente entourant le lac sont occupés par un important maquis et quelques bosquets d'*Eucalyptus camaldulensis*. Le cortège floristique du maquis est composé principalement de *Pistacia lentiscus* et *Olea europaea* ainsi que *Hedera helix*, *Smilax aspera* et *Asparagus acutifolius*

L'écran végétal constitué par le maquis et la roselière assure une protection de l'avifaune contre les vents, les prédateurs terrestres et les perturbations liées essentiellement à l'homme et à son bétail. Il augmente les chances de nidification pour les oiseaux.

I.1.3 Les menaces [4]

- Réceptacle divers types de polluants (plus de 80 000 m³ d'eaux polluées par jour)
- Station d'épuration source d'apport d'eau dont le traitement se limite au mécanique
- Sur exploitation des eaux du lac pour l'irrigation
- Sur fréquentation estivale de la zone marine
- Extraction de sable
- Urbanisation anarchique
- Surpâturage et braconnage
- Décharges anarchiques.

I.1.4 Actions de protection [1] [2]

Le Centre Cynégétique de Reghaia fait partie du réseau Nord-africain des zones humides; il prépare un dossier de classement de la zone en réserve nationale. Le Centre assure aussi le suivi des aménagements subventionnés par le Fonds mondial de la protection de la nature. Les aménagements réalisés sont :

- Un centre d'éducation et de sensibilisation du public
- Un observatoire
- Un centre nature pour enfants
- Un laboratoire
- Un centre de lecture.

La réserve naturelle de Reghaia est considérée comme une opération pilote pour les zones humides, elle fait partie d'un projet qui prend en charge l'Algérie, la Tunisie et le Maroc. Les actions prévues consistent en :

- La réalisation d'un plan de gestion de la réserve
- L'aménagement des sentiers pédestres
- La clôture du cordon dunaire.

I.1.5 Intérêt scientifique du lac

Par sa position géographique proche des grands ensembles universitaires (Alger, Blida, Boumerdes), le lac de Reghaia a, de tous temps, suscité la curiosité et l'intérêt des scientifiques.

I. 2 Les différentes formes de pollution [3]

I. 2.1 La pollution urbaine

Le marais de Reghaia est situé dans une zone urbaine à forte densité et charge polluante; ce plan d'eau reçoit quotidiennement toutes les eaux usées de la commune et celles qui lui sont limitrophes – commune de Haraoua et Boudoua El Bahri partiellement traitées par la station de Reghaia provoquant par voie de conséquence sa pollution voir même son altération (véritable égout à ciel ouvert).

Des bidonvilles y sont implantés. Une population, pour des raisons sécuritaires, est venue s'implanter dans ce site, contribuant et accélérant les effets de la pollution sur celui-ci. En effet la visite du marais, révèle que des rejets d'eaux usées émanant des habitations se font à ciel ouvert et aboutissent jusqu'au plan d'eau.

D'autres répercussions négatives sur l'environnement se sont produites suite à une situation d'assainissement non maîtrisée, traduite par un réseau d'assainissement de type unitaire, ne couvrant pas la totalité du périmètre.

I. 2.2. La pollution industrielle

La zone industrielle (Rouiba-Reghaia), située au sud de la zone humide, renferme des activités polluantes dont les plus importantes sont indiquées sur le tableau suivant :

Tableau I.3 : Différents polluants générés par les unités industrielles

Unité	Caractéristiques des effluents
SNVI	Huiles Substances minérales dissoutes Corps en émulsion ou en solution Mercure Acétone
SNTA 01 SNTA 02	Chlorates, potassium, soufre et paraffine
ANNABIB	diluant, catalyseur, oxygène, peinture et bitume
ENAD SH	Alcool, crème, savon
EMAL	Eau, levure, résidu de distillation de l'alcool Matières organiques dissoutes (azote, aldéhyde, amidon fermenté, cétones)
TAMEG tannerie CHEBOUB tannerie Safci –Cuire SAFGI	Métaux lourds de sels Sulfure de chaux Boues toxiques avec une odeur pénétrante
FRUITAL COCA COLA PEPSI SIROP OUAHIB	Matière en suspension, colorants, polluants biodégradables fermentescibles

I. 2.3 La pollution agricole

Ceinturé par des terres agricoles les plus fertiles de la région, cet ancien vestige de la Mitidja est exposé au risque d'une pollution due à l'utilisation des fertilisants qui, par dissolution et ruissellement, contaminent les eaux souterraines et superficielles.

Les différents pompages qui s'exercent sur le lac à des fins d'irrigation ont aussi enregistré des incidences négatives sur le milieu, telles que : la diminution du niveau de l'eau et l'augmentation de l'intensité de la pollution.

I. 2.4 La dégradation du paysage naturel

Une pollution visuelle et des rejets à ciel ouvert sont générés par des bidonvilles occupant la zone intégrale de la réserve naturelle du lac, engendrant par voie de conséquence une altération et réduction du potentiel esthétique du site.

Le schéma ci dessous résume toutes les formes de pollutions que subites le lac et la zone humide de Reghaia.

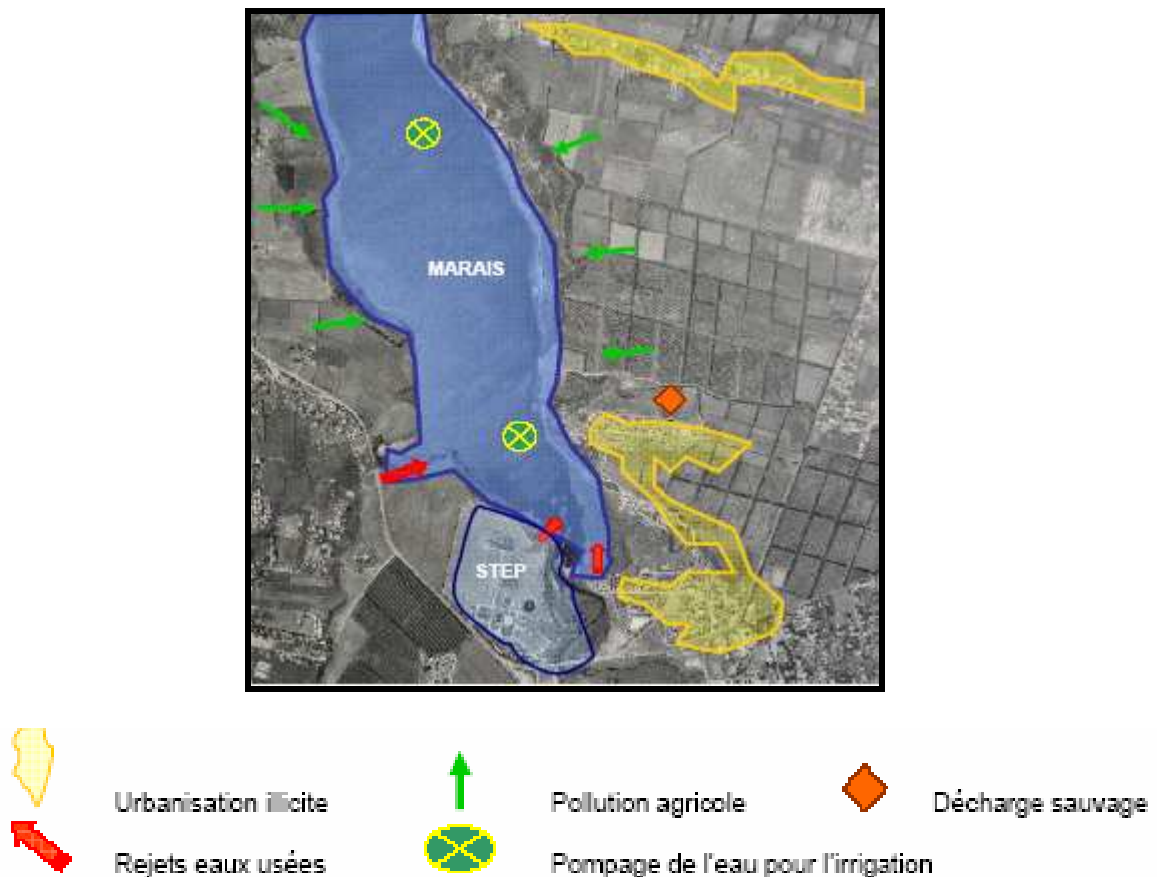


Figure I.1 : Schéma indiquant les sources de pollution du lac

I.3 La qualité des eaux du lac

L'agence nationale des ressources hydriques qui est chargée de contrôler la qualité des eaux du lac, a mis à notre disposition les résultats de la campagne d'analyses effectuée en l'année 2007. Les prélèvements ont été effectués en deux points; milieu et aval du lac et à une profondeur de 0,5 m. Les résultats sont regroupés dans les tableaux I.4 et I.5.

Tableau I.4 : Qualité des eaux du lac (ANRH, premier semestre 2007)

Mois Paramètre	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu
Température (°C)	14	14	17	16.5	16	15	20.5	21	23	23.5	28	28
PH	8.4	8.4	7.53	7.50	8.06	8.04	8.07	8.28	8.13	8.14	8.02	8.04
Conductivité (mS/cm)	1.94	1.93	2.07	2.07	1.84	1.86	1.73	1.72	1.98	1.99	2.08	2.08
Turbidité NTU	6.74 4.13	4.85 2.58	-	-	21.6 19.1	25.3 16.0	2.26 2.08	2.93 2.92	2.88 2.49	3.84 2.92	9.09 8.33	-
O ₂ dissous (mg/l)	3	2.5	1.50	1.0	12	11	3.0	4.0	1.0	1.50	1.5	1.0
RS » »	1145	1162	1516	1504	1224	1354	1000	986	1370	1291	1294	1306
M.E.S » »	-	-	-	-	50	50	13.0	7.0	18.5	17.5	0	6.50
SO ₄ ²⁻ » »	210	220	300	284	212	200	205	210	270	260	245	265
NO ₃ ⁻ » »	4.6	1.48	env.0	env.0	2.24	2.35	1.23	1.39	0.02	0.05	0.91	0.36
NO ₂ ⁻ » »	1.66	0.21	0	0	0.60	0.58	0.44	0.50	0	0	0	0
DCO » »	62	80.1	50	43	70.0	65	62	63	74	79.6	88.0	59.0
DBO ₅ » »	17.3	13	8.40	8.70	10.4	18.4	25.0	25.5	-	-	-	-

Tableau I.5 : Qualité des eaux du lac (ANRH ,deuxième semestre 2007)

Mois Paramètre	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu	Aval	Milieu
Température (°C)	25	25	29	29	26	26	20	20	16	15.5	--	
PH	7.81	7.86	7.77	7.75	7.92	7.90	8.04	8.06	7.54	7.55		
Conductivité (ms/cm)	2.14	2.14	2.30	2.50	2.22	2.20	2.37	2.36	1.71	1.68		
Turbidité NTU	-	-	2.53	2.04	11.5	11.1	29	28	2.55	3.41		
			2.04	1.18	11.2	9.67	16.6	19.8	0.50	1.04		
O₂ dissous (mg/l)	1.5	1.0	9.0	8.0	7.5	9.0	2.0	2.0	6.0	5.0		
RS » »	1292	1448	1498	1490	1498	1490	1539	1546	1042	1020		
M.E.S » »	23	0	11	1.0	11	60	22.5	0	125	86		
SO₄²⁻ » »	212.0	220	350	350	248	250	209	205	200	210		
NO₃⁻ » »	0.62	0.65	0.46	0.40	0.46	0.40	0.67	0	2.35	2.28		
NO₂⁻ » »	0.75	1.07	0.09	0.08	0.09	0.08	0	0	0.61	0.61		
DCO » »	66.0	62.0	61.0	54.0	77.74	74.52	82	84	72.6	67		
DBO₅ » »	-	-	-	-	32.6	31.5	12	14	8.4	7.7		

Observations :

- Le pH des eaux oscille entre neutre et légèrement alcalin;
- La DCO comme montrée sur la figure suivante a enregistré sa valeur maximale pour l'année 2007 au mois de juin ceci revient au mode de vie adopté en été.

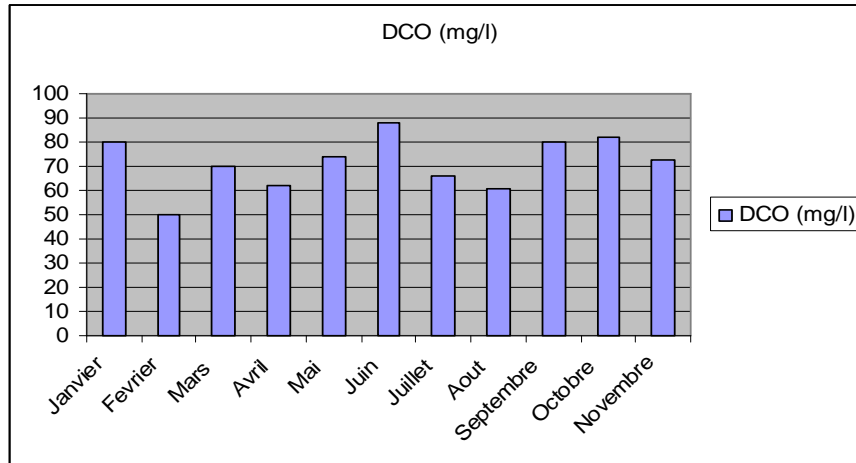


Figure I.2 : Représentation schématique de la DCO des eaux du lac

La valeur la plus élevée est enregistrée au mois du Septembre ceci s'explique par la nature des rejets en période estivale.

1.4 Influence de la station d'épuration sur les eaux du lac

La station d'épuration est opérationnelle depuis 1997, cette station qui assure uniquement le traitement primaire (dégrillage, désensablage et déshuilage) des eaux usées domestiques et industrielles, est prévue pour le traitement de 15 000 m³ d'eau par jour [8] en provenance de la zone industrielle, des rejets de la ville de Reghaia et d'une partie de celle de Heraoua. Ces apports supplémentaires ne peuvent être que bénéfiques à l'équilibre de l'écosystème de la zone humide notamment en saison sèche. Par contre, le mauvais fonctionnement ou l'arrêt de la station d'épuration, constituerait un inconvénient majeur et serait source de déséquilibre pour l'écosystème.

En cas de panne, la station recourt à des by-pass en déversant directement les eaux usées sans aucun traitement dans le lac.



Figure I.3 : vue sur la station d'épuration de Reghaia

Tableau I.6 : Qualité physico-chimiques des eaux du lac avant et après installation de la station d'épuration

Paramètres	Unités	Avant la mise en service de la STEP (1993)		STEP opérationnelle	Limites Normes officielles Algériennes*
		Amont lac (1993)	Lac (1993)	Lac (2000)	
Température	°C	20	20.56	20.6	<30
Conductivité	mS/cm	2.21	2.13	2.40	<3
PH	» »	7.43	7.39	7.80	6.5 - 8.5
DCO	» »	400	307	223.4	<120
MES	» »	479	355	585.2	<35
DBO	» »	114	53	70	<40
Ke=DCO/DBO	» »	3.5	5.8	9.3	<5
Cr	» »	<0.05	<0.05	0.05	<0.5
Hg	» »	<0.05	<0.05	0.01	<0.01
Cd	» »	<0.03	<0.03	0.05	<0.2
Zinc	» »	0.242	0.262	0.05	<3
Cu	» »	--	0.27	--	<0.5
Ni	» »	<0.06	<0.06	0.2	<0.5
Pb	» »	<0.1	<0.1	0.05	<0.5
CN	» »	<0.002	<0.002	--	<0.5

(*) Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (décret du 23 avril 2006)

La lecture du tableau permet de constater un état de dégradation avancée aussi bien des eaux de l'oued Reghaia que de celles du lac. En effet, tous les paramètres présentent des valeurs importantes avec la majorité des concentrations dépassant parfois largement les limites admissibles.

- Une minéralisation excessive dépassant les 2 mS/cm. Elle traduit la surconcentration des eaux due aux mélanges d'apports fortement chargés.
- Après la mise en service de la STEP, la DCO devient légèrement plus faible.
- Des charges en MES en augmentation par les eaux usées rejetés. La station de traitement avec ses procédés actuels n'extrait pas suffisamment de charge solide.
- Une DBO en augmentation, elle traduit un appauvrissement en oxygène et une évolution vers l'eutrophisation des eaux du lac.

L'introduction du module biologique dans la chaîne de traitements de la station d'épuration a permis un abattement important de la matière organique et des matières en suspension ceci se manifeste par une réduction remarquable de la demande chimique et biochimique en oxygène.

Tableau I.7 : Paramètres physico-chimiques au niveau de la STEP
(Service technique, 2009).

Paramètres	Eaux brutes	Eaux traitées
MES mg/L	383	9
DCO » »	553.5	27.33
DBO » »	263.5	7.83
Azote » »	-	7.13
P Total » »	-	1.50
Fe » »	-	<0.43
Pb » »	-	<0.10
Cr » »	-	<0.05
Cd » »	-	<0.01

PRÉSENTATION DU LAC DE REGHAIA

II.1 Généralités sur les métaux lourds [5]

II.1.1 Définition

Dans la convention de Genève, le protocole relatif aux métaux lourds désigné par le terme "métaux lourds" les métaux qui ont une masse volumique supérieure à $4,5 \text{ g/cm}^3$. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse.

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de **pollution** et de **toxicité** sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn)

II.1.2 Omniprésence de quelques métaux lourds

Pourquoi l'homme utilise-t-il des métaux lourds ?

La problématique des métaux lourds repose sur le fait qu'ils sont très utiles, voire indispensables à l'homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits, et se retrouvent à de nombreux niveaux : métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer.

II.1.2. 1 L'arsenic

L'arsenic a été largement utilisé en agriculture et dans l'industrie pour éliminer une multitude d'organismes ou en réduire le nombre. Les traitements fongicides pour les semences et l'application d'insecticides sur les cultures sont des exemples d'utilisations passées, dont certaines ont été abandonnées. Aujourd'hui, l'arsenic et ses dérivés sont employés dans les applications suivantes : traitement du bois sous pression, fabrication d'émail et de céramique en verrerie, durcissement des alliages de cuivre et de plomb en métallurgie. Parmi les applications secondaires de l'arsenic, on peut citer les feux d'artifice, les micros puce et les éléments « photoélectriques » dans l'industrie de l'électronique.

II.1.2. 2 Le cadmium

Le cadmium est récupéré lors de l'élaboration du zinc, du plomb et du cuivre. Appliqué en couche mince, il protège l'acier contre la corrosion. Il constitue les plaques négatives des accumulateurs au nickel-cadmium. Le cadmium entre dans la composition d'alliages dont il abaisse le point de fusion et d'alliages antifriction. Absorbant fortement les neutrons lents, le cadmium est utilisé pour la commande des réacteurs nucléaires et le blindage d'appareils de mesure. Les sels de cadmium sont employés dans la photographie, la fabrication des feux d'artifice, les caoutchoucs, la porcelaine et d'autres.

Les oxydes de cadmium sont utilisés dans l'industrie chimique, pour la galvanoplastie, dans les accumulateurs électriques, comme stabilisants pour matières plastiques et pigment pour émaux.

II.1.2. 3 Le chrome

Le chrome est utilisé sous forme de chromite (FeOCrO_2) dans l'industrie métallurgique et dans l'industrie chimique. On le trouve également sous la forme de ferrochrome, utilisé pour la production d'aciers inoxydables et d'alliages divers. Il est également employé comme pigment pour la peinture, le caoutchouc, le papier, l'encre d'imprimerie, ou encore pour le tannage des peaux.

II.1.2. 4 Le mercure

On obtient le mercure par grillage du cinabre (sulfure de mercure). Il se combine avec d'autres métaux pour former des alliages, appelés amalgames. Il permet d'extraire l'or et l'argent avec lesquels il se combine. On l'emploie dans la fabrication de thermomètres, baromètres, pompes à vides, lampes et redresseurs à vapeurs de mercure. Il sert à l'étamage des glaces, à la fabrication de colorants, il entre dans la composition des cosmétiques (mascara), des adhésifs et des filtres des systèmes à air conditionné.

II.1.2. 5 Le plomb

La fabrication des accumulateurs constitue la principale utilisation du plomb (environ 50 % de la consommation totale). Les caractères d'imprimerie, les gaines de câbles électriques et les tuyaux pour les canalisations d'eau et de gaz constituaient des marchés importants.

Le plomb entre dans la composition de nombreux alliages à bas point de fusion et d'alliages antifriction (avec de l'étain ou du cuivre). Les composés chimiques du plomb sont importants pour leurs applications industrielles : matière active des accumulateurs, cristallerie, verrerie technique (tubes de télévision), fabrication des pigments, de peintures anticorrosion, de stabilisants pour les plastiques, de glaçures pour les céramiques et les poteries.

II.1. 3 Contamination de l'environnement

II.1. 3. 1 Contamination des sols

Les métaux peuvent être soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et ils n'ont aucune signification sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe pour l'environnement du fait de l'augmentation de leur disponibilité pour les plantes. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles.

II.1. 3. 2 Contamination de l'air

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux et des véhicules. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition.

Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines.

II.1. 3. 3 Contamination de l'eau

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexation, etc.), et car cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres :

- La forme chimique initiale du métal
- La perméabilité du sol et du sous-sol
- Le pH : dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques
- L'activité biologique : certains micro-organismes ont la capacité d'ingérer des métaux alors que d'autres les solubilisent par acidogénèse
- Le potentiel redox du sol ;
- La composition minéralogique du sol : il peut y avoir formation de composés,
- La teneur en matières organiques du sol : (complexation des métaux par les substances humiques).

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation, etc.

II.1.4 Concentration des métaux lourds le long des chaînes trophiques

Les métaux lourds sont absorbés tant par la faune que par la flore. Les métaux lourds extraits de l'eau par les producteurs primaires (bactéries, algues, plantes) se concentrent d'espèce en espèce, tout au long des chaînes alimentaires (trophiques). Et, bien sûr, la toxicité de ces micropolluants augmente avec leur concentration. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques à court et/ou à long terme.

II.1. 5 Nuisances causées par les métaux lourds

Plomb : Trouble du système nerveux, affection du foie et des reins

Cadmium : Affections respiratoires, troubles rénaux

Mercure : Trouble du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination)

Nickel : Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales, cancers

Chrome : Cancers, troubles dermatologiques, anémie

Les organes cibles des métaux lourds sont variés : les ions métalliques se fixent sur les globules rouges (Pb, Cd, CH₃Hg). Les métaux s'accumulent dans le foie et les reins (organes très vascularisés), les dents et les os accumulent le plomb. D'autre part, les métaux solubles dans les lipides comme le plomb tétraéthyl ou le méthylmercure peuvent pénétrer dans le système nerveux central. Le danger est encore plus grand pour les enfants car chez eux la barrière hémato-encéphalique n'est pas entièrement développée (intoxication au plomb possible). Par diffusion passive et grâce à leur solubilité dans les lipides, le cadmium, le plomb, le nickel, le méthyl-mercure, traversent le placenta et peuvent s'y concentrer.

Il a donc été nécessaire de réglementer les teneurs en métaux lourds des eaux destinées à la consommation, mais aussi des rejets industriels. Il existe aussi des teneurs limites des effluents en métaux lourds.

II.2 Pollution des eaux par les métaux lourds

Les métaux lourds existant dans le lac sont issus de diverses sources ; urbaines, industrielles, agricoles et atmosphériques.

Une étude [6] s'est portée sur la recherche des métaux lourds dans les végétaux induits par les eaux d'irrigation du marais de Reghaia, l'étude a révélé des concentrations alarmantes dépassant largement les valeurs admises par l'organisation mondiale de la santé.

Les légumes concernés sont les tomates, les pommes de terre et les fèves. Les résultats trouvés sont portés sur le tableau ci-après

Tableau II.1: Teneurs en métaux lourds dans les végétaux irrigués par les eaux du lac en 1990

Echantillon			(mg/L)		
Mois	Métal	Norme OMS (mg/L)	Tomates	Pomme de terre	Fèves
Avril	Pb	0,20	2,00	1,20	22,80
	Zn	2,00	66,00	10,40	32,40
	Cu	0,10	12,00	27,20	2,40
	Fe	1,00	280,00	228,00	160,00
	Mn	1,00	150,00	24,00	1,60
Mai	Pb	0,20	0,00	< 1	0,00
	Zn	2,00	11,50	13,50	8,10
	Cu	0,10	0,75	02,75	1,70
	Fe	1,00	12,50	13,25	17,00
	Mn	1,00	1,30	1,85	3,80
Juin	Pb	0,20	2,50	1,15	23,00
	Zn	2,00	69,00	11,11	34,20
	Cu	0,10	13,30	28,00	2,60
	Fe	1,00	290,00	231,00	154,40
	Mn	1,00	155,00	25,60	117,7

Une autre étude [7] a évalué la pollution par les métaux lourds dans l'Oued de Reghaia et a porté l'accent sur les sédiments du fond et de berge.

Cette étude comme la précédente a également révélé des concentrations alarmantes en métaux lourds, comme le montre le tableau II.2.

Tableau II.2 : Teneurs en métaux dans l'Oued de Reghaia en 1989

Métaux (mg/kg)	Pb	Mn	Zn	Cu	Cd	Ag
Normes OMS	0,2	1	2	0,1	0,01	0,1
1	50	50	182,50	82,5	2	7,65
2	125	70	167,50	72,5	3	8,5
3	225	372,5	460	200	4,5	31,5
4	250	380	160	70	2,5	11
5	175	190	99	40	2,5	5
6	125	130	155	66	2	8,5

Disposition des couches de la carotte

1	6 cm de gravier
2	8 cm de sable grossier
3	3 cm de sable moyen
4	5 cm de sable argileux
5	6 cm d'argile sableux
6	6,5 cm d'argile granuleuse

CHAPITRE III
LA COAGULATION – FLOCCULATION

III .1 Principe [8] [9]

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Les particules en suspension dans une eau de surface proviennent de l'érosion du sol, de la dissolution de substances minérales et de la décomposition de matière organique. A cet apport naturel, s'ajoutent les eaux d'égouts domestiques, industriels ou agricoles. En général, la turbidité est causée par des particules de matière inorganique, alors que la couleur est imputable aux particules de matière organique et aux hydroxydes de métaux.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

III .2 Structure des colloïdes [9]

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde et forment la couche liée ou de STERN, qui attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité des cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'une accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard.

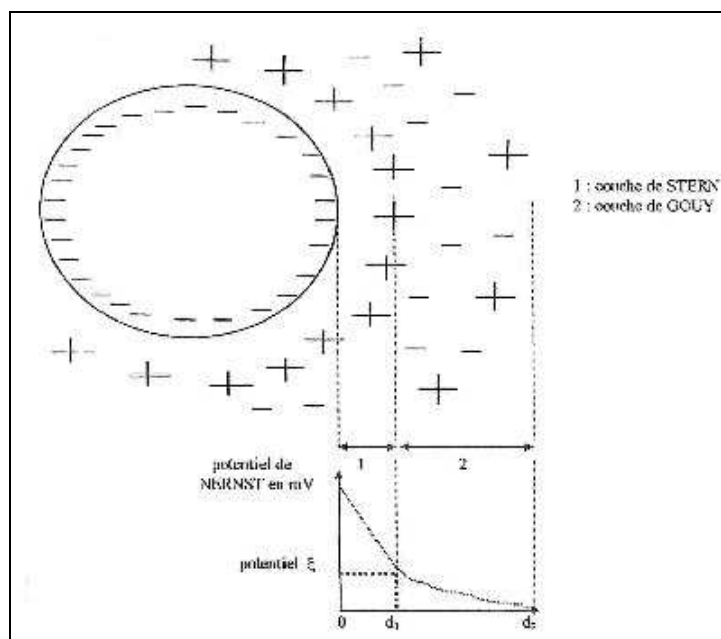


Figure III.1 : Structure des colloïdes

Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de NERNST, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde. Dans la couche liée, le potentiel de NERNST décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de GOUY, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions.

La valeur du potentiel à la surface de la couche de NERNST est appelée potentiel zêta. Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif. Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. Les particules de potentiel zêta négatif se repoussent très fortement. C'est pourquoi, les colloïdes sont très stables et inhibent toute agglomération. L'élimination des colloïdes passe par l'annulation du potentiel zêta afin d'annuler les forces de répulsion

Les colloïdes sont soumis à deux grands types de forces :

- force d'attraction de Van der Waal liée à la structure et à la forme des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu
- force de répulsion électrostatique liée aux charges superficielles des colloïdes.

III .3 La coagulation [8] [9]

C'est la première étape dans le processus de clarification de l'eau qui correspond à l'apport de charges positives afin de neutraliser les charges négatives des colloïdes.

Les principaux facteurs influençant l'efficacité de la coagulation sont la dose de coagulant, le pH, la turbidité initiale et la température de l'eau

La coagulation requiert un mélange rapide pendant un temps qui varie habituellement de 0,5 à 4 minutes.

III .3.1 Le choix du coagulant

La neutralisation des colloïdes est réalisée par l'ajout de cations. Le choix du coagulant se base sur les critères suivants :

- sa valence ; la coagulation est d'autant plus efficace que la valence du cation est élevée (d'après la théorie de Schulze Hardy, un ion trivalent est dix fois plus efficace qu'un ion divalent),
- son innocuité,
- son coût.

Les plus coagulants les plus courants sont :

- les sulfates d'aluminium et de fer III : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- les chlorures d'aluminium et de fer III : AlCl_3 et FeCl_3
- les mélanges de sulfates et de chaux : $\text{M}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
- les produits mixtes $\text{Al}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$

Les sels d'aluminium III et de fer III sont largement utilisés.

L'efficacité des coagulants est directement liée à la valence des cations utilisés. Ainsi un ion divalent est-il jusqu'à 200 fois plus efficace et un trivalent jusqu'à 10000 fois plus efficace qu'un monovalent.

On a longtemps pensé que les sels libéraient des ions Al^{3+} et Fe^{3+} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation. Il s'est avéré que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux-mêmes.

III .3.2 Optimisation de la coagulation

Lors de la coagulation, il faut chercher :

- La maximisation de la déstabilisation des particules et des colloïdes organiques pour faciliter leur agglomération et leur enlèvement par un procédé de séparation solide - liquide
- La minimisation de la concentration en coagulant résiduel.
- La minimisation de la production des boues.
- La minimisation des coûts d'opération.
- La coagulation optimale correspond au dosage de coagulant et au pH qui assure l'atteinte de tous ces objectifs.

III .4 La floculation [8] [9]

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de rencontre entre les particules grâce à l'agitation du fluide. On distingue deux types de floculation :

- **La floculation péricinétique** : n'intervenant que sur les particules colloïdales, elle favorise la formation du micro floc. Elle est liée à la diffusion brownienne, c'est-à-dire à l'agitation thermique. Le mouvement brownien correspond au déplacement désordonné des colloïdes par le bombardement de chaque molécule d'eau.
- **La floculation orthocinétique** : elle permet d'obtenir un floc volumineux séparable.

La vitesse d'agitation agit sur la probabilité de rencontre des particules. Mais, il n'est pas possible de l'augmenter exagérément. En effet, si elle est trop élevée, les floccs formés subissent un cisaillement mécanique entraînant leur destruction et ils se reforment rarement eux-mêmes. La floculation est donc favorisée par une vitesse d'agitation assez faible qui amène doucement les floccs à se réunir.

III.4.1 Les flocculants utilisés

Pour la floculation on utilise :

- Des **polymères minéraux** tels que la silice activée (SiO_2), généralement associée au sulfate d'aluminium en eau froide.
- Des **polymères naturels** extraits de substances animales ou végétales : amidons, alginates (obtenus à partir d'algues marines).
- Des **polymères de synthèse** apparus plus récemment qui ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation. Ils conduisent souvent à un volume de boue très inférieur.

III.4.2 Influence du pH sur la floculation

Les floccs sont des précipités d'hydroxydes de métaux. Leur formation et leur stabilité dépendent donc du pH. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont 5,8 – 7,2 pour l'hydroxyde d'aluminium et 5,5 – 8,3 pour l'hydroxyde du fer.

CHAPITRE IV

FILTRATION SUR MEMBRANES

IV.1 Généralités sur les membranes

IV.1.1 Définition [10] [11]

La membrane est une barrière de 0,05 à 2 mm d'épaisseur, sélective, qui sous l'action d'un gradient de transfert va permettre ou interdire le passage de certains composants entre les deux milieux quelle sépare.

La force de transfert peut être un gradient de pression, de concentration, de température ou de potentiel électrique.

Le flux passant à travers la membrane, est appelée perméat et le flux retenu est appelé retentât ou concentrât.

IV.1.2. Classification des membranes

La classification des membranes se fait selon les critères suivants :

- La structure
- Le matériau de fabrication
- Le mécanisme d'action.

IV.1.2.1 Classification selon la structure

Ce critère permet de distinguer deux types de membranes

- **Membranes isotopes**

Dites membranes de première génération leur structure microscopique est constante sur toute leur épaisseur [11].

Pour permettre des flux de transfert importants elles doivent être très mince ce qui empêche d'avoir la solidité mécanique requise pour un emploi industriel [12].

- **Membranes anisotropes [10] [11]**

Dites de deuxième génération leur structure varie de la surface vers l'intérieur, elles sont constituées d'une sous couche de 100 à 200 μm d'épaisseur recouverte d'une peau très fine de 0,1 à 1,5 μm d'épaisseur.

Leurs propriétés de séparation dépendent en général de la structure de leurs peaux tandis que la sous couche confère une résistance mécanique à la membrane.

- **Membranes composites**

Elles sont dites membranes de troisième génération développées essentiellement pour augmenter la perméabilité des membranes asymétrique classiques en réduisant l'épaisseur de la couche active, elles sont constituées de deux couches de polymères différents d'où le nom membranes composites [13] [14].

Ces membranes ont des ont de très bonnes caractéristiques de perméabilité et de sélectivité, elles sont stables dans des une gamme de pH élevé (2 à 11) et ont une bonne tenue

mais elles présentent un inconvénient d'être sensible au chlore ce qui nécessite un traitement de la charge [10].

- **Membranes à fibres creuses**

Elles sont constituée de tubes creux ayants des diamètres externes et internes respectivement de 50 à 1000 μm et de 25 à 8000 μm elles sont obtenues industriellement par frittage avec une couche active située soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la fibre [15].

IV.1.2.2 Classification selon la nature chimique [13]

Les membranes sont fabriquées à partir de polymères organiques et de matières inorganiques. Bien qu'il existe des membranes mixtes faites de polymères et de matériaux inorganiques, la plupart des membranes disponibles commercialement sont faites à partir de polymères ou de matériaux inorganiques.

Les principaux polymères utilisés pour la fabrication de membranes sont :

- Dérivés de la cellulose : ces polymères considérés généralement comme plus hydrophiles sont peu coûteux et ont une faible tendance à l'adsorption;
- Polyamides ayant des propriétés thermiques et chimiques supérieures à celles des dérivées de la cellulose (quoique ces polymères sont très sensibles à certains oxydants comme le chlore);
- Polysulfone (PS) et polyethersulfone (PES), qui ont une tendance à l'adsorption plus élevée que les membranes ci-dessus, mais avec une meilleure stabilité chimique, mécanique et thermique.

Les membranes inorganiques sont faites de céramique (oxydes d'aluminium, de zirconium ou de titane). Ces membranes ont une stabilité chimique, mécanique et thermique supérieure aux membranes polymériques, mais, par contre, elles sont friables et beaucoup plus coûteuses que les membranes organiques.

IV.1.2.3 Classification selon le mécanisme de séparation [13]

Ce critère nous permet la classification suivante :

- **Membranes poreuses**

Pour ce type de membranes, l'effet tamis est le mécanisme prédominant. On distingue trois formes de pores :

- **Les macropores** dont les rayons sont supérieurs à 50 nanomètres
- **Les mésopores** dont les rayons sont compris entre 02 et 50 nanomètres
- **Les micropores** dont les rayons sont inférieurs à 02 nanomètres

- **Membranes denses**

Elles sont exemptes de pores, le transfert se fait par solubilisation diffusion dans ce cas l'espèce se dissout dans la membrane, diffuse et sort du côté opposé.

- **Membranes échangeuses d'ions**

Elles possèdent des groupements ioniques fixés à leur surface. La membrane est dite anionique quant elle possède une charge positive et cationique quant elle possède une charge négative.

IV.1.3 Caractéristiques des membranes

IV.1.3.1 La perméabilité

La perméabilité hydraulique (L_p) exprime la performance de la membrane en terme de pénétration de l'eau et permet de déterminer et de suivre l'état de colmatage des membranes.

Elle doit être évaluée dans les conditions standard car le flux membranaire est influençable par de nombreux facteurs .le moyen le plus simple consiste à tester la membrane avec de l'eau déminéraliser à pression variable et à température constante. En pratique la perméabilité représente la pente de la droite J_w en fonction de ΔP donnée par la loi de Darcy [14] :

$$J_w = L_p \cdot \Delta P$$

Où :

J_w représente le flux du solvant pur ;
 ΔP représente pression transmembranaire.

D'autre part, on définit la résistance hydraulique d'une membrane (R_m) en fonction de l'inverse de sa perméabilité .Elle exprime la résistance de la membrane à l'écoulement du fluide à filtrer.

$$R_m = 1/(\mu \cdot L_p)$$

Où μ représente la viscosité du solvant pur.

IV.1.3.2 La sélectivité

La sélectivité d'une membrane pour une substance donnée dépend de sa nature et de sa structure, de l'environnement chimique à proximité de la membrane et des propriétés de la substance à séparer. Elle s'exprime par un taux de rétention TR ou par un facteur de sélectivité [13] :

$$TR = 1 - (C_p / C_0)$$

Il y a deux valeurs particulières du taux de rétention (valeurs exprimées en pourcentages)

- **TR =0%** signifie que le soluté n'est pas du tout retenu par la membrane (Rétention nulle);
- **TR=100%** signifie que le soluté est entièrement retenu par la membrane (rétention totale)

Une autre caractéristique très utilisée est le seuil de coupure (SC) d'une membrane qui est définie comme étant la masse molaire du plus petit composé modèle retenu à 90 % par la membrane il est exprimé en Dalton (1 Da = 1 g/mole).

Le seuil de coupure est relié principalement à la taille de pores de la membrane, mais aussi il est beaucoup influencé par la forme de la molécule à filtrer, par sa charge, par son degré d'hydratation, le pH et le pouvoir ionique de la solution à filtrer, la pression d'opération et le flux de perméation, l'élasticité et la charge de la membrane [13].

IV.1.3.3 La résistance [16]

Outre l'opération de séparation, la membrane doit être capable de supporter les opérations de nettoyage et de stérilisation. Elle doit être neutre vis-à-vis des solvants usuels et supporter une zone étendue du pH. (résistance chimique)

D'autre part, les zones de température et de pression de travail sont généralement limitées par la résistance thermique et mécanique des membranes qui se dégradent à la chaleur ou qui ne supportent pas de grandes pressions.

IV.1.4 Les modules

Pour être mises en œuvre, les membranes sont montées dans des supports appelés modules.

Les modules sont des unités complètes comprenant [13] :

- Les membranes
- Les tubes de pression
- L'entrée d'alimentation
- Les deux sorties : une pour le perméat et l'autre pour le concentrât.

Quatre grandes variétés de modules sont commercialisées à l'heure actuelle :

IV.1.4.1 Les modules plans [18]

Ce sont les modules les plus anciens et les plus simples de conception. Ils sont constitués d'un empilement de membranes et de plaques supports.

Le fluide à traiter circule entre les membranes de deux plaques adjacentes qui assurent au même temps le soutien de la membrane et le drainage du perméat.

IV.1.4.2 Les modules tubulaires

Dans les modules tubulaires, la membrane semi-perméable est placée à l'intérieur d'un tube support percé de trous de drainage dont le diamètre varie entre 10 et 40 mm. Les tubes de longueur variant de 1,5 à 6m, sont placés en parallèle ou en série dans une enveloppe cylindrique pour constituer le module unitaire [14].

L'alimentation circule à l'intérieur des tubes tandis que le perméat est recueilli à la périphérie et collecté à l'une des extrémités [10] [14].

IV.1.4.3 Les modules fibres creuses

Ce genre de modules est produit par extrusion de fibres au travers des filières annulaires. Les fibres creuses à la fois le rôle de la membrane. Les fibres de diamètre variant de 0,2 à 1,25 mm sont regroupées en un faisceau de plusieurs milliers voire des millions et incorporées dans un cylindre. L'écoulement du fluide à traiter s'effectue soit à l'intérieur des fibres soit à l'extérieur [14] [18].

Le rapport surface d'échange / volume étant proportionnel au diamètre, la compacité atteint des valeurs très élevées allant des fois jusqu'à **15 000 m²/m³**. Cependant, en raison de la faible application rend difficile leur fonctionnement [18].

IV.1.4.4 Les modules spiralés

Le module spiralé est réalisé à partir d'un espaceur poreux de **0,8 à 1,2 mm**, placé entre deux membranes planes. L'enveloppe obtenue est scellée sur trois bords, le côté ouvert étant scellé à un tube cylindrique poreux et enroulé sous forme spiralée autour de celui-ci, ainsi un second espaceur est enroulé autour du rouleau [10] [14].

Le diamètre d'un rouleau de membrane (cartouche) peut atteindre **30 cm** et sa longueur **1,5 m**, l'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique pressurisée dont les sections permettent l'entrée de la charge et la sortie du retentât [14].

Le fluide à traiter circule dans l'espaceur, la feuille poreuse assure le drainage du perméat vers le collecteur axial.

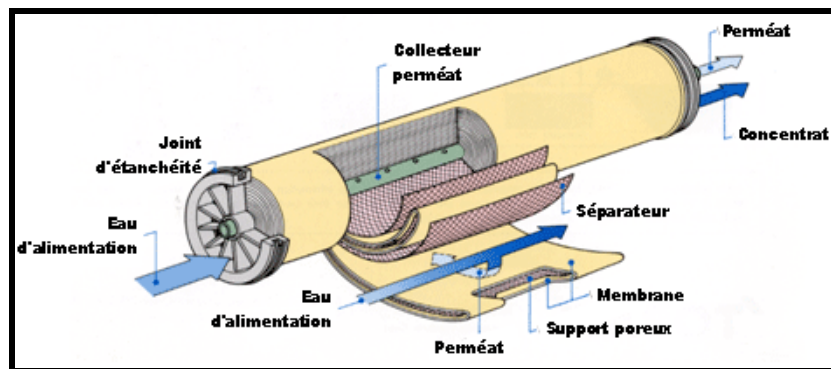


Figure IV.1 : Configuration d'un module spiralé

Le tableau suivant ci après regroupe les principaux avantages et inconvénients des différents types de modules existant sur le marché.

Tableau IV.1 : Avantages et inconvénients des différents types de modules [10] [14]

Module	Avantages	Inconvénients
Plan	<ul style="list-style-type: none"> - Haute pression de travail - En parallèle ou en série - Faible consommation d'énergie - Facilité de nettoyage - Faible coût des membranes 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible ratio surface membrane /volume d'encombrement (100 à 400 m²/m³) - Coût d'investissement élevé - Problème de colmatage rencontré
Tubulaire	<ul style="list-style-type: none"> - Haute pression de travail - En parallèle ou en série - Facilité de nettoyage - Bonne distribution du débit - faible colmatage - Traitement facile des produits visqueux - Grande vitesse de balayage (minimise la polarisation de concentration) 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible ratio surface membrane /volume d'encombrement (300 m²/m³) - Consommation importante d'énergie - Prix de revient élevé par m² installé - Entreposage de longues membranes
Fibres creuses	<ul style="list-style-type: none"> - Important ratio surface membrane /volume d'encombrement (600 - 1 200m²/m³) - Faible consommation d'énergie - Résistance aux rétro lavages 	<ul style="list-style-type: none"> - Basse pression obligatoire - Faibles débits obligatoires - Seulement en parallèle - Très sensible au colmatage - Vitesse de balayage très faible -Traitement contraignant des produits visqueux
Spiralé	<ul style="list-style-type: none"> - Important ratio surface membrane /volume d'encombrement (300 - 1 000m²/m³) - Haute pression de travail - En parallèle ou en série - Faible consommation d'énergie - Grande turbulence de balayage (minimise la polarisation de concentration) - Prix 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage difficile - Membranes collées - Risque élevé de colmatage - Perte de charge élevée -Traitement contraignant des produits visqueux

IV.1.5 Techniques de nettoyage des membranes [15]

L'élimination des dépôts au voisinage de la membrane nécessite des procédés chimiques ou mécaniques selon la nature du dépôt.

IV.1.5.1 Le nettoyage mécanique

C'est une méthode qui consiste à appliquer une pression opposée à la pression transmembranaire, un volume contrôlé de perméat traverse la membrane en sens inverse et élimine partiellement les dépôts.

IV.1.5.2 Le nettoyage chimique

Le choix du produit nettoyant dépend de la nature des matières déposées et surtout de la nature de la membrane. En effet, il faut éliminer les dépôts sans altérer les propriétés de la membrane. Les solutions de nettoyage généralement employées sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau IV.2 : Types de solutions de nettoyage adéquates pour chaque type de dépôt

Type s de solutions de nettoyage	Types de dépôts
Solutions acides (acide citrique, acide chlorhydrique)	Dépôts carbonatés hydroxydes
Solutions basiques (soude caustique)	Dépôts organiques
Solutions de détergents (avec ou sans enzyme)	Dépôts organiques protéines
Solutions oxydantes (chlore)	Dépôts biologiques dus à des développements bactériens

Il reviendra à l'utilisateur de s'assurer que les solutions sont compatibles avec la membrane à nettoyer. La plupart des membranes organiques sont sensibles aux oxydants et en particulier au chlore. La nature et la concentration des solutions de nettoyage doivent être fixées en tenant compte de la nature des membranes, mais aussi des caractéristiques des divers composants de l'installation.

IV.2. Procédés membranaires à gradient de pression

Il existe quatre procédés membranaires à gradient de pression sans changement de phase: la microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et l'osmose inverse. Ces procédés se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer. Le tableau ci-après illustre la classification des membranes, les pressions opératoires de chacune et les flux unitaires caractéristiques :

Tableau IV.3 : ordre de grandeurs de quelques propriétés des membranes [19]

	Microfiltration (MF)	Ultrafiltration (UF)	Nanofiltration (NF)	Osmose Inverse (OI)
Plus petites espèces retenues	Colloïdes Microorganismes	Virus, matière Organique polymérisée	Ions divalents, Petites molécules organiques	La plupart des espèces dissoutes
Pression opératoire (bar)	0,2 – 1,0	0,1 - 5	5 - 15	15 - 80

Ces procédés membranaires sont des techniques de séparation peu consommatrices d'énergie : de 1 à quelques dizaines de KWh/m³ de produit traité, suivant la taille des composés qui doivent être séparés.

Leur consommation énergétique est faible (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) [20].

IV.2.1. Microfiltration (MF) [21]

La microfiltration peut être définie comme un procédé de séparation qui met en oeuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 µm, le mécanisme de séparation est basé sur l'effet du tamis.

Les membranes de la microfiltration sont généralement symétriques, cependant on a souvent formation du gâteau qui contribue à la diminution du flux d'eau et peut conduire à la détérioration de la membrane.

La pression nécessaire à cette technique est de l'ordre de 0.1 à 0.3 bars. Actuellement le domaine d'application de la microfiltration est variant, nous citerons:

- La clarification des boissons (jus de fruits, bière, vin)
- La déshydratation des laides
- Le traitement des eaux usées, clarification des eaux turbides, élimination des bactéries
- La séparation du plasma à partir du sang

- La production d'eau ultra-pure
- La séparation des émulsions eau huile
- La stérilisation et la clarification des produits pharmaceutiques.

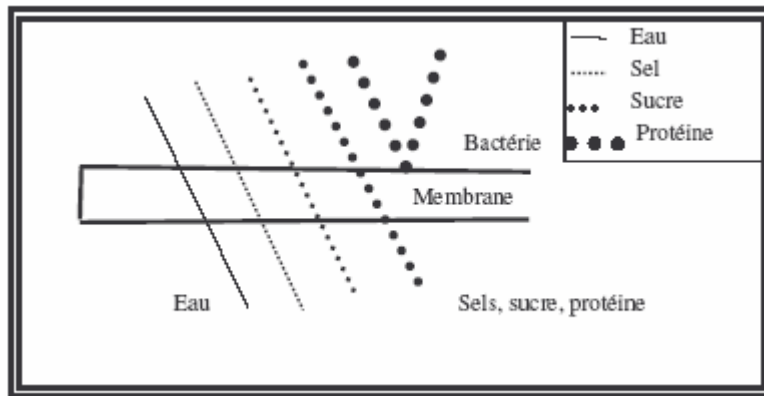


Figure IV.2 : Domaine d'application de la microfiltration [22]

IV.2.2. Ultrafiltration (UF)

Cette technique utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores varient entre 0,001 et 0,02 μm . De ce fait, les membranes d'ultrafiltration retiennent les macromolécules ou les polymères, dont la masse moléculaire varie entre 300 et 2 000 000 daltons, ainsi que les particules colloïdales et laissent passer le solvant, les ions et d'autres petites espèces dissoutes [23]

Les membranes d'ultrafiltration sont caractérisées par leur **seuil de coupure**, c'est-à-dire la taille de la molécule la plus faible masse molaire rejetée par la membrane [24].

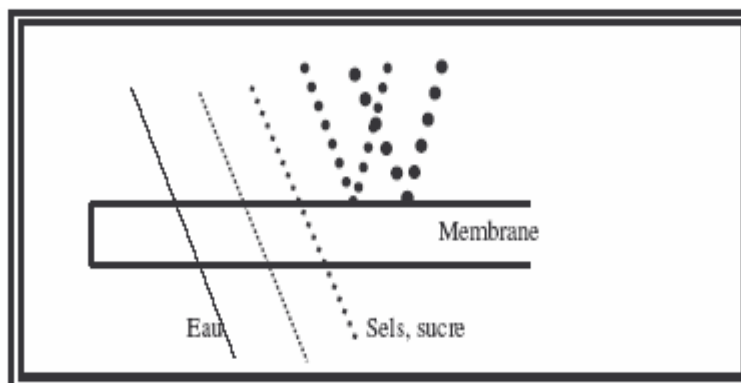


Figure IV.3 : Domaine d'application de l'ultrafiltration [22]

La pression nécessaire à la filtration n'excède pas 10 bars, sous l'effet de cette dernière, le solvant et les solutés dont la taille est inférieure à celle des pores traversant la membrane tandis que les molécules plus grosses sont retenues.

Les domaines d'application de l'ultrafiltration sont multiples :

- Concentration de solutions macromoléculaires (protéines, poly-saccharides, polymères variés).
- Elimination de macro solutés présent dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical [25].

IV.2.3. Nanofiltration (NF)

La nanofiltration est le terme utilisé pour désigner une nouvelle technique séparative à membrane, se situant entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle de nanomètre (soit 10Å°) d'où son nom [19].

Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques sont fortement retenus par ce procédé [15].

Cette technique est utilisée pour le recyclage et la réutilisation des effluents industriels issus des industries laitières, tanneries, textile et sucre [26]. En raison de ses possibilités d'éliminer efficacement les composés organiques dissous et les ions bivalents, la nanofiltration est d'un intérêt considérable pour satisfaire les normes de qualité (potabilité et rejet). En outre elle est utilisée aujourd'hui pour l'adoucissement, la désinfection et l'élimination des matières organique et des métaux présents dans l'eau [27].

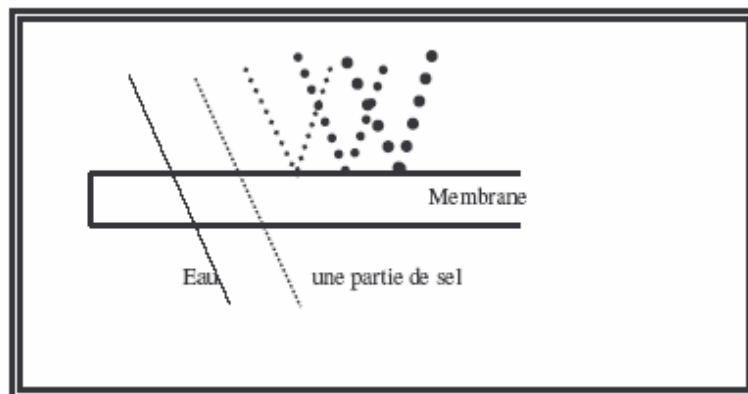


Figure IV.4 : Domaine d'application de la nanofiltration [22]

IV.2.4. Osmose inverse (OI)

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels, à l'exception des molécules organiques très voisines de l'eau [24].

Le transfert ne s'effectue plus au travers les pores mais plutôt par dissolution des composants de la solution dans la membrane puis diffusion au travers de celle-ci. [24]

Cette technique est surtout utilisée surtout pour le déssalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres

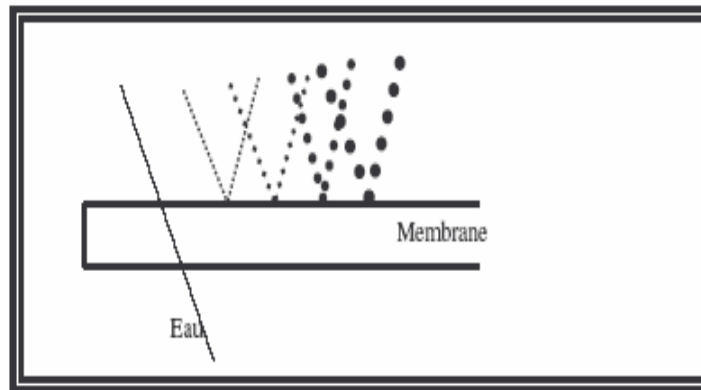


Figure IV.5 : Domaine d'application de l'osmose inverse [22]

La pression appliquée doit être supérieure à la pression osmotique (la pression transmembranaire comprise entre 20 et 80 bars) exercés par la solution filtrée pour avoir un flux de solution à travers la membrane [22].

CHAPITRE V

LA NANOFILTRATION

V.1. Définition

La nanofiltration est une technique de filtration membranaire qui se situe (**figure V.1**) entre l'ultrafiltration (membranes de clarification) et l'osmose inverse (membranes de dessalement). Elle fait appel à des membranes semi-perméables, minérales ou organiques. Ces dernières sont principalement utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine ou au recyclage des effluents domestiques ou industriels [29].

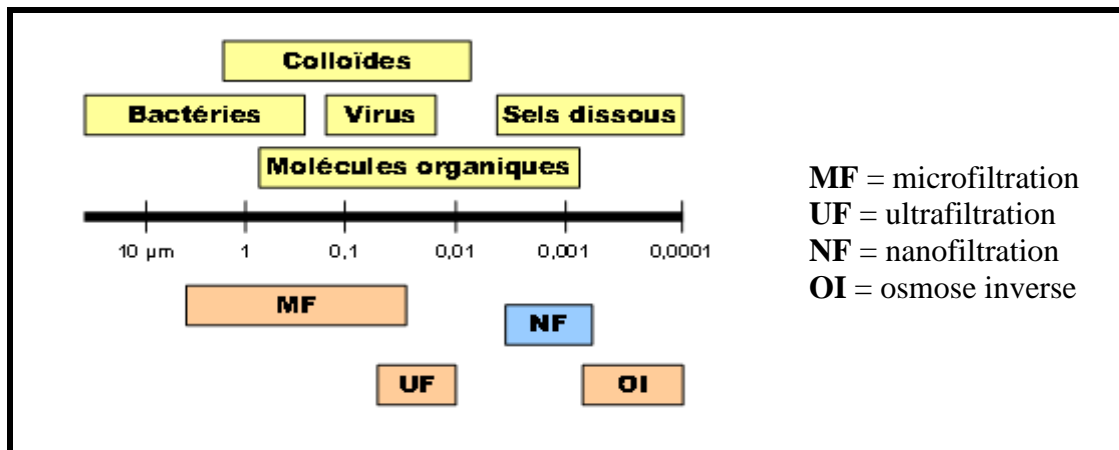


Figure V.1 : Emplacement de la nanofiltration

V.2. Structure des membranes de nanofiltration

Suivant leur nature organique ou minérale, les membranes utilisées en nanofiltration, sont constituées de polymère ou d'oxydes métalliques et ont une structure anisotrope. Elles sont constituées de trois parties ayant chacune un rôle particulier [16].

- Un support macroporeux qui offre une bonne résistance mécanique et autorise des flux de liquides élevés.
- Une ou plusieurs couches intermédiaires qui assurent la liaison entre le support et la couche active.
- Une couche active dans laquelle se produit la séparation par nanofiltration. Cette couche est très mince, son épaisseur est souvent inférieure au micro avec des diamètres de pores de l'ordre du nanomètre.

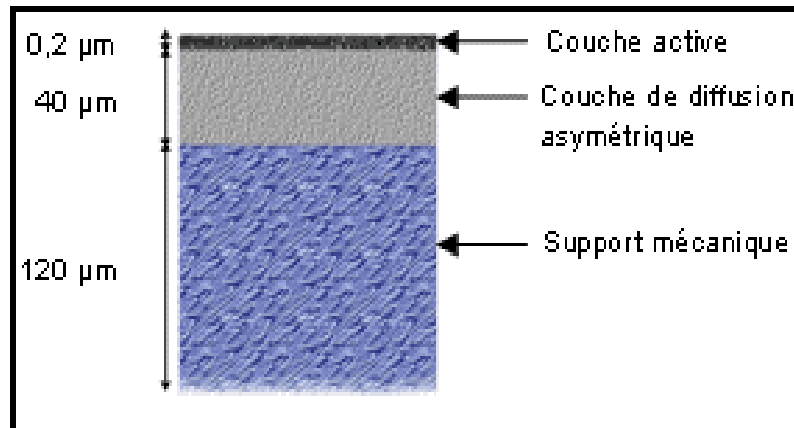


Figure V.2 : Structure d'une membrane de nanofiltration

V.3. Mécanismes de séparation des membranes de nanofiltration

Les mécanismes de séparation dans les membranes sont complexes et encore partiellement compris. D'une manière simplifiée, deux principaux mécanismes gouvernent la séparation :

Le tamisage (**effet stérique**), la friction sur les parois des pores des membranes, la diffusion dans le matériau membranaire ou dans les pores des membranes, les forces de surface répulsives ou attractives, notamment la répulsion électrostatique (**effet de charge**).

Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre ceux de l'osmose inverse et ceux de l'ultrafiltration. Donc c'est la résultante des deux mécanismes du type capillaire et de type solubilisation –diffusion.

V.3. 1. Mécanisme de type capillaire (effet tamis)

La membrane est considérée comme un milieu poreux constitué d'une multitude de capillaire .la discrimination des espèces en fonction de leur taille, les molécules ou particules plus petites que les pores ne sont pas retenues[15].

V.3. 2. Mécanisme de type diffusion – solubilisation

Le transfert du solvant et du soluté se fait par solubilisation –diffusion .toutes les espèces moléculaire se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression [15].

Ces phénomènes de concentration induisent une diffusion, le soluté subit alors une force qui tend à équilibrer les concentrations et qui est opposée à la convection dans le retentât et de même sens dans la membrane. Les transports de l'eau et du soluté à travers ces membranes sont alors de type convectif ou diffusionnel, ou combinent les deux mécanismes qui dépendent de l'épaisseur, de la nature et de la structure de la couche active et du flux du solvant [30].

V.4. Performances et avantages des membranes de nanofiltration

Les membranes de nanofiltration se caractérisent par [29] :

- Un bon arrêt des ions bivalents : sulfates, calcium et magnésium, ces deux derniers formant la dureté de l'eau.
- Un passage important des ions monovalents qui contribuent le plus à la pression osmotique, ce qui entraîne une faible demande énergétique.
- Une purification vis-à-vis des polluants organiques et notamment la plupart des pesticides, des matières à l'origine de la coloration de l'eau et des précurseurs de THM.

Actuellement, la nanofiltration constitue un procédé de choix pour le traitement des **eaux de surfaces** (eaux de lacs et rivières) notamment la réduction des métaux lourds et des eaux saumâtres (eaux de qualité intermédiaire entre une eau de surface et de l'eau de mer du point de vue salinité).

Les membranes utilisées en nanofiltration présentent l'avantage de fonctionner à des pressions inférieures et de fournir des débits de perméation supérieurs à ceux observés en osmose inverse [31].

Elles présentent aussi une sélectivité de séparation spécifique pour les ions très liée à l'environnement et à la nature de la membrane, cette sélectivité diffère également pour les composés de même taille selon qu'ils présentent ou non une charge électrique [31].

. La nanofiltration consomme moins d'énergie que l'osmose inverse.

V.5. Facteurs limites du procédé

V. 5.1. La polarisation de la concentration

Les membranes utilisées ayant la propriété d'effectuer des séparations à l'échelle moléculaire ou particulaire, il va y avoir accumulation progressive des espèces arrêtées à la surface de la membrane. C'est le phénomène de polarisation de concentration. [15].

Si l'on appelle C_m la concentration du soluté arrêté près de la membrane et C_0 la concentration moyenne du soluté dans la solution, le facteur de polarisation est défini par la relation :

$$\gamma = C_m / C_0$$

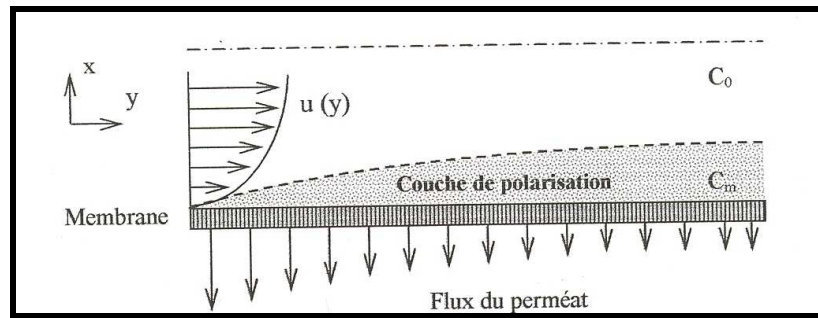


Figure V.3 : Profil de la vitesse d'écoulement en présence du phénomène de polarisation de concentration.

❖ **Description du phénomène**

Lors de l'écoulement turbulent à travers une membrane, la solution à traiter est bien agitée en tout point de l'alimentation sauf au voisinage de la membrane où la vitesse de l'écoulement est réduite sous l'effets des parois. Les molécules du soluté ont tendance à s'accumuler à la surface de la membrane, engendrant ainsi une concentration locale, C_m nettement supérieure à celle de l'alimentation C_0 .

En conséquence, une couche limite se forme au voisinage de la membrane, au sein de laquelle l'écoulement est laminaire et le transport de soluté se fait par diffusion [32].

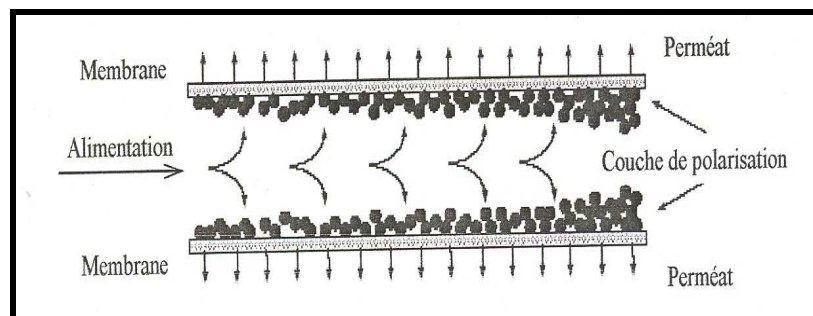


Figure V.4 : Formation de la couche de polarisation.

Lorsque le degré d'agitation de la solution est suffisamment élevé, les molécules retenues par la membrane sont transportées rapidement vers le milieu d'alimentation. Ainsi leur accumulation à la surface de la membrane peut être limitée. Pour un faible degré d'agitation le transport diffusif des molécules se fait lentement et leur accumulation au niveau de la membrane peut atteindre des niveaux inacceptables affectant le flux du perméat ainsi que la performance de la membrane [33].

V. 5.2. Le colmatage

V. 5.2. 1. Définition

Le terme colmatage peut être défini comme l'ensemble des phénomènes physiques, chimiques et biologiques se produisant à l'interface membrane - solution ou dans le volume poreux, provoquant la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, excepté la compaction et les propriétés chimiques [15].

Le colmatage résulte du passage de la matière de la phase liquide à la phase solide. Rejetée par la membrane cette matière non transportée par le flux de concentrât s'accumule et forme dans le temps un dépôt sur et/ou entre soluté et membrane [34] [35] [36].

Le colmatage résulte également des attractions entre solutés et/ou entre soluté et membrane, le solvant à son tour peut être un facteur favorisant ces attractions. L'origine des dépôts peut être variée [37] :

- Concentration trop élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations dues au phénomène de polarisation).
- Présence de matières en suspension qui se déposent sur la membrane par suite à des conditions hydrodynamiques favorables (vitesse faible).
- Réaction d'adsorption entre certaines molécules et le matériau membranaire.

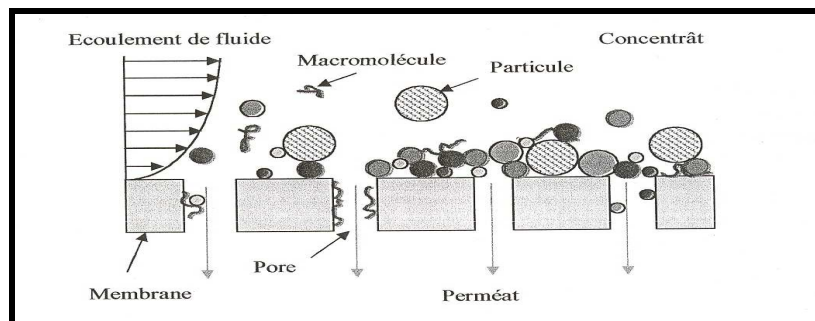


Figure V.5 : Accumulation des différentes matières sur, dans et au voisinage de la membrane.

V. 5.2. 2. Nature du colmatage

L'encrassement ou « le colmatage inorganique », le colmatage organique, le colmatage par les matières colloïdales et le bio - colmatage semblent en général être les quatre principaux types de colmatage se produisant sur une surface membranaire [36]. Le tableau ci après regroupe les différentes espèces colmatantes :

Tableau V.1 : Substances responsables du colmatage membranaire [20]

Colmatage	Cinétique
Précipités (CaSO_4 , CaCO_3 , BaSO_4 ...)	Lente
Hydroxydes des métaux (Fe, Mn, AL...)	Rapide et irréversible
Colloïdes	Lente
Microbiologique	Rapide ou lente

V. 5.2. 3. Mécanismes provoquant le colmatage [38]

Il existe plusieurs mécanismes de colmatage qui, dans la pratique, sont généralement présents simultanément.

Le colmatage est du généralement aux phénomènes suivants :

- L'adsorption
- Dépôt de matière en suspension ou précipitation
- Bouchage de pores.

❖ L'adsorption

L'adsorption se produit sous l'effet d'interactions entre certains constituants du fluide et la membrane, elle peut intervenir aussi bien à la surface de la membrane qu'à l'intérieur des pores, et contribue donc à la fois au colmatage externe et au colmatage interne [34].

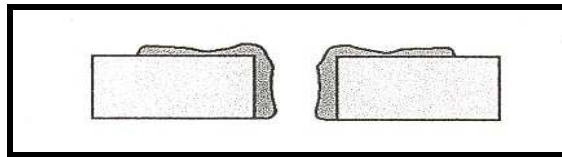


Figure V.6 : Rétrécissement des pores

❖ Dépôt de matières en suspension

Lorsque le fluide contient des particules, le flux de convection vers la membrane conduit à un simple phénomène de dépôt. Si l'excès des particules à la surface de la membrane n'est pas éliminé, le dépôt croît et le flux de perméat décroît de manière continue au cours du temps [34].

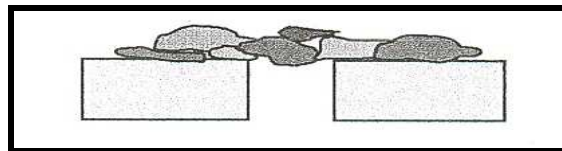


Figure V.7 : Formation du gâteau

❖ Colmatage en profondeur par obstruction des pores

Ce genre de colmatage se produit à l'intérieur de la surface membranaire, dans le cas où la taille des substances qui constitue la couche de dépôts est inférieure à la taille des pores membranaires, provoquant ainsi l'obstruction des pores, et donc la réduction de leurs tailles

Ce phénomène engendre par la suite une résistance à l'écoulement du perméat à travers la membrane. Ce type de colmatage est surtout rencontré en ultrafiltration et en microfiltration et il est difficile à éliminer [15] [33].

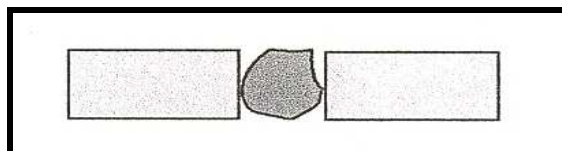


Figure V.8 : Blocage des pores

V. 5.2. 4. Conséquences du colmatage sur la performance des membranes

Les conséquences principales du colmatage sont :

- Diminution du flux de perméat
- Variation de la sélectivité
- Augmentation de la perte de charge
- Dégradation des membranes.

L'élimination des dépôts au voisinage de la membrane nécessite des procédés chimiques ou mécaniques selon la nature du dépôt.

V. 5.2. 5. Réduction du colmatage

- **Le nettoyage mécanique**

C'est une méthode qui consiste à appliquer une pression opposée à la pression transmembranaire, un volume contrôlé de perméat traverse la membrane en sens inverse et élimine partiellement les dépôts.

- **Le nettoyage chimique**

Le choix du produit nettoyant dépend de la nature des matières déposées et surtout de la nature de la membrane. En effet, il faut éliminer les dépôts sans altérer les propriétés de la membrane. Les solutions de nettoyage généralement employées sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau V.2 : Types de solutions de nettoyage adéquates pour chaque type de dépôt

Type s de solutions de nettoyage	Types de dépôts
Solutions acides (acide citrique, acide chlorhydrique)	Dépôts carbonatés hydroxydes
Solutions basiques (soude caustique)	Dépôts organiques
Solutions de détergents (avec ou sans enzyme)	Dépôts organiques protéines
Solutions oxydantes (chlore)	Dépôts biologiques dus à des développements bactériens

Il reviendra à l'utilisateur de s'assurer que les solutions sont compatibles avec la membrane à nettoyer. La plupart des membranes organiques sont sensibles aux oxydants et en particulier au chlore. La nature et la concentration des solutions de nettoyage doivent être fixées en tenant compte de la nature des membranes, mais aussi des caractéristiques des divers composants de l'installation.

V.6. Secteurs d'application de la nanofiltration

Les principaux marchés actuels de la nanofiltration sont la séparation de petites molécules dans la pharmacie, les Biotechnologies, l'agro-alimentaire et surtout l'environnement qui recèle les plus forts potentiels de développement. Le tableau suivant donne quelques études déjà faites dans les différents domaines déjà cités

Tableau V.3 : Les différentes applications de la nanofiltration

Domaine	Applications
Production d'eau potable	Opération de désalement [39] Élimination des pesticides [40] Élimination des composés volatiles [41] Élimination de la dureté et des sulfates [42] Élimination des nitrates [43] de l'arsenic [44]
Traitement des effluents	Élimination de la couleur [45] Élimination de la dureté d'une eau de la tannerie [46]
Alimentaire	Concentration des jus [47]
Textile	Récupération des colorants [48] Réutilisation des eaux de process [49]
Papetier	Traitement des eaux de process [50]
Pétrolier	Traitement des effluents [51]
Nucléaire	Élimination de l'uranium [52] Élimination du strontium [53]
Détergents	Séparation des surfactants [54]
Pharmaceutique	Élimination des hormones. [55]

PARTIE EXPERIMENTALE

VI.1 Prélèvement et caractérisation

VI.1.1 Prélèvement

Plusieurs prélèvements ont été faits pendant la durée de l'étude, les uns avant et les autres après l'introduction du module biologique dans la station d'épuration.

Les prélèvements réalisés dans le lac sont effectués en plusieurs points de telle sorte que toute la surface du lac soit balayée.

❖ Avant l'introduction du module biologique

Deux prélèvements ont été réalisés :

Au mois de février 2008,

- A la sortie du décanteur secondaire de la station d'épuration.
- Au lac par le quai flottant.

Au mois de mai 2008,

Le responsable du centre cynégétique a mis à notre disposition une barque ce qui nous a permis de prélever dans différents points du lac.

- Sortie du deuxième décanteur de la station de d'épuration.
- Amont, milieu, partie nord, partie sud et aval du lac.

❖ Après l'introduction du module biologique

Les prélèvements sont effectués aux mois de : décembre 2009, avril et mai 2010 dans les points suivants :

- A la sortie du décanteur secondaire de la station d'épuration.
- Au lac par le quai flottant.



Photo VI.1. : Prélèvement dans le lac



Photo VI.2. : Prélèvement dans la station d'épuration

VI.1.2 Caractérisation des échantillons prélevés

Une fois les échantillons d'eaux prélevés, ils sont acheminés vers les lieux d'analyse pour les caractériser. Certains paramètres sont mesurés au laboratoire et d'autres dans des administrations externes. Les résultats sont résumés dans les tableaux VI.1 et VI.2 .

Tableau VI .1 : Caractéristiques des eaux de la station d'épuration et du lac
(ANRH, école de police, février 2008)

Paramètre		Echantillon STEP	Echantillon lac	Normes algériennes *	Normes françaises**
pH		7,34	7 ,72	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductivité (mS/cm)		2,21	1,90	-	3
Turbidité (NTU)		246 brutes 195 décantée	4,53 brutes 3,92 décantée	-	-
MES	mg/L	50	7,25	35	35
DCO		391	87,7	120	125
Cd		0,021	0	0,2	0,005
Cr		0,257	0,082	0,5	0,1
Fe		1,077	0,754	3	-
Ni		0,098	0	0,5	0,5
Pb		1,227	0,909	0,5	0,1
Zn		0,154	0,141	3	2
NO ₃ -		0,00	0,00	-	-
NO ₂ -		0,00	0,00	-	-
SO ₄ -		232	217	-	-
PO ₄ --		6,44	4,58	-	-
NH ₄ +		52,88	32,97	-	-

(*) Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (décret du 23 avril 2006)

(**) Valeurs limites des rejets dans les eaux superficielles (arrêté du 2 février 1998)

A la vue du tableau, on constate que les eaux provenant de la station d'épuration sont plus polluées que celles du lac, Ceci s'explique comme suit :

- les eaux provenant de la station d'épuration ne sont épurées que partiellement, le traitement se limite au mécanique;
- les eaux du lac subissent une dilution et une décantation.

On constate que la demande chimique en oxygène des eaux provenant de la station d'épuration dépasse la concentration exigée par la réglementation. Cet état de fait se justifie par l'absence d'un traitement biologique.

La pollution par les métaux lourds (plomb, chrome et cadmium) est mise en évidence, avec des teneurs dépassant les normes en vigueur.

Sachant que ces analyses sont faites à la sortie de la station d'épuration et au lac, on estime que les rejets provenant des unités industrielles sont beaucoup plus pollués et ne répondent pas aux normes en vigueur du fait qu'ils subissent une dilution.

Cette réalité est d'autant plus dangereuse qu'une bioaccumulation de ces métaux dans les chaînes alimentaires est inévitable, telle montrée dans l'analyse du plomb dans les légumes irrigués par les eaux du lac.

Tableau VI.2 : Concentration des métaux dans les eaux de la station d'épuration et du lac (février 2008)

Lieu De prélèvement	Cd	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn
	(mg/L)					
Amont lac	0	0,087	0,221	0,588	0,114	0,006
Nord lac	0	0,089	1,352	0,390	0,414	0,014
Milieu lac	0	0,115	0,550	0,839	0,553	0,025
Sud lac	0	0	0,189	1,063	0,371	0,038
Aval lac	0	0	0,647	0	0,390	0,035
S.T.E.P	0	0	0,205	0,042	0,418	0,051
Norme *	0,005	0,1	-	0,5	0,1	2

La lecture du tableau nous permet de distinguer une pollution par le nickel et le plomb.

La différence de la concentration des éléments dans les différents points du lac peuvent être expliquée par :

- la direction des courants des eaux dans le lac;
- le degré de turbulence de l'eau lors de son entrée dans le lac.

Chapitre VI : Partie expérimentale

L'introduction du module biologique dans la chaîne de traitements de la station d'épuration a permis un abattement important de la matière organique et des matières en suspension. Ceci se manifeste par une réduction remarquable de la demande chimique et biochimique en oxygène. Le contrôle et le suivi de ces paramètres en un mois sont donnés dans le tableau VI.3 :

Tableau VI.3 : Résultats du suivi des eaux de la S.T.E.P avant et après traitement biologique.
(Service technique de la station d'épuration)

Date de l'analyse	02 janvier		03 janvier		04 janvier	
Paramètre	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
DBO	230	7	205	10	185	6
DCO	449	32	436	27	427	27
MES	123	17	135	12	119	14
Date de l'analyse	05 janvier		07 janvier		09 janvier	
DBO	120	8	170	5	220	4
DCO	268	29	391	18	467	17
MES	97	10	119	11	138	19
Date de l'analyse	11 janvier 2009		14 janvier 2009		16 janvier 2009	
DBO	205	5	250	06	180	4
DCO	431	13	507	15	372	19
MES	129	9	153	13	108	12
Date de l'analyse	17 janvier 2009		19 janvier 2009		21 janvier 2009	
DBO	195	6	180	8	180	6
DCO	403	21	336	21	387	19
MES	111	12	120	9	104	8
Date de l'analyse	22 janvier 2009		24 janvier 2009		26 janvier 2009	
DBO	165	5	175	8	170	6
DCO	373	16	381	23	393	19
MES	113	7	126	8	131	11
Date de l'analyse	27 janvier 2009		28 janvier 2009		31 janvier 2009	
DBO	195	7	190	6	205	7
DCO	413	19	420	20	433	19
MES	121	8	130	9	129	11
Paramètre	Entrée			Sortie		
DBO moyenne	190			6		
DCO moyenne	409			21		
MES moyennes	115			11		

Ainsi les taux d'abattement calculés sur la base de la formule suivante

$$T (\%) = ((C_E - C_S) / C_E) * 100$$

Sont :

- 97 % pour la DBO.
- 95 % pour la DCO.
- 90 % pour les MES.

Du point de vue charge métallique, le tableau **VI.4** porte les concentrations des quelques métaux lourds avant et après introduction du module biologique.

Tableau VI.4 : Charge métallique avant et après introduction du module biologique.

Charge métallique		Avant traitement biologique		Après traitement biologique	
		S.T.E.P	Lac	S.T.E.P	Lac
Cd	mg/L	0,021	0	0	0
Cr		0,257	0,082	0	0
Fe		1,077	0,754	0,073	1,226
Ni		0,098	0	0,388	0,376
Pb		1,227	0,909	0,559	0,018
Zn		0,154	0,141	0,352	0,048

La variation des concentrations est aléatoire d'un prélèvement à l'autre et le traitement biologique n'influe pas grandement sur cette charge. Les teneurs en nickel et en plomb sont toujours supérieures à la norme.

D'autres prélèvements ont été effectués, les résultats d'analyses sont portés dans le tableau **VI.5**.

Tableau VI.5 : Caractéristiques des eaux du lac et de la S.T.E.P

Prélèvement		pH	Conductivité (mS/cm)	Turbidité (NTU)	DCO (mg/L)
Décembre 2009	Lac	7,96	1,88	4,63	76,80
	STEP	7,50	2,33	2,90	< 30
Avril 2010	Lac	7,80	1,79	4,40	104
	STEP	8,14	1,28	3,46	62,4
Mai 2010	Lac	7,89	1,96	4,90	137
	STEP	7,82	2,30	3,84	70

On a jugé utile de vérifier la pollution des eaux du lac et de la S.T.E.P par le mercure les résultats sont données dans le tableau **VI.6**.

Tableau VI.6 : Concentration de quelques métaux dans les eaux du lac et de la station d'épuration
(Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable, Mai 2010)

Paramètres	Unités	Résultats		Normes **
		Lac	S.T.E.P	
Cr	mg/L	< 0,2	< 0,2	0,1
Pb		0,2	0,46	0,1
Hg		0,0047	0,0047	0,001

Encore une autre fois, la pollution en plomb est mise en évidence. Les teneurs en mercure sont aussi supérieures à la norme.

VI.2 Etude expérimentale de la coagulation - floculation

Les essais de coagulation - floculation ont pour but de déterminer les valeurs optimales des quantités des réactifs nécessaires à l'élimination maximale des matières en suspension.

Les expériences ont été réalisées sur les échantillons suivants :

- **Dans la station d'épuration** : échantillons prélevés au mois de février 2008 et au mois d'Avril 2010.
- **Dans Le lac**: échantillon prélevé au mois d'Avril 2010 .

VI.2.1 Matériel de mesure

Le matériel utilise lors des expériences est :

- agitateurs ISCO
- turbidimètre WTW TURB 550
- pH mètre HANNA
- conductimètre HANNA
- balance SHIMADZU AU W 220 d= 0.1mg

VI.2. 2 Méthode

❖ Choix du Coagulant

Le coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium de forme chimique $Al_2 (SO_4)_3, 18 H_2O$
Le floculant utilisé est un poly électrolyte.

❖ Déroulement des expériences

La méthode utilisée pour l'obtention des doses optimales en coagulant et floculant est dite la méthode du jar-test , qui consiste à :

- introduire des doses croissantes du coagulant dans une série de 6 béchers d'un litre de solution mère.
- agiter pendant **2 mn** à une vitesse de **250 tr/mn** pour bien disperser le coagulant, puis à une vitesse de **60 tr/mn** durant **15 mn** pour agglomérer les colloïdes déstabilisés.
- laisser décanter pendant 45 minutes.
- récupérer le surnageant dans des flacons.

L'analyse des surnageants est faite au laboratoire, elle consiste à évaluer les paramètres suivants :

- pH.
- turbidité.
- Conductivité.
- DCO.

Ces résultats permettent de déterminer la dose optimale du coagulant, qui à son tour servira pour les essais de floculation.

L'essai de floculation se fait comme suit :

- introduire la dose optimale du coagulant dans une série de 6 béchers d'un litre d'eau brute.
- agiter pendant 30 secondes à une vitesse de 250 tr/mn, puis ajouter des doses croissantes du floculant et continuer l'agitation jusqu'à 4 minutes.
- diminuer la vitesse d'agitation jusqu'à 60 tr/mn pendant 15 minutes
- laisser décanter pendant 45 minutes
- récupérer le surnageant dans des flacons
- analyser le surnageant.



Photo VI.3 : Appareillage de jar-test

VI.3 Etude expérimentale de la nanofiltration

VI.3.1 Matériel

VI.3.1 .1 Description du pilote de nanofiltration

Le pilote utilisé est de Millipore Proscale. Il est équipé d'une pompe volumétrique de marque Ax Flow (Pression maximale de 100 bars, Température maximale de 40 °C, 1500 tr/mn), d'un bac d'alimentation d'une capacité de 12l, de deux vannes pour évacuer les solutions après nano filtration, de deux capteurs de pression permettant d'obtenir la pression transmembranaire moyenne dont la valeur est ajustée manuellement à l'aide des deux vannes de régulation de pression, d'un module de filtration qui peut accueillir des membranes spiralées.

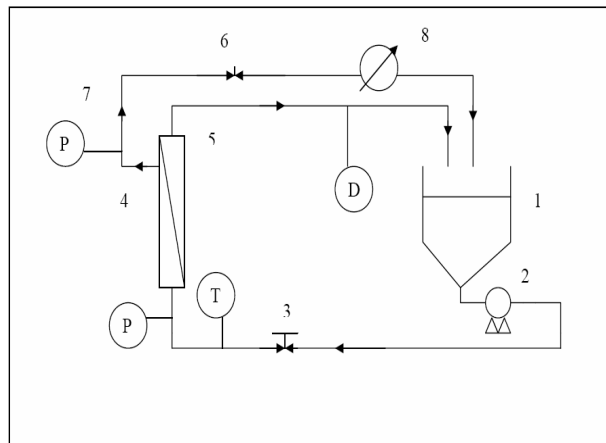


Photo VI.4 : Dispositif expérimental de la nanofiltration

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1- Bac d'alimentation. | 7- Recirculation du retentât. |
| 2- Pompe volumétrique d'alimentation. | 8- Echangeur de chaleur. |
| 3- et 6-régulateur de pression. | D- Régulateur du débit. |
| 4- Cellule de NF. | P- Capteur de pression |
| 5- Recirculation du perméat | T- Capteur de température |

VI.3.1 .2 Caractéristiques de la membrane

La membrane utilisée est du type organique (composite) Nanomax 50, de forme spiralée, elle présente les propriétés physico-chimiques suivantes :

- diamètre de pore d'environ 1nm
- surface : 0.37 m²
- seuil de coupure : 350 daltons

- pression maximale : 25 bars
- température maximale : 40 °C
- pH de travail : 2-10
- charge globale négative dans la gamme du pH du travail.

Les charges négatives de la membrane proviennent de l'hydrolyse partielle du polyamide aromatique constitutif du matériau.

VI.3.2 Méthodes

Pour réaliser les expériences de nanofiltration nous avons procédé comme suit :

- vérifier la perméabilité hydraulique de la membrane.
- effectuer les expériences de nanofiltration sur les surnageants récupérés lors des expériences de coagulation – floculation.

VI.3.2 .1 Détermination de la perméabilité de la membrane

Pour déterminer la perméabilité hydraulique de la membrane, nous avons utilisé la relation suivante

$$J_p = L_p * \Delta p$$

Avec

- J_p** Flux du perméat
- L_p** Perméabilité hydraulique de la membrane
- Δp** Pression transmembranaire

L'utilisation de cette relation nous a amené à tracer la droite de flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire.

VI.3.2 .2 Couplage de la coagulation-floculation et de la nano filtration

La nanofiltration est couplée à la coagulation – floculation afin de réduire le colmatage précoce de la membrane.

Après l'expérience de coagulation–floculation, le surnageant de l'eau prétraitée est récupéré, puis introduit dans le bac d'alimentation afin de subir l'opération de nanofiltration.

Cette expérience est réalisée sur les eaux de la station d'épuration (prélèvement du mois de mai 2010), pour trois pressions. Le protocole se déroule comme suit :

- faire circuler l'échantillon d'eau pendant 20 minutes.
- effectuer la séparation par la membrane.
- prélever un échantillon du perméat et un échantillon du retentât.
- répéter ces démarches pour trois pressions transmembranaires : 1, 2 et 3 bars

Après chaque expérience, la membrane est lavée selon les recommandations du fabricant. Le lavage se fait avec l'eau distillée en deux reprises

❖ **Calcul du flux du perméat et retentât**

Le débit du perméat et retentât sont déduit par des mesures expérimentales du volume (ΔV) recueilli dans un intervalle de temps (ΔT), selon l'équation suivante :

$$JV = \Delta V / (\Delta t * S)$$

Où **S** désigne la surface de filtration de la membrane (0,37 m²).

VI.4 Résultats

Nos analyses consistent à évaluer les paramètres suivants :

- pH
- Turbidité
- Conductivité
- DCO

VI.4.1 Résultats des essais de coagulation – floculation

VI.4.1.1 Eaux prélevées avant l'introduction du module biologique

Les essais de coagulation (le coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium) , ont fait sortir les résultats suivants

:

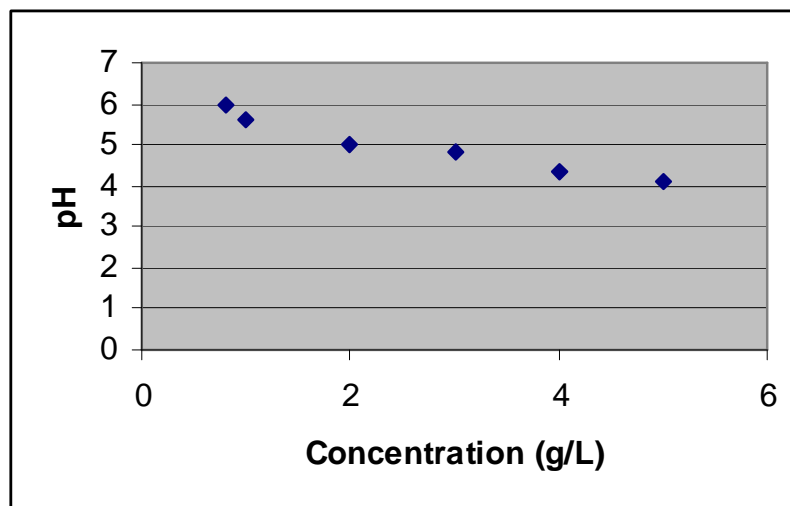


Figure VI.1 : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant

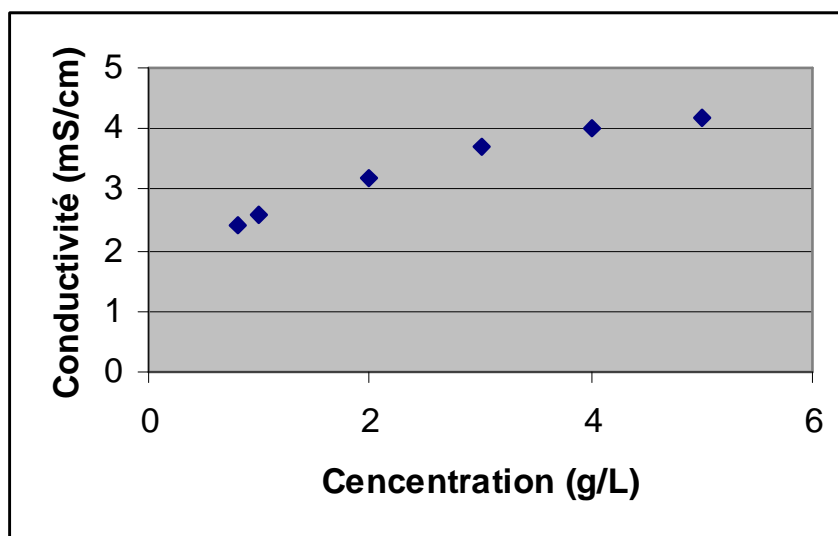


Figure VI.2: Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant

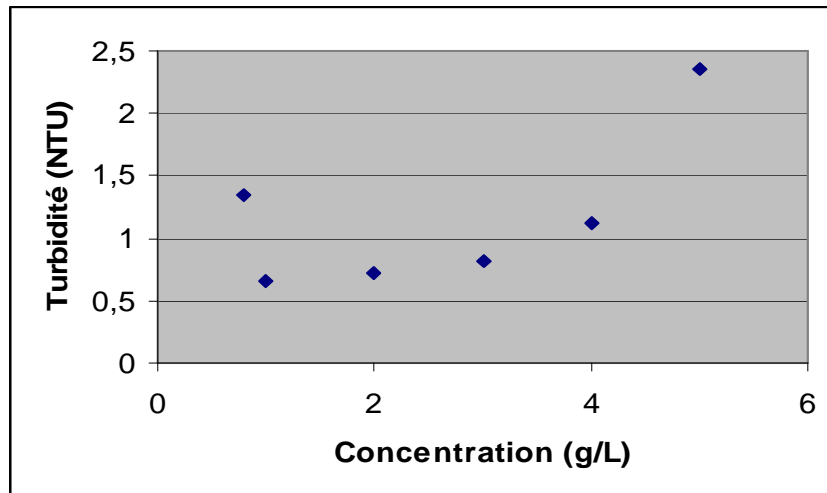


Figure VI .3: Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant

La lecture des résultats, permet de relever les constatations suivantes :

- Le pH de la solution diminue en augmentant la concentration du coagulant
- La turbidité diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale (0,65 NTU) pour la concentration de (1g/L) en coagulant puis remonte,
- La conductivité augmente proportionnellement à la concentration du coagulant.

L'exploitation de ces résultats nous permet de situer la dose optimale aux alentours de 1 g/L. Le surnageant est caractérisé par

- un pH de 5,62
- une conductivité de 2,60 mS/cm
- une turbidité de 0,65 NTU

L'eau brute est caractérisée par :

- un pH de 7,2
- une conductivité de 2,32 mS/cm
- une turbidité de 19,2 NTU

La comparaison de l'échantillon avant et après traitement par le procédé de coagulation est représentée sur la figure ci- après

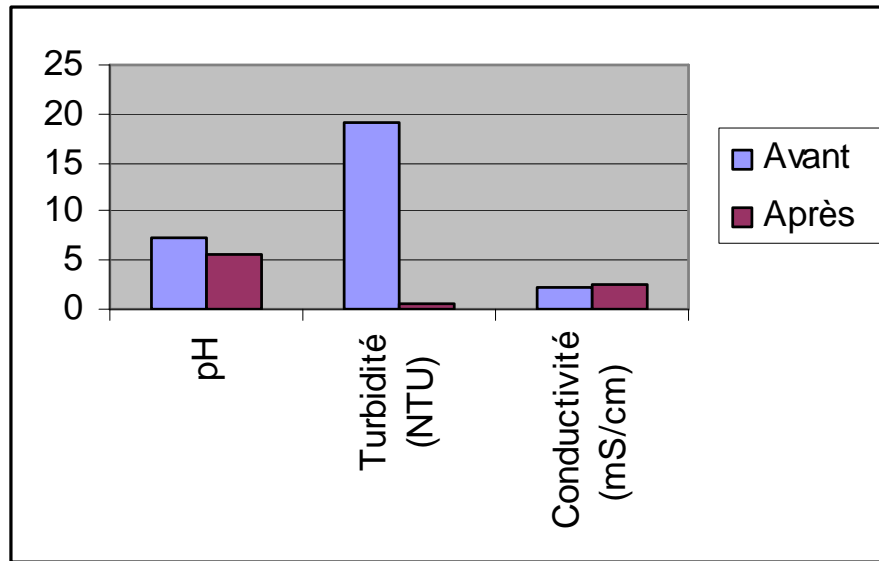


Figure VI.4: Variation des paramètres avant et après traitement

La coagulation a permis une réduction de 97 % de la turbidité.

VI.4 .1 .2 Eaux prélevées après l'introduction du module biologique

Les essais de coagulation – floculation sont effectués sur les eaux du lac et les eaux provenant de la station d'épuration qui est la principale source de pollution du lac par les substances nocives.

Tableau VI.7 : Résultats d'essais de coagulation sur les eaux du lac (Prélèvement du mois d'avril 2010)

	Concentration (g/L)	0,05	0,1	0,5	1	2,5	5
Temps de décantation 45 minutes	pH	7,55	7,25	6,34	4,74	4,30	4,15
	Conductivité (mS/cm)	1,80	1,80	1,85	1,90	2,18	3,02
	Turbidité (NTU)	2,30	3,55	2,90	6,78	18,20	18,20
Temps de décantation 90 minutes	pH	7,54	7,27	6,38	4,78	4,27	4,15
	Conductivité (mS/cm)	1,71	1,71	1,73	1,80	2,18	3,05
	Turbidité (NTU)	2,16	1,90	1,62	5,10	11,20	15,50

Les résultats qui ressortent de l'expérience, montrent que :

- le temps de décantation influe sur la l'élimination de la turbidité, plus le temps consacré à la décantation est long, plus l'élimination de la turbidité est meilleure.
- la dose optimale du coagulant est aux alentours de 0,5 g/L.

On essaye alors de travailler dans l'intervalle des doses allant de 0,1 g/L à 1 g/L., les résultats obtenus sont représentés sur les graphes suivants

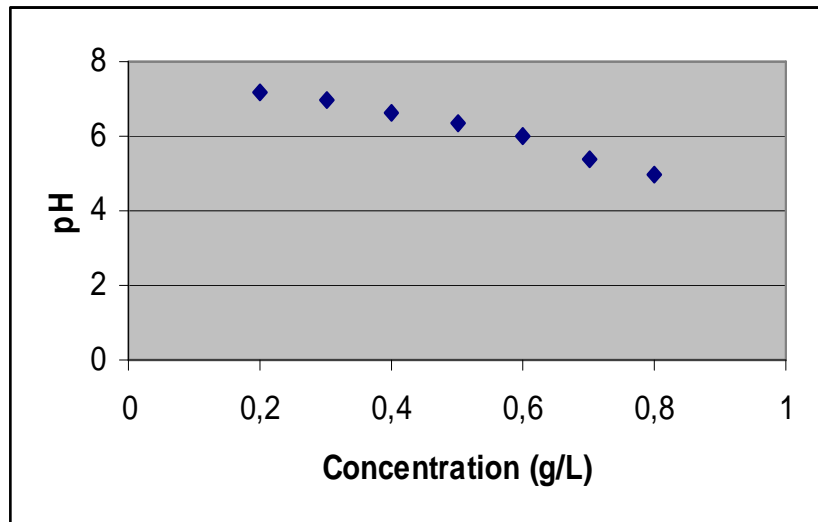


Figure VI .5 : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant

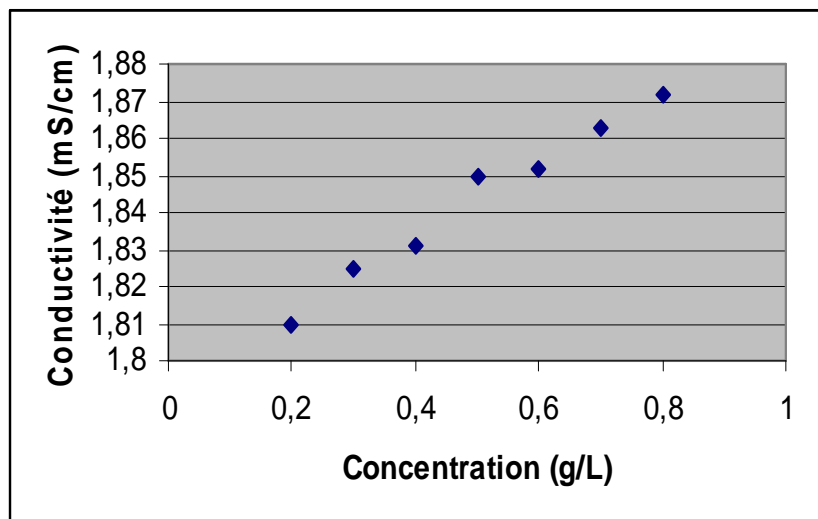


Figure VI .6: Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant

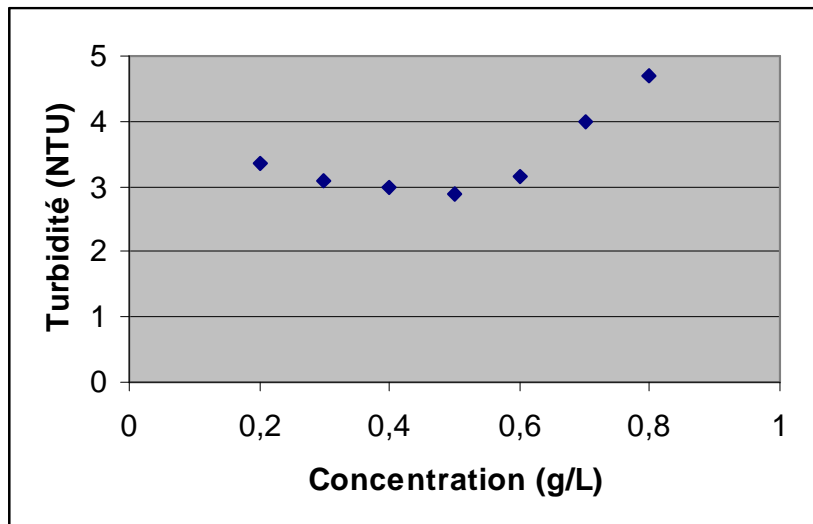


Figure VI .7: Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant

La dose optimale pour un temps de décantation de 45 minutes est de 0,5 g/L. Le surnagent est caractérisé par

- un pH de 6,34
- une conductivité de 1,85 mS/cm
- une turbidité de 2,90 NTU

Les essais de floculation ont donné les résultats suivants :

∴

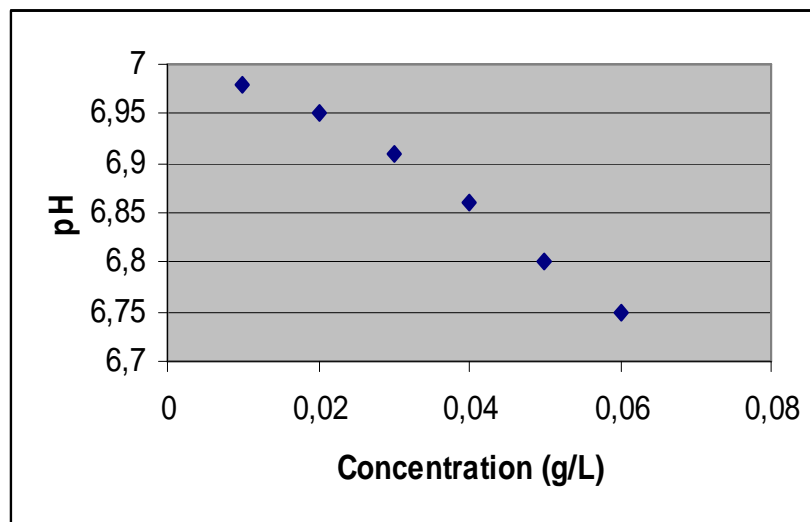


Figure VI .8 : Variation du pH en fonction de la concentration du flocculant

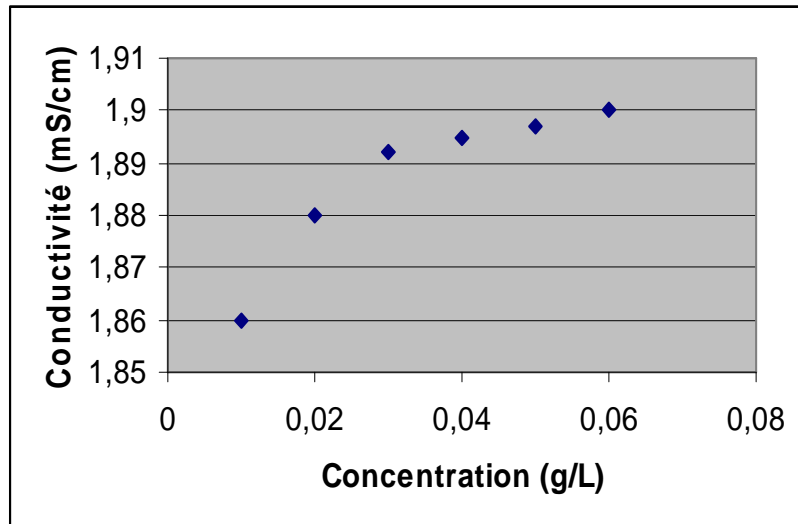


Figure VI .9 : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du flocculant

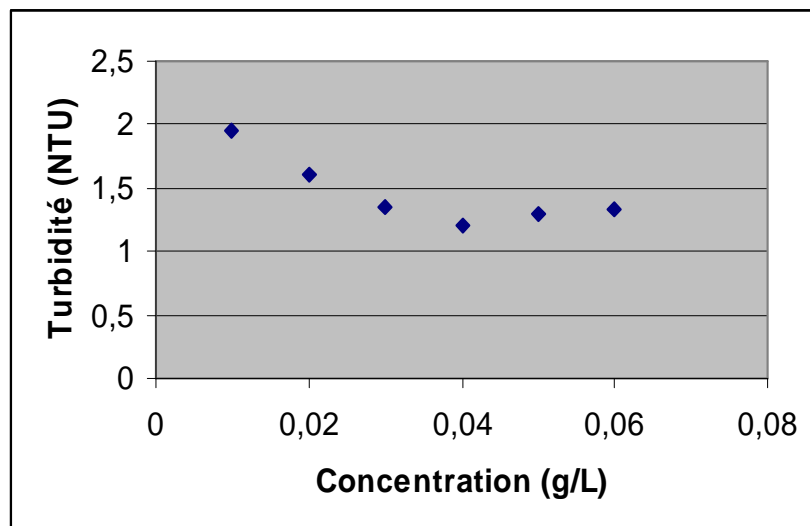


Figure VI .10 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant

Le meilleur résultat est obtenu pour une concentration de 0,5 g/L en coagulant et 0,04 g/L en flocculant :

Le surnageant est caractérisé par :

- un pH de 6,86
- une conductivité de 1,895 mS/cm
- une turbidité de 1,20 NTU
- une DCO de 28,8 mg/L

L'eau brute est caractérisée par :

- un pH de 7,80
- une conductivité de 1,790 mS/cm
- une turbidité de 4,40 NTU
- une DCO de 104 mg/L

Soit une réduction de :

- 73 % de Turbidité
- 72 % de DCO

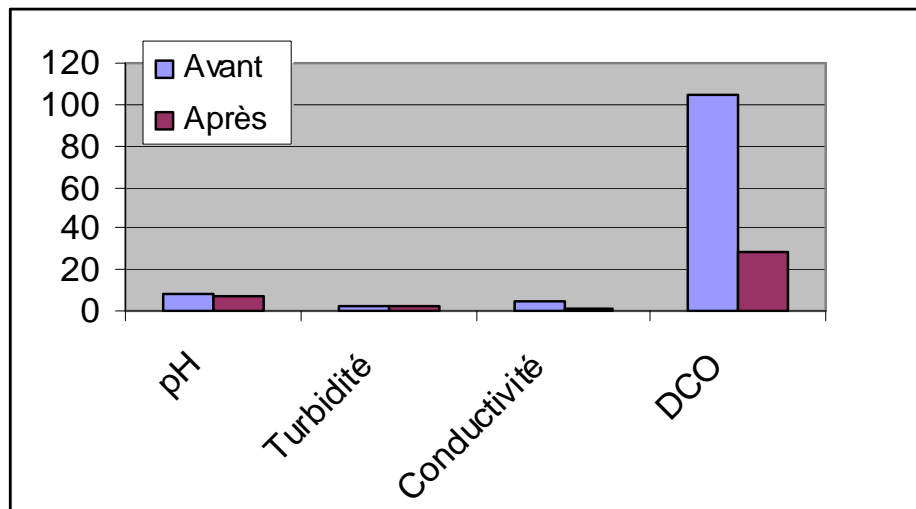


Figure VI .11: Variation des paramètres de pollution avant et après traitement

Les résultats des essais de coagulation sur les eaux de la station d'épuration sont regroupés dans le tableau VI.8.

Tableau VI.8 : Résultats d'essais de coagulation sur les eaux de la station d'épuration
(Prélèvement du mois Mai 2010)

		Concentration (g/L)	0,05	0,1	0,5	1	2,5	5
Temps de décantation 45 minutes	pH		7,51	7,29	6,50	5,15	4,19	4,00
	Conductivité (mS/cm)		1,638	1,645	1,685	1,729	2,160	2,910
	Turbidité (NTU)		2,15	1,40	7,50	19,20	26,40	30,80
Temps de décantation 90 minutes	pH		7,51	7,30	6,50	5,25	4,20	4,00
	Conductivité (mS/cm)		1,628	1,643	1,674	1,724	2,120	2,870
	Turbidité (NTU)		1,35	1,16	4,25	14,80	21,07	24,98

La dose optimale du coagulant est aux alentours de 0,1 g/L. On essaye alors de travailler aux voisinages de cette dose. Les résultats sont illustrés sur les graphiques ci-dessous .

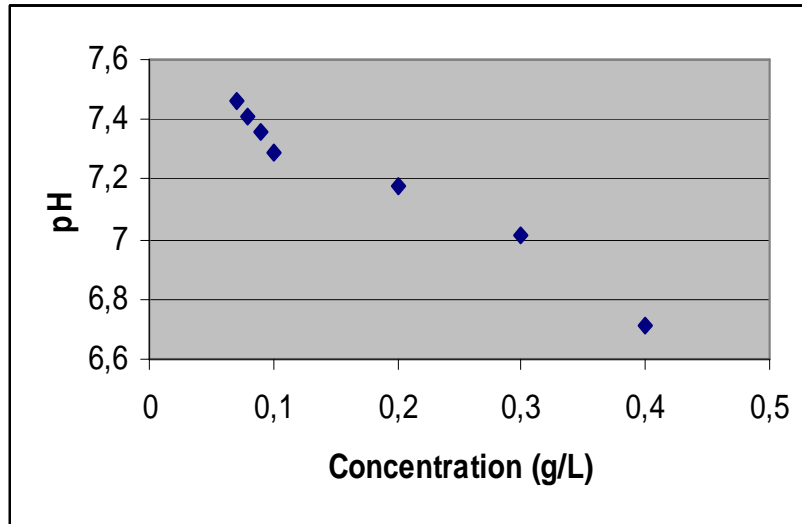


Figure VI .12 : Variation du pH en fonction de la concentration du coagulant

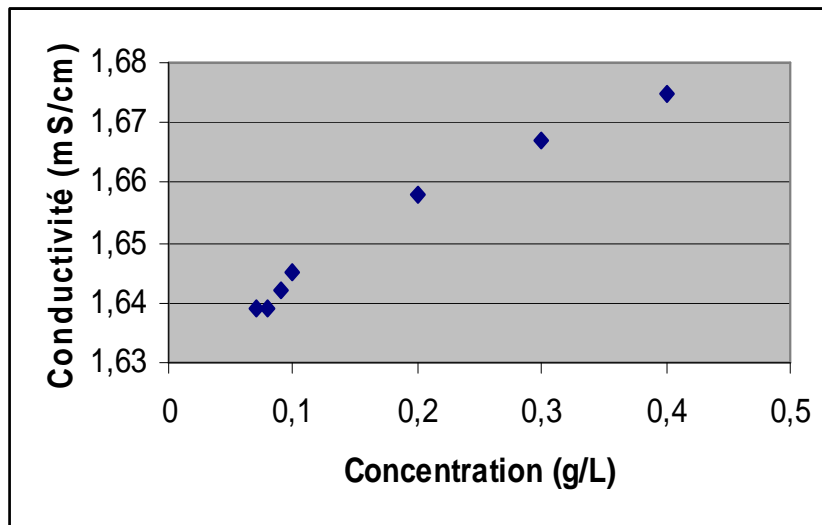


Figure VI .13 : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du coagulant

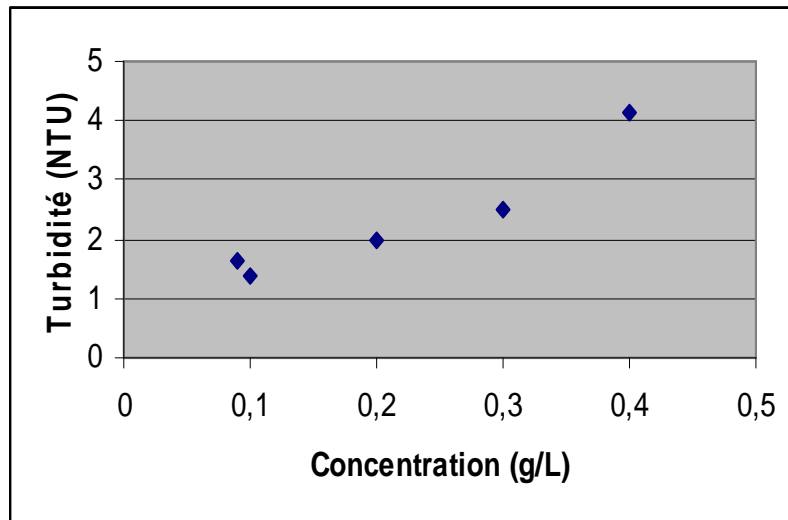


Figure VI .14 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant

La dose optimale pour un temps de décantation de 45 minutes est de 0,1 g/L. Le surnageant est caractérisé par

- un pH de 7,29
- une conductivité de 1,645 mS/cm
- une turbidité de 1,49 NTU

Les essais de floculation ont donné les résultats suivants :

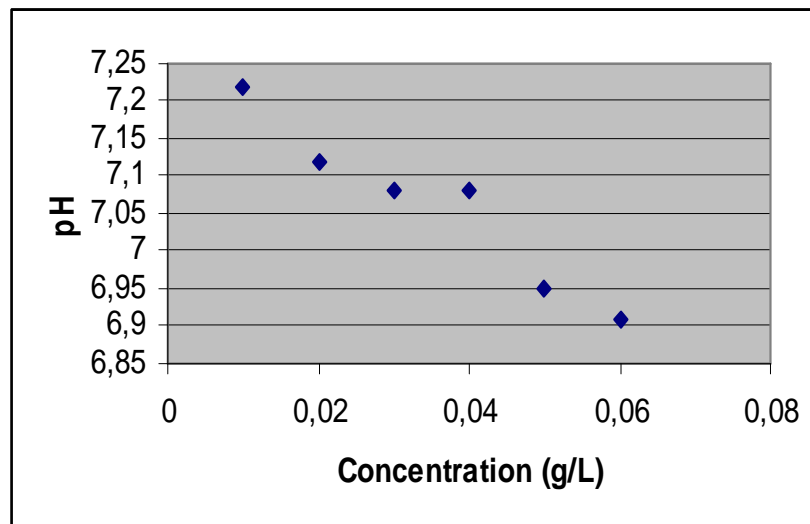


Figure VI .15 : Variation du pH en fonction de la concentration du floculant

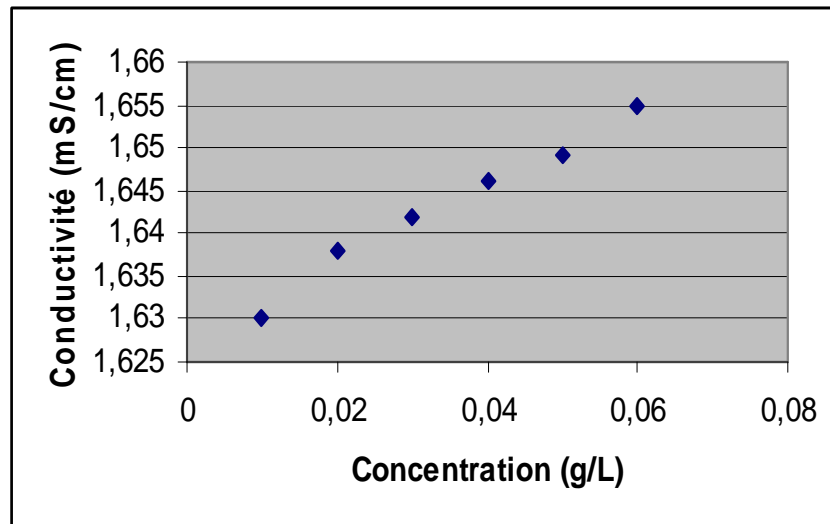


Figure VI .16 : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du flocculant

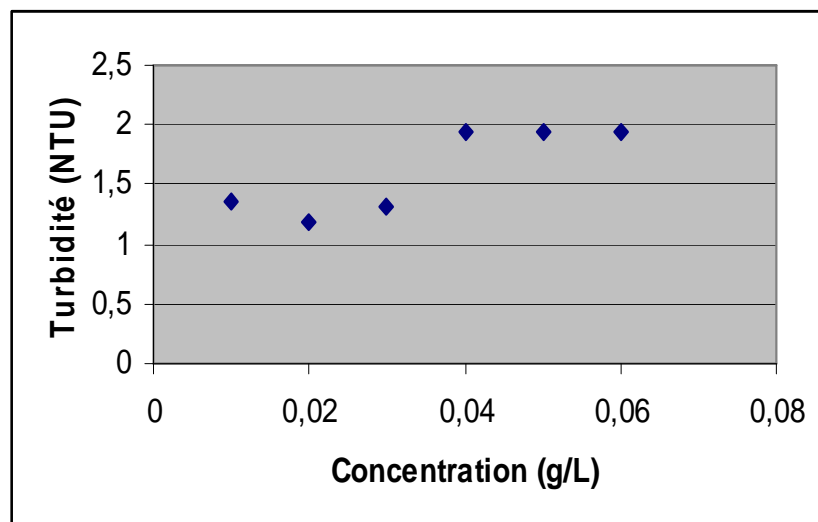


Figure VI .17 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant

Le meilleur résultat est obtenu pour une concentration en coagulant de 0,1 g/L et en flocculant de 0,02 g/L .Le surnageant est caractérisé par :

- un pH de 7,12
- une conductivité de 1,638 mS/cm
- une turbidité de 1,19 NTU
- une DCO de 18,6 mg/L

L'échantillon primaire est caractérisé par :

- un pH de 8,14
- une conductivité de 1,28 mS/cm
- une turbidité de 3,46 NTU
- une DCO de 62,4 mg/L

Soit une réduction de :

- 66% de turbidité
- 70% de DCO

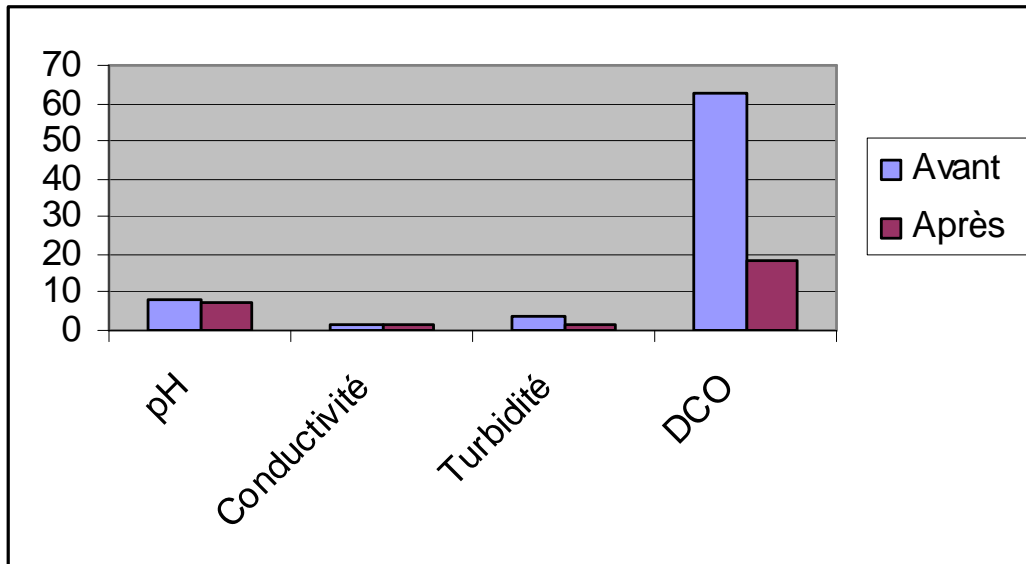


Figure VI .18: variation des paramètres de pollution avant et après traitement

VI .4.1.3 Interprétations des résultats

❖ Constatations

L'analyse des graphiques donnant l'évolution du pH, de la conductivité et de la turbidité des échantillons nous permet de relever les constatations suivantes :

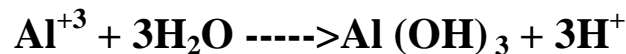
- le pH de diminue en augmentant les doses du coagulant.
- la conductivité augmente en augmentant les doses du coagulant.
- la turbidité diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale puis remonte.

❖ Interprétations

La diminution du pH s'explique comme suit :

La réaction de base lors de la mise en solution des coagulants minéraux est une hydrolyse qui modifie les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter (pH, conductivité).

La baisse du pH s'explique par la formation des ions H^+ ; plus la quantité du coagulant est importante plus la baisse du pH est remarquable.



- l'augmentation de conductivité s'explique par l'apport supplémentaire de produits chimiques dans l'eau.

Les courbes donnant l'évolution de la turbidité en fonction des doses de coagulant laissent apparaître trois zones distinctes :

- une première zone : décroissante ou la turbidité diminue proportionnellement aux doses croissantes du coagulant ; correspondant à une élimination efficace des matières en suspension présentes dans l'eau ; cette élimination est due à une déstabilisation des particules.
- une seconde zone : creuse représentant l'intervalle des doses optimales correspondant à une neutralisation des charges et une élimination maximale de la turbidité. En cette zone, la déstabilisation des colloïdes est maximale et l'agrégation de ces derniers donne des floccs de taille plus grande ce qui facilite leur décantation.
- enfin une troisième zone : croissante ou la turbidité recommence de nouveau à croître correspond à un apport excessif d'ions ainsi la restabilisation des particules colloïdales.

En ce qui concerne l'ajout du flocculant l'allure des courbes s'explique comme suit :

- la zone décroissante : l'ajout du coagulant provoque la déstabilisation des matières colloïdales qui génèrent des micros floccs ces derniers décantent très lentement après l'ajout du flocculant le rassemblement des micros floccs donnent des floccs macroscopiques plus facilement sédimentables.

- la zone creuse : Cette zone correspond à une turbidité minimale due à la dose optimale.
- la zone de croissance : l'excès progressif du flocculant engendre un trouble c'est-à-dire l'augmentation de la turbidité.

VI.4 .2 Résultats des essais de nanofiltration

VI.4 .2.1 La perméabilité hydraulique

Pour déterminer la perméabilité hydraulique de la membrane, nous avons utilisé la relation suivante :

$$J_p = L_p * \Delta p$$

Avec

J_p flux du perméat

Δp pression transmembranaire

L_p perméabilité hydraulique représente la pente de la droite de l'équation

Tableau IV.9 : Flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire

Flux du perméat J _p 10 ⁺⁶ (m/s)	Pression ΔP (bars)
0	0
2,18	1
4,59	2
7,30	3

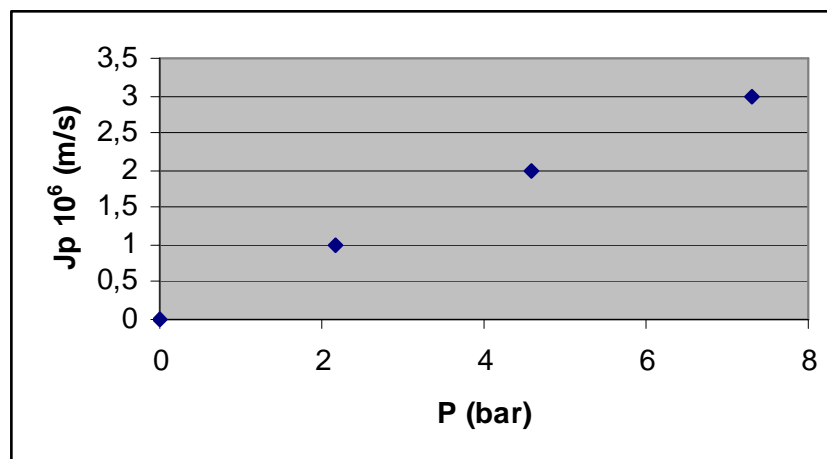


Figure VI .19: Représentation graphique du flux du perméat en fonction de la pression transmembranaire

La perméabilité L_p représente la pente de la droite de l'équation, elle vaut 2. 10⁻⁶ m/s bars.

VI.4 .2.2 Couplage coagulation – floculation et la nanofiltration

La pression transmembranaire est un paramètre très influant sur la nanofiltration, nous avons donc étudié son incidence sur les différents débits .Les résultats sont mis en relief dans les figures si – dessous :

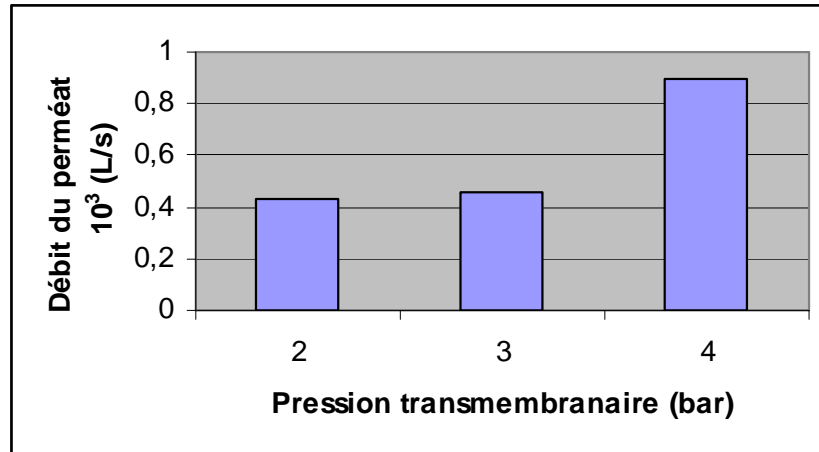


Figure IV.20 : Evolution du débit du perméat en fonction de la pression transmembranaire

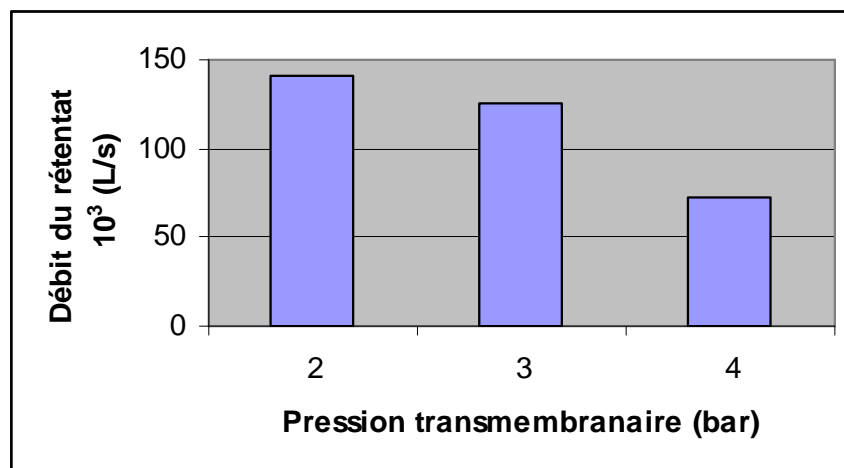


Figure IV.21 : Evolution des débits du retentât en fonction de la pression transmembranaire

On constate que, plus la pression est grande, plus le débit de perméat, c'est-à-dire la fraction de l'eau qui traverse la membrane est importante contrairement à celui du retentât.

Tableau IV.10 : Evolution des différents paramètres en fonction de la pression transmembranaire (Prélèvement du mois de Mai 2010)

Paramètres		pH	Conductivité mS/ cm	Turbidité NTU	DCO mg/L
Pression (bar)					
2	Perméat	8,08	1,285	0,90	10,40
	Retentât	7,76	1,520	1,50	-
3	Perméat	8,43	1,270	0,10	6,30
	Retentât	8,57	1,891	1,41	-
4	Perméat	8,19	1,376	0,35	8,90
	Retentât	8,25	1,822	1,60	-

Rappelons que les caractéristiques de l'eau brute sont :

- un pH de 7,82
- une conductivité de 2,30 mS/cm
- une turbidité de 3,84
- une DCO de 70

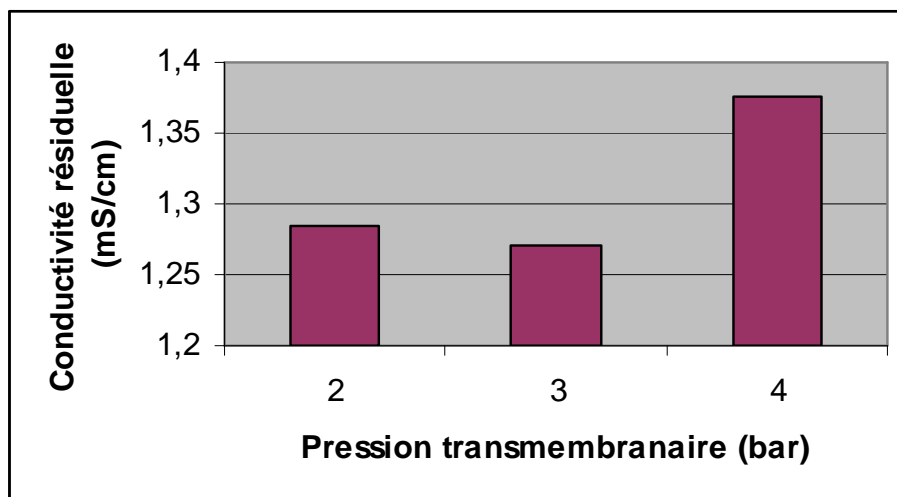


Figure IV.22 : Conductivité résiduelle en fonction de la pression transmembranaire

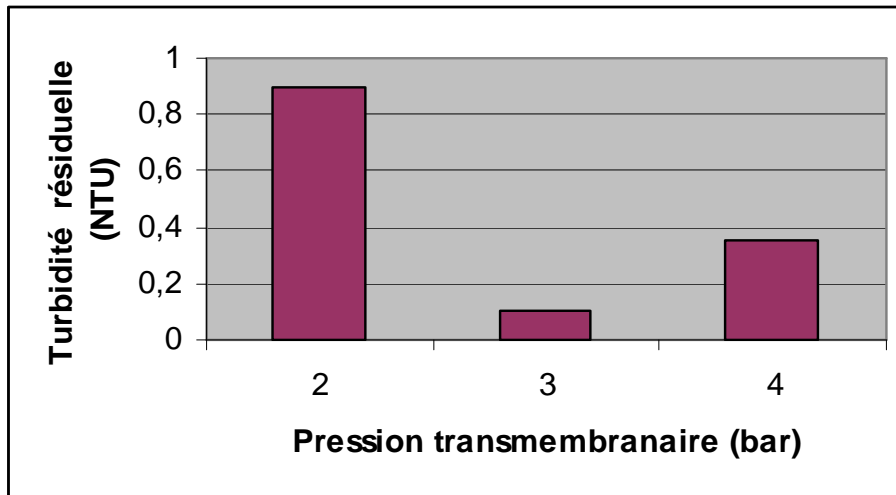


Figure IV.23 : Turbidité résiduelle en fonction de la pression transmembranaire

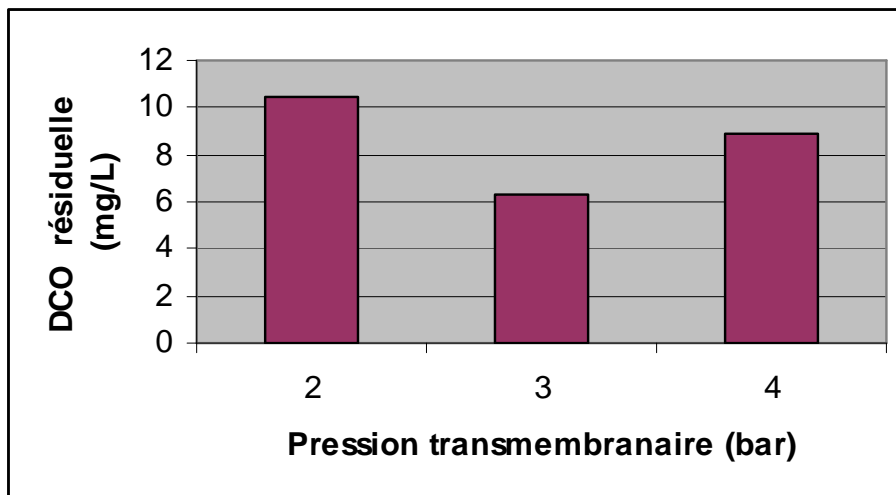


Figure IV.24 : DCO résiduelle en fonction de la pression transmembranaire

L'exploitation de ses données nous permet de déduire que la pression transmembranaire de 3 bars nous donne les meilleurs résultats, avec une réduction de :

- 45% de conductivité
- 97 % de turbidité
- 91 % de DCO.

Cette eau est d'une qualité qui répondant aux normes des eaux de surface.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Conclusion générale

Cette présente étude avait pour objectif principal, la réduction de la charge polluante des eaux du lac de Reghaia, qui reçoit environ 80 000 m³ d'eau polluée par jour dont une partie est en provenance de la station d'épuration des eaux usées.

Cette masse d'eaux polluées est à l'origine de la disparition progressive de la végétation aquatique et des poissons d'eau douce dans le lac, et à la contamination des cultures qui fleurissent à ces abords où des concentrations très élevées en métaux lourds sont enregistrées [6] [7].

A travers cette étude on peut conclure que :

- L'introduction du traitement biologique dans la station d'épuration a permis une réduction remarquable de la pollution organique mais reste sans conséquences sur la pollution métallique.
- La pollution par le plomb s'est avérée majoritaire, des teneurs excessives sont enregistrées dans tous les échantillons prélevés.
- Le couplage des deux procédés « la coagulation –floculation et la nanofiltration » a donné des résultats satisfaisants :

Dans la partie coagulation – floculation, nous avons procédé à plusieurs essais sur les eaux du lac et ceux de la station d'épuration, les doses optimales sont :

Les eaux du lac :

- 0,5 g/l en coagulant
- 0,04 g/l en floculant

Soit une réduction de :

- 73% de Turbidité
- 79 % de DCO

Les eaux de la station d'épuration :

- 0,1 g/l en coagulant
- 0,02 g/l en floculant

Soit une réduction de :

- 66 % de turbidité
- 70 % de DCO

Pour Les essais de nanofiltration effectués pour les eaux de la station d'épuration et faits pour 03 pressions, les résultats obtenus sont meilleurs pour la pression de 03 bars.

Le couplage entre les deux procédés a donné des résultats assez satisfaisants, soit une réduction de :

- 70 % de DCO
- 92 % de turbidité
- 44 % de rétention ionique.

En définitif et en tenant compte de l'importance des résultats obtenus par cette étude, nous espérons que ces procédés porteront une amélioration considérable dans le mode de traitement des eaux usées de la station d'épuration de Reghaia pour l'obtention d'une eau répondant aux normes de rejet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] Fiche descriptive sur les zones humides RAMSAR .Mai 2003.
- [2] **Programme d'actions prioritaires** « Gestion intégrée des zones côtières, action pilote : site du lac de Reghaia », Avril 2005.
- [3] **Programme d'actions prioritaires** « Aménagement des communes côtières du marais de Reghaia », Mars 2005.
- [4] **Centre Cynégétique**, fiche descriptive du lac de Reghaia 2007.
- [5] **M. DI BENEDETTO** « Méthodes spectrométriques d'analyses et de caractérisation des métaux lourds » Ecole des mines Sait .Etienne.
- [6] **H.KHEDDOUCHE, F.SELLAM** « Contribution à la recherche des métaux lourds dans le végétaux induits par les eaux d'irrigation du marais de Reghaia ». Mémoire de fin de cycle d'ingénieur .USTHB.1990.
- [7] **N.BELHOUARI, H. BELAUCHE** « Etude des interférences des éléments majeurs sur les métaux lourds » Mémoire de fin de cycle d'ingénieur. ENP.1989.
- [8] <http://hydroland.pagesperso-orange.fr/Coagulation.htm>
- [9] Tambon. Basic, concepts, and inovative turn of coagulation flocculation water supply (1990) 1-10
- [10] **J.P.BRUN**, « Procédés de séparation par membranes ».Masson, 1989.
- [11] **J.L.HUMPHREY, G.E.KELLER**, « Procédés de séparation : techniques, sélection, dimensionnement ».Dunod, Paris, 2001.
- [12] **M.BELKACEM**, « Nouvelle méthodologie dans le traitement des huiles de coupe par ultrafiltration» Thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Toulouse ,1995
- [13] **A.P.TAMAS**, « Etude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface» Mémoire de Maîtrise .Faculté des sciences et de génie, université de LAVAL Québec, 2004.
- [14] **E.KOLLER**, « Séparation par membranes »Génie chimique, l'usine nouvelle Dunod, Paris, 2001.
- [15] **A.MAUREL**, « Techniques séparatives à membranes » Techniques de m'ingénieur, J 2790,1993.
- [16] **C.GUIZARD**, « Guide de la nanofiltration » Club français des membranes, Lavoisier, 2000.
- [17] **G.TCHOBANOGLIOUS, H.D.STENSEL, F.L.BURTON**, « Advenced wastewater treatment, Wastewater engineering: treatment and reuse » Quatrième edition Mectal et Eddy,2003.
- [18] **A.CAETANO, M.N.DEPHINHO, E.DRIOLI, H.MUNTAU**, «Membrane technology: Applications to industrial wastewater treatment » Kluwer academic publishers, London, 1995.

Références bibliographiques

- [19] http://www.engref.fr/msme2004_diaz.pdf , « Application des membranes aux traitements des eaux usées » .
- [20] [http:// www.adme.fr/Entreprises/ Energie/ procédés / ftech / FT-Membra](http://www.adme.fr/Entreprises/Energie/procedés/ftech/FT-Membra) «Les techniques membranaires à gradient de pression ».
- [21] Technique de l'ingénieur JB3
- [22] **J. COOPEN** « Advnced waste water treatment system, degree of bachelor engineering », 2004.
- [23] **R.H.PERRY, D.W.GREEN**, « Alternative separation process, reverse osmosis and nanofiltration » Perry's chemical engineer's Handbook, seven edition ,1997.
- [24] **DEGREMENT**, « Mémento technique de l'eau »Tome1, neuvième édition.
- [25] Technique de l'ingénieur J2
- [26] **S.E.KENTISH, G.W.STEVENS**, « Innovations in separations technology for the recycling and reuse of liquid waste streams »Chemical Engineering Journal ,84 (2001). 149-159.
- [27] **E.DRIOLI, A.CRISCUOLI, E.CURCIO**, « Integrated membrane operations for seawater desalination », Desalination, 147(2002)77-81.
- [28] **S. VELIKOVA, MAVROV, M.MARINOV**, « Characterization of the reverse osmosis membranes CA80 and CA95 by transport coefficient », desalination, 91, 293-306.
- [29] **MEMOTEC N°1** , « La nanofiltration, une technologie adaptée aux eaux difficiles »
- [30] **L. VANDANJON, S. CROSA**, « Recovery by nanofiltration and reverse osmosis of flavours from seafood cooking waters », Desalination, 144 (2002) 379-385.
- [31] **Technologies Propres et Eau dans l'industrie**, disponible sur site Internet <http://www.technologies-propres.com>
- [32] **L. SONG,M. ELIMELECH** , « Theory of concentration polarization in crossflow filtration » , J.CHEM. SOC.FARADAY TRANS.91 (19) (1995) 3389-3398.
- [33] **T.R. NOORDMAN**, « High flux ultrafiltration » , Thèse de doctorat ,université de Rijks Groningen ,2000.
- [34] **G.DUAFIN, F.RENE, P.AIMAR**, « Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire », collection sciences et technique agroalimentaire, Edition Lavoisier ,1998.
- [35] **P. SAHACHAIYUNTA, T. KOO, R. SHEIKHOESLAMI**, « Effect of several inorganic species on silica fouling in RO membranes », Desalination, 144(2002)373-378.
- [36] **C. VISVANATH, N. BOONTHANON, A. SATHASIVAN, V.JEGATHEESAN**, « Pretreatment of seawater for biodegradable organic content removal using membrane bioreactor », Desalination, 153 (2002) 133 -140.

Références bibliographiques

- [37] **P. AIMAR, P. APTEL**, « Membrane preparation , fouling emerging process , fouling and process design, récents progrès en génie des procédés , European society of membrane Science and technology », Centre university of Bath.
- [38] **S .G.SARRADE . M. RIOS ET CARLES**, « Dynamic characterisation and transport mechanisms of two inorganic membrane for nanofiltration », Journal of membrane science, 97, 155-166, 1994.
- [39] **A.L AHMED, A.MARIADAS**, « Development of highly hydrophilic nanofiltration membrane for desalination and water treatment » , Desalination , 168 (2004)215-221.
- [40] **A. MONTIEL, R. BOUSSAHEL, S.BOULAND**, « Removal of pesticides residus in water using nanofiltration process », Desalination 132(2000) 205-209.
- [41] **G.DUCOM, C.CABASSUD**, « Intersets and limitations of nanofiltration for the removal of volatils organic compounds in drinking water production », Desalination 124 (1999) 115- 123.
- [42] **A.H. BANNOUD**, « Elimination de la dureté et des sulfates contenus dans les eaux par nanofiltration », Desalination 137(2001) 133-139.
- [43] **L.PAUGAM, S.TAHA, J.CABON, G.DORANGE**, « Elimination of nitrates ions in drinking water by nanofiltration », Desalination 152 (2002) 271-274.
- [44] **A.SEIDEL, J.J.WAYPA, M.ELIMELECH** « Role of charge exclusion in removal of Arsenic from water by a negatively charged porous nanofiltration membrane », environmental engineering science 18 (2) (2001).
- [45] **M.J.W. FRANK, J.B. WESTERINK, A. SCHOKKER**, « Recycling of industrial waste water by using a two step nanofiltration process for the removal of color », Desalination 145 (2002) 69-74.
- [46] **A. F. VIERO, A. C. R. MAZAROLLO, K. WADA, I. C. TESSARO** , « Removal of hardness and COD from retanning treated effluent by membrane process », Desalination 149 (2002) 145-149.
- [47] **J. WARCZOK, M. FERRANDO, F. LOPEZ, C. GUELL**, « Concentration of apple and pear juices by nanofiltration at low pressures », Journal of food engineering 63 (2004) 63-70.
- [48] **A. AKBARI, S. DESCLAUX, J. C. REMIGY, P. APTEL** « Treatment of textile dye effluents using a new photografted nanofiltration membrane », Desalination 149 (2002) 101-107.
- [49] **M. MARCUCCI, J. CIARDELLI, A. MATTEUCCI, L. RANIERI, M. RUSSO** , « Experimental campaigns on textile waste water for reuse by means of different membrane processes », Desalination 149 (2002) 137-143.
- [50] **M. MANTARI , A.PIHLAJAMAKI ,M.NYSTROM**, « Comparison of nanofiltration and tight ultrafiltration membranes in the filtration of paper mill process water », Desalination 149 (2002) 131-136.

Références bibliographiques

- [51] **M.MINHALMA, M.N.PINHO**, « Development of nanofiltration / steam stripping sequence for coke plant wastewater treatment », *Desalination* 149 (2002) 95-100.
- [52] **O. RAFF, R-D. WILKEN**, « Removal of dissolved uranium by nanofiltration », *Desalination* 122 (1998) 147-150.
- [53] **E. D. HWANG, K. W. LEE, K. H. CHOO, S. J. CHOI, S. H. KIM, C. H. YOON, CG. H. LEE**, «Effect of precipitation and complexation on nanofiltration of strontium-containing nuclear wastewater », *Desalination* 147 (2002) 289-294.
- [54] **BENDLER, B. GOERS, G. WOZNY**, « Nanofiltration of solutions containing surfactants – prediction of flux decline and modelling of mass transfer »
- [55] **L. NGHIEM, A. SHAFFER, M. ELIMELECH** « Removal of natural hormones by nanofiltration membranes : Measurement, modeling, and mechanisms », *Environmental science technology* 38 (2004) 1888 – 1896.

Résumé

La présente étude a pour objectif la réduction de la charge polluante des eaux du lac de réghaia considéré comme le dernier vestige de l'ancienne Mitidja. Le lac a révélé une richesse et une diversité faunistique et floristique insoupçonnées mais du fait de sa proximité des zones urbaines et industrielles, il reçoit environ 80 000 m³ d'eau d'eau polluée par jour Ce qui provoque la disparition de la végétation aquatique et des poissons d'eau douce.

Le traitement proposé est le couplage entre un procédé conventionnel (coagulation – floculation) et un procédé membranaire (la nanofiltration). Les résultats obtenus sont satisfaisants.

Abstract

The aim of the present study is the reduction of load pollution of Reghaia lake water considered us the last remain of the old Metidja. The lake revealed an unsuspected wealth of fauna and flora , but in fact of its proximity to the industrial and urban area , it receive about 80 000 m³ of polluted water at a day, which cause the disappearance of aquatic vegetation and freshwater fish.

The treatment proposed is the coupling of a conventional technique (coagulation – flocculation) and a membrane technique (nanofiltration).the results obtained are satisfactory.