



Ecole Nationale Polytechnique

Département du génie de l'environnement

**Laboratoire des Biotechnologies Environnementales et Génie des Procédés
(BIOGEP)**

Mémoire du projet de fin d'études d'ingénieur

Présenté par :

AGHBARI Lila

BAKHTAOUI Naima

Thème

**Diagnostic, mise à niveau et réutilisation des eaux usées de la station
d'épuration de la Base de vie 24-02 HASSI MESSAOUD**

Présidente : Mlle D.ARRAR Maître de conférences, ENP

Examineurs : Mr H.LOUNICI Professeur à l'UMMTO

Mme N.ABDI Maître de conférence à l'ENP

Promoteur : Mr N.MAMERI Professeur à l'ENP

*Année Universitaire 2009 – 2010
ENP:10,Avenue Hacén Badi, El-Harrach, Alger.*

Dédicaces

Sans qui je ne serais pas où j'en suis aujourd'hui

A mes chers parents,

Je ne pourrai jamais assez vous remercier pour tout ce que vous faites pour moi.

A ma chère et unique sœur

*A mes chers frères **SEDIK, MEHDI, DJILLALI, MOHAMED.***

A ma grande mère

Ta présence parmi nous illumine nos jours. Que DIEU te protège.

*A mes neveux **WISSALLE, YASSINE, MALAK, MAHMOUD, DJOMANA.***

A toutes mes amies et collègues.

NAIMA

Dédicaces

A vous que je ne pourrais assez exprimer mon éternel amour, respect et gratitude. Pour votre amour, vos sacrifices, patiences et tendresse. Je vous dédie ce modeste travail en signe de remerciement pour votre aide précieuse, conseils et encouragement.

A mes très chers parents,

Que dieu tout puissant vous garde pour nous.

*A mes très chers frères **AMINE** et **LOUNIS***

*A ma très chère et unique sœur **SONIA***

A mes très chères amis et camarades avec lesquels j'ai passé des moments inoubliables

« A toute la promotion 2010 »

LILA

Remerciements

*Ce travail a été réalisé au sein de la division HSE, direction production de Hassi Messaoud, et au laboratoire des Biotechnologies Environnementales et Génie des Procédés de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENP). Sous la direction du professeur **N.MAMERI**, à qui nous éprouvons toute notre gratitude pour sa gentillesse, sa disponibilité, sa patience et pour ses directives judicieuses tout au long de ce travail.*

*Nous remercions vivement monsieur **M.KHASEF**, pour leur aide et accueil au sein de sa division pendant les mois du travail.*

*Nos remerciements vont également à monsieur **A.HSAINIA** et à monsieur **A.BEDDAIE**, pour leurs conseils et leur aide précieuse afin de réaliser ce travail.*

*A Mlle **D.ARRAR** qui en présidant le jury nous fait un très grand honneur étant donné l'estime qu'on lui porte. Nous remercions les membres du jury le professeur **H.LOUNICI** et Madame **N.ABDI** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux et celles, qui nous avons donné de leur temps, nous avons fait profiter de leur savoir et éclairer de leurs conseils.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	: Situation géographique du champ de Hassi Messaoud	4
Figure I.2	: Aquifères du Sahara septentrional	6
Figure IV.3	: Schéma de principe du fonctionnement membrane permselective	29
Figure IV.4	: Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire.....	33
Figure V.5	: Schéma du procédé d'électrocoagulation	41
Figure V.6	: Connexion en parallèle d'électrodes monopolaires	43
Figure V.7	: Connexion en série d'électrodes monopolaires.....	43
Figure V.8	: Connexion des électrodes bipolaires	44
Figure VI .9	: Schéma de la STEP de la base 24/02.....	53
Figure VI .10	: Lit de séchage plein d'eau	54
Figure VI .11	: L'évolution du rapport DCO/DBO ₅	56
Figure VI .12	: Entrée et sortie du lit bactérien.....	58
Figure VI .13	: Les graisses ramassées dans la fosse septique	59
Figure VI .14	: Variation du débit moyen journalier de la STEP depuis l'année 2003.....	61
Figure VI .15	: Variation du débit moyen journalier de la STEP de l'année 2009.....	62
Figure VI .16	: Volume d'eau usée tout les quatre heures	63
Figure VII.17	: Exemple de boites Pétri du concentrât et de brute	67
Figure.VII.18	: Schéma représentatif du dispositif expérimental	69
Figure VII.19	: Réacteur pilote d'électrocoagulation	73
Figure VII.20	: Montage du dispositif de l'électrocoagulation	74
Figure VII.21	: Réacteur de l'électrocoagulation	74
Figure VIII.22	: Perméabilité à l'eau de la membrane avant usage.....	78
Figure VIII.23	: Courbe de polarisation de la membrane et influence de la pression	79
Figure VIII.24	: Influence de la vitesse de recirculation sur le flux de perméat	80
Figure VIII.25	: Influence de la pression sur le taux de rejet	81
Figure VIII.26	: Variation du flux du perméat en fonction du temps.....	82
Figure VIII.27	: Variation de la concentration du concentrât en fonction du temps.....	83
Figure VIII.29	: Evolution de taux de rejet en fonction du temps	84
Figure VIII.29	: Exemple de calcul de la densité de courant.....	87
Figure VIII.30	: Evolution de la DCO en fonction du temps	88
Figure VIII. 31	: Effet de l'intensité de courant sur la cinétique de l'électrocoagulation.....	89
Figure VIII.32	: Effet de la densité de courant sur la cinétique de l'électrocoagulation.....	90
Figure VIII.33	: Evolution de la DCO en fonction du temps.....	92
Figure VIII.34	: Effet de la distance inter électrodes sur la cinétique de l'électrocoagulation.....	92

Figure VIII.35	: Effet de la distance inter-électrodes sur la cinétique de l'électrocoagulation....	93
Figure VIII.36	: Evolution de la DCO en fonction du temps	94
Figure VIII.37	: Effet du pH sur la cinétique de l'électrocoagulation	95
Figure VIII.38	: Effet du pH initial sur la cinétique de l'électrocoagulation.....	96
Figure VIII.39	: Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH.....	97
Figure VIII.40	: Exemple de tube à analyser.....	99
Figure VIII.41	: L'évolution de la DCO dans le cas EC monopolaire et EC bipolaire en fonction du temps.....	99
Figure VIII.42	: Représentation d'abattement dans le cas EC monopolaire et EC bipolaire en fonction du temps.....	100
Figure IX.43	: La quantité d'eau utilisée dans la réinjection dans les puits productifs de pétrole.....	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1	: les aquifères du champ de Hassi Messaoud.....	5
Tableau II.2	: Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur.....	16
Tableau IV.3	: Classification des procédés à membrane en fonction de la taille des espèces.....	30
Tableau VI.4	: Exemple d'analyses effectuées dans le CRD	56
Tableau VII.5	: Caractéristique du pilote de laboratoire Microlab 130S de la firme Gamma filtration	70
Tableau VII.6	: Caractéristique de la membrane CERAVÉR®.....	71
Tableau VIII.7	: Caractéristiques physico-chimiques et bactériologique du perméat, concentrât et brut.....	85
Tableau VIII.8	: Les espèces moléculaires formées par l'hydrolyse de l'aluminium à différents pH.	97
Tableau VIII .9	: Comparaison entre UF et EC.....	101
Tableau IX.10	: Normes pour les eaux d'irrigation.....	110

LISTE DES ABREVIATIONS

BIOGEP Laboratoire des Biotechnologies Environnementales et Génie des Procédés

DBO Demande Biologique en Oxygène

DCO Demande Chimique en Oxygène

DO Densité Optique

CRD centre de recherche et développement Hassi Messaoud

EC Electrocoagulation

ECB Electrocoagulation Bipolaire

ECM Electrocoagulation Monopolaire

FAO l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

« food and agriculture organisation »

HMD Hassi Messaoud

MES Matières En Suspension

MF Microfiltration

NF Nanofiltration

NTK Azote Kjeldahl

OI Osmose Inverse

REUE Réutilisation des Eaux Usées Epurées

SH Sonatrach

STEP Station d'épuration

SASS Système des Aquifères du Sahara Septentrional

UF Ultrafiltration

Tables des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
Introduction générale	1
I. Description générale de Hassi Messaoud	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Présentation de la région de Hassi Messaoud.....	3
I.3. Activités industrielles de la région de HMD.....	6
I.4. Conclusion.....	7
II. Généralités sur les effluents	9
II.1. Introduction	9
II.2. Différentes types de rejets liquides.....	9
II.2.1 Les eaux usées industrielle.....	9
II.2.3. Les eaux pluviales	9
II.2.4. Les eaux usées domestiques.....	10
II.2.4.1. Origine des eaux usées domestiques.....	10
II.2.4.2. Risque liés aux rejets des eaux usées domestiques	11
II.2.4.3. Caractérisation des effluents domestiques.....	12
i. Caractéristiques microbiologique.....	12
ii. Caractérisation physico-chimique.....	13
II.3. Les normes algériennes de rejet d'effluents	16
II.4. Conclusion.....	18
III. Procédés de traitements des eaux usées par voie biologique	20
III.1. Introduction.....	20
III.2. Le prétraitement.....	20
III.3. Traitement biologique.....	21
III.3.1. Le traitement aérobie.....	21

III.3.2. Le traitement anaérobie.....	25
III.4. Traitements tertiaires.....	26
III.5. Traitement des boues.....	26
III.6. Conclusion	27
IV. Procédé de traitement par ultrafiltration	29
IV.1. Introduction.....	29
IV.2. Principe de la Membrane.....	29
IV.3. Procédés de séparation par membrane.....	30
IV.4. L'Ultrafiltration	31
IV.5. Lois sur le comportement	31
IV.6. les membranes d'ultrafiltration	35
IV.7. Régénération de la membrane	35
IV.8. les principales applications de l'ultrafiltration.....	36
IV.9. Avantages et inconvénients de l'ultrafiltration.....	36
IV.10. Conclusion	37
V. Procédés de traitement par électrocoagulation	39
V-1- La coagulation- Floculation.....	39
V-2- Electrocoagulation.....	39
V-2-1- Définition	39
V-2-2- Théorie de l'électrocoagulation	40
V-2-3- Description de la technique d'électrocoagulation	41
V-2.4. Paramètres influençant le procédé d'électrocoagulation	44
V-2.5. Principales lois régissant l'électrocoagulation	46
V-2.6. Avantages et inconvénients de l'électrocoagulation	48
V-2.7. Utilisation de l'électrocoagulation.....	49
V-2.8. Conclusion.....	49
VI. Diagnostic de la station d'épuration.....	52
VI.1. Introduction.....	52
VI .2. Station d'épuration de la base 24/02	53
VI .3. Problème du traitement biologique de la STEP	55

VI .3.1. Calcul du rapport DBO ₅ /DCO.....	55
VI .3.2. Problème des graisses	57
VI .4.Problème de la charge hydraulique.....	60
VI .4.conclusion.....	63
VII. Matériel et méthodes.....	65
VII.1.Introduction	65
VII.2.Analyses microbiologiques.....	65
VII.3 Analyses physico-chimiques.....	67
VII.4. Traitement par ultrafiltration.....	68
VII.5. Traitement par électrocoagulation	72
VIII. Résultats et discussions	77
VIII.1. Traitement des effluents par ultrafiltration	77
VIII.1.1.Calcul de la perméabilité à l'eau de la membrane avant usage.....	77
VIII.1.2. Traitement par ultrafiltration avec recirculation de perméat	78
VIII.1.3.Traitement par ultrafiltration sans recirculation de perméat	82
VIII.1.4. Analyses des effluents par après le traitement par ultrafiltration	84
VIII.2.Traitement d'effluent par électrocoagulation.....	87
VIII.2.1.Effet de la densité de courant	87
VIII.2.2. Effet de la distance inter- électrodes:.....	91
VIII.2.3. Effet du pH initial sur la cinétique d électrocoagulation	94
VIII.2.4.Effet du nombre d'électrodes, EC monopolaire, EC bipolaire.....	98
VIII .3. Comparaison entre procédés de traitement UF et EC	101
VIII.4.Conclusion.....	102
IX. Réutilisation des eaux usées épurées.....	104
IX.1. Introduction.....	104
IX.2. Objectif de la réutilisation des eaux usées épurées.....	104
IX.3. Domaines de réutilisation des eaux usées épurées (REUE).....	104
IX.4. REUE en Algérie	108
IX.5.Les précautions à prendre et mesures d'accompagnement.....	113

IX.6. Conclusion.....	114
Conclusion générale.....	116
Références bibliographiques	119
Annexe	125

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'activité humaine génère une production de déchets divers et variés de plus en plus importante : déchets industriels, déchets ménagés, eaux usées...

Afin de limiter l'impact sur l'environnement, il est indispensable de traiter ces déchets et si possible, d'en recycler une partie pour le traitement d'une autre.

La problématique du traitement de l'eau s'est toujours posée au fil du temps en faisant face d'une part, à des nuisances voir des pollutions de plus en plus diverses, et d'autre part, à chercher à utiliser des procédés de plus en plus efficaces et à moindre coût.

Les stations d'épurations ont pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents domestiques et industriels avant leur rejet dans le milieu naturel. Il se trouve que de nombreuses stations d'épurations ont été réalisées en Algérie, mais rares sont celles encore fonctionnelles en raison des problèmes de suivi, d'entretien ou d'inadaptation. Parmi ces stations d'épurations on s'est intéressés à la station d'épuration des eaux usées domestiques de la base de vie 24-02 SONATRACH-Hassi Messaoud.

Pour cela, dans les chapitres qui suivent, nous allons consacrer une première partie à l'étude bibliographique qui regroupe les généralités sur les eaux porteuses de pollution et les procédés de traitements.

En deuxième partie, nous allons donner les différentes anomalies qui se présentent à l'intérieur de la station d'épuration. Ce mémoire documente sur la possibilité de proposer une étude de mise à niveau visant l'amélioration de la chaîne de traitement biologique et à la réduction au maximum des effets négatifs de ces effluents sur le procédé. Cela sera par la proposition d'une combinaison de l'un des procédés : l'ultrafiltration ou l'électrocoagulation, au procédé utilisé à la station.

Une étude de l'influence des différents paramètres des deux procédés a été étudiée les résultats de l'étude et une comparaison de l'efficacité des deux procédés ont été présentés.

A la fin on va citer les différents domaines de réutilisation des eaux usées épurées et la possibilité de recycler ce type d'eau traitée

CHAPITRE I

*DESCRIPTION GENERALE DE
HASSI MESSAOUD*

I. Description générale de Hassi Messaoud

I.1. Introduction

Le champ de Hassi-Messaoud (HMD) est considéré comme l'un des plus grands gisements pétroliers dont le développement et l'exploitation ne cessent de s'accroître.

Les richesses souterraines de la région ne se limitent pas qu'aux hydrocarbures. En effet, dans cette région des plus arides au monde, des réserves stratégiques en eau souterraine s'étendent sur des centaines de milliers de kilomètre carrés. Les aquifères de HMD font partie du grand système des aquifères du Sahara septentrional (SASS). Ces ressources souterraines sont non renouvelables ou peu renouvelables.

Les sources de pollution des eaux souterraines à Hassi-Messaoud sont multiples, issues de l'activité pétrolière représentée par les eaux de purges « huileuses » rejetées dans les centres industriels et unités satellites d'une part, et les eaux usées domestiques issues des activités humaines (restauration et hébergement) au niveau des bases de vie d'autre part.

I.2. Présentation de la région de Hassi Messaoud

I.2.1. situation géographique

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province Triasique et se situe à environ 850 km au Sud-est d'Alger, à 280 km au Sud-est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'Mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne [1].

Par rapport aux gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité:

- au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla (Guellela, Ben Kahla et Haoud Berkaoui),
- au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb,
- au Sud-est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar

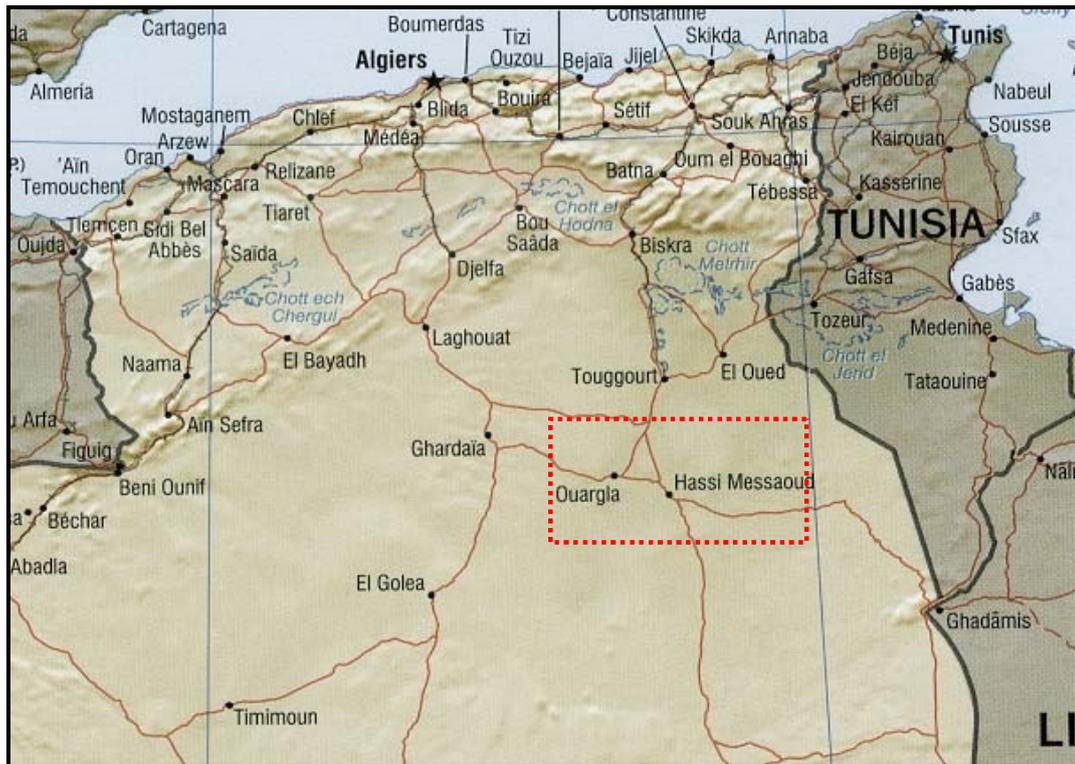


Figure I.1: Situation géographique du champ de Hassi Messaoud

I.2.2. Situation géologique

Le secteur de Hassi Messaoud fait partie de la plate saharienne et occupe la partie centrale de la province triasique. Il repose sur le socle appartenant au bouclier africain, recouvert essentiellement par des terrains sédimentaires.

C'est grâce à l'exploration et le forage pétroliers que la géologie de ce bassin a surtout été bien étudiée et constitué.

I.2.3. Situation hydrogéologique

Les richesses souterraines de la région ne se limitent pas qu'aux hydrocarbures. En effet, dans cette région des plus arides au monde, des réserves stratégiques en eaux souterraines s'étendent sur des centaines de milliers de kilomètres carrés, les aquifères de la région de HMD font partie intégrante du grand système des aquifères du Sahara septentrional (SASS) [1].

Le tableau I.1 : les aquifères du champ de Hassi Messaoud

Nappe phréatique du	Profondeur (m)	Nature de la formation	Caractéristiques de l'eau	Débit en (m ³)
Mio pliocène	11-45	Sable et calcaire	Eau douce	9 à 40
Turonien	780-900	Calcaire	Eau à odeur de H ₂ S	2230 à 2740
Albien	1050-1350	Grès et argile	Eau légèrement saumâtre	100 à 350
Lias	2400-2700	Sel, anhydrite, dolomie et marne	Eau chlorurée calcique et saumâtre	/
Trias	3000-3300	Sel, anhydrite, dolomie et argile	Eau chlorurée calcique et saumâtre	/
Cambrien	3300-3400	Grès	Eau chlorurée calcique et saumâtre	/

Le système des aquifères du Sahara septentrional à HMD est constitué de deux complexes principaux :

- **le continental intercalaire**

C'est un réservoir d'eau couvrant une superficie d'environ 600.000 km², avec une épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres, il constitue à l'échelle du globe l'un des aquifères les plus grands et les plus complexes.

- **le complexe b-terminal**

Constitué à HMD, essentiellement par les aquifères du Mio-pliocène de lithologie sableuse et le sénonien carbonaté.

Dans la région, ces aquifères sont continuellement exploités à travers des forages hydrauliques afin de répondre aux besoins d'un secteur industriel pétrolier de plus en plus dynamique et à ceux, domestiques, d'une cité en pleine croissance.

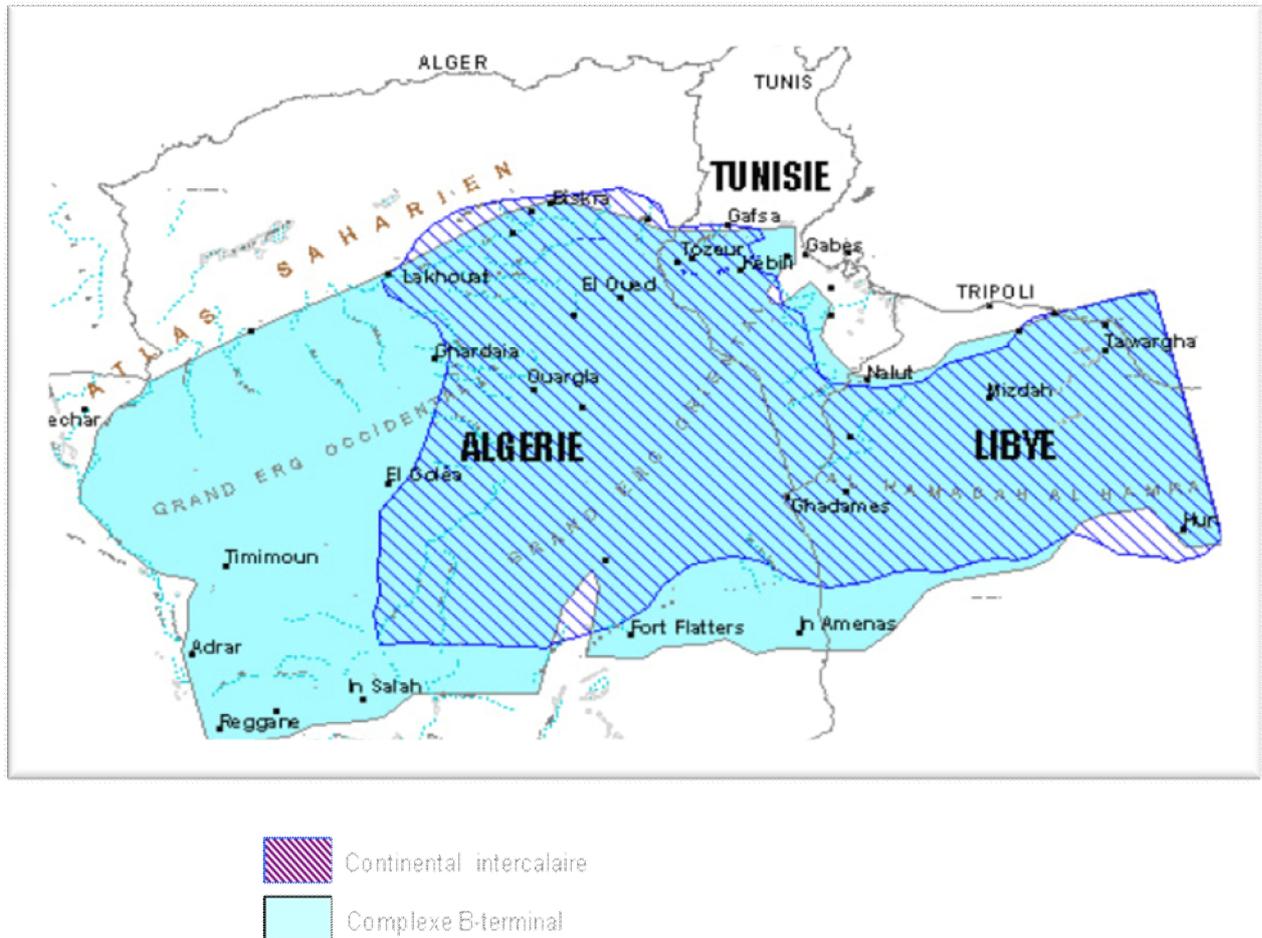


Figure I.2 : Aquifères du Sahara septentrional

I.3. Activités industrielles de la région de HMD

I.3.1 Présentation de l'entreprise SONATRACH

SONATRACH est une entreprise algérienne d'exploitation, de transport, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Mais son domaine d'activité va au delà des hydrocarbures tels que le dessalement d'eau de mer, les énergies renouvelables et la production d'électricité.

Fondé le 31/12/1963, la société nommée SONATRACH est chargée de la recherche et l'exploitation des hydrocarbures. Trois (03) ans après, l'adoption d'un deuxième décret fut

obtenu, ayant pour but de renforcer ses objectifs pour la création et l'acquisition d'établissements, d'usines de l'ensemble des activités pétrolières. Le 24/02/1971, la nationalisation du secteur des hydrocarbures a permis à l'entreprise de mieux gérer les richesses du pays.

Aujourd'hui elle assure des missions stratégiques telles que : La recherche, la production, le transport, le traitement et la commercialisation des hydrocarbures.

I.3.2. Activités principales de SONATRACH

- ❖ Activité amont : Elle englobe tout ce qui concerne l'exploitation et la production d'hydrocarbures.
- ❖ Transport par canalisation.
- ❖ Activité aval : L'aval a en charge l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de développement et d'exploitation de l'aval pétrolier et gazier.

Elle a pour missions essentielles l'exploitation des installations existantes de liquéfaction de gaz naturel et de séparation de GPL, de raffinage, de pétrochimie et de gaz industriels (Hélium et azote).

- ❖ Commercialisation.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la région de Hassi Messaoud, et présenté les différentes activités de la SONATRACH spécialement dans cette région. Ainsi, il est important d'avoir des connaissances sur l'hydrogéologie vu l'impact que représente les eaux polluées sur l'environnement (sous-sol et nappe phréatique).

Il est indispensable de trouver des techniques de gestion des rejets et les prochains chapitres visent à apporter des informations complémentaires afin de mettre en place un procédé de traitement capable de réduire la teneur en charge polluante des eaux usées et d'optimiser les différents paramètres de traitement.

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LES EFFLUENTS

II. Généralités sur les effluents

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons consacrer notre étude sur les eaux porteuses de pollution qui se répartissent en trois catégories : eaux usées industrielles, eaux pluviales et eaux usées domestiques.

La problématique liée aux eaux usées domestiques sera détaillée ainsi que le contexte législatif. Pour pouvoir confirmer ou démentir ceci, il est primordial d'identifier le degré de pollution des effluents domestiques. Ainsi, les caractérisations physico-chimiques et micro biologique sont incontournables. L'objectif de ce deuxième chapitre est d'abord de définir les différents paramètres de pollution utilisés pour caractériser les effluents domestiques.

II.2. Différents types de rejets liquides

II.2.1 Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution [2].

II.2.3. Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. La composition des eaux pluviales reflète celle des précipitations et des surfaces avec lesquelles elles viennent en contact. Les eaux pluviales se caractérisent par de fortes concentrations de matières en suspension, d'origine minérale mais aussi des hydrocarbures provenant de la circulation automobile, on y trouve aussi des polluants de l'atmosphère (poussières, SO₂, SO₃, composés organiques du Pb) [3].

Le climat de HMD est de type désertique, hyper aride avec des pluies très rares

II.2.4. Les eaux usées domestiques

Porteuses d'une pollution organique, elles se répartissent en eaux ménagères chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques etc. et eaux « vannes » chargées de diverses matières organiques azotées et germes fécaux, On les appelle respectivement : eaux grises, eaux brunes ou vannes [4].

II.2.4.1. Origine des eaux usées domestique

Ces eaux ont plusieurs composantes correspondant aux diverses activités vitales :

a. Eaux de cuisine

Elles entraînent tous les débris correspondants : a la préparation des aliments ; terre et éléments minéraux provenant du lavage des légumes ; débris végétaux et animaux divers. Aux eaux de vaisselles riches en graisses plus ou moins émulsionnées par des détergents.

b. Eaux de buanderies et salles de bain

Outre quelques matières minérales ou fibreuses entraînées en suspension, ces eaux contiennent:

- Des savons plus ou moins émulsionnés avec des graisses.
- Des détergents.

La généralisation de l'emploi des machines à laver le linge et la vaisselle a fait de ces produits une source de nuisance particulière.

c. Eaux de vannes

Ces eaux très riches en matières hydrocarbonés apportent également l'azote, le phosphore permettant de disposer d'un substrat équilibré à l'entrée des traitements biologiques. Elles sont très riches en microorganismes et des éléments pathogènes.

II.2.4.2. Risques liés aux rejets des eaux usées domestiques

Les rejets des eaux usées domestiques non traitées dans le milieu naturel peuvent engendrer :

- * risque de contamination des nappes phréatiques :

Par infiltration ; Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle: les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également fixés et adsorbés.

- * Les mauvaises odeurs :

Les conséquences d'une pollution organique sont donc une diminution des teneurs en oxygène dissous et une mortalité des organismes sensibles à ce paramètre. Ce qui conduit au dégagement des mauvaises odeurs.

- * Risque sur la santé:

A l'échelle mondiale, le **traitement des eaux usées** constitue le premier enjeu de santé public : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à La prolifération des maladies à transmission hydrique et d'agents vecteurs d'épidémies qui est du à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit.

- * Risque sur la faune et la flore :

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

II.2.4.3. Caractérisation des effluents domestiques

iii. Caractéristiques microbiologique

Le premier objectif des études qualitatives et quantitatives sur la flore microbiologique des effluents domestiques est de dénombrer les marqueurs de pollution fécale des eaux ; *les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les spores des bactéries sulfito-réductrices.*

En effet, la présence de souches bactériennes particulières peut être interprétée comme un indicateur de contamination de l'eau ou comme l'absence d'éléments toxiques susceptibles d'entraîner leur disparition.

a) Les coliformes fécaux (thermo-tolérantes)

Sous le terme de coliformes est regroupé un certain nombre d'espèces d'*Enterobacteriaceae*. Le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogones, Gram négatifs, oxydase négatif, facultativement anaérobies. Les coliformes fécaux correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés après incubation à la température de 44 °C. Parmi les coliformes fécaux nous citons les espèces suivantes: *Escherichia coli, Enterobacter et Citrobacter, ...etc.* [5].

b) Streptocoques fécaux

Le terme streptocoques fécaux désigne les streptocoques généralement présents dans les fèces de l'homme et des animaux. Ils sont considérés, en pratique, comme des indicateurs spécifiques d'une pollution fécale.

Les streptocoques appartiennent aux genres *Enterococcus* et *Streptococcus*, Ils ont une large tolérance à des conditions de croissance défavorables, Ils ont une résistance aux agents désinfectants, à la dessiccation notamment les espèces *E.avium, E.casseli_avus, E.cecorum* [5].

c) Clostridia sulfito-réductrices

Ils peuvent être considérés comme des germes fécaux. Ce sont des microorganismes anaérobies sporogones, dont le plus caractéristique est le *Clostridium perfringens* en bien

moins grand nombre qu'E.coli. Les spores de clostridia peuvent survivre dans l'eau beaucoup plus longtemps que les coliformes et ils résistent à la désinfection [6].

iv. Caractérisation physico-chimique

Les paramètres de pollution physicochimiques sont des paramètres nécessaires à l'évaluation des charges des effluents et de leurs effets sur les milieux récepteurs. Ils permettent aussi d'avoir une première idée quant aux procédés de traitements à mettre en œuvre pour assurer une épuration [7].

a) Paramètres physiques

➤ La température

C'est l'un des paramètres les plus importants à noter au moment du prélèvement. Elle peut avoir une grande influence sur la croissance des micro-organismes et des algues qui peuvent entraîner des odeurs et des goûts désagréables, ainsi qu'une influence sur la couleur, la turbidité et la solubilité de l'oxygène [7].

➤ Le pH

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et notamment la dissociation de l'azote ammoniacal dans l'eau. La valeur du pH est un indicateur de l'activité biologique et plus particulièrement photosynthétique du milieu [8].

➤ Salinité

La salinité correspond à la teneur en sels dissous d'une eau. De cette teneur dépend de la résistance que l'eau oppose au passage d'un courant électrique. Cette résistance peut s'exprimer en termes de résistivité ou de conductivité électrique exprimée en g/l ou mg/l [4].

➤ La conductivité

La mesure de la conductivité permet d'avoir une image de la charge de l'eau en sels ionisés. C'est également un moyen de détecter certaines pollutions très importantes par des éléments non analysés par ailleurs. La conductivité correspond à l'inverse de la résistivité électrique, elle est exprimée en (S/cm) ou (μ S/cm).

La conductivité varie avec la température. La température de référence pour l'expression de la conductivité est de 25°C [7].

➤ La turbidité

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau, après décantation pendant 2h, elle permet d'apprécier la teneur en matières colloïdales, non décantables. Elle est d'autant plus élevée qu'elle s'accompagne d'une coloration [7].

➤ Les matières en suspension

Ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdales. Les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Les valeurs élevées en MES peuvent empêcher la pénétration de la lumière et diminuer l'oxygène dissous.

Mesurées en mg/l ou g/l correspondant à la masse de matière recueillie par filtration ou centrifugation et séchage en étuve à 105°C

➤ Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à l'obscurité et à une température de 20°C. On parle alors de la DBO₅. Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O₂/l.

➤ La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présente dans l'échantillon. Elle est exprimée en mg O₂/l.

Le rapport entre DCO/DBO₅ renseigne sur la qualité de la biodégradation, un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 2,5 indique une bonne biodégradabilité.

b. Paramètre chimiques

➤ L'azote

L'azote est mesuré sous différentes formes: l'azote réduit et l'azote oxydé. Le premier correspond à l'azote organique et ammoniacal que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques (protéines et urée) d'origine humaine, cette forme d'azote est appelé azote Kjeldahl (NTK).

L'azote oxydé se retrouve de façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrites (NO_2^-) et des nitrates (NO_3^-), produits de la transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit [7].

➤ Le phosphore

Le phosphore peut se trouver sous forme minérale ou organique, ces différents composés se trouvent soit à l'état dissous dans la phase liquide, soit fixé sur les matières en suspension et colloïdales.

II.3. Les normes algériennes de rejet d'effluents

Avant que Les eaux usées collectées, ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes fixées par voie réglementaire établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Art 3 et le décret N 93-160 du 10 juillet 1996 permettent de connaître les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées sont regroupées dans le tableau.

Tableau II.2 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5

Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Étain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III +	mg/l	03
(*) Chrome VI +	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) PCB	mg/l	0,001
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

(*) Valeurs fixées par le décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993.

II.4. Conclusion

Dans cette partie du travail, nous avons identifié les principaux paramètres de pollution pouvant caractériser le degré de pollution des eaux usées en général et plus en détail pour ceux des effluents domestiques.

Afin de nous faire notre propre idée sur la question, nous vous proposons de consacrer le chapitre suivant, à la détermination de différentes étapes de traitement de pollution des effluents domestiques de la station de la base 24/02, et aux résultats des analyses effectuées.

CHAPITRE III

TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES EAUX USEES

III. Traitement biologique

III.1. Introduction

Trop polluées, nos réserves d'eau ne seront plus utilisables pour produire de l'eau potable ou le coût de leur traitement pourra être augmenté davantage, du fait de la complexité des techniques à mettre en œuvre pour en restaurer la qualité de l'eau. C'est pourquoi qu'il faut traiter les eaux usées pour préserver nos réserves en eau : rivières, lacs et nappes souterraines.

III.2. Procédé de traitement biologique

III.2. Le prétraitement

Les eaux charrient inévitablement du sable, du limon, de débris de végétation, des corps flottant, de matières en suspension et elles entretiennent parfois une flore algale importante. La pénétration de ces matières dans la conduite d'adduction gênerait sérieusement la conduite elle-même, le pompage de l'eau et les ouvrages de traitement [3].

III.2.1. Dégrillage et tamisage

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les installations.

Le terme de grille est réservé à des supports présentant des ouvertures de largeur définie, généralement supérieure à 5 mm. Parallèlement, l'usage a consacré le terme de tamis à des supports minces, offrant un passage généralement inférieur à 3 mm, ces tamis pouvant être fixes ou rotatifs, avec nettoyage mécanique ou hydraulique.

III.2.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitement suivants. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μm [9].

III.2.3. Dégraissage-Déshuilage

Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations, et limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux ou dans le traitement biologiques (influence sur les bactéries)

Pour l'élimination des huiles le principe de la flottation qui est utilisé, ce principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface.

III.2.4. La décantation primaire

En soumettant l'eau à un ralentissement important ou à un repos relatif suffisamment long, il est possible de la débarrasser d'une fraction substantielle de sa charge de matières en suspension [9].

III.3. Traitement biologique

La décantation primaire n'élimine que de 30 à 35% de la charge de pollution. Bien qu'il soit possible d'améliorer ce traitement par l'emploi de coagulant, pour ainsi constituer un traitement physico-chimique, il est commun de le faire suivre par un traitement biologique intensif mettant les eaux décantées en présence d'une masse microbienne très dense [4].

Les traitements biologiques font intervenir des microorganismes qui vont se nourrir des matières en suspension et des matières dissoutes. Ils procèdent par voie aérobie ou anaérobie.

III.3.1. Le traitement aérobie

❖ Le principe du traitement aérobie

Le traitement aérobie consiste en des réactions biologiques par les quelles des microorganismes agissent en présence d'oxygène sur des effluents biodégradables.

Le traitement aérobie d'effluents aqueux est possible si ces derniers présentant un minimum acceptable de biodégradabilité (exprimée en rapport DBO_5/DCO) et pas de toxicité forte [4].

La présence de produits toxiques doit être détectée au plus tôt, car non seulement ils ne sont pas biodégradables, mais ils peuvent aussi entraîner des dysfonctionnements tels que [10]:

- * L'instabilité de la biomasse bactérienne.
- * L'abaissement du rendement global d'épuration.
- * Une mauvaise décantation des boues.
- * Une adsorption des éléments toxiques par la biomasse, la rendant ainsi inapte à une utilisation agricole éventuelle ou à une mise en décharge.

III.3.1.1. Les bassins d'oxydation

Ces bassins mettent en œuvre une biomasse de bactéries libres, naturellement associées en «flocs» (procédés des boues activées). Les bassins peuvent occuper des volumes très divers en fonction des débits à traiter, des temps de séjour imposés par la qualité de l'effluent traité, et le taux d'épuration souhaité.

L'aération peut être assurée en surface des bassins par des turbines ou dans le fond des bassins, par des procédés de rampe de distribution de l'air sous forme de bulles. Le rendement de transfert peut être amélioré par l'augmentation de la hauteur d'eau et par l'utilisation, au dessus de l'arrivée d'air, de tubes creux contenant un garnissage ou des formes hélicoïdales qui augmentent le cisaillement et donc la distribution des bulles. Les hauteurs réactionnelles vont de 2 à 8-10 mètres [4].

III.3.1.2. Le lagunage

Cette technique présente l'inconvénient de nécessiter un espace considérable. Elle requiert :

- L'utilisation d'un volume réactionnel d'eau important mais présentant une faible profondeur.
- Un temps de séjours élevé (3 à 30 jours ou plus).
- Le lagunage peut être aéré ou non et ne présente généralement pas de recyclage des boues.
- Les charges volumétriques ou massiques (pollution rapportée à la masse bactérienne) traitées souvent faibles.
- Il y a souvent combinaison des voies aérobies (partie superficielle aérée) et anaérobies (volume non agités au fond).

Avantages

- Peu coûteux en énergie.
- Permet parfois un taux d'épuration important.

Inconvénients

- Demande une surface importante.
- Evacuation d'odeurs par stripping ou fermentation mal contrôlée.

III.3.1.3. Les disques biologiques

Une technique peu utilisée dans l'industrie. Ils ont un diamètre allant de 2 à 4 mètres. Ils sont fixés sur des axes de rotation horizontaux et sont à demi immergés dans l'eau. Ils tournent lentement à une vitesse de quelques tours par minute. La biomasse bactérienne fixée sur la surface des disques et ainsi alternativement mouillée par les eaux résiduaires et aérée par l'air ambiant.

Avantages

- Peu coûteux en énergie.
- Système enfermé.
- Surveillance pratiquement nulle.

Inconvénients

- Demande une surface importante.
- L'investissement peut être élevé.
- Émanation d'odeurs.

III.3.1.4. Les lits bactériens

Cette technique consiste à faire supporter les microorganismes épurateurs par des matériaux poreux ou caverneux. Les supports utilisés peuvent être naturels (pouzzolane, cailloux siliceux concassés, par exemple) ou synthétiques (tubes ou garnissage plastique).

Ils peuvent être disposés en vrac (anneaux rashing) ou ordonnés. L'eau à traiter est dispersée en tête de réacteur plusieurs mètres (plusieurs mètres de hauteur) ; elle traverse le garnissage et peut être reprise pour une recirculation. Cette recirculation assure un temps de séjour de l'effluent suffisant. L'aération est naturelle (effet de cheminée) ou forcée.

Les techniques des lits bactériens à garnissage ordonné, lits relativement incolmatables, est capable d'accepter de fortes charges et peut ainsi être utilisée comme prétraitement d'effluents très concentrés.

Avantages

- Surface d'encombrement au sol limitée.
- Peu coûteux en énergie.
- Utilisés en forte charge, ils permettent un premier abattement (50%) à un coût modeste.
- Bien adaptés aux traitements spécifiques à l'atelier, plus encore pour les effluents fortement biodégradables.

- Dans le cas du lit à garnissage plastique, l'infrastructure est relativement peu coûteuse.

Inconvénients

- Nécessité de volumes réactionnels importants.
- Emanation d'odeurs (stripping).
- Les lits bactériens à fortes charges nécessitent un complément de traitement par bassin classique (boues activées).

III.3.2. Le traitement anaérobie

Le traitement anaérobie correspond à une réaction biologique en l'absence d'oxygène. Il a été longtemps utilisé pour la digestion des boues biologiques venant du traitement aérobie des effluents urbains [4].

Avantages

- Faible quantité de biomasse produite.
- Bonne stabilisation de cette biomasse.
- Pas d'apport d'oxygène (économie énergétique).
- Production de gaz combustible récupérable (CH_4), d'où des gains d'énergie.
- Utilisable en prétraitement sur des effluents très concentrés au moyen de procédés à biomasse fixée, de taille sensiblement réduite par rapport aux réacteurs traditionnels.

Inconvénients

- Nécessité de volumes importants.
- Sensible à de fortes charges en certains sels (N-NH_3 , SO_4^{2-}).
- Travail à température supérieure à la température ambiante (30 à 40°C), mais la combustion du méthane produit permet souvent d'équilibrer ce besoin énergétique.
- Difficultés de traitement pour certains composés chimiques (hydrocarbures aromatiques).

III.4. Traitements tertiaires

On entend par « traitement tertiaire » tout traitement physique, chimique ou biologique qui vient suppléer les traitements primaires et secondaires. Les traitements tertiaires possibles sont nombreux et peuvent, dans certains cas, constituer une chaîne plus ou moins complexe ; tout dépend de l'usage qu'on fera de l'eau traitée ; dans le cas des rejets en rivière, ils se limitent, au plus, à la désinfection, à la phosphatation et à la dénitrification ; en revanche, quand il s'agit de recycler l'eau, on fait appel aux divers chaînes de traitement conçues pour préparer les eaux de consommation: coagulation, adsorption sur charbon actif, échange ionique, oxydation, désinfection ...[10].

III.5. Traitement des boues

Le traitement des boues permet de transformer la boue en un produit apte à être transportée ou séchée sans nuisance pour l'environnement.

L'opération de traitement des boues au niveau de la STEP sert à réduire le volume des matières à manipuler en enlevant une partie d'eau, à cet effet les étapes de la filière de traitement des boues sont comme suit :

III.5.1. Epaissement

C'est le premier stade, le plus simple de réduction du volume des boues sans dépense d'énergie notable. L'épaisseur est destiné à concentrer les boues avant leurs refoulements vers les lits de séchage.

La suspension boueuse est introduite dans un épaisseur équipé de racleur, dont le temps de séjour est élevé de façon à provoquer le tassement des boues, Leur évacuation se fait gravitairement par le fond vers les lits de séchage tandis que le liquide interstitiel est évacué par le haut d'où il est retourné vers la station de pompage des eaux usées [11].

III.5.2. Séchage naturel

Les boues épaissies sont extraites de l'épaississeur et évacuées vers les lits de séchage ou elles seront épandues pour y être déshydratées naturellement.

- Durée de séchage des boues : dépend de la saison.

III.6. Conclusion

Dans la configuration de base, le traitement physique, chimique ou biologique sont essentiellement employés selon le but recherché dans le traitement des eaux. Et quelque soit le but, on s'est intéressé à donner les étapes de traitement des eaux usées, qui peuvent se faire aux types des eaux usées domestiques, tel que le prétraitement qui débarrasse des grandes quantités possibles des matières gênantes, le traitement biologique qui élimine toute matière biodégradable, à la fin les procédés complémentaire telle que la désinfection des eaux et la filière de traitement des boues.

CHAPITRE IV

ULTRAFILTRATION

IV. Procédé de traitement par ultrafiltration

IV.1. Introduction

Les procédés de séparation par membrane forment une classe assez large de technique de séparation, ils sont utilisés pour concentrer des molécules, des espèces ioniques en solution, pour séparer des particules ou des micro-organismes en suspension dans un liquide. Ces séparations sont, en général, appréciées pour leur faible consommation énergétique et leur relative bonne sélectivité [12]. C'est pour cette raison que les secteurs de l'environnement et traitement des eaux ont adopté ces dernières années de telles technologies, une autre caractéristique importante concerne les conditions particulièrement de fonctionnement, en matière de contraintes de cisaillement, de température et d'absence de changement d'état [13].

IV.2. Principe de la Membrane

Le principe est basé sur la mise en œuvre d'une membrane permselective. Une membrane permselective est une barrière mince qui sous l'effet d'une force agissante ; gradient de pression, de potentiel électrique ou de potentiel chimique [14], [15]. Arrête ou laisse passer des substances entre les deux milieux qu'elle sépare.

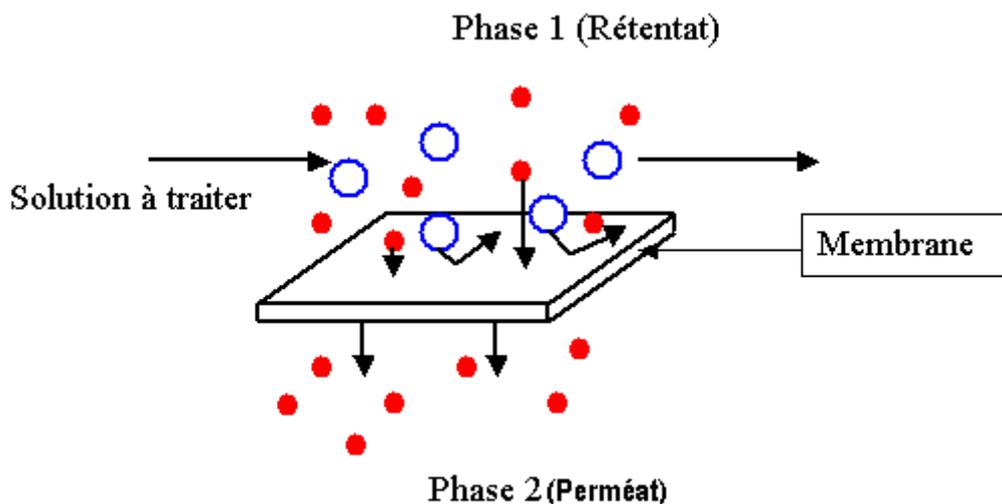


Figure IV.3: Schéma de principe du fonctionnement membrane permselective

IV.3. Procédés de séparation par membrane

Les procédés de séparation sur membranes se rangent en plusieurs classes. Microfiltration, l'ultrafiltration, nanofiltration et l'osmose inverse peuvent être définies comme des techniques de séparation de deux liquides par perméation à travers des membranes perméables. Le transfert de matière à travers les membranes est dû à un gradient de pression qui diffère d'un procédé à un autre.

Ces procédés sont classés dans le tableau IV.3 en fonction de la taille des espèces à séparer [16].

Tableau IV.3 : Classification des procédés à membrane en fonction de la taille des espèces

	OI	NF	UF	MF
Diamètre de pore	Membrane dense	≤ 1 nm	1-100 nm	0,1-10 μ m
Rétention de	Ions	Ions multivalents et molécules	Macromolécules	Microorganisme et particules
Perméation de	Solvants	Solvant, ions monovalents et petites molécules	Solvant, sels et petites molécules	Solvant et espèces dissoutes
Pression transmembranaire	Elevés	Moyenne	Faible	Faible
Pression opératoire usuelle	≥ 20 bars	4 à 20 bars	0,5 à 9 bars	0,1 à 5 bars

IV.4. L'Ultrafiltration

L'Ultrafiltration est l'un des procédés de séparation sélectif dont la force agissante est un gradient de pression de l'ordre de quelques bars, et dont la sélectivité est obtenue à partir d'une membrane artificielle qui agit comme un tamis, elle permet de concentrer des solutions macromoléculaires ou des émulsions en ne laissant passer à travers la membrane que le solvant et les solutés à faible masse molaire. Les espèces à séparer restent partiellement ou totalement retenus en amont de la membrane alors que le reste est en aval [17]. Cette technique permet une réduction de la DCO et des solides en suspensions présents dans les eaux [18].

Mameri *et al.* (2000) et Drouiche *et al.* (2004) ont appliqué le procédé d'ultrafiltration sur des margines, dont la DCO initiale été de 30 000 mg/l. ils ont obtenu un très bon rendement d'abattement de DCO, de l'ordre de 90 % [19].

IV.5. Lois sur le comportement

Le phénomène de transport à travers les parois poreuses est très complexe. Plusieurs modèles mathématiques tentent de l'expliquer. Des interactions spécifiques importantes peuvent intervenir avec des membranes chargées, mais les modèles proposés sont valables pour les membranes non chargées [20].

IV.5.1. Modèle du tamis moléculaire (Loi de Darcy)

Il assimile les membranes de filtration à des milieux poreux incompressibles. C'est à dire que le flux de solvant pur J_v est proportionnel à la différence de pression appliquée de part et d'autre de ce milieu poreux. Il utilise alors la loi de Poiseuille ou la loi de Darcy pour décrire cette caractéristique :

$$J_v = L_p \Delta P = \frac{N_p \pi r_p^4}{8 \mu e} \Delta P \quad (1)$$

Avec :

L_p : coefficient de perméabilité de la membrane ($l/h.m^2 \text{ bar}$)

μ : viscosité du perméat (Pa.s).

ΔP : pression transmembranaire (bar)

J_v : débit par unité de surface de membrane ($l/h.m^2$).

N_p : nombre de pores par unité de surface.

e : épaisseur de la membrane (m).

r_p : rayon des pores (m).

Dans la pratique, on parle souvent de perméabilité (et non plus de coefficient de perméabilité), pour caractériser le débit de perméat qui traverse la membrane par unité de temps, de pression et de surface. Si pour un solvant pur, le flux de perméat J_v varie linéairement avec la pression transmembranaire ΔP ; pour une solution d'eau usée; ce n'est pas le cas, sauf dans la zone des faibles pressions. Ceci est vérifié par Goldsmith (1971); qui a montré qu'il existe une valeur de la pression au dessus de laquelle le flux J_v devient stationnaire. Cette valeur de flux est appelée « flux limite » qui dépend des conditions opératoires, de la membrane, et de la solution. De plus, lors de l'ultrafiltration de solutés macromoléculaires, il y a phénomène d'adsorption sur la paroi interne de la membrane ce que l'on appelle communément "Phénomène de polarisation de concentration" [16].

IV.5.2. Les phénomènes principaux Limitant flux de perméat

Deux phénomènes principaux limitent le transfert de matière à travers les membranes : le colmatage et la polarisation de concentration.

IV.5.2.1. La polarisation de concentration – notion de flux limite

Le phénomène de polarisation de concentration résulte de l'accumulation des composés retenus au voisinage de la membrane du fait de la perméation du solvant.

La polarisation est d'autant plus intense que :

- le flux de perméation est important
- le soluté retenu par la membrane rétrodiffuse moins vite au sein de rétentat, ce qui est le cas si sa masse molaire est élevée.

Les effets de polarisation de concentration sont donc particulièrement importants en ultrafiltration. L'une des conséquences de ce phénomène est qu'au delà d'une certaine pression le débit de perméat n'est plus proportionnel à la pression appliquée et peut atteindre un palier appelé **flux limite** (Fig. IV.4)

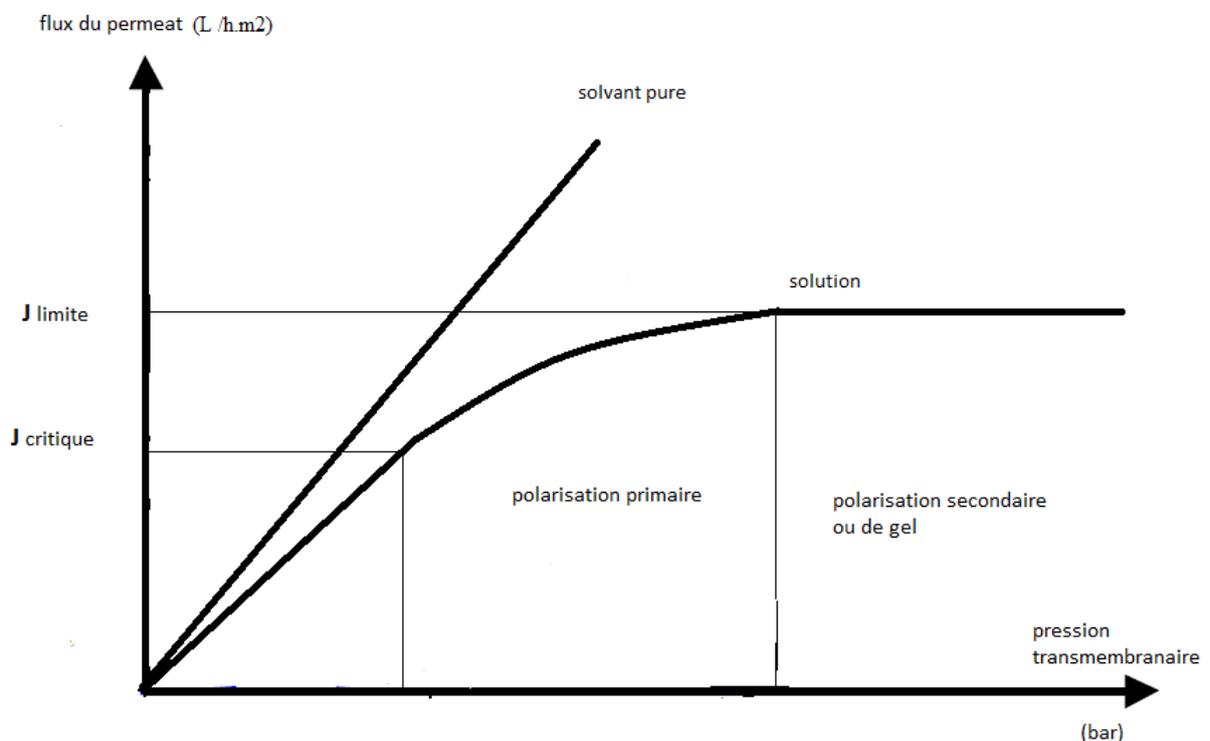


Figure IV.4: Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire : influence de la polarisation sur le débit de perméat.

La courbe contient deux domaines: primaire et secondaire. Dans la polarisation primaire le flux de solvant est exprimé par une relation dans laquelle intervient la contre-pression osmotique $\Delta\pi$:

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta\pi}{\mu R_m} \quad (2)$$

Le soluté accumulé près de la membrane rétrodiffuse au sein de la solution. Cependant, le coefficient de diffusion D est généralement très faible et la concentration maximale C_m au voisinage de la membrane augmente avec la pression appliquée. Cette concentration peut atteindre la limite de solubilité des macromolécules et former un gel (comparable à un gâteau de filtration) [16]. On parle alors de polarisation secondaire ou de polarisation de gel. Il faut donc ajouter à la résistance R_m de la membrane une résistance de gel R_g .

$$J_v = \frac{\Delta P - \Delta\pi}{\mu(R_m + R_g)} \quad (3)$$

Une augmentation supplémentaire de la pression au dessus de la membrane ne fera qu'à s'accroître l'épaisseur de la couche de gel sans avoir d'influence sur le débit de perméat.

IV.5.2.2. Le colmatage :

Les petites particules peuvent être retenues à l'intérieur de la membrane et bloquer certain pore, être adsorbées sur la surface externe des micropores ou s'y déposer formant un gel ou un dépôt [16].

Il en résulte un phénomène de colmatage qui se traduit par une baisse du débit de perméat. La loi de Darcy peut alors s'écrire:

$$J_v = \frac{\Delta P}{\mu(R_m + R_c)} \quad (4)$$

Où R_m est la résistance propre de la membrane, R_c la résistance additionnelle due au colmatage et μ la viscosité dynamique.

IV.5.3. Taux de rejet d'une membrane d'ultrafiltration

Le paramètre le plus important pour caractériser la séparation et la sélectivité de la membrane par rapport à une molécule donnée est le taux de rejet observé. La caractéristique de la membrane d'ultrafiltration est donnée par la courbe de rétention où l'on porte le taux de rejet observé en fonction du poids moléculaire de soluté retenu. Le taux de rejet observé (R_{obs}) relie les concentrations C_0 dans la solution d'alimentation à celle du perméat C_p d'après la relation suivante :

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_0} \quad (5)$$

IV.6. les membranes d'ultrafiltration

La membrane est l'une des clés de plusieurs techniques de séparation. C'est le matériau au travers duquel a lieu le transport. Elle est conçue de matériaux organiques ou inorganiques (minérales), naturels ou artificiels. Et peut être sous forme rigide ou pas, avec ou sans pores [21]. Les membranes d'ultrafiltration sont caractérisées par leur perméabilité à l'eau et par leur seuil de coupure qui remplace la taille des pores, dans l'objectif de classer les membranes par la sélectivité. Les moyens de visualiser ou de mesurer les pores des membranes n'étant apparues que récemment, les caractéristiques des espèces retenues par les membranes sont formulées en masse molaire plutôt qu'en dimension moléculaire [15]. On peut classer les membranes selon leurs structures [22].

IV.7. Régénération de la membrane

Le colmatage des membranes, est une conséquence de tout essai d'ultrafiltration. Ceci met en évidence l'impératif de la régénération, sans qui la réutilisation des membranes est impossible. Parmi les techniques de régénération des membranes, on compte :

- Le nettoyage par contre pression (back flushing) Rétrolavage : il s'agit d'inverser le sens de la différence de pression périodiquement (typiquement toutes les dix minutes à

toutes les heures), pendant une durée très courte (quelques dizaines de secondes) ce qui a pour effet de pousser une quantité de perméat vers le compartiment retentât, et donc de soulever une partie de la matière déposée sur ou dans la membrane, en l'entraînant dans l'écoulement principal [23].

- Le nettoyage chimique qui consiste à utiliser, les agents de nettoyage suivants : Les acides, les bases, les détergents tel que l'hypochlorite de sodium. Le choix des agents de nettoyage dépend du produit colmatant et de la résistance des matériaux constituant le dispositif d'ultrafiltration [23].

IV.8. les principales applications de l'ultrafiltration

Les principales applications industrielles de l'ultrafiltration sont :

- La clarification -désinfection des eaux potables.
- La concentration des protéines de lactosérum et la concentration du lait.
- La séparation d'émulsions eau-huile.
- Le traitement de bains de peinture par électrophorèse...

IV.9. Avantages et inconvénients de l'ultrafiltration

➤ **Avantages**

Les raisons de ce formidable succès industriel sont multiples et relèvent de différents niveaux de rupture avec la transformation alimentaire classique :

- Meilleure qualité des produits.
- Facilité d'intégration industrielle et fiabilité.
- Respect de l'environnement, réutilisation, gain en matière première.
- Coût compétitif.
- Ne nécessite pas d'ajout de produits chimiques.

➤ **Inconvénients**

- pas simple à mettre au point et dimensionner.
- le colmatage et la saturation de la membrane qui restent difficile à éviter ou limiter est complexe à décrire et cause la diminution du flux de perméation.
- le nettoyage devra être soit mécanique (rétro-lavage) soit chimique ce qui entraîne nécessairement un arrêt du procédé ou nécessité d'autre installation en cas d'arrêt.

IV.10.Conclusion

La filtration membranaire est un procédé de séparation et d'amélioration d'un procédé de traitement, performant, sûr, facile à conduire. La cause de difficultés est le colmatage donc La stratégie générale à adopter pour développer ce procédé dans les meilleures conditions est donc basée sur un aller retour entre des essais (de l'échelle du laboratoire vers l'industrielle) et leurs expertises qui nécessite des connaissances fondamentales et théoriques des phénomènes de transfert membranaire.

CHAPITRE V

ELECTROCOAGULATION

V. Procédés de traitement par électrocoagulation

V-1- Introduction

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 [24].

L'origine des colloïdes est très diverse ; on peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [25].

V-1- La coagulation- Flocculation

V-1-1- La coagulation

La coagulation est le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leurs charges électriques. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé : coagulant [26].

V-1-2- La flocculation

C'est l'agrégation des particules déchargées par transport et mise en contact les unes avec les autres. Elle conduit à la formation des flocons ou flocs, capables d'être retenus dans une phase ultérieure du traitement de l'eau.

On peut distinguer les flocculants par leur nature (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle) et le signe de leur charge électrique (anionique, cationique, non ionique).

V-2- Electrocoagulation

V-2-1- Définition

Durant le phénomène de la coagulation, le coagulant est ajouté sous forme de substances chimiques adéquates. Lors du procédé d'électrocoagulation, le coagulant est généré *in situ* par l'oxydation électrolytique d'une anode solide appropriée [27].

L'électrocoagulation (EC) est une technologie qui résulte de l'interaction de trois technologies fondamentales qui sont : l'électrochimie, la coagulation et la flottation [28]. Elle est basée sur le fait que la stabilité des colloïdes, suspensions et émulsions, soit influencée par les charges électriques [29].

Dans l'électrocoagulation, la déstabilisation des colloïdes se fait suite au champ électrique entre les électrodes et l'action des composés coagulants produits par oxydation de l'anode. Ces composés sont chargés électriquement, ils déstabilisent le système colloïdal dans lequel des particules solides sont initialement présentes et forment des floes de particules qui peuvent être facilement séparables par flottation. La flottation est améliorée par la formation des bulles de gaz durant l'électrolyse du solvant (eau) [30].

V-2-2- Théorie de l'électrocoagulation

L'EC est un procédé implique plusieurs phénomènes physiques et chimiques qui utilisent des électrodes consommables pour fournir des ions dans l'effluent d'eau. Trois étapes successives principales sont impliquées durant l'EC :

- Formation des coagulants par oxydation électrolytique de l'électrode sacrificielle.
- Déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions.
- Agrégation des phases déstabilisées pour former les floes.

Le mécanisme de déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions peut être résumé comme suit :

*Compression de la couche diffuse autour des espèces chargées par les interactions avec les ions générés par l'oxydation de l'anode.

*Neutralisation de la charge des espèces ioniques présentent dans le rejet d'eau à l'encontre des ions produits par dissolution électrochimique de l'anode. Ces ions réduisent la répulsion électrostatique entre les particules jusqu'à ce que les forces d'attraction de Van der Waals prédominent, causant ainsi la coagulation.

*Formation du floc : le floc formé suite à la coagulation crée les boues qui piègent et relie les particules colloïdales restant dans le milieu aqueux [27].

V-2-3- Description de la technique d'électrocoagulation

Dans sa forme la plus simple, un réacteur d'EC est formé d'une anode et d'une cathode. Quand un courant est appliqué à partir d'une source externe, le matériel anodique subira une oxydation, pendant que la cathode fera l'objet d'une réduction [28].

Les interactions ayant lieu dans un réacteur d'EC (*batch mode*) sont montrées sur la figure V.5

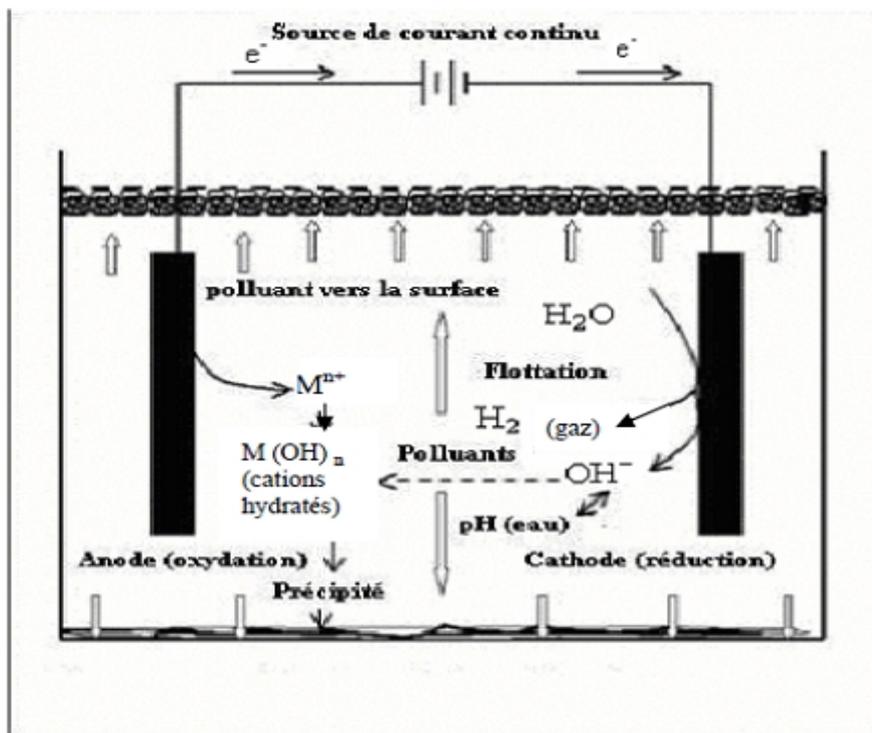
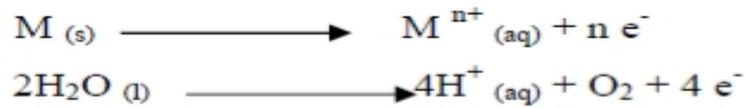


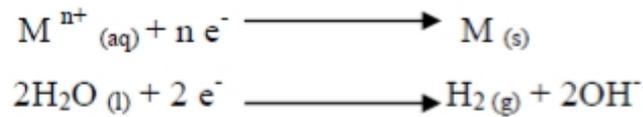
Figure V.5: schéma du procédé d'électrocoagulation [31].

Les réactions électrochimiques avec un métal M comme anode peuvent être résumées comme suit :

-à l'anode :



-à la cathode :



Les gaz produits aux électrodes peuvent entraîner la flottation des matières coagulées [30].

Cependant, une cellule d'EC à deux électrodes ne convient pas pour le traitement des eaux usées, du fait que la vitesse de dissolution du métal n'est pas exploitable et il est alors nécessaire d'utiliser des électrodes présentant de grandes surfaces [27]. Ceci est rendu possible par utilisation d'électrodes supplémentaires monopolaires ou bipolaires :

V-2-3-1- Electrodes monopolaires

Les électrodes monopolaires peuvent être connectées soit en parallèle, soit en série.

* Connexion en parallèle

La figure V.6 montre un dispositif simple de cellule d'EC avec une paire d'anodes et une paire de cathodes disposées en parallèle. Cette cellule EC consiste essentiellement en paires de plaques de métal conducteur placées entre deux électrodes parallèles et une source de courant continu:

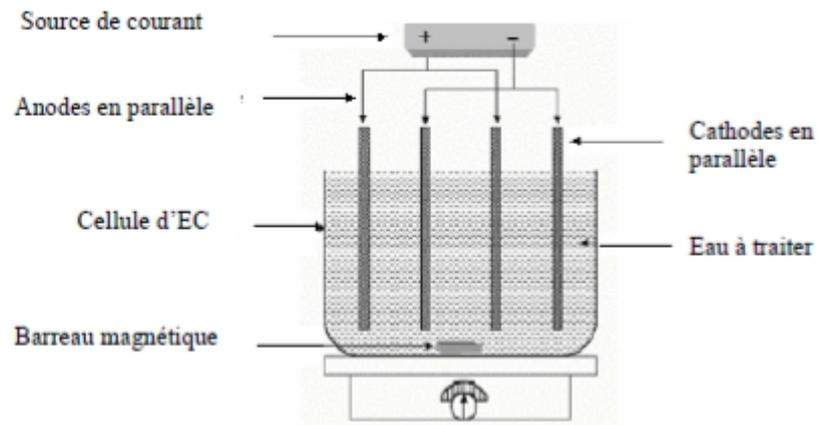


Figure V.6: connexion en parallèle d'électrodes monopolaires [32].

Dans ce type de procédé, le courant électrique est partagé entre toutes les électrodes, en fonction de la résistance des cellules individuelles [27].

* Connexion en série

La cellule d'électrocoagulation est constituée d'électrodes monopolaires montées en série, les électrodes externes sont reliées à un générateur alors que les autres électrodes sont interconnectées entre elles [27]. [32].

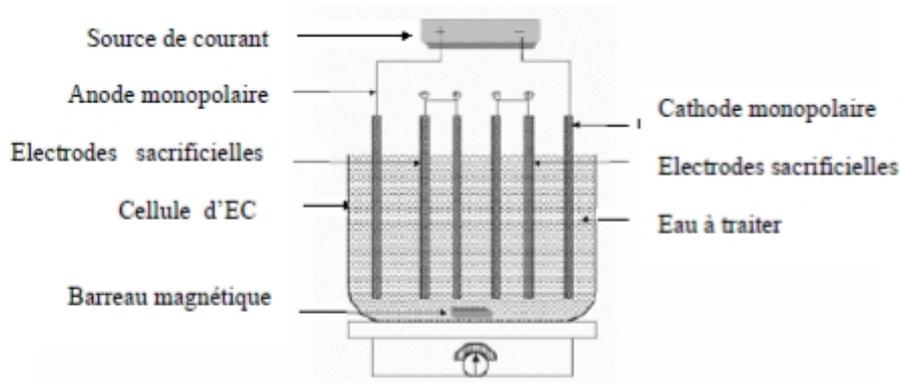


Figure V.7 connexion en série d'électrodes monopolaires [32].

Dans un montage en série, pour une intensité de courant, on a besoin d'une différence de potentiel plus élevée car les cellules connectées en série ont une résistance plus élevée. Cependant, une même intensité de courant traverse toutes les électrodes.

V-2-3-2- Electrodes bipolaires

Le mode bipolaire a vu le jour pour remédier aux différents problèmes rencontrés dans les systèmes précédemment cités.

Dans ce type de dispositif, seul les électrodes d'extrémités sont connectées au générateur de courant alors que les électrodes intermédiaires s'auto polarisent [33]. [32]. Lorsque le courant électrique traverse les deux électrodes, les faces non chargées des plaques conductrices seront transformées en faces chargées, qui auront alors une charge opposée par rapport au côté parallèle, qui lui est adjacent. Ainsi, durant l'électrolyse, le côté chargé positivement subit des réactions anodiques, tandis que pour la face chargée négativement subit une réaction cathodique [27].

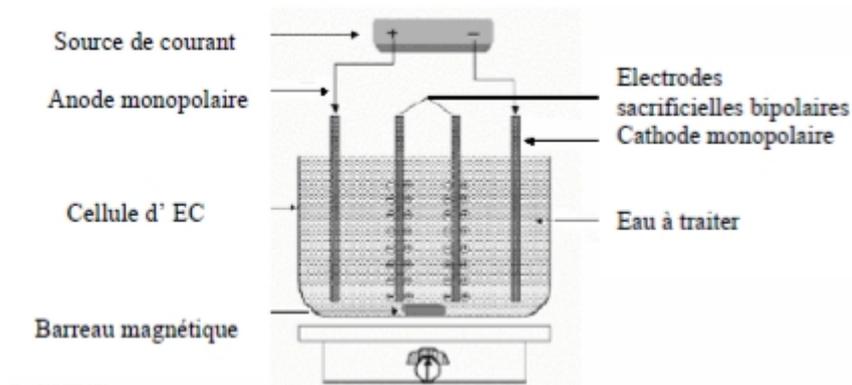


Figure V.8: connexion des électrodes bipolaires [32].

Selon Mollah et *al* (2004) [32]. Ce dispositif est simple à réaliser et permet une meilleure distribution de courant ainsi qu'un gain de tension, puisque le courant passe dans toutes les cellules.

V.2.4. Paramètres influençant le procédé d'électrocoagulation

L'efficacité d'un traitement de dépollution par électrocoagulation dépend de nombreux facteurs, en particulier, la nature des électrodes, le pH du milieu, la température du milieu, la durée de traitement, la conductivité du milieu, la densité du courant.

V.2.4.1. La nature des électrodes

Les principaux critères de choix d'une électrode utilisée en électrochimie sont la conductivité, l'efficacité et la durabilité.

En général, les matériaux d'électrodes sont limités à des métaux nobles (platine) et à certains oxydes de métaux (le dioxyde de plomb, le dioxyde d'étain, le dioxyde d'iridium) [34]. Selon Labanowski (2004) [35]. Les électrodes en oxydes métalliques (MeOx) présentent une plus grande conductivité et une plus grande oxydabilité que les matériaux nobles.

De plus ce type d'électrode influence sensiblement les réactions électrochimiques possibles en favorisant la formation de certains oxydants, laissant supposer de possibles phénomènes d'oxydation indirecte. En revanche, les électrodes en aluminium ou en fer présentent à leurs surfaces une couche d'oxyde naturelle qui laisse supposer une oxydation directe de la matière organique.

D'autres métaux sont également employés, tels que le palladium, l'iridium, le cuivre, le nickel [34]. Ce type d'électrode présente l'inconvénient d'augmenter l'oxydation de l'anode et la passivation de la cathode.

Selon Mollah et al (2001) [27]. Les électrodes qui conviennent le mieux pour le traitement de l'eau sont en fer ou en aluminium.

V.2.4.2. La surface active

La surface active est définie comme étant la surface de l'électrode mise en contact avec la solution à traiter. Plus la surface active n'est grande, plus le transfert électrochimique entre les molécules organiques et les électrodes est important, améliorant l'efficacité du traitement [34], [36]. Ainsi, de nombreux types d'électrodes ont été développés pour augmenter la surface spécifique, par exemple, électrode poreuse, électrode constituée d'un empilement de tissus de fibres de carbone, électrode de forme parallélépipédique combinée de plusieurs grilles de métal déployé en acier inoxydable, etc. [34].

V.2.4.3. La température du milieu

L'efficacité du traitement par oxydation électrochimique des eaux contaminées dépend aussi de la température du milieu [34]. En général, la vitesse de réaction chimique et ou, électrochimique augmente avec l'accroissement de température du milieu. Cependant le traitement à des températures élevées diminuera la vie des électrodes, en effet la plupart des anodes en métaux ne peuvent résister aux attaques des oxydants abondamment générés.

V.2.4.4. La densité du courant

La densité du courant est définie comme le rapport de l'intensité du courant mesuré sur la surface active de l'électrode.

$$j = \frac{I}{S} \quad (6)$$

j : densité du courant A/m², I : intensité du courant A, S : surface active de l'électrode m²

Cependant, une application d'une intensité de courant très élevée n'entraîne qu'une consommation d'électricité qui se traduit par l'échauffement de l'eau accompagnée par la diminution de la résistance électrique du milieu [37].

V.2.5. Principales lois régissant l'électrocoagulation

Une des principales lois explicitant les réactions d'électrocoagulation est la seconde loi de Faraday. Cette loi montre que la quantité d'ions métalliques dissout par oxydation anodique est directement proportionnelle à l'intensité imposée et à la durée d'électrolyse mais inversement proportionnelle à la valence d'ions émis [35].

Araya-Farias (1999) [38], et Mollah et *al* (2004) [32]. Expriment la deuxième loi de Faraday relative à une électrode, comme suit :

$$m_{théorique} = \frac{M}{n} \times \frac{I \cdot t}{F} \quad (7)$$

$m_{théorique}$: masse théorique dissoute en g.

M : masse molaire de l'ion considéré en g/mole.

n : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée.

t : durée d'électrolyse en seconde.

F : constante de Faraday = 96 500 C. mole⁻¹.

A partir de cette loi, il est possible d'estimer la masse d'électrode théorique

Consommée par électrolyse et d'en déduire un rendement anodique : R_{anode} .

$$R_{anode} = \frac{\text{Masse expérimentale dissoute (g)}}{\text{Masse théorique donnée par la loi de Faraday (g)}} \times 100 \quad (8)$$

A la cathode, et sans autres réactions de réduction, la production d'hydrogène par

Électrolyse de l'eau suit également la seconde loi de Faraday, de même le rendement cathodique peut être exprimé par :

$$R_{cathode} = \frac{\text{Masse expérimentale formée (g)}}{\text{Masse théorique donnée par la loi de Faraday (g)}} \times 100 \quad (9)$$

Toutefois, la quantité dissoute dépend également du nombre d'électrodes et par conséquent du mode de connexion monopolaire ou bipolaire. Dans le mode bipolaire, pour p électrodes, le système sous tension est constitué de $(p-1)$ anode [39] et la masse dissoute s'exprime alors de la façon suivante :

$$m_{théorique} = \frac{M}{n} \times \frac{I \cdot t}{F} \times (p - 1) \quad (10)$$

V.2.6. Avantages et inconvénients de l'électrocoagulation

➤ Avantages

- Elle nécessite un équipement simple avec un mode opératoire facile.
- L'eau traitée par EC a des propriétés appréciables : l'eau a un goût acceptable, elle est claire, incolore et inodore.
- Les floes formés par EC sont similaires aux floes chimiques, sauf que les floes EC ont tendance à être plus grands, qu'ils contiennent moins d'eau liée, sont résistants aux acides et plus stables, et peuvent être ainsi séparés plus rapidement par filtration [27].
- Comparée à la coagulation- floculation traditionnelle, l'EC a en théorie l'avantage d'éliminer les particules colloïdales les plus petites : les particules chargées les plus petites ont une plus grande probabilité d'être coagulées à cause du champ électrique qui les met en mouvement.
- Une pollution secondaire peut être causée par les substances chimiques ajoutées à grandes concentrations quand la coagulation chimique est appliquée pour traiter les effluents textiles. L'addition excessive des coagulants peut être évitée dans le cas de l'EC car la génération des coagulants se fait par électro oxydation de l'anode sacrificielle [40].
- La technique EC peut être utilisée facilement en milieu rural où l'électricité pourrait ne pas être disponible, puisqu'un panneau solaire relié à l'unité peut suffire pour mener à bien le procédé d'EC [27].

➤ Inconvénients

- Les électrodes « sacrificielles » sont dissoutes dans l'eau usée par suite de leur oxydation, ce qui nécessite le remplacement régulier de ces électrodes.
- L'utilisation de l'électricité peut revenir chère en certains lieux.
- Il peut se former un film imperméable d'oxyde sur la cathode, ce qui conduit à une perte d'efficacité de l'unité d'EC.

- La technique EC nécessite que la suspension d'eau usée traitée ait une conductivité élevée [27].

V.2.7. Utilisation de l'électrocoagulation

L'EC a largement été appliquée avec succès par différents chercheurs pour le traitement d'effluents de diverses natures:

Mameri et al. (1998) [33]. Ont étudié l'élimination des ions fluorures dans les eaux du Sud Algérien par électrocoagulation bipolaire en utilisant des électrodes en aluminium. Ils sont arrivés à diminuer la concentration en fluorures de 6,0 à moins de 0,8 mg/L⁻¹ enregistrant ainsi un taux d'abattement de l'ordre de 90%.

L'EC a été utilisée pour l'élimination des nitrates [29]. Et des phosphates [41], retrouvés dans les eaux de surfaces et le sol.

L'électrocoagulation offre la possibilité d'épurer les eaux usées de leur contenu en métaux lourds (chromes, zinc, plombs,) [42].

L'électrocoagulation a été appliquée comme prétraitement des margines (rejets des industries de production d'huile d'olive) où la majorité des composés phénoliques responsables de couleur sombre, phytotoxicité...etc., ont été polymérisés [43].

V.2.8. Conclusion

Suite à cette étude bibliographique, il s'avère que l'application de l'électrocoagulation a connu des domaines très divers, contribuant à l'élimination de plusieurs composés d'origines différentes mais qui s'unissent par leurs impacts négatifs sur l'environnement.

CHAPITRE VI

DIAGNOSTIC DE LA STATION D'EPURATION

VI. Diagnostic de la station d'épuration

VI.1.Introduction

L'objectif de ce chapitre est de citer les différentes anomalies de la station d'épuration de la base 24 février ainsi que leurs origines.

VI .2. Station d'épuration de la base 24/02

La station d'épuration de base de vie « 24 février » de Sonatrach HASSI-MESSAOUD est mise en service depuis 2001, destinée au traitement des eaux usées domestiques provenant d'un réseau de type collectif, Avant leur rejet ou leur réutilisation pour l'arrosage des espaces verts. C'est une station basée sur l'épuration biologique par « lits bactériens ».

VI .2.1. Données de base

Nombre d'habitants : 2500 équivalents habitants.

Débit moyen journalier : 500m³/j.

Débit de pointe : 53 m³/h

VI .2. 2. Caractéristiques de l'eau brute

➤ DBO5 :

Concentration maximale 450mg /l.

Concentration moyenne 300mg/l

Charge journalière 150kg/j

➤ MES :

Concentration maximale 675 mg /l.

Concentration moyenne 450 mg/l

Charge journalière 225 kg/j

➤ AZOTE KJELDAHL :

Concentration moyenne (organique+NH3) : 54 mg/l

Charge journalière 27,3 kg/j

VI .2.3. Les procédés de traitement

Les eaux usées issues du complexe restauration subissent en amont de la STEP une récupération manuelle des graisses à l'intérieur d'une fosse, après ce prétraitement, les eaux rejoignent le reste des eaux usées (provenant des chambres, la buanderie et l'unité de traitement d'eau potable) qui sont acheminées par gravité vers la station d'épuration par un collecteur qui se trouve à une cote (-2,30) par rapport au terrain naturel considéré à (0,00) [44].

A l'intérieur de la STEP, ces eaux usées vont subir un dégrillage grossier, les affluents transitent au dessableur, ils sont ensuite amenés par gravité dans le décanteur primaire où seront éliminées les matières en suspension.

Après les traitements cités ci-dessus les affluents sont envoyés au filtre bactérien (lit bactérien) pour l'élimination biologique des substances organiques présentes. Afin de maintenir en vie les micro-organismes aérobies (matière active), une partie des eaux est recirculée sur le lit bactérien, pour éviter le dessèchement.

Un débit hydraulique minimum est nécessaire pour provoquer la rotation de l'équipement de distribution d'eau sur toute la surface du filtre biologique.

Le traitement biologique produit des boues en excès qu'il faut séparer dans le décanteur secondaire. L'eau décantée subit une désinfection par (hypochlorite de calcium 70%).

La STEP 24/02 ne contient pas un épaisseur à cause des températures élevées de la région qui provoque une évaporation rapide des eaux, donc les boues de la station produites par le traitement biologique sont évacuées directement vers les lits de séchage formés de couches de graviers et de sable recouvrant une tuyauterie de drainage. Ces boues seront séchées naturellement.



Figure VI .10: Lit de séchage plein d'eau

VI .3. Problème du traitement biologique de la STEP

VI .3.1. Calcul du rapport DBO_5/DCO

Le rapport DCO/DBO_5 donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné [45]. On admet généralement les limites suivantes :

- $DCO/DBO_5 < 2$ - l'effluent est facilement biodégradable;
- $2 < DCO/DBO_5 < 3$ - l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées;
- $DCO/DBO_5 > 3$ - l'effluent n'est pas biodégradable.

Suite aux analyses faites par le CRD le rapport DCO/DBO₅ à la sortie du filtre bactérien a donné la figure VI.11 :

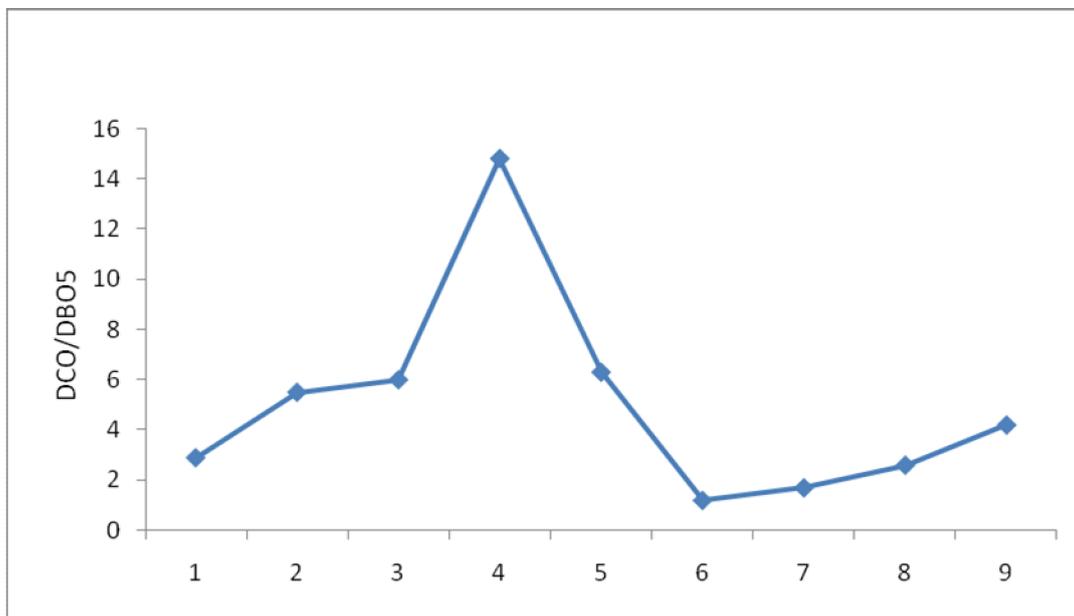


Figure VI .11: l'évolution du rapport DCO/DBO₅

La lecture de cette courbe montre que dans la plupart du temps le rapport DCO /DBO₅ est supérieur à 3 donc l'effluent n'est pas biodégradable. et ceci revient à la présence des graisses qui inhibe l'activité des microorganismes du lit bactérien.

Tableau VI.4: Exemple d'analyses effectuées dans le CRD

Paramètre	Fosse d'arrivée	L'intérieur du décanteur primaire	Sortie du Filtre bactérien	L'intérieur du décanteur secondaire
pH	6,6	6,9	8,2	7,3
Conductivité (μS/cm)	2,6	2,7	2,5	2,7
Salinité (g/l)	1,1	1,1	1,2	1

MES (mg/l)	356	248	742	131
DBO ₅ (mg/l)	250	232	155	/
DCO (mg/l)	633	439	>880	673
N-NH ₄ (mg/l)	14,3	20,2	20,8	23,5
NO ₂ ⁻ (mg/l)	20	20	9	15
NO ₃ ⁻ (mg/l)	7,9	15,2	/	8,3
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	4,4	6,8	7,9	12,4

VI .3.2. Problème des graisses

La base de vie 24/02 contient :

- Des chambres, des bureaux qui génèrent des eaux usées domestiques chargé de la matière organique.
- Buanderie qui génère des eaux usées chargé en détergent
- Unité de traitement d'eau potable d'une capacité de 500m³/j qui traite des eaux saumâtres issu de la nappe Scénonien, cette eau est caractérisée par :
 - Conductivité ; 1400-2400μS /cm
 - Salinité ; 1100-2000mg /L

Complexe de restauration : prépare environ 3000 repas chaud par jour. Cette activité génère des grandes quantités de graisse qui pose beaucoup de problèmes en amont et au niveau de la station d'épuration tels que :

a. Problèmes en amont de la STEP

- Dépôt des graisses à l'intérieur des conduites Ceci conduit au colmatage de cette dernière.

b. Problèmes au niveau de la STEP

Les graisses issues du complexe de restauration sont considérées comme des produits toxiques avec un taux de 300 mg/l, car non seulement elles ne sont pas biodégradables, mais elles peuvent aussi entraîner des dysfonctionnements tels que :

- * La mort et l'instabilité des micro-organismes du lit bactérien.
- * L'instabilité de la biomasse bactérienne.
- * L'abaissement du rendement global d'épuration.
- * Une mauvaise décantation des boues.
- * Une adsorption des éléments toxiques par la biomasse, la rendant ainsi inapte à une utilisation agricole éventuelle ou à une mise en décharge.
- * Formation de la mousse dans les différents procédés de traitement dans la STEP (entrée et la sortie du lit bactérien, sortie du décanteur secondaire) issue de la réaction de saponification des graisses.



Figure VI .12 :

a) Entrée du lit bactérien

b) Sortie du lit bactérien

- Au niveau du dégrillage: on constate l'arrivée des déchets de différentes tailles émanant de la cuisine (restes de légumes, mégots, etc.) à cause d'enlèvement des grilles lors du nettoyage.

Des le début du problème des graisses certaines recommandations ont été proposé tel que:

- Chaque jour, une citerne d'eau chaude est versée à l'intérieur des conduites pour éviter le colmatage des graisses. ceci va perturber le fonctionnement de la station.
- Pour réduire la quantité des graisses une fosse est installée à la sortie du complexe de restauration.



Figure VI .13: les graisses ramassées dans la fosse septique

- L'enlèvement des graisses s'effectue manuellement par des moyens rudimentaires (passoire, bidons de peinture).
- Les graisses ramassées sont déposées à l'intérieur des poubelles à l'air libre.

Ceci a entraîné :

- Présence d'odeurs nauséabondes au niveau de la fosse.
- Les agents descendent jusqu'au fond de la fosse pour récupérer les graisses, ce qui représente un danger pour leur santé.
- Malgré les solutions proposées précédemment les analyses effectuées à la sortie et à l'entrée du lit bactérien n'ont enregistré aucune amélioration dans le traitement. et il y a toujours présence des graisses dans les eaux usées.

Recommandations

- Eviter l'enlèvement des grilles lors de chaque opération de nettoyage de parterre de la cuisine.
- Remettre systématiquement toutes les dalles sur les fosses du dégraisseur primaire, après chaque opération du nettoyage.

- Utiliser des moyens adéquats pour la récupération de graisses, et doter les personnes chargées de cette opération de moyens de protection individuelle.
- Mettre les graisses dans des sacs en plastique, puis à l'intérieur des poubelles, ce qui permet d'éviter le dégagement des odeurs nauséabondes, ainsi qu'ils facilitent leur transport.
- Utiliser des masques respiratoires pendant chaque opération de nettoyage.

VI .4.Problème de la charge hydraulique

La STEP 24/02 reçoit, depuis 2004, un débit journalier d'eau brute 1200 m³/j dépassant sa capacité 500 m³/j.

Ceci pose des problèmes majeurs tel que :

- ✓ Débordement des regards en amont de la STEP.
- ✓ un temps de séjour petit durant le traitement (décanteur primaire, lit bactérien, décanteur secondaire).

Pour connaître l'origine de ce problème on a suivi la variation du débit moyen annuel, mensuel et journalier, dès la mise en service de la station d'épuration 24février.

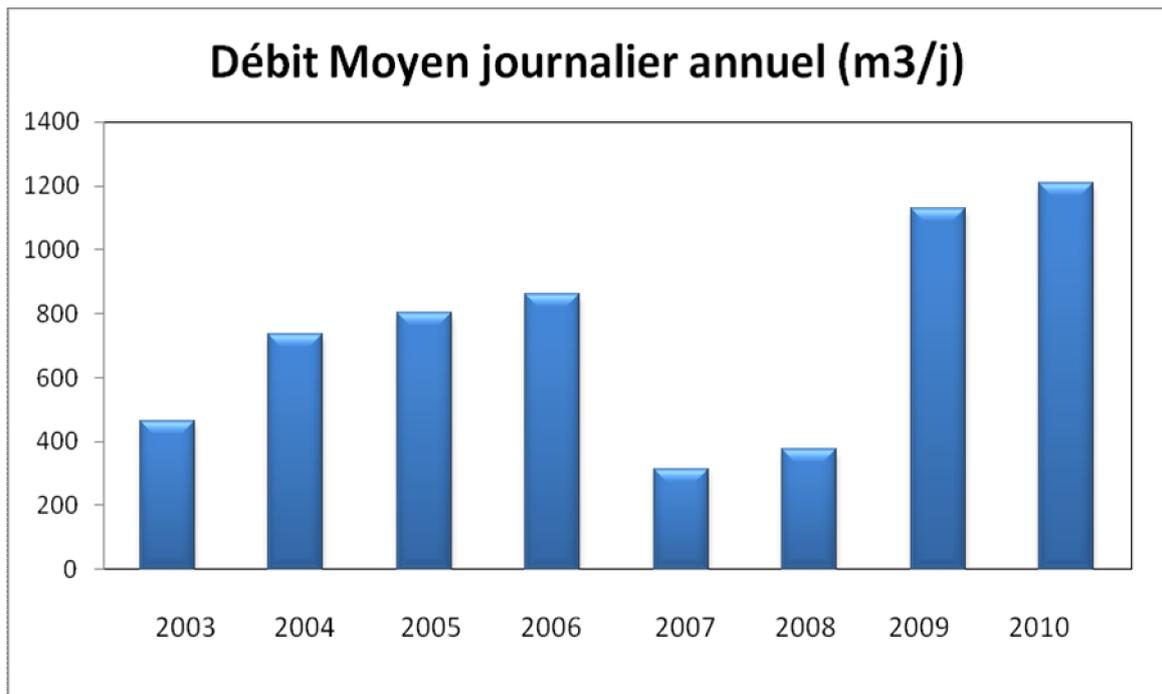


Figure VI .14: variation du débit moyen journalier de la STEP depuis l'année 2003

D'après ce graphe, depuis l'année 2004 le débit journalier moyen de la station ne cesse d'augmenter de 460m³/j jusqu'à la valeur 1200 m³/j mise à part la période 2007-2008 (arrêt de la station).

La variation du débit est passée par trois étapes :

2004-2006 l'augmentation du débit est dû au:

- Construction des nouvelles chambres en 2004.
- Raccordement du réseau d'assainissement de la division forage avec la STEP s'est effectué en 2004.

2007-2008:

- Diminution du débit hydraulique dans l'année 2007 et 2008 dû aux arrêts de la station.

2009-2010:

- Depuis 1 janvier 2009 le nettoyage du complexe de restauration s'effectue par une compagnie étrangère « EUREST » qui utilise des grandes quantités d'eau.

- L'unité de traitement d'eau potable rejette 1/3 de ces eaux qui sont chargées seulement des sels minéraux dans la STEP, ces eaux ne nécessitent pas un traitement biologique et doivent être rejetées directement dans le milieu naturel.
- Quand les bacs de stockage du réseau hydraulique sont remplis, l'excès d'eau est évacué vers la STEP. (ces eaux doivent être rejetées directement dans le milieu récepteur).

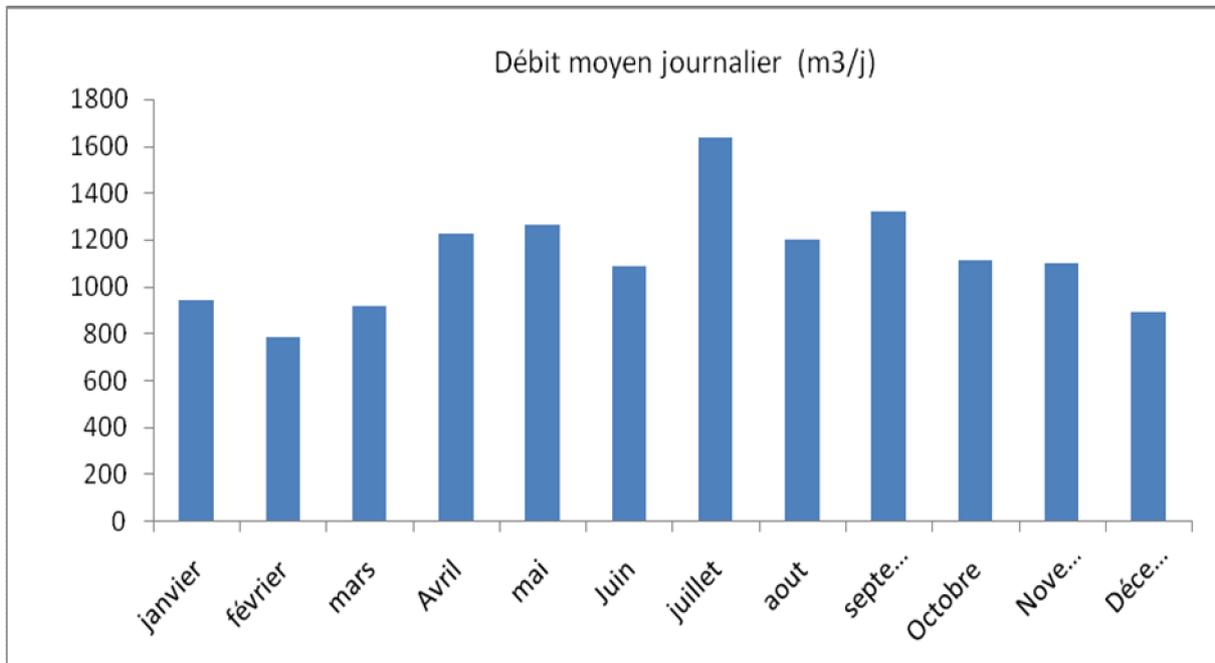


Figure VI .15: variation du débit moyen journalier de la STEP de l'année 2009

La lecture de ces graphes montre que le débit d'eau varie avec la saison et ceci revient à :

- Augmentation de la consommation des eaux en été (douches, irrigation...).
- les eaux de la piscine sont rejetées directement vers la STEP.

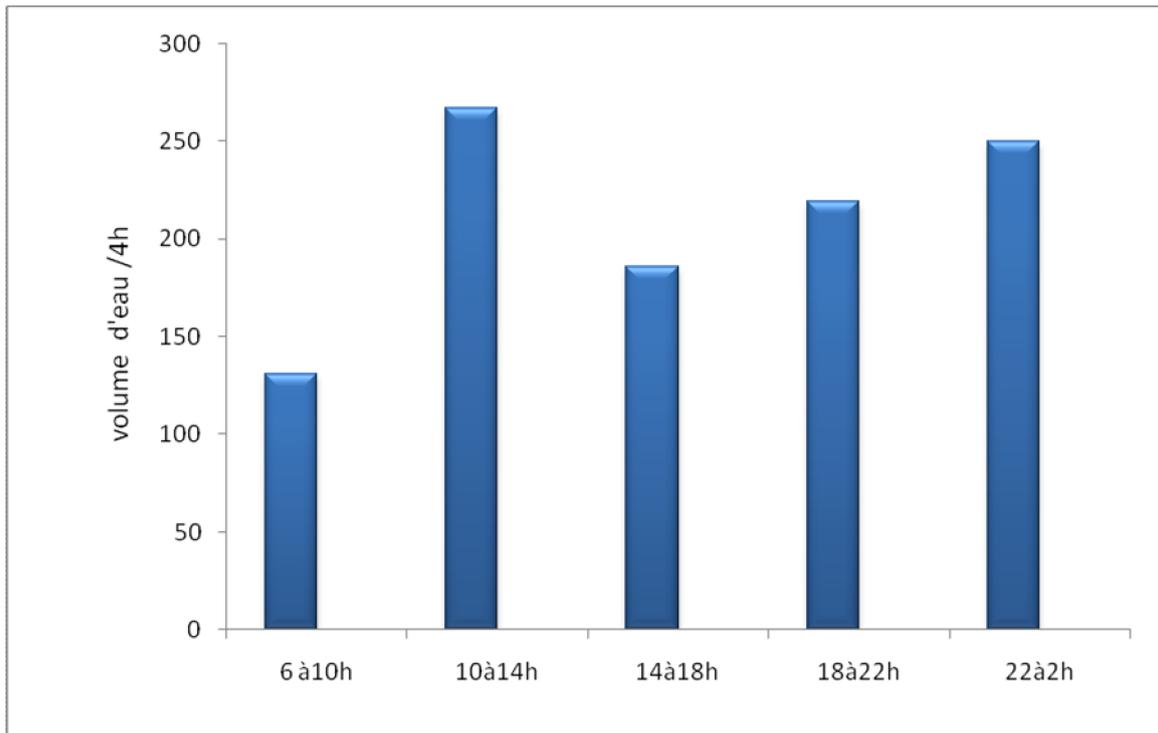


Figure VI .16: volume d'eau usée tous les quatre heures

D'après ce graphe on voit que la consommation d'eau varie durant la journée :

- Augmentation des pics pendant 10-14h et 22-2h du au nettoyage du complexe de restauration.
- L'activité de la buanderie augmente de 14-18h.

VI .5.conclusion

Suite aux différents problèmes cités au dessus, on va proposer dans les chapitres qui suivent une mise à niveau de la station d'épuration de la base 24 par combinaison d'un autre procédé de traitement.

CHAPITRE VII

MATERIELS & METHODES

VII. Matériel et méthodes

VII.1.Introduction

Dans cette section, nous allons donner le mode opératoire suivi pour détecter les différents paramètres de pollution définis dans le précédent chapitre. Il sera question de détailler le protocole d'analyse suivi, le matériel et les réactifs utilisés.

VII.2.Analyses microbiologiques

Dans notre étude on avait besoin de faire des analyses microbiologiques (dénombrement des germes totaux) pour voir les performances du traitement par ultra filtration. Pour ce faire, on a collecté des échantillons de concentrât, de brute et de permeat

VII.2.1Matériel utilisé

- Pipettes de 1ml et de 10 ml
- Bec bunsen
- Des boites Pétri à ensemencé
- Des tubes à essai à vis
- Portoir de tube
- Javel pour la désinfection de la pailleasse
- Autoclaves et étuve

VII.2.2.Etapes d'analyse

a. La stérilisation

On a cotonné les pipettes de 1 ml et de 10 ml, après on les a placé par petit paquets dans le papier aluminium puis stériliser au four à 180°C pendant 30 min par expérience. Il faut 7 pipettes de 1 ml et une de 10 ml.

On a préparé une eau physiologique (9 g de NaCl /litre d'eau distillé). On a rempli avec, exactement, 9 ml chaque tube à essai à vis. Les tubes sont vissés puis stérilisés à l'autoclave (120°C, 20 min).

On prépare le milieu de culture (gélose nutritif) dans des flacons de 250 ml (4 flacons) et on le stérilise à 120 °C.

b. Préparation des dilutions

Avant d'ensemencer les milieux, on effectue des dilutions décimales en cascades de la solution 10^{-1} à 10^{-6} (3 séries : le permeal, le concentrât et le brut). On prélève stérilement à partir du flacon d'eau à analyser 1ml que l'on place dans un tube contenant 9ml d'eau physiologique stérile. On homogénéise la solution à l'aide d'un vortex puis on prélève 1 ml de ce tube pour le mettre dans le deuxième tube et ainsi de suite jusqu'au sixième tube. Il est très important de changer de pipette de prélèvement entre les différentes dilutions.

c. Technique

Pour la solution mère et pour chaque dilution, on utilise deux boîtes de Pétris vides dans lesquelles on introduit aseptiquement exactement 1 ml par boîte. On renferme ensuite aussitôt la boîte puis on introduit, de la même manière pour l'ensemble des boîtes, 15 ml de gélose liquéfiée (maintenue à 45°C). Sans attendre et avant la solidification de la gélose nutritive, on tourne les boîtes de gauche à droite en la maintenant sur la paillasse de bas en haut en décrivant un mouvement de 8

On laisse refroidir durant 15min et on retourne les boîtes, couvercle en bas pour éviter la condensation de l'eau à la surface. En fin, on incube à 30°C à l'étuve

On fait deux lectures à 24h et 48h après incubation

d. La lecture

La lecture se fait à l'aide de comptage de colonie (unité formant colonie UFC), un nombre inférieur à 30 ou supérieur à 300 n'est pas considéré.

Le nombre final de germes sera calculé par la loi suivante :

$$UFC = nbr \times \frac{1}{D \times 100} \quad (\text{germes}/100\text{ml}) \quad (11)$$

- UFC : unité formant colonies
- D : nombre de la dilution

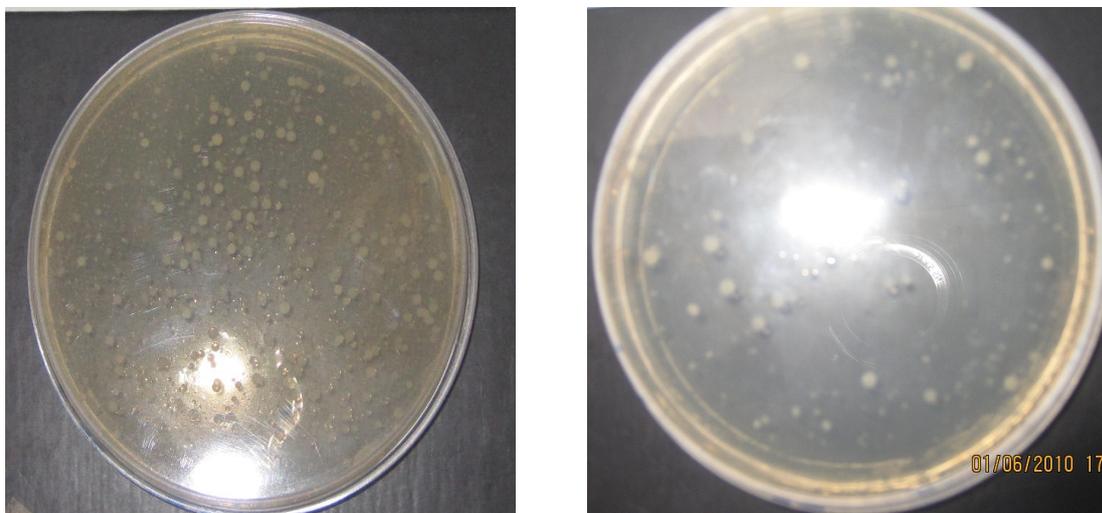


Figure VII.17 : Exemple de boîtes Pétri du concentrât et de brute

VII.3 Analyses physico-chimiques

VII.3.1. Mesure du pH et de la conductivité

La mesure de ces deux paramètres est réalisée respectivement à l'aide d'un pH-mètre (type Metrohm) et d'un conductimètre (type Hanna) en plongeant dans la solution étudiée, parfaitement homogénéisée à température ambiante, l'électrode spécifique.

VII.3.2. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la concentration d'oxygène équivalente à la quantité d'un oxydant (dichromate) consommée par les matières oxydables dans un échantillon d'eau. La matière est oxydée, en milieu acide (H_2SO_4) et en présence d'un catalyseur (sulfate d'argent), par le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) introduit en excès.

Une lecture de la densité optique à 600 nm permet de déterminer la DCO en se référant au courbe étalon dressé à partir d'une série de solutions standard de KHP (phtalate de potassium) ayant les concentrations suivantes : 100 mg/l, 150 mg/l, 200 mg/l, 250 mg/l, 300 mg/l, 350 mg/l et 400 mg/l.

VII.3.3. Dosage de l'azote par la méthode Kjeldahl

Le dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl permet de doser l'azote organique et ammoniacal, à l'exclusion des nitrites et des nitrates. L'azote organique est d'abord minéralisé à chaud en milieu acide, puis distillé après alcalinisation et recueilli dans une solution acide. Il est ensuite dosé par titration. La méthode utilisée est la méthode macro-Kjeldahl préconisée par l'APHA (1985).

VII.3.4. Dosage des MES

Les MES sont déterminées par séchage de l'échantillon à 105°C et sont exprimées en mg/l (APHA, 1985).

La relation qui exprime la concentration des MES est la suivante :

$$MES = \frac{M_1 - M_2}{V} 1000 \quad (12)$$

V : Volume en millilitres de la prise d'essai

M₁ : Masse en milligramme de la capsule vide.

M₂ : Masse en milligramme de la capsule et de son contenu après séchage à 105 °C

VII.4. Traitement par ultrafiltration

L'ultrafiltration des eaux usées sont réalisée en mode continu dans un pilote de laboratoire Microlab 130 S de la firme Gamma filtration. Les conditions opératoires utilisées sont inspirées des travaux de Mameri et *al.* (2000)

A la fin de cette opération, le perméat est récupéré et conservé à 4°C, il est caractérisé par un certain nombre d'analyses microbiologiques et physico-chimiques: DCO, azote, pH, conductivité....

VII.4.1. Description du pilote

Le Schéma général du pilote Microlab 130 S est composé essentiellement de :

- ♦ Un réservoir.

- ♦ Un module d'ultrafiltration.
- ♦ Une pompe volumétrique.
- ♦ Un débitmètre électromagnétique à débit réglable s'échelonnant entre 0 et 5 m³/h.
- ♦ Un échangeur de chaleur.
- ♦ Deux touches de mise en marche des pompes d'alimentation et de recirculation.
- ♦ Deux touches de variation de la vitesse de recirculation.

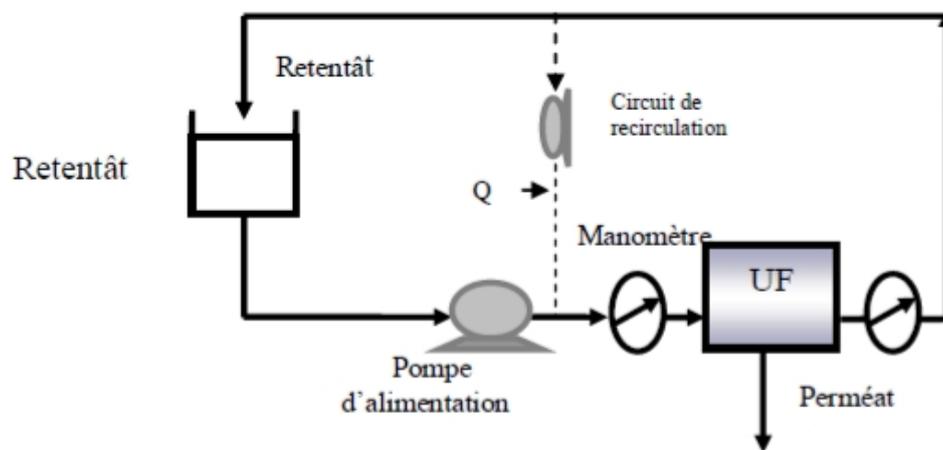


Figure.VII.18: schéma représentatif du dispositif expérimental

Le réglage de la pression transmembranaire est effectué avec une manette reliée à la pompe d'alimentation. La lecture de la pression se fait par deux indicateurs de pression à l'entrée et à la sortie du module. Ces indicateurs sont munis d'un point de mesure et de deux points de consignes réglables. Ces deux points de consignes donnent respectivement les valeurs de la pression minimale et maximale. Dans le cas d'un dépassement de ces valeurs.

Les principales caractéristiques que présente ce pilote sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VII.5: Caractéristique du pilote de laboratoire Microlab 130S de la firme Gamma filtration

Caractéristiques	Valeurs
Température maximale du système	95°C
Viscosité maximale	900 Cps
Pression maximale	8 bars
Volume de la cuve	25 L
Puissance installée	4,1 KW

VII.4.2. Description de la membrane

La membrane, choisie pour nos essais, est une membrane minérale de type CERAVÉR®. Cette membrane est composée d'éléments filtrants multicanaux, comprenant un support constitué d'un corps rigide de structure macroporeuse très perméable et très solide. Le diamètre des pores du support est d'environ 15 µm comportant plusieurs canaux parallèles de diamètre de 4 mm, dont la surface intérieure est revêtue de la membrane. La membrane est constituée d'une ou plusieurs couches de céramique à porosité finement calibrée. Le support et la membrane sont liés d'une manière monolithique par frittage. Ses principales caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VII.6: Caractéristique de la membrane CERAVER®

Caractéristiques	Valeurs
Composition	Al ₂ O ₃
Diamètre moyen des pores	15µm
Diamètre du canal	4mm
Longueur	850mm
Nombre de canaux	19
Surface utile	0,2 m ²
Pression d'éclatement	100 bars

VII.4.4. Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de ce pilote est le suivant :

- ◆ Remplir le bac d'alimentation avec 10 litres d'eau usée domestique.
- ◆ Mettre en marche la pompe d'alimentation (PA).
- ◆ Ouvrir la vanne d'alimentation produit VP1, la vanne réglage de pression VM4.
- ◆ Régler la consigne de température ainsi que les alarmes de pression minimale et maximale.
- ◆ Dès l'obtention du débit de rétentat à 350 l/h, démarrer la pompe de recirculation (PC) et fixer le débit désiré.
- ◆ Recycler le rétentat dans le bac d'alimentation et collecter le perméat dans une cuve.

VII.5. Traitement par électrocoagulation

L'électrocoagulation d'eau usée domestique est réalisée dans un pilote de laboratoire, fonctionnant en mode discontinue. La solution utilisée à une DCO = 300 mg/l ;

Le but de cette étude est de réduire au maximum la charge polluante des eaux usées de station d'épuration

- ♦ Le type d'électrode : on a utilisé des plaques d'aluminium.
- ♦ Le pH du milieu : quatre pH ont été testés 7,3, 5,5 et 4 L'ajustement des solutions a été réalisé avec l'acide sulfurique (0,1 N).
- ♦ La densité de courant : quatre valeurs de densités ont été étudiées ($71,4 \text{ A/m}^2$, 125 A/m^2 , $178,6 \text{ A/m}^2$). Nous ajoutons à chaque fois une concentration 1,3g/l de NaCl pour assurer le passage du courant
- ♦ La surface spécifique : la surface spécifique a été étudiée en variant le nombre d'électrodes 2 et 4.
- ♦ La distance entre les électrodes 5cm, 3cm et 1cm.
- ♦ L'intensité de courant : trois valeurs ont été étudiées 1A, 0,7A et 0,4A
- ♦ Des échantillons sont prélevés en fonction du temps, puis analysés(DCO).

VII.5.1. Description du pilote d'électrocoagulation

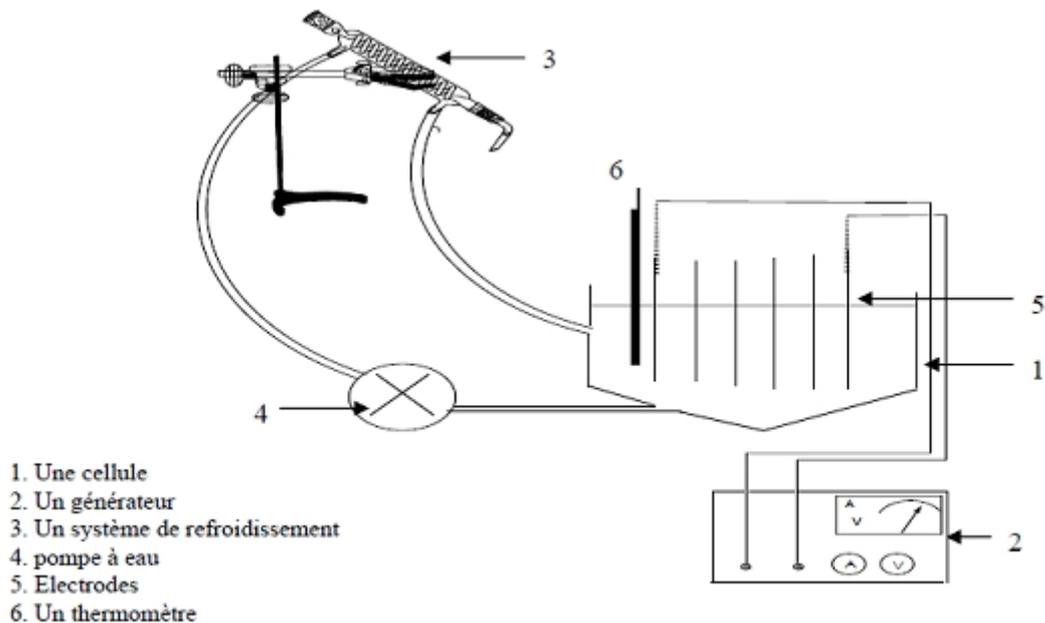


Figure VII.19: réacteur pilote d'électrocoagulation

VII.5. 2. Mode de fonctionnement

La cellule est remplie avec 700 ml d'eau usée brut, les électrodes externes sont reliées au générateur. La solution est pompée par le fond de la cellule vers un système de refroidissement, grâce à une pompe à eau, la solution qui sort du serpentin retourne vers la cellule.

Le débit de la pompe assure à la fois l'alimentation du système de refroidissement et une faible agitation de la solution.

VII.5.3. Dispositif expérimental

Le dispositif a été monté au laboratoire, et il est schématisé sur les figures suivantes:



Figure VII.20 : montage du dispositif de l'électrocoagulation



Figure VII.21 : Réacteur de l'électrocoagulation

Ce montage contient essentiellement :

- ♦ **réacteur** en plexiglas de dimensions 19 x18 x 6 cm.
- ♦ **générateur** de courant électrique de type ERMS.
- ♦ **électrodes** en métal (fer ou aluminium).
- ♦ fils électriques de connexion.
- ♦ **Agitateur pour** homogénéiser la solution (le travail se fait en mode Batch).

Le réacteur est rempli avec 700 mL de l'effluent à traiter et ceci dans des conditions opératoires choisies. La conductivité de la solution est ajustée avec du NaCl, le pH est réglé avec des solutions à 0,1N de H₂SO₄.

Suite à la détermination des λ , une courbe d'étalonnage pour chaque paramètre de pollution a été tracée (voir annexe) afin de pouvoir estimer sa concentration en solution.

Le taux d'abattement est calculé par la relation suivante :

$$E\% = \frac{DCO_0 - DCO}{DCO_0} \times 100 \quad (13)$$

DCO₀ et DCO : les demandes chimiques en oxygène initiales (avant traitement) et finales (après traitement) des effluents (en mg. L⁻¹), respectivement

Au cours du procédé d'électrocoagulation, des échantillons de la solution subissent le traitement sont prélevés, Leur pH est mesuré par un pH mètre de type Metrohm, dosés par le spectrophotomètre UV-Visible de marque SHIMADZU à la longueur d'onde qui convient.

CHAPITRE VIII

RESULTATS & DISCUSSIONS

VIII. Résultats et discussions

VIII.1. Traitement des effluents par ultrafiltration

Comme nous l'avons noté précédemment; les eaux générées par le lit bactérien ne subissent pas un traitement adéquat par ce dernier. Nous rappelons que l'objectif essentiel de notre étude est l'obtention d'un traitement des eaux conforme aux normes pour la préservation de l'environnement et ou pour une éventuelle valorisation de l'eau traitée. Pour ce faire, nous avons fait appel à une technique membranaire qu'est l'ultrafiltration. Dans cette partie, nous avons essayé de déterminer les conditions dynamiques optimales (pression transmembranaire et vitesse de recirculation) pour un fonctionnement efficace de l'ultrafiltration. En premier lieu, nous débutons nos expériences par le calcul de la perméabilité au solvant de la membrane. Cette perméabilité jouera le rôle de référence le long de notre étude. Ensuite nous procéderons à l'étude de l'effet de la pression transmembranaire (courbe de polarisation) et celui de la vitesse de recirculation sur le flux de perméat.

VIII.1.1. Calcul de la perméabilité à l'eau de la membrane avant usage

Le calcul de la perméabilité à l'eau de la membrane, se résume au calcul de la variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire appliquée. Le résultat est représenté sur la figure VIII.1.1. Le calcul de cette perméabilité a été mené à la température $T=24^{\circ}\text{C}$

Le flux de Perméat J_v est calculé à l'aide de la formule :

$$J_v = \frac{V}{At} \quad (\text{L} / \text{h.m}^2) \quad (15)$$

- A : est la surface active de la membrane $0,2 \text{ m}^2$
- t et V sont respectivement le temps et le volume d'empotage.

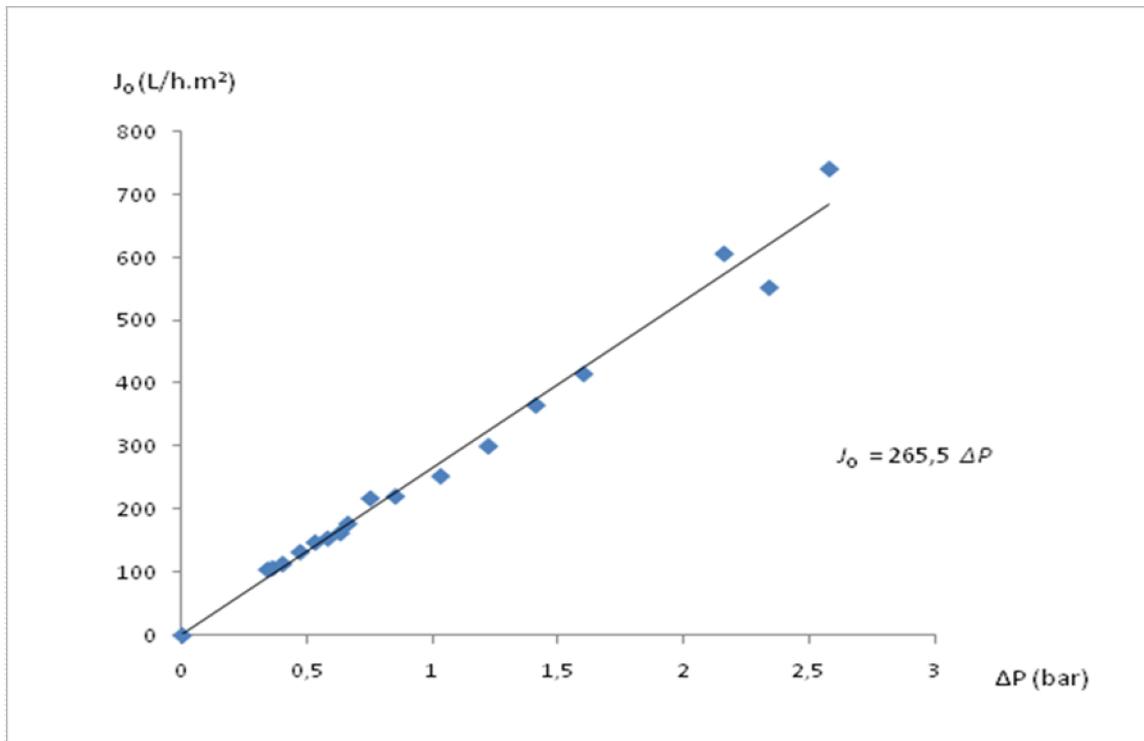


Figure VIII.22: Perméabilité à l'eau de la membrane avant usage

La perméabilité initiale à l'eau de la membrane avant usage est de 265,5 l/h m² bar. La variation du flux de perméat J_v est proportionnelle de la pression transmembranaire ΔP et obéit ainsi à l'équation de Darcy.

VIII.1.2. Traitement par ultrafiltration avec recirculation de perméat

VIII.1.2.1. Effet de la pression sur le traitement

Pour minimiser les erreurs lors de la réalisation de cette étape on doit travailler à concentration constante. Cette concentration est maintenue en dirigeant la sortie du Perméat et du concentrât vers le bac d'alimentation. Le pH et la température doivent, également demeurer constant. Les résultats des expériences sont représentés sur les figures suivantes (figure VIII.23, figure VIII.24):

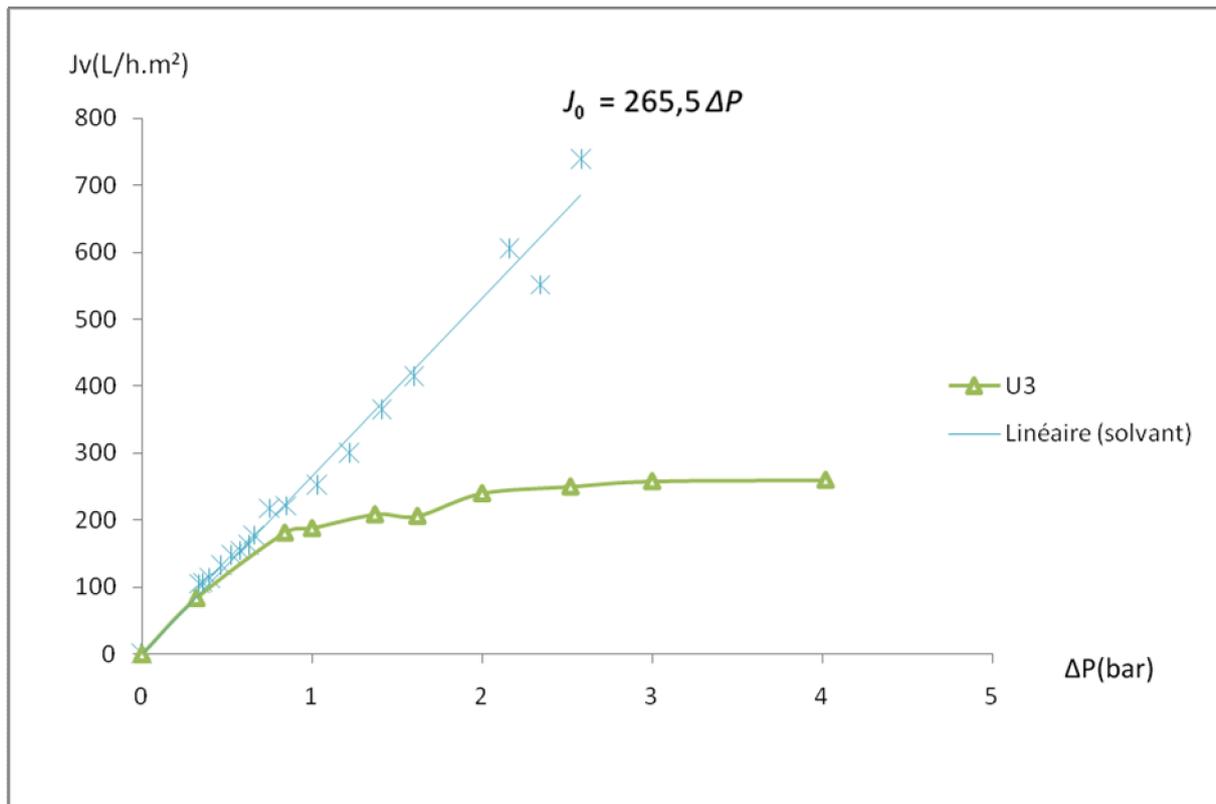


Figure VIII.23: Courbe de polarisation de la membrane et influence de la pression

Nous pouvons déduire que la variation du flux de perméat J_v est pratiquement proportionnelle à la pression transmembranaire lorsqu'on travaille à des pressions très basses et dans cette gamme de pression la courbe tend vers la droite solvant présentée précédemment (Fig. VIII.22). Au-delà de 1 bar, le flux devient indépendant de la pression et tend vers une valeur limite.

Ceci indique qu'il y a apparition du phénomène de polarisation de concentration à partir de cette pression [53].

VIII.1.2.2 .Influence de la vitesse sur la courbe de polarisation de concentration

Pour montrer l'effet de la vitesse de recirculation sur l'efficacité de l'ultrafiltration nous avons fait varier le paramètre de 0,6 à 3,6 m/s.

Les courbes de variations du flux de perméat J_v en fonction de la pression transmembranaire ΔP pour différentes vitesses de recirculation $U_1=0.6\text{m/s}$, $U_2=1\text{m/s}$, $U_3=1,5\text{m/s}$ et $U_4=3,6\text{m/s}$ sont représentées sur la figure VIII.24.

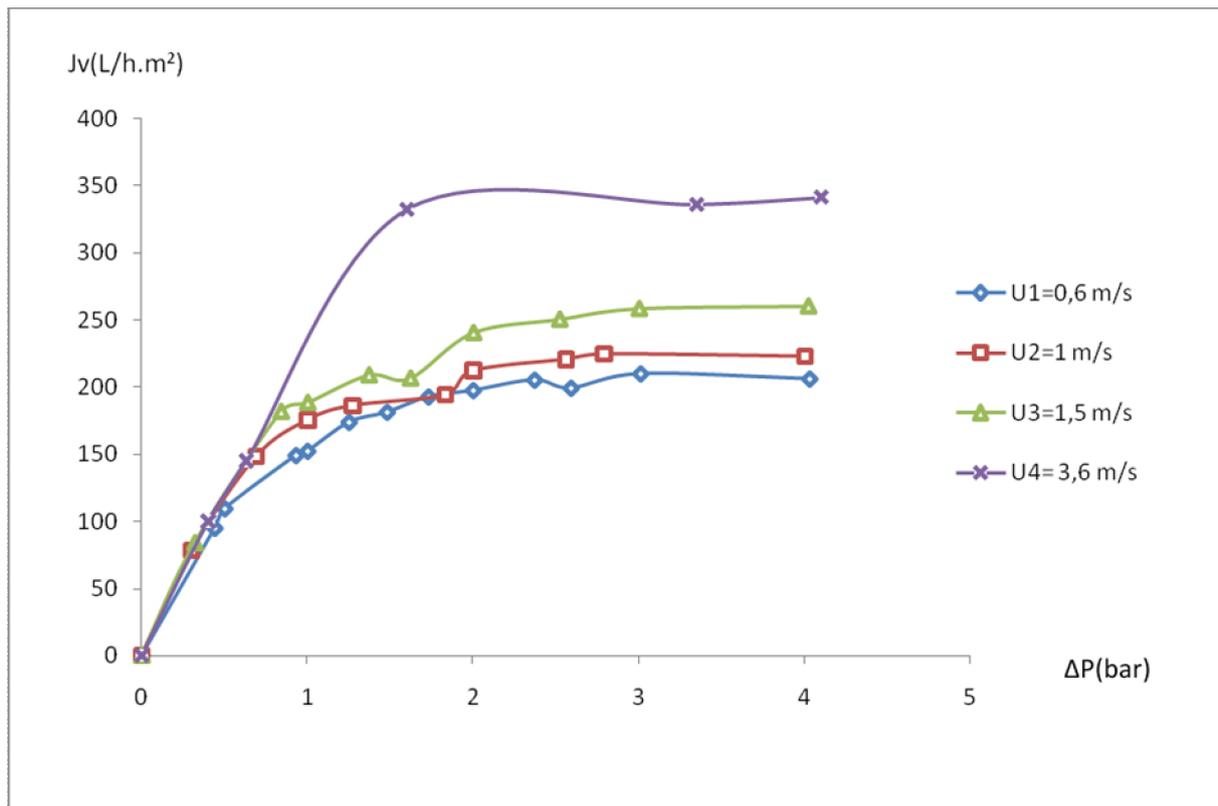


Figure VIII.24: Influence de la vitesse de recirculation sur le flux de perméat

L'analyse de la figure, conduit aux interprétations suivantes:

Pour une pression inférieure à 1 bar, le flux de perméat est proportionnel à la pression transmembranaire. Au-delà de cette valeur de pression et pour chaque vitesse de recirculation, cette proportionnalité n'est plus respectée mis à part pour la vitesse 3,6 m/s ou cette proportionnalité est maintenue jusqu'à une pression de 1,5 bars. Le flux de perméat évolue moins vite et devient indépendant de la pression, confirmant ainsi l'existence d'une polarisation de la membrane.

D'une manière générale, nous constatons que l'augmentation de la vitesse de recirculation provoque une croissance du flux de perméat. Les performances de l'ultrafiltration sont donc améliorées. Toute fois, pour des vitesses de recirculation élevées (3,6 m/s) cela s'accompagne par une forte perte de charge (due aux efforts de cisaillement élevés) et une élévation de température.

VIII.1.2.3. Influence de la pression sur le taux de rejet observé

Pour déterminer l'influence de la pression sur le taux de rejet, on a collecté des échantillons à des pressions bien précises (0,5, 1, 2 et 3,5 bars) et à chaque vitesse de recirculation utilisée. On a mesuré le taux de rejet observé pour chaque cas. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure VIII.25.

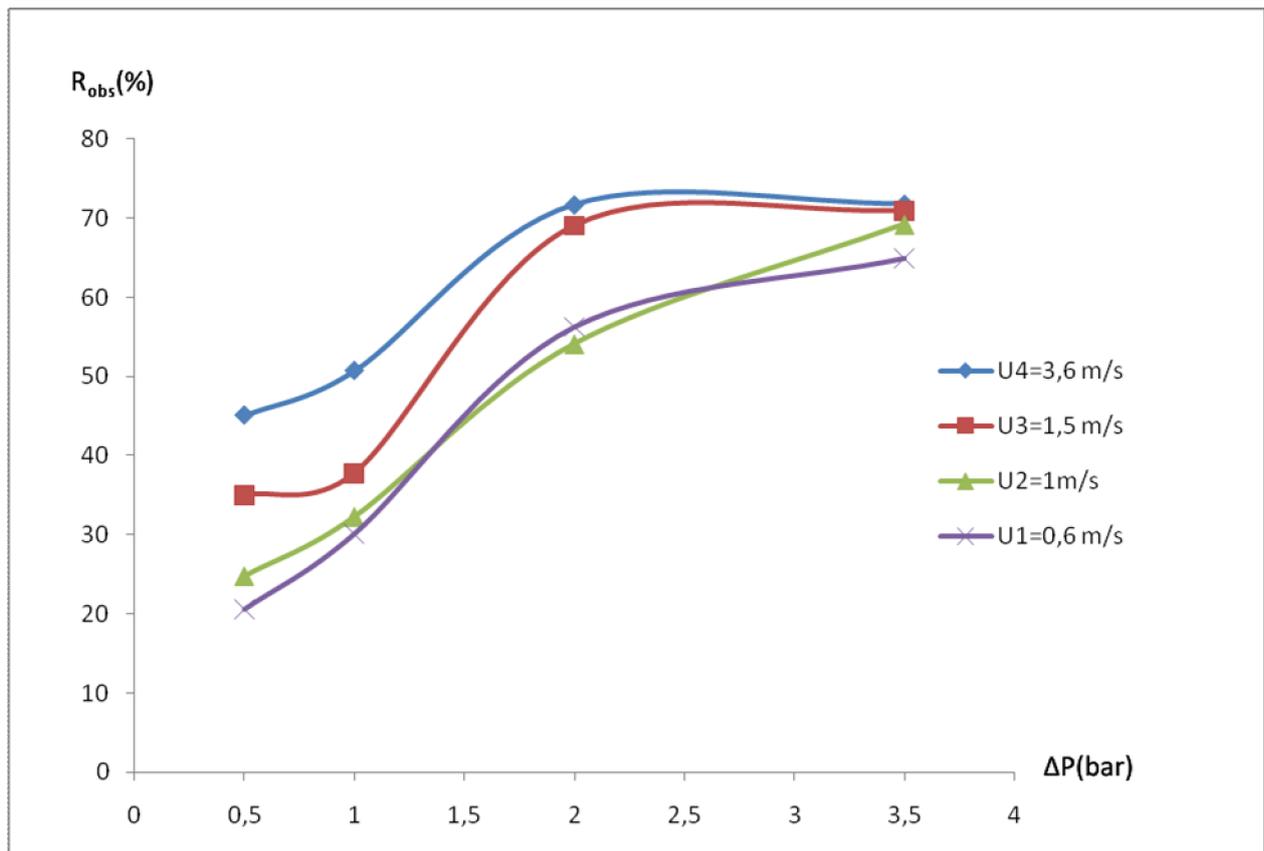


Figure VIII.25 : Influence de la pression sur le taux de rejet

- Pour des pressions élevées on observe un taux de rejet beaucoup plus important que pour les faibles pressions. De même, il a été constaté que les taux de rejets étaient élevés à des vitesses élevées.
- Et pour les trois grandes vitesses les courbes du taux de rejet atteignent un palier de $R_{obs} = 70\%$ et cela s'explique par le phénomène de l'adsorption de macromolécules sur la membrane. L'adsorption de petites molécules n'a en général que peu d'effet sur les propriétés des membranes (c'est pour ça qu'à faible pression on a un taux de rejet faible), et en fin de compte, les molécules dont l'adsorption est la plus gênante pour la filtration sont les macromolécules ou les agrégats de molécules (matière organique),

qui s'adsorbent en grandes quantités, car elles sont relativement peu solubles, ont une diffusivité relativement élevée et une capacité à se déformer pour présenter plusieurs sites d'adsorption par molécules [20].

VIII.1.3. Traitement par ultrafiltration sans recirculation de perméat :

Après avoir fixé les conditions opératoires optimales d'ultrafiltration $\Delta P = 3$ bars, pour une concentration initiale en DCO de 80mg/l, une température de 24°C et $pH = 7,8$. Les résultats sont représentés sur la figure VIII.26:

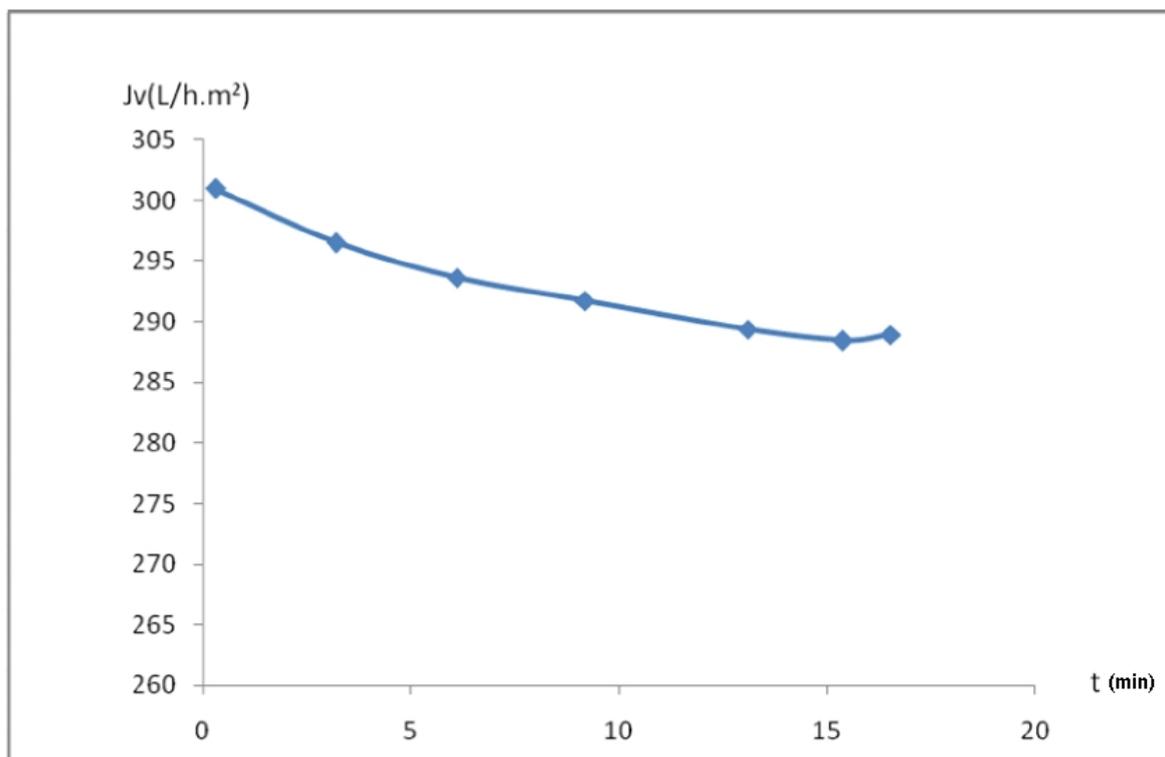


Figure VIII.26 : Variation du flux de perméat en fonction du temps

Dès le début de l'essai, on observe une diminution progressive du flux de perméat, celui-ci passe de 301 $L/h.m^2$ à 289 $L/h.m^2$ à la fin de l'expérience; c'est-à-dire après 20 minutes.

La décroissance du flux de perméat se fait simultanément au phénomène de formation d'une couche de polarisation de concentration sur la membrane. Au bout de quelques minutes cette décroissance ralentit et le flux devient relativement stationnaire. Ceci peut s'expliquer par le fait que cette couche de polarisation atteint une certaine épaisseur puis se stabilise [20].

La décroissance du flux de perméat est une conséquence principale du phénomène d'adsorption [53].

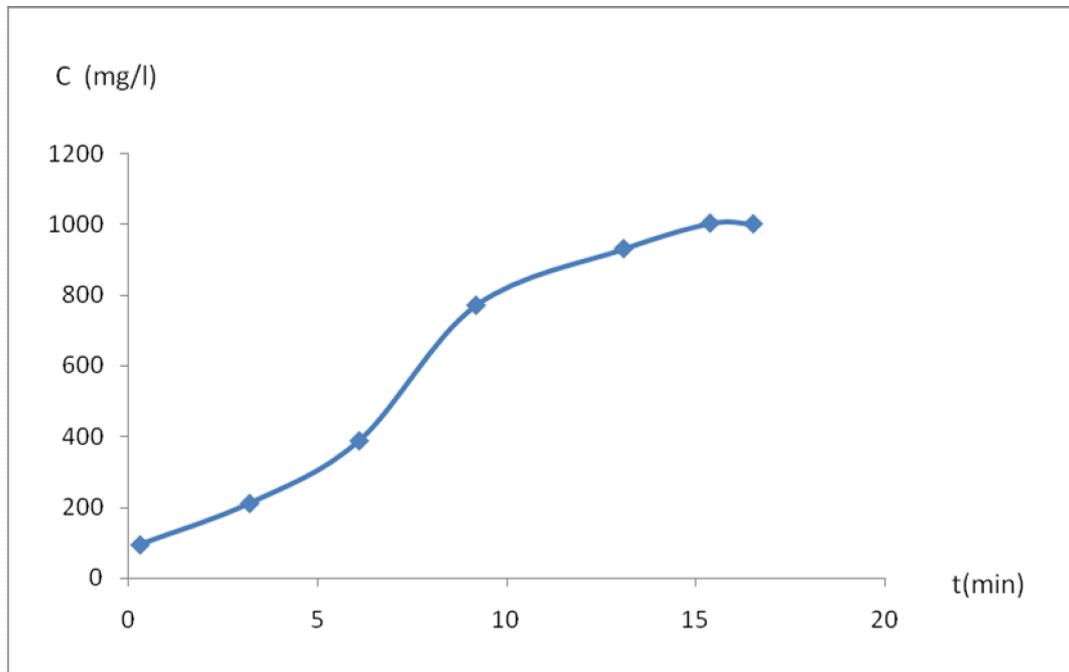


Figure VIII.27: Variation de la concentration du concentrât en fonction du temps

On a pu augmenter la concentration du concentrât dans la cuve d'alimentation au bout de 15 minutes d'ultrafiltration de 80 à 1000 mg /L (figure VIII.27).

Pour estimer la sélectivité et l'efficacité de la membrane nous avons étudié l'évolution du taux de rejet en fonction du temps. Les résultats sont repris sur la figure VIII.28.

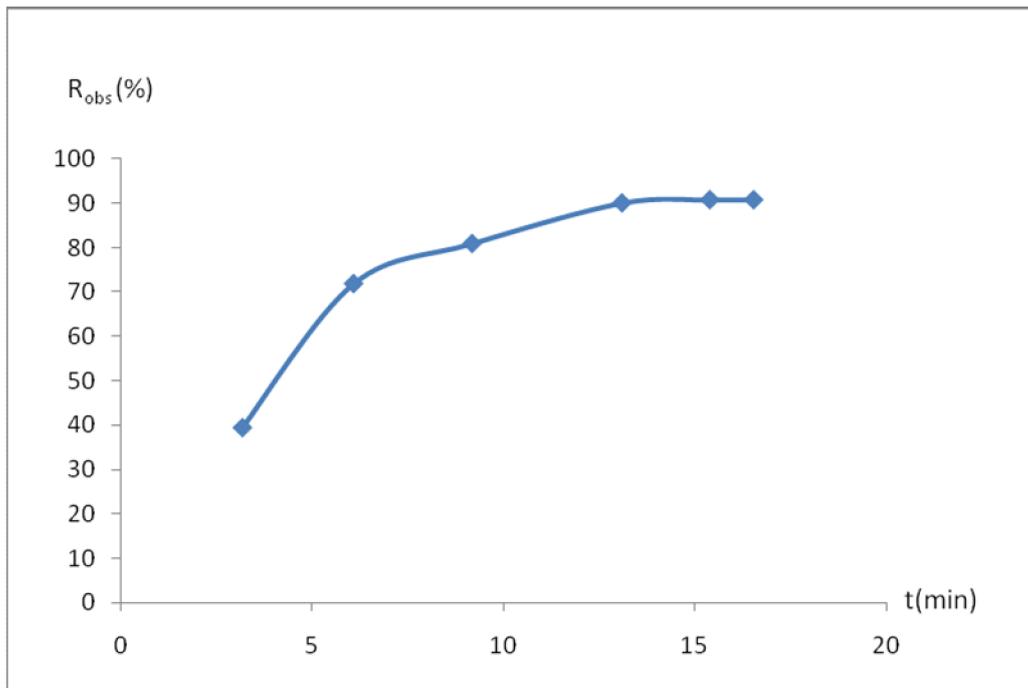


Figure VIII.29 : Evolution de taux de rejet en fonction du temps

Le taux de rejet observé augmente progressivement avec le temps d'ultrafiltration pour atteindre une valeur de 80% au bout de 10 min. Puis nous remarquons que celui-ci tend vers une valeur limite qui est de 90 % jusqu'à la fin de notre expérience. Ceci peut s'expliquer par la réduction du diamètre des pores de la membrane due à la formation de la couche de polarisation dont on a présupposé l'existence précédemment.

VIII.1.4. Analyses des effluents après le traitement par ultrafiltration

Traitement de l'effluent par l'ultrafiltration a pour but de réduire le reste de la charge polluante résiduelle. L'élimination des particules restante à la sortie du lit bactérien peut augmenter l'efficacité du traitement de cet effluent qui sera aussi bénéfique pour sa réutilisation dans certains domaines.

Les résultats expérimentaux de l'analyse physico-chimique du perméat de l'effluent traité par ultrafiltration sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau VIII.7: Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques du perméat, du concentrat et de l'eau brute.

Paramètre		Le brut	Le perméat	Le concentrat
DCO (mg/l)		93	34	1000
NO ₃ ⁻ (mg/l)		2.06	1.8	2
NO ₂ ⁻ (mg/l)		181.25	72 .5	75,5
N-NH ₄ (mg/l)		10 .56	9 .4	
pH		7.51	7.87	7.57
Conductivité (mS/cm)		2	1.7	1.9
Température (°C)		26.8	26.5	26.7
Les germes totaux (UFC/100ml)	24h	44.10 ⁵	175 .10 ³	127 .10 ⁶
	48h	104.10 ⁵	34.10 ⁴	195.10 ⁶

A priori, nous constatons que les valeurs du pH et de la conductivité sont semblables à ceux du milieu d'origine (sortie du lit bactérien). Ceci peut être expliqué par :

- La perméabilité de la membrane aux ions, d'où la même conductivité.
- Le passage des molécules à faible diamètre à travers les pores de la membrane.

Nous notons, aussi, un taux d'abattement de la DCO de 63 % dans le traitement UF recirculation.

Les analyses bactériologiques ont montré une présence de germes dans le perméat. Elle est faible comparée à celle du brut et du concentrât. En théorie ; la membrane d'ultrafiltration ne permet pas le passage des germes. Ces résultats sont dus à la contamination de la cuve de recirculation du perméat à sa sortie qui doit être impérativement stérilisée par un désinfectant chimique.

Dans le traitement par UF avec recirculation du perméat et pour une grande vitesse, on obtient un taux de rejet maximal de l'ordre de 70%. Il est moins important comparé au le taux de rejet maximal obtenue lors du traitement par UF avec recirculation du perméat (90%).

VIII.2. Traitement d'effluent par électrocoagulation

Il a été mentionné dans le chapitre ; diagnostic de la station d'épuration que les eaux qui rentre à la STEP contiennent une charge importante de graisse et pour réduire celle-ci on a opté pour l'électrocoagulation comme procédé d'épuration.

L'électrocoagulation est une méthode physicochimique qui dépend des paramètres suivants :

- La conductivité ;
- La densité de courant ;
- Le pH de la solution ;
- La concentration en charge polluante ;
- La distance inter- électrodes ;
- Le nombre d'électrodes ;
- La nature des électrodes ;

Durant toute la durée des manipulations, nous avons effectué des prélèvements, et avant d'effectuer la DCO et d'être analysés par spectrophotométrie UV-Visible, les échantillons ont subi une décantation plus de 24h.

VIII.2.1. Effet de la densité de courant

Puisque la densité de courant consiste en le courant traversant un plan entre surfaces de polarité opposées, elle est calculée en faisant le rapport entre le courant total et la surface totale des faces d'électrodes ayant une polarité positive [46].

La figure VIII.29 présente des exemples de calcul pour les arrangements monopolaires et bipolaires. On y constate qu'avec le même courant externe mais avec une plus grande tension, le mode bipolaire permet d'opérer avec une plus grande densité de courant totale au niveau des électrodes.

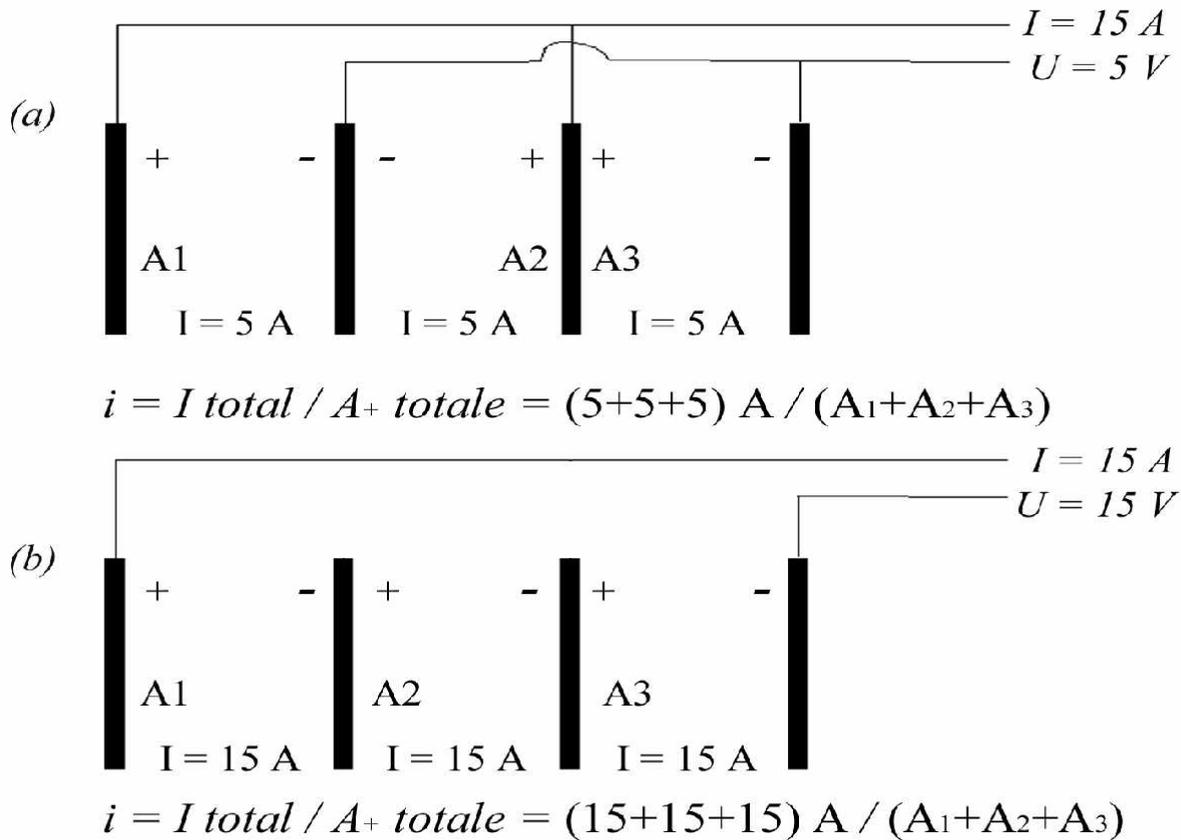


Figure VIII.29: Exemple de calculs de la densité de courant,

(a) arrangement monopolaire, (b) arrangement bipolaire.

La densité de courant est un paramètre critique en électrocoagulation, étant donné qu'il est le seul paramètre pouvant être contrôlé directement [28].

Pour établir l'effet du courant électrique appliqué sur l'élimination de la charge polluante nous avons répété le même essai avec différentes intensités à savoir 0,4 ; 0,7 et 1A, qui correspondent respectivement à des densités de courant de 71,4 A/m², 125 A/m² et 178,6A/m². Les résultats sont présentés aux figures VIII 30 et VIII 31 :

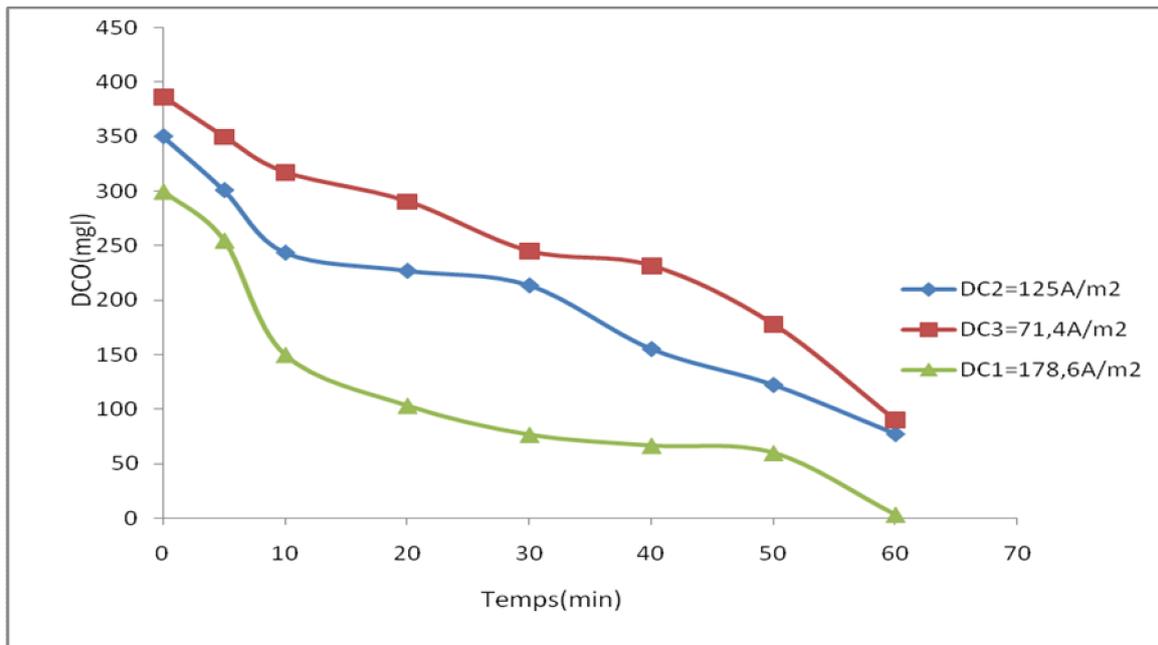


Figure VIII. 30: Evolution de la DCO en fonction du temps

Nous constatons une réduction de la DCO durant l'essai d'électrocoagulation. De même, il est clairement démontré que la croissance de la densité de courant se traduit par une augmentation des performances du procédé d'électrocoagulation. En effet, à une densité de courant $I=178,6A/m^2$ au bout de 60 minutes nous arrivions à un abattement de la DCO proche de 100%.

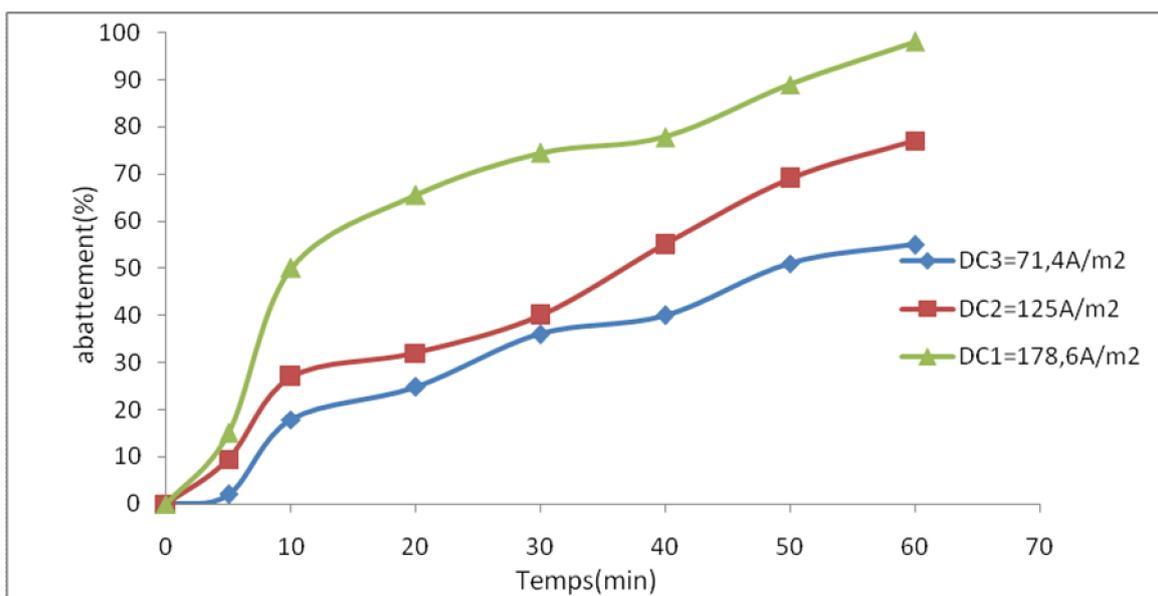


Figure VIII. 31: Effet de l'intensité de courant sur la cinétique de l'électrocoagulation (Salinité = 1,3 g/l NaCl, pH=7,3, d=2cm, T=24°C intensité 0,4- 0,7 et 1 A).

Une des principales lois explicitant les réactions d'électrocoagulation est la seconde loi de Faraday. Cette loi montre que la quantité d'ions métalliques dissous par oxydation anodique est directement proportionnelle à l'intensité appliquée et à la durée d'électrolyse [35].

Puisque la densité de courant affecte la quantité de coagulant produit par unité de temps, il est normal que l'enlèvement des polluants en fonction du temps soit plus rapide à plus forte densité. A la lecture de la figure VIII.32 qui représente graphiquement les T60 en fonction des densités de courant, il apparaît pertinent que l'enlèvement de la charge polluante est fortement affecté.

Ceci confirme les résultats obtenus par d'autres équipes de la recherche [47]. [46]. [19].

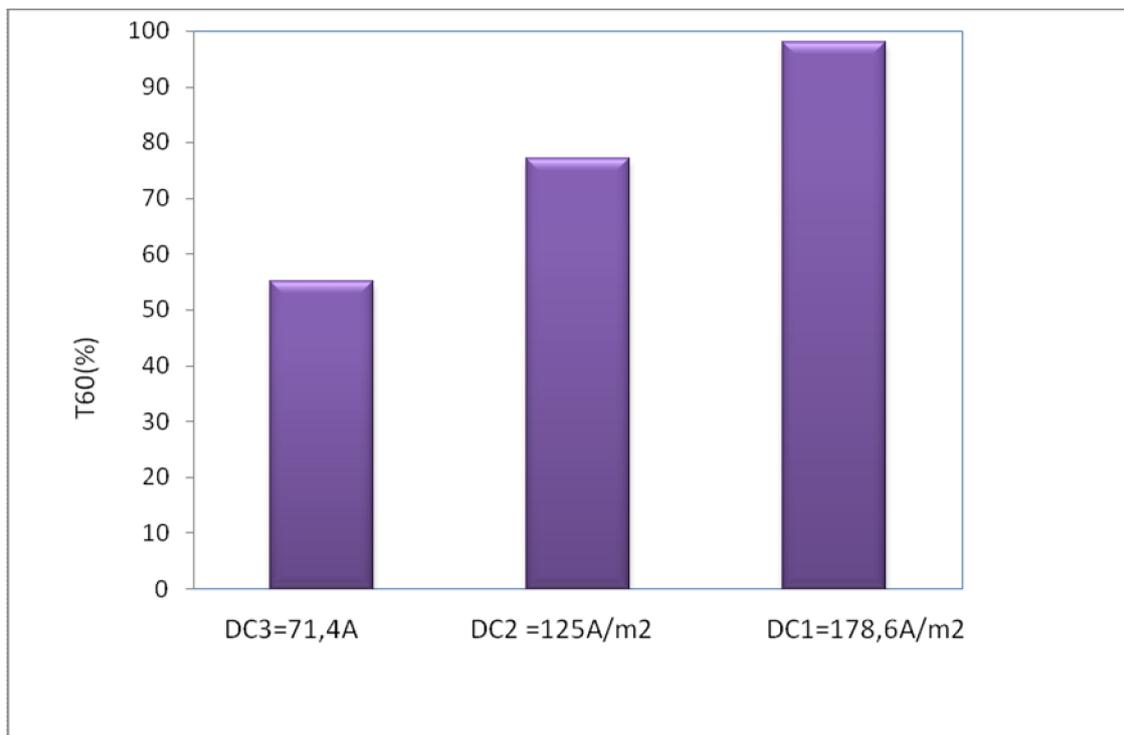


Figure VIII.32 : Effet de la densité de courant sur la cinétique de l'électrocoagulation

De même, à des densités de courant élevées, la dissolution anodique de l'aluminium augmente, entraînant un taux plus important de précipités nécessaires pour l'élimination des polluants [48].

Il est aussi à noter que le niveau de production de bulles de gaz augmente, leurs tailles diminuent avec l'augmentation de l'intensité du courant appliqué. Cela peut être bénéfique

pour l'obtention d'une meilleure performance d'élimination des polluants par flottation à l'hydrogène [49].

La conductivité de ces solutions a été mesurée et s'est avérée très faible ($0,4 \text{ mS.cm}^{-1}$), ce qui reflète une forte résistance à la migration des ions formés. Cela n'est pas recommandé pour un procédé électrochimique comme l'électrocoagulation. Ainsi, il a été nécessaire d'ajuster la conductivité des solutions en ajoutant un électrolyte (NaCl).

Si le potentiel de l'anode est suffisamment élevé, des réactions secondaires peuvent aussi avoir lieu, telles que l'oxydation directe des composés organiques et des ions Cl^- présents dans l'effluent suite à l'ajout de NaCl:



Le gaz chlore produit est un oxydant fort qui peut oxyder quelques composés organiques. Lors de la variation de l'intensité du courant, nous avons remarqué que les boues avaient une couleur noire.

VIII.2.2. Effet de la distance inter- électrodes

L'un des paramètres les plus déterminants intervenant lors du traitement par la technique d'électrocoagulation et même dans tout procédé électrochimique, est la distance inter électrodes. C'est un paramètre, tout comme l'intensité appliquée, que nous pouvons imposer au système et qui n'est pas imposé par le système.

Ce paramètre est également évalué par la répétition du même essai avec différentes distances entre les électrodes d'aluminium tout en fixant les autres facteurs. Les résultats sont répartis sur les figures VIII.33, VIII.34.

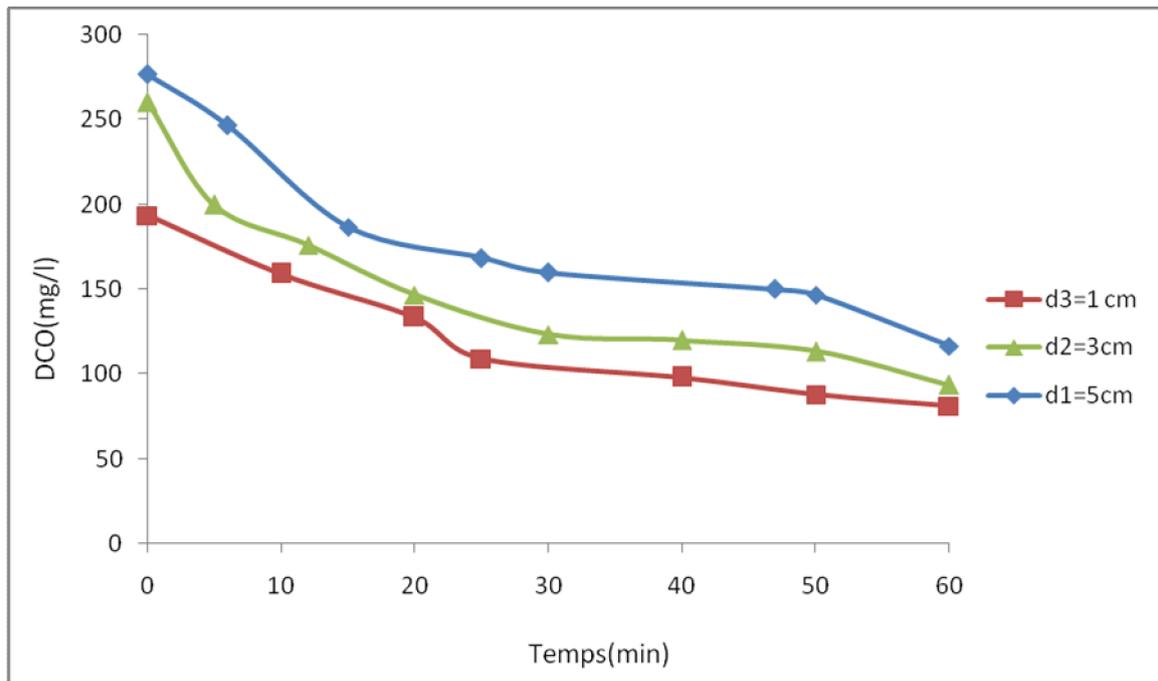


Figure VIII.33: Evolution de la DCO en fonction du temps

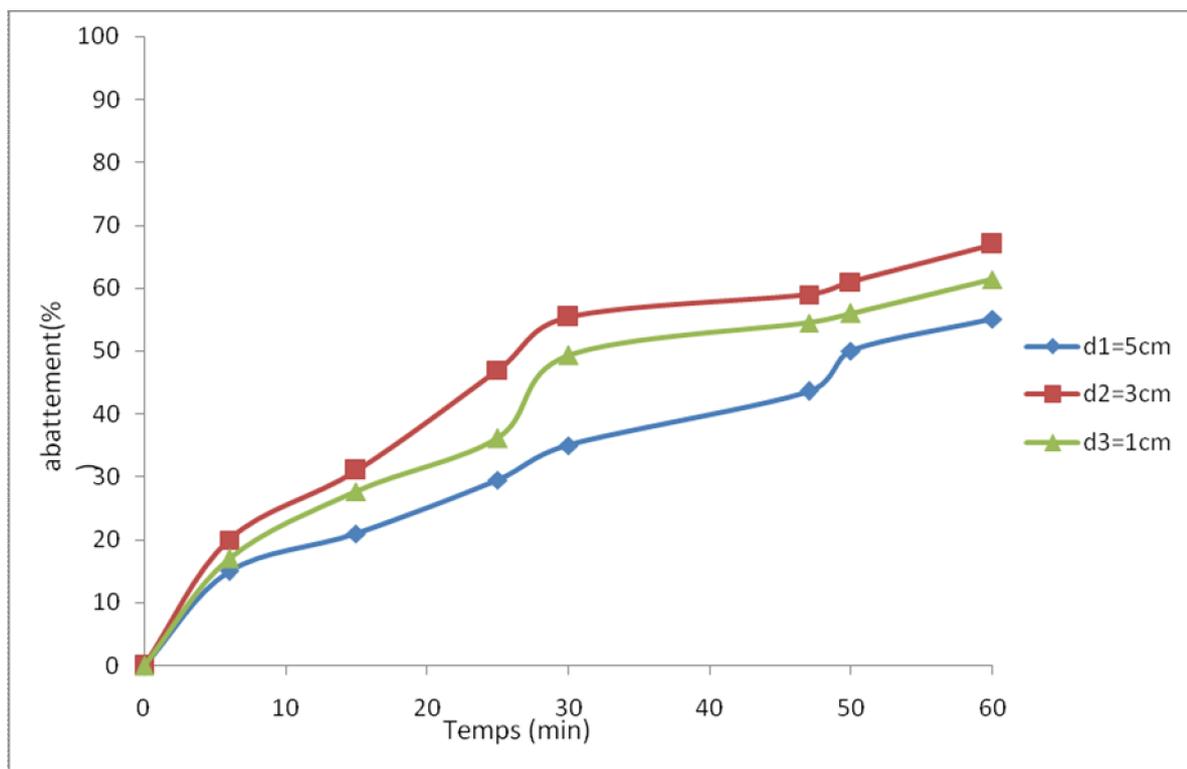


Figure VIII.34: Effet de la distance inter électrodes sur la cinétique de l'électrocoagulation (salinité = 1,3 g/l de NaCl, pH=7,7, conductivité=7,1mS cm⁻¹ ; I=1A, T=24°C distance 5cm, 3cm, 1cm)

A la lecture des courbes sur les figures précédentes, nous avons confirmé que la croissance des distances inter électrodes réduisant la performance du processus en donnant des DCO plus faibles.

En effet, après 30 minutes de traitement le taux d'abattement a atteint 35% pour la distance de 5cm alors qu'il était de 55% pour une distance inter électrodes de 1cm.

Nous pouvons noter que la distance inter-électrodes de 1cm séparant l'anode et la cathode a atteint un taux maximum de 61% comparée aux distances 3cm et 5cm respectivement 58% et 55%.

Dans notre cas, nous constatons qu'en fin des expériences que les résultats obtenus sont pratiquement du même ordre de grandeur indiquant une faible influence de ce paramètre.

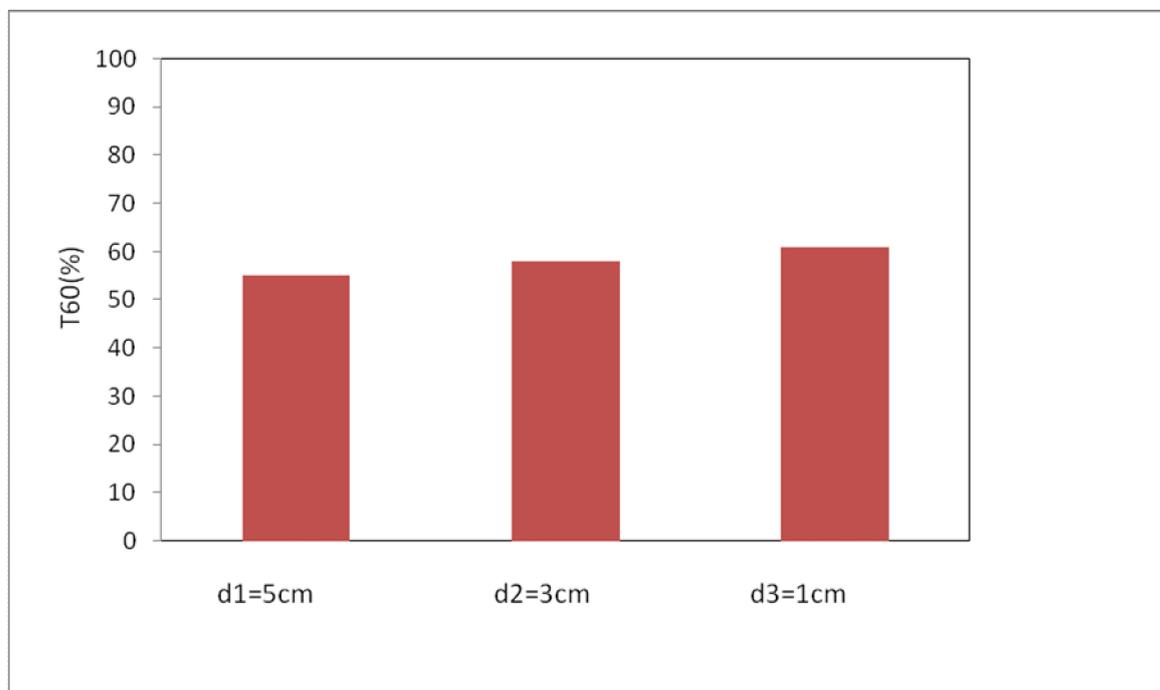


Figure VIII.35: Effet de la distance inter-électrodes sur la cinétique de l'électrocoagulation

Toute fois, signalons que Daneshvar et *al.*, 2003 avancent l'hypothèse qu'avec l'augmentation de la distance inter- électrodes , il y aurait peu d'interactions possibles des ions avec les polymères hydroxydes.

VIII.2.3. Effet du pH initial sur la cinétique d'électrocoagulation

Pour étudier l'effet du pH sur la cinétique d'enlèvement de la charge polluante, nous avons effectué une série d'essais avec trois valeurs de pH à savoir : pH acide =4, pH =5 et pH alcalin 8. Ces pH ont été ajustés, avant le début de l'essai à l'aide de solutions d'acide H₂SO₄ 0,1N Les résultats sont présentés à la figure VIII.36.VIII.37 :

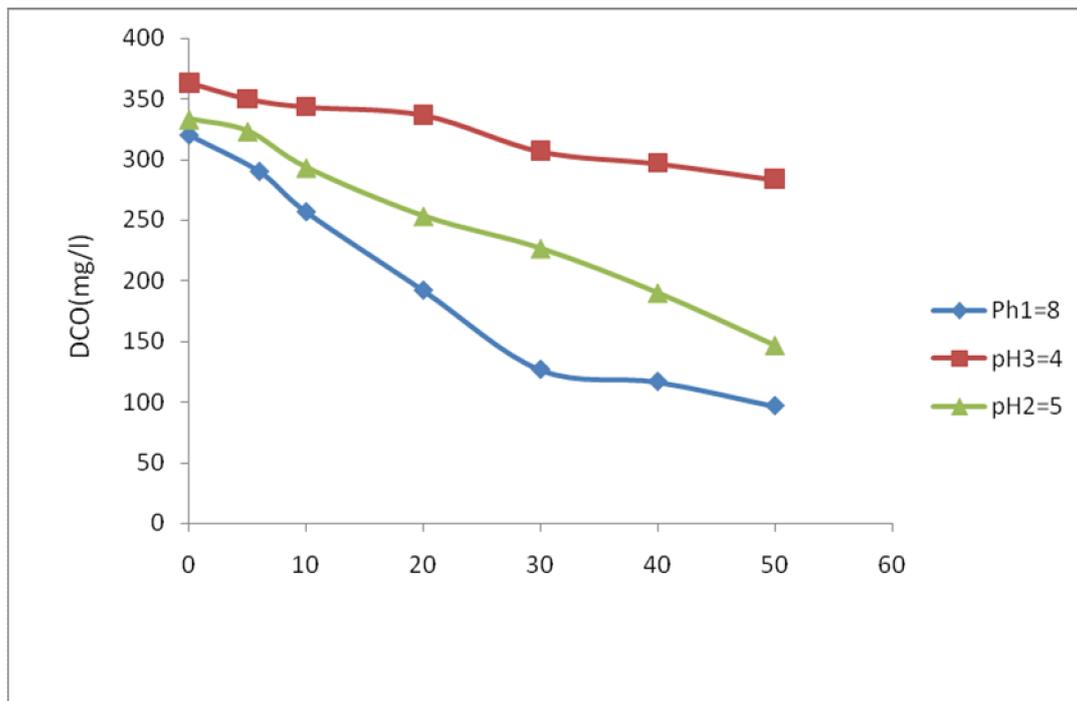


Figure VIII.36 : Evolution de la DCO en fonction du temps

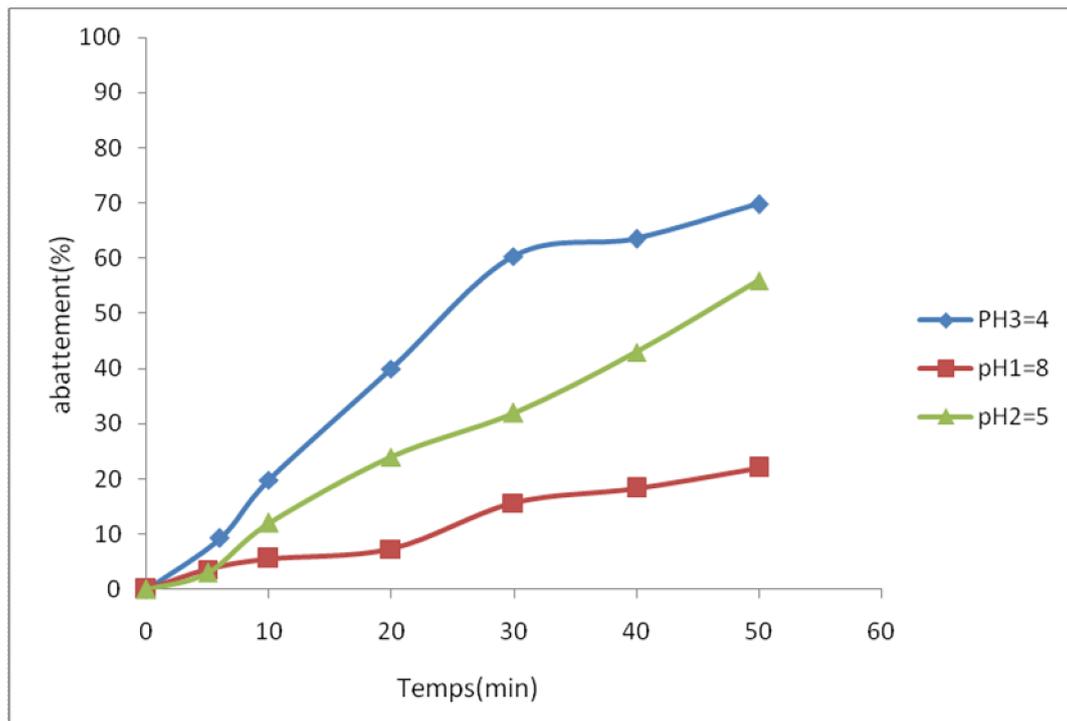


Figure VIII.37: Effet du pH sur la cinétique de l'électrocoagulation ($I= 1 A$, $S=1,3 g/l$ de $NaCl$, $T=25^{\circ}C$, $d=2cm$, $conductivité=7,1mS.cm^{-1}$)

D'après la figure VIII.37, les résultats obtenus montrent que le pH a une influence non négligeable sur la cinétique d'élimination. A pH acide la cinétique est très rapide comparée à celle obtenue à pH alcalin, ceci corrobore les résultats obtenus lors des traitements par électrocoagulation obtenus par d'autres auteurs [46].

A pH=4 la concentration initiale de la solution est de 320 mg/l, et enfin du traitement la concentration n'excède pas 97 mg/l.

L'acidification du milieu permet la déstabilisation du système colloïdal ce qui favorise la formation des floes [50].

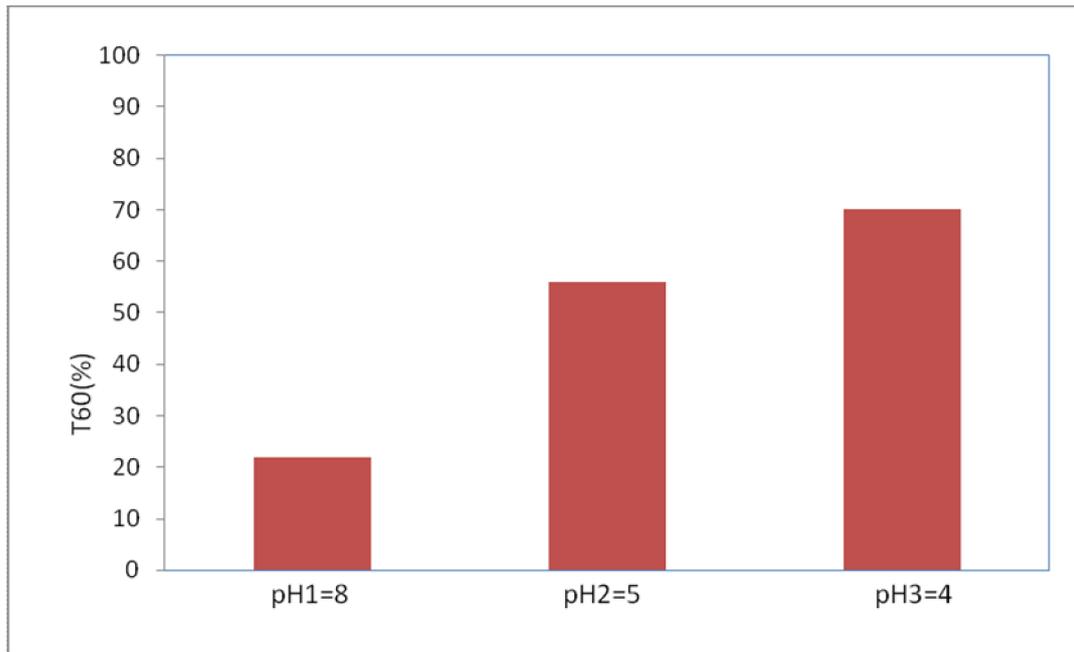


Figure VIII.38: Effet Du pH initial sur la cinétique de l'électrocoagulation

Les taux d'abattement les plus élevés sont obtenus à des pH inférieurs à 7, avec des taux maximaux de 70% à pH=4. L'alcalinisation du milieu est apparemment défavorable dans le cas de traitement à l'aide d'électrodes en l'aluminium. Les ions d'aluminium générés électrochimiquement peuvent former des complexes hydroxo monomériques ou polymériques selon le pH du milieu, et ces complexes ont tendance à se polymériser entre pH= 4 et le pH =7 [40].

Ajoutons, d'après le tableau VIII.8 et la figure VIII.39, que le pH du milieu influe sur la nature des coagulants $[Al(H_2O)_x(OH)_{y+n}]$ formés par l'hydrolyse de l'aluminium, Par exemple dans un milieu acide, on a formation d'ions métalliques Al^{+++} qui vont déstabiliser le système colloïdal.

Tableau VIII.8: Les espèces moléculaires formées par l'hydrolyse de l'aluminium à différents pH [50].

Espèce moléculaire	pH
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+++}$	< 4.5
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{++}$	4.8
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$	5.3
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$	5.5-7.5
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4^-$	9.5
$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})_5^-$	> 10

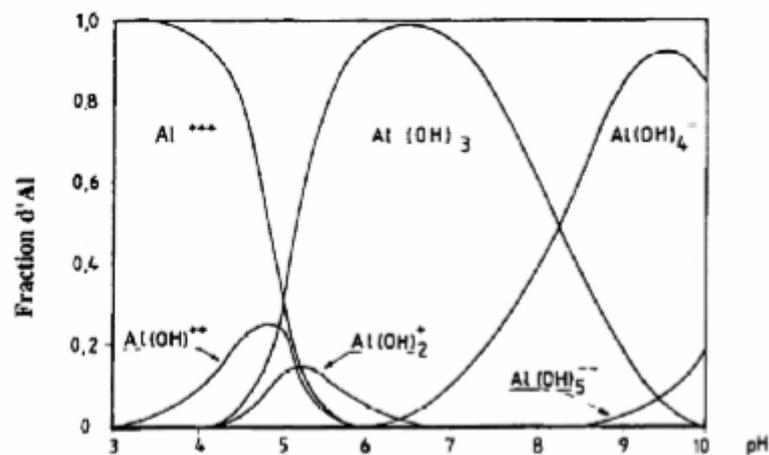


Figure VIII.39: Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH [51].

Des mécanismes d'interactions sont simultanément entre les molécules polluantes et les produits d'hydrolyse. Les interactions dépendent du pH du milieu et des types d'ions présents.

Les conditions optimales obtenues lors de cette étude sont comme suite :

Paramètre	Valeur
Densité de courant (A/m ²)	178.6
pH	4
distance inter électrodes (cm)	1

VIII.2.4.Effet du nombre d'électrodes, EC monopolaire, EC bipolaire

Après l'optimisation des paramètres les plus importants influençant les performances fonctionnement de l'électrocoagulation monopolaire ECM, nous avons essayé d'améliorer d'avantage l'efficacité du traitement par une augmentation du nombre d'électrodes en connectant celles-ci en mode bipolaire et monopolaire, ceci dans le but de réduire la consommation du courant électrique.

Nous rappelons que les électrodes supplémentaires sont placées entre les deux électrodes monopolaires et celles-ci se trouvent être les seules connectées à la source de courant. Nous parlons dans ce cas d'électrocoagulation bipolaire ECB.

Les résultats obtenus en opérant avec ces deux modes de fonctionnement sont présentés sur les figures VIII.41 et VIII.42 :

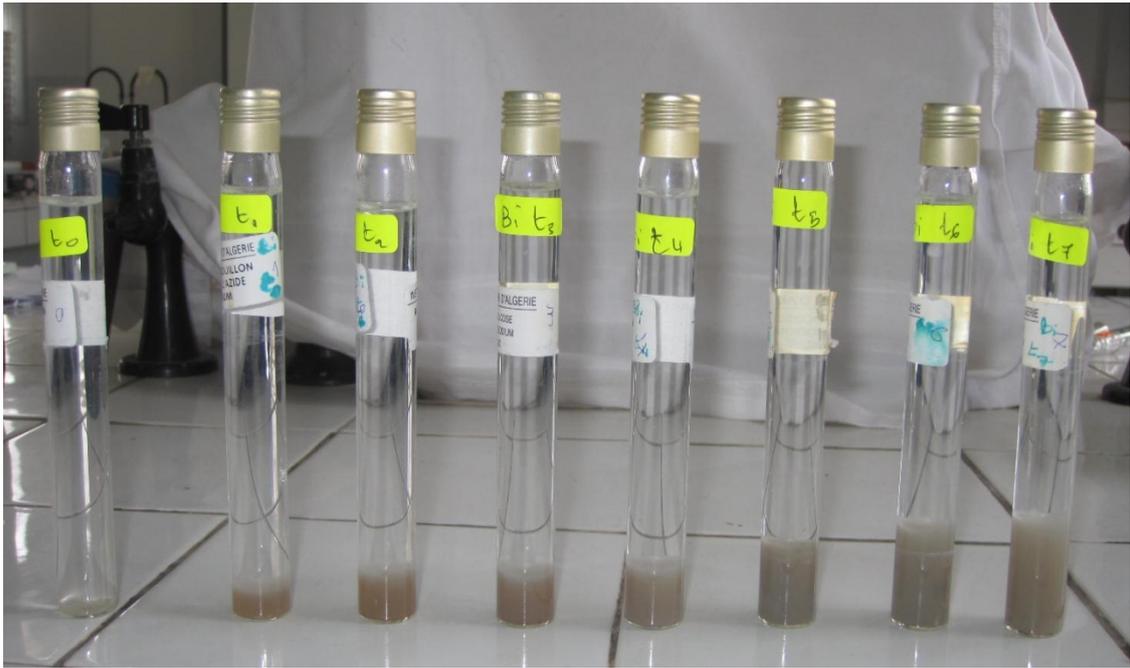


Figure VIII.40. : Exemple de tube à analyser

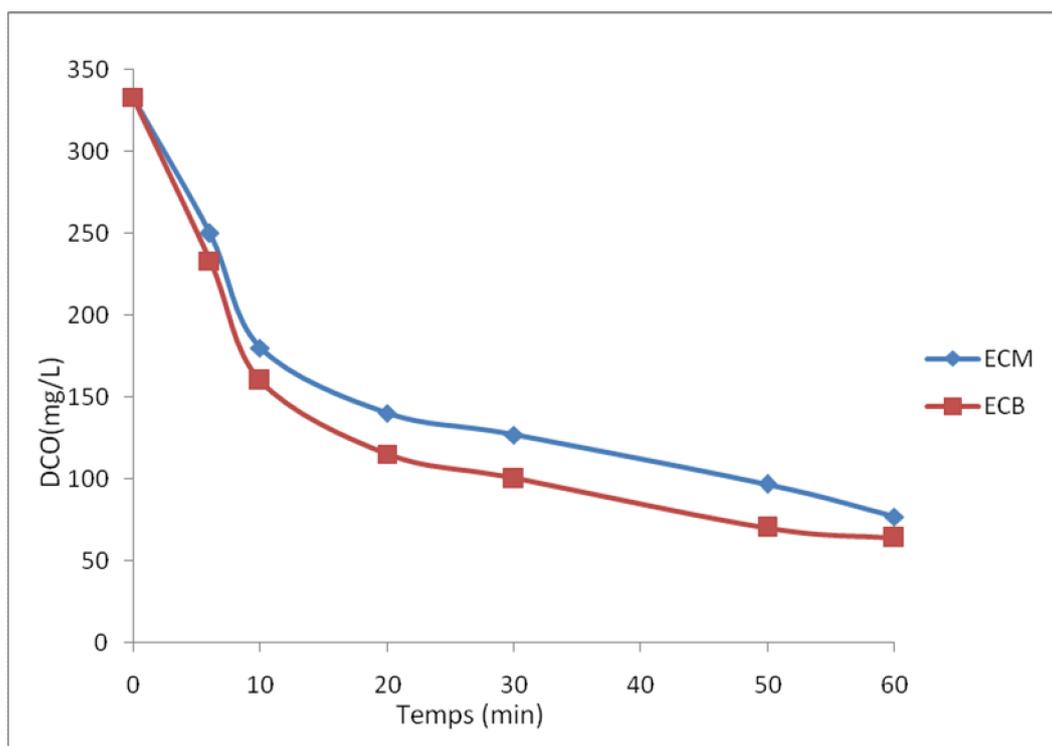


Figure VIII.41 :L'évolution de la DCO dans le cas EC monopolaire et EC bipolaire en fonction du temps

A la lumière de ces résultats, nous constatons une accélération de la cinétique de l'électrocoagulation lorsque le nombre d'électrodes a augmenté. Par exemple, pour avoir un taux d'abattement de la DCO de l'ordre de 80% (EC bipolaire) et plus de 50 min pour l'obtention d'un taux de 70% (EC monopolaire) et cela dans les mêmes conditions opératoires mais surtout avec la même intensité du courant appliquée.

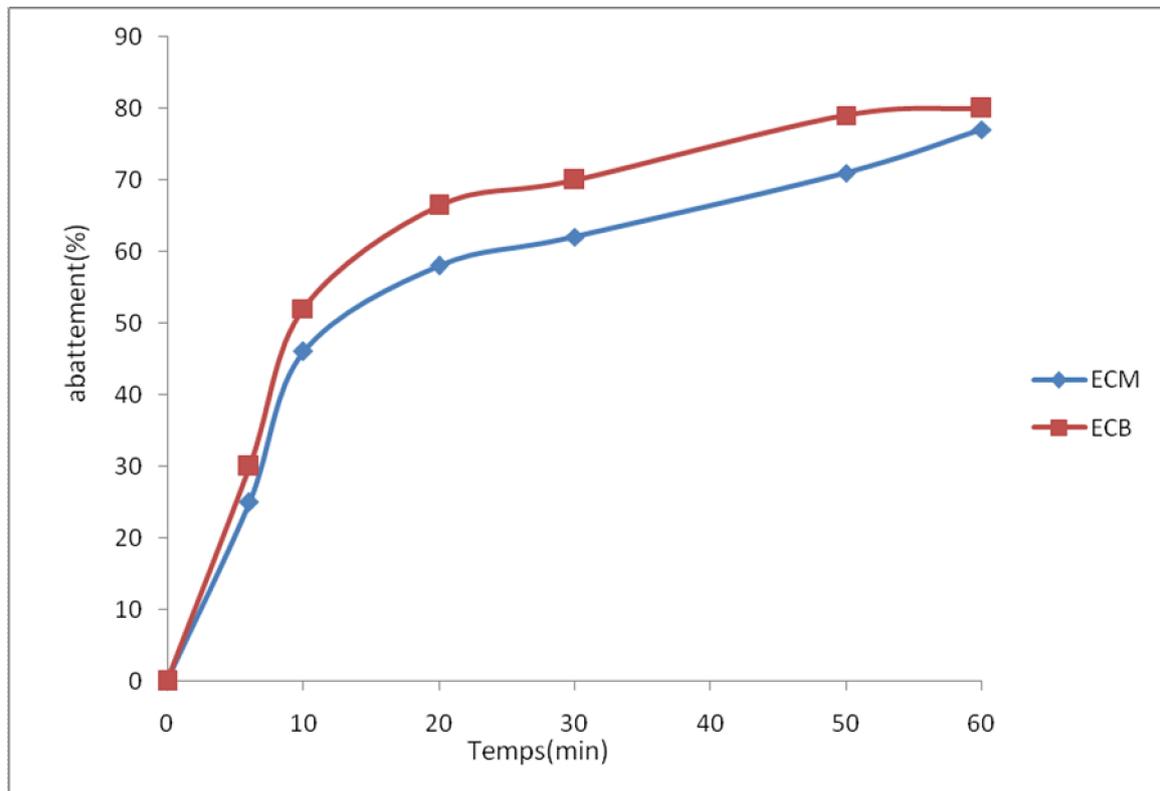


Figure VIII.42: Représentation d'abattement dans le cas EC monopolaire et EC bipolaire en fonction du temps

Nous voyons bien que l'augmentation de la surface des électrodes permet une augmentation du taux mais également une baisse dans la densité de courant.

Il y a une relation directe entre le taux de d'abattement et la surface totale des électrodes : quand celle-ci augmente la distribution des agents coagulants est plus efficace [52].

Il est pertinent de noter que malgré le net gain dans le temps de réaction nécessaire pour un bon pourcentage d'abattement par l'addition d'électrodes bipolaires, un apport supplémentaire en celles-ci après un certain nombre serait bénéfique sur l'efficacité du traitement.

VIII .3. Comparaison entre procédés de traitement UF versus EC

Tableau VIII .9 : Comparaison entre UF et EC

Electrocoagulation	Ultrafiltration
<ul style="list-style-type: none"> - l'eau traité était prélevée à la sortie du dégrillage donc l'eau n'a subi aucun type de traitement initialement. - Réduction importante de la charge polluante DCO par le traitement d'électrocoagulation de 333mg/L jusqu'à 76,6mg/L dans le cas de monopolaire et 64mg/L avec le bipolaire. - Le taux d'abattement a atteint 70% pour le monopolaire et 80% pour le bipolaire dans les mêmes conditions optimales. - Cette eau traitée par l'électrocoagulation ne nécessite pas un traitement supplémentaire puisque elle est conforme aux normes de rejets (DCO<120mg/L). - L'électrocoagulation via les chlorures présents va produire un agent oxydant(Cl_2) qui réduira les bactéries présentes et génère une petite quantité des boues. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'eau traité était prélevée a la sortie du lit bactérien ce qui fait que l'eau a subi un traitement initial de type biologique - Le pourcentage d'abattement de la DCO était de 63 % par rapport à l'eau prise au niveau de la sortie de lit bactérien et de 89% par rapport a l'eau prise à la sortie du dégrillage. - la membrane d'ultrafiltration ne laisse pas passer les germes d'où la réduction importante en matières polluantes et l'élimination des particules restantes, telles que les graisses présentes à la sortie du lit, peut augmenter l'efficacité du traitement de cet effluent. - D'où l'efficacité de l'ultrafiltration. Enfin, on peut déduire que en tout que procédé d'affinage le procédé biologique ne permet l'abattement de la DCO que de 26%.

VIII.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus, on constate que les deux procédés peuvent améliorer l'efficacité du traitement de la station d'épuration 24/02 et nous recommandons pour les études à venir sur ce thème d'envisager de faire une étude économique approfondie notamment concernant le coût total de l'opération qui inclura les coûts directs tels que : électricité, matériel nécessaire (membranes, électrodes, réactifs chimiques...etc.) ou indirects tels que la maintenance.

CHAPITRE IX

REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

IX. Réutilisation des eaux usées épurées

IX.1. Introduction

A partir d'eaux usées et grâce aux traitements précédents, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Dans la partie suivante, on va citer les différents usages possibles ainsi que des exemples des projets faite dans le monde et L'Algérie dans ce domaine.

IX.2. Objectif de la réutilisation des eaux usées épurées

Plus la demande en eau croît, plus les ressources en eau disponibles se raréfient alors que simultanément et par voie de conséquence le volume d'eau usée rejeté s'accroît. Dans ce contexte, la réutilisation de l'eau usée devient un moyen intéressant pour, à la fois :

- 1) satisfaire la demande en eau.
- 2) Protéger le milieu récepteur (littoral, zones sensibles) et préservation quantitative des ressources.

IX.3. Domaines de réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation

IX.3.1. REUE AGRICOLE

L'irrigation est l'activité humaine qui consomme le plus d'eau : La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de REUE.

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. Toutefois, il est important d'imposer une réglementation concernant la REUE agricole, au vu l'étude épidémiologique réalisée dans certaines régions mettant en évidence une augmentation des maladies intestinales liées à l'irrigation par ces eaux.

Exemples de REUE agricole dans le monde

Les projets se concentrent autour du bassin méditerranéen et dans les pays industrialisés, en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie on prend l'exemple de :

La Tunisie a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. Depuis la mise en place de la politique, une surface de 30 000 ha irriguée avec les eaux épurées est atteinte aujourd'hui.

En Israël, les eaux usées traitées sont infiltrées par percolation dans une nappe phréatique. Le prélèvement pour l'irrigation se fait par pompage dans la nappe. La réutilisation des eaux usées épurées est donc indirecte.

Pour le Mexique, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé après l'étude épidémiologique réalisée dans cette région.

En Europe du nord, l'Allemagne et la Hongrie utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle.

IX.3.2. REUE industrielle

Il s'agit bien ici de la réutilisation, pour l'industrie, d'eaux usées domestiques d'origine urbaine, et non de la réutilisation d'eaux usées industrielles. Les entreprises possèdent souvent leur propre station d'épuration afin de traiter les effluents spéciaux issus des procédés industriels. Il arrive parfois qu'elles réinsèrent les effluents épurés dans leur processus, mais ce n'est pas ce qui est traité dans cette partie.

La réutilisation des eaux épurées dans l'industrie peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques, de semi-conducteurs et le domaine d'hydrocarbure « réinjection dans les puits producteurs de pétrole pour maintenir la pression de gisement »... etc.

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les procédés industriels. Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries, d'encrassement, de formation de mousse, et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs.

Exemples de REUE industrielle dans le monde

En France, les volumes consommés par l'industrie est de 25 % du total, dont 22 % pour la production d'énergie à partir des eaux usées traitées.

Aux États-Unis, la centrale nucléaire de Palo Verde (4 millions de kW) est aujourd'hui l'unique exemple dans le monde d'une centrale nucléaire qui utilise des eaux épurées pour ses tours de refroidissement et produire de la vapeur (pour faire tourner les turbines). Elle consomme environ 6400m³/j.

IX.3.3. REUE en zone urbaine

La REUE urbaine concerne :

- l'arrosage d'un golf et des espaces verts de la ville.
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles.
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie.
- La climatisation : on considère généralement que dans un immeuble commercial, 40 % de l'eau est consommée pour alimenter les circuits de climatisation. Depuis la mise en place de la REUE dans certains bâtiments, leur demande en eau potable a diminué de 75 %.

La réutilisation des eaux épurées en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable.

Exemples de REUE urbaine dans le monde

Les pays à la pointe de la réutilisation des eaux épurées en milieu urbain sont en majorité des pays développés et fortement urbanisés : États-Unis, Japon, Corée du Sud, Allemagne.

La Floride, est le bon exemple d'une réutilisation à l'échelle d'une ville entière. Un réseau double s'étend dans tous les quartiers de l'agglomération. Les usages de l'eau réutilisée sont multiples : lavage de voiture, la protection incendie dans certaines parties de la ville. Elle alimente également des fontaines et des chutes d'eau dans des immeubles commerciaux.

En Japon, 33 % des foyers installés en zone urbaine recyclent les eaux grises pour l'alimentation des toilettes. Les eaux servent aussi à irriguer les jardins ornementaux des villes et à alimenter les ruisseaux dans les aires de jeu et de sport.

Dans les deux exemples précédents, l'eau atteint les standards de potabilité : les coliformes fécaux et les virus sont en dessous des seuils de détectabilité. Il n'est fait part d'aucun problème sanitaire.

IX.3.4. REUE dans la production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « *pipe to pipe* »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. Cependant, ce mode de REUE sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillé.

Il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible. Il est intéressant de noter qu'à Windhoek, depuis plus de 25 ans que l'usine de traitement existe, il n'a jamais été signalé d'influence négative sur la santé humaine.

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE.

La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. C'est le cas du

comté d'Essex en Angleterre, où une ville de 140 000 habitants, Chelmsford, est alimentée en eau potable pendant l'été par des eaux épurées, après un passage dans la rivière.

IX.3.5. REUE dans la recharge de nappe

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m³/j d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation.
- par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. Chaque jour, 57 000 m³ sont déversés dans la nappe.

IX.4. REUE en Algérie

IX.4.1. L'état des ressources en eau

Les ressources en eau de l'Algérie sont actuellement, relativement bien connues, mais la sécheresse qui sévit depuis plus de 20 ans a amené les services du secteur de l'eau à actualiser leurs évaluations en tenant compte de la réduction de la pluviométrie dans chaque région.

Les potentialités sont actuellement évaluées à 16,3 milliard de m³ qui se décomposent comme suit :

- *9,8 milliards de m³ d'eau superficielle.*
- *1,5 milliard de m³ d'eau souterraine dans la région nord.*
- *5 milliards de m³ d'eau souterraine dans la région de Sahara septentrional.*

Les disponibilités des ressources en eau par habitant, en année moyenne, sont évaluées à 500m³/hab/an environ ce qui classe l'Algérie dans les pays pauvre en eau, très proche de la situation de crise. En fait, si on tient compte de la période de sécheresse, ou les ressources se sont réduite globalement de 2,9 milliards m³/an, les disponibilités par habitant ne seraient plus que de 400 m³/hab/an.

IX.4.2. Menace sur les ressources

La pollution des ressources en eau commence à acquérir des proportions inquiétantes. Au plan de la qualité, sur l'ensemble des eaux inventoriées par les études, 44% seraient de bonne qualité, 44% de qualité satisfaisante et 12% de qualité médiocre.

On trouve aujourd'hui des tronçons importants de cours d'eau qui sont pollués, les eaux utilisées en irrigation sont, en général, de qualité assez moyenne et minéralisées. L'usage de l'eau par les populations et dans les industries provoque une pollution non seulement biologique, mais aussi, et de plus en plus souvent, physico-chimique.

IX.4.3. Aspect réglementaire

Le cadre d'usage des eaux usées épurées, la loi n°05-12 du 4 août 2005, relative à l'eau, a institué à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (Journal officiel n°60 année 2005).

Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (Journal Officiel n°35 année 2007), la concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé, qualité spécifique des eaux fixés par arrêté (santé, eau, agriculture), les cultures autorisées fixées par arrêté (santé, eau, agriculture), le contrôle sanitaire (personnel, eau, produit agricole, sol).

Les décrets ci-dessus mentionnés ne comportent pas de valeur des paramètres caractéristiques de la pollution. Dans le cadre de cette étude nous nous sommes référés aux normes internationales émises et appliqués par l'organisation mondiale de santé (OMS) et l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) dans le tableau 10 :

Tableau IX.10 : Normes pour les eaux d'irrigation [55].

Paramètre physicochimique	Norme selon OMS et FAO
DCO (mg/l)	30 à 60
DBO5 (mg/l)	10 à 20
MES (mg/l)	< 10
Les huiles et les graisses (mg/l)	<8
Sulfate (mg/l)	<480
Ph	6.5-8.4
T °C	25
NO₃⁻(mg/l)	50
NH₄⁺(mg/l)	1,8
PO₄³⁻(mg/l)	2,4
TDS (mg/l)	1000
Coliforme fécaux (UFC /100 ml)	<1000
Streptocoque fécaux (UFC /100 ml)	<1000

IX.4.4. Les projets de REUE en Algérie:

Les besoins correspondant aux différents usages, agricoles, urbains et industriels, sont actuellement supérieurs aux ressources en eau mobilisées et l'exploitation en eau conventionnelles semble insuffisante comparant par demande d'eau qui est en augmentation (croissance démographique, développement économique). Pour les axes stratégiques, un accroissement de la mobilisation des ressources en eaux non conventionnelles se fait par la réutilisation des eaux usées épurées.

On souligne que le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration.

Le nombre de station d'épuration en exploitation est de 102 (52 STEP et 50 lagunes) pour une capacité installée actuelle de 570 hm³/an (en 1999 : 28 STEP pour une capacité de traitement de 98 millions de m³/jour).

Le nombre de stations en cours de réalisation est de 176 (87 STEP et 89 lacunes) pour 355hm³/an. La capacité totale installée après l'achèvement de ce programme (2012) serait de 925 millions de m³/an pour une production d'eaux usées épurées de 550 millions de m³/an, c'est-à-dire l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité.

Réutilisation des eaux usées épurées : pour une meilleure utilisation de cette ressource spécifique, des actions pour la définition des opportunités de réutilisation ainsi que la réglementation de l'usage de cette ressource non conventionnelle ont été réalisés à travers l'étude de réutilisation des eaux usées épurées à l'échelle nationale par le ministère des ressources en eau, achevés en décembre 2008.

Trois missions ont été élaborées :

- la reconnaissance et collecte de toutes les données de base pour l'élaboration de l'étude
- étude d'un schéma directeur de réutilisation des eaux usées épurées
- élaboration d'une étude pilote de faisabilité pour la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles avec définition des types de cultures et à des fins industrielles ou autres (recharge des nappes, besoins municipaux, arrosage...).

Les principales conclusions de cette étude : pour un renforcement des allocations d'eau pour l'agriculture d'où extension des superficies irriguées (800 millions de m³), une augmentation de taux de réutilisation de 37000 ha (280 millions de m³) à court terme, 80000 ha (600 millions de m³) à moyen terme et 100.000 ha (800 millions de m³) à long terme et ça en utilisant les eaux usées épurées. Le programme 2010-2014 sur 40000 ha ; la réalisation de périmètre d'irrigation de la Mléta sur 5500 ha à partir de la STEP d'Oran, réalisation de cinq aires d'irrigation (Oran, Sidi Bel Abbés, Tlemcen), études de six aires d'irrigation (Oran, Sidi Bel Abbés, Tlemcen, Constantine, Tizi Ouzou).

IX.4.5. Possibilité de réutiliser les eaux traitées au niveau de la base 24-02 SH/HMD

L'eau traitée de la station d'épuration de la base 24-02 SH/HMD peut constituer l'objet de plusieurs utilisations :

- En irrigation des espaces verts.
- En industrie pétrolière : tels que les circuits de refroidissement, lavage et réinjection dans les puits pétroliers pour le maintien de la pression du gisement [56]. L'utilisation de l'eau épurée en industrie nécessite plusieurs opérations une désinfection, le traitement à la chaux pour faire précipiter le calcium, les phosphates, le magnésium et la silice... pour éviter les phénomènes d'entartrage, de corrosion et de développement de bactéries.

La figure IX.43 montre le pourcentage d'eau utilisée dans la réinjection dans les puits pétroliers

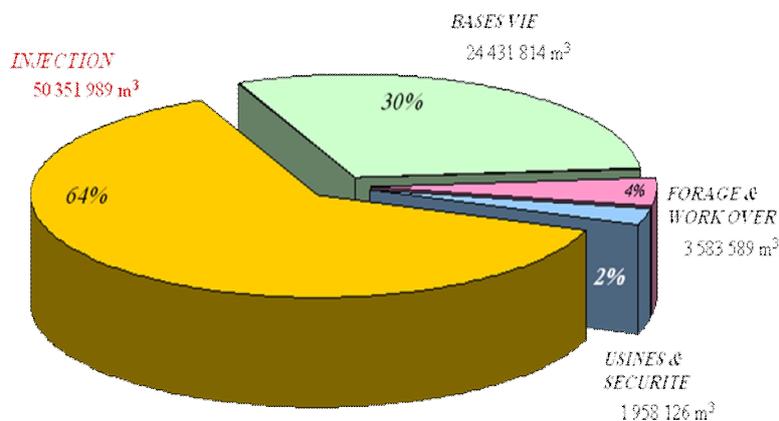


Figure IX.43 : La quantité d'eau utilisée dans la réinjection dans les puits productifs de pétrole

- Utilisation de l'eau usée traitée pour la lutte contre les incendies.

IX.5. Les précautions à prendre et mesures d'accompagnement

Les précautions d'usage classiques sont le marquage du réseau et l'information du consommateur :

- La maintenance est à assurer par des professionnels ; on doit limiter au maximum l'accès du public au réseau.
- L'accès aux conduites et aux canalisations doit être strictement réservé au personnel qualifié.
- Dans le cas de l'irrigation, les zones accessibles au public doivent être arrosées la nuit, ou en dehors des heures d'ouverture.
- Sensibilisation des citoyens et l'agriculteur sur ce projet.
- Education sur l'hygiène.
- Compléter le traitement classique par un traitement tertiaire (bassin de stabilisation, chloration).

- Enfin, il faut éviter les connexions accidentelles entre le réseau d'eau potable et le réseau REUE. La ségrégation entre les deux réseaux doit être complète.
- Des contrôles réguliers de la qualité de l'eau doivent être faits pour détecter ces connexions accidentelles.
- Dans certains états américains, les réseaux d'eau réutilisée sont peints systématiquement en violet. On peut également colorer l'eau elle-même. Il faut avertir le public de la non-potabilité de l'eau par des panneaux

IX.6. Conclusion

Les applications des projets de REUE sont multiples. Elles dépendent de nombreux facteurs que l'on peut regrouper en cinq classes :

- le contexte socio-économique : le type d'activité industrielle, le nombre et la densité de l'habitat, l'importance de l'agriculture, la présence d'usines, etc.
- le contexte écologique : la quantité des ressources disponibles, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation et aux autres pollutions, le contexte hydro-géographique, etc.
- le niveau de traitement des eaux : à chaque niveau de traitement, on peut appliquer un usage différent.
- la réglementation : elle limite les usages en fonction de la qualité de l'eau utilisée et donc de son niveau de traitement. Plus le niveau sanitaire est bon, plus les applications autorisées seront nombreuses.
- l'acceptation par la population : ce dernier aspect n'est pas à négliger. L'idée de réutiliser des eaux usées peut avoir un impact psychologique négatif sur la population. Il faut donc bien informer la population des risques et des avantages de la REUE.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Depuis maintenant plusieurs années, l'Algérie commence à s'intéresser de plus en plus aux problèmes de l'environnement. En effet, une multitude de textes de lois ont vu le jour faisant le bonheur des écologistes et de toutes les personnes consciencieuses de l'environnement.

Cependant, malgré tous ces efforts, il existe encore des secteurs d'activités où aucune législation n'est disponible, et où les rejets sont déversés dans la nature ou bien dans le réseau d'assainissement urbain sans aucun prétraitement.

L'objectif de ce travail est de faire un diagnostic de la station d'épuration des eaux usées domestiques de la base 24/02 et de citer les différentes anomalies qui existent (problème de la charge hydraulique, problème du traitement biologique).

Notre étude a été consacrée au problème des graisses et à tenter de trouver une solution pour améliorer l'efficacité du traitement biologique. Dans un premier temps nous avons proposé le traitement par ultrafiltration juste après le lit bactérien. Dans un second, nous avons opté pour l'électrocoagulation juste après le prétraitement comme but dans les deux cas d'obtenir une solution finale très peu chargée qui répond aux normes des rejets.

L'ultrafiltration (UF) a été réalisée en mode continu via une membrane minérale a permis l'obtention d'un abattement de 63 % en DCO.

Enfin, cette étude pourrait être poursuivie en utilisant un autre type de membrane, tel qu'une membrane de nano filtration pour accroître le taux d'abattement et d'obtenir une eau de meilleure qualité.

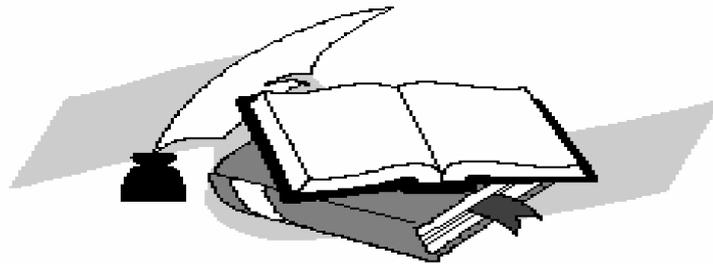
Dans notre travail, nous avons utilisé l'électrocoagulation (EC) comme système de traitement des eaux polluées. Ce système présente l'avantage d'une utilisation très réduite des produits chimiques qui sont souvent compliqués à maintenir, notamment dans certains pays en voie de développement ou non développés.

Au cours de cette étape, nous avons étudié l'influence de différents paramètres sur le taux d'abattement des eaux usées domestiques par traitement à l'électrocoagulation monopolaire (ECM). Nous avons déduit que des paramètres tels que : la distance inter-électrodes, la densité du courant appliquée, le pH initial du milieu, influençaient l'efficacité du traitement.

Après optimisation de ces paramètres, nous avons amélioré davantage l'efficacité du procédé par augmentation du nombre d'électrodes sacrificielles et leur connexion en mode bipolaire (ECB) dans le but d'augmenter la surface active des électrodes sacrificielles pour une meilleure élimination de la charge polluante, et réduire ainsi l'intensité du courant appliqué. Suite à cela, nous avons atteint des taux d'élimination élevés, à savoir plus de 80%.

De plus, ces procédés permettent une valorisation de ce déchet, car la solution finale pourrait être utilisée dans l'irrigation ou dans d'autres domaines. Cependant, il est impératif de procéder à des analyses physico-chimiques, microbiologiques et toxicologiques poussées pour Caractériser avec certitude les eaux traitées.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



- [1]. Aaroussi .A. (2009), Manuel du stage, Département analyse Sonatrach.
- [2]. F.Meinck, H.Stooff, H.Kohlshutter. Les eaux résiduaires industrielles 2 édition, Masson.
- [3]. Germain L, Colas L et Rouquet J. Le traitement des eaux destinées à l'alimentation des chaudières a vapeur, aux circuits de réfrigération et au réseau de distribution d'eau industrielle et potable, 5eme édition, Dunod, 1976.
- [4]. Rhône, Poulenc. Manuel environnement à l'usage des industries, ouvrage collectif de la direction de Serge Lambert (AFNOR).
- [5]. Rodier J. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, 2005, 1468p.
- [6]. Emmanuel E. Evaluation des risques sanitaires et éco toxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2003, 235p.
- [7]. Salghi R. Différentes filières de traitement des eaux, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir, 1999, 112p.
- [8]. OMS (ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE). Directives de qualité de l'eau de boisson. Recommandations, OMS, Genève, 1994.
- [9]. Roques H. Fondements théoriques du traitement biologique des eaux, volume 1, 2eme édition, Technique et Documentation, Lavoisier Paris, 132-145, 1980.
- [10]. JEAN paul beaudry. Traitement des eaux.
- [11]. Bechac J. P., Boutin P., Mercier B. et Nuer P. Traitement des eaux usées, Eyrolles, Paris, 1984.
- [12]. Aptel P. 1986. Les procède de séparation par membranes, la houille blanche, n°7/8, p.524-529.

- [13]. Van Reis R., Zydney A., 2001. Membrane séparations in biotechnology. Elsevier Science.
- [14]. Audinos R. Membranes semi-perméables. Généralités K360. Constantes physico-chimiques (1999). Technique de l'ingénieur.
- [15]. Maurel A., techniques séparatives à membranes. Considérations théoriques. J 2790. Génie des procédés. Technique de l'ingénieur.1989.
- [16]. Philippe Aptel/ Philippe Moulin/Francis Quemeneur , Micro et ultrafiltration conduite des essais pilotes traitement des eaux et effluents ,les cahiers du CFM n 22 EDITION avril 2002.
- [17]. Brun J P., 1989. Procédés de séparation par membranes. Edition Masson : 270 p.
- [18]. Zawlotzki Guivarch E., 2004. Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton". Application à la minéralisation des colorants synthétiques. Université de Marne-La-Vallée. Thèse de doctorat.
- [19]. Mameri N., Halet F., Drouiche M., Grib H., Lounici H., Pauss A., Piron D., Belhocine D., 2000. Treatement of olive mill washing water by ultrafiltration. The Can. J. Chem. Eng., 78 (3): 590- 595.
- [20]. Mameri N., Poyen S ., Portier M., Bariou B., 1988. Les différentes modélisations pour la caractérisation des membranes d'ultrafiltration. Bull. Soc. Sc. Bretagne, 59 n°1-4, p. 11-35.
- [21]. Grib.H ; séparation es concentration des acides aminés par technique membranaires. Thèse de doctorat ENP. 2002.
- [22]. Aimar P., Daufin G., 2000. Séparations par membranes dans l'industrie alimentaire. Technique de l'ingénieur. J 3250.
- [23]. Abdessemed D. Valorisation et traitement des eaux de lavage de poissonnerie par ultrafiltration. Thèse de Magister. ENP.1992.
- [24]. *Des Jardins R.* Le traitement des eaux. Edition école polytechnique de Montréal, Canada, 1988.
- [25]. Cardot C. Les traitements de l'eau. Génie de l'environnement. Edition Marketing S.A. Ellypse Paris, 1999.

- [26]. Degremont. Memento Technique de l'eau. Huitième Edition, Degremont, France, 1978.
- [27]. Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.R., Cocke D.L. Electrocoagulation (EC)-science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 2001, 29-41.
- [28]. Holt P.K., Barton G.W., Mitchell C.A. The future of electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 2005, 355-367.
- [29]. Savas Koparal A., Ogutveren U.B. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2002, 83-94.
- [30]. Szpyrkowicz L. Hydrodynamic effects on the performance of electrocoagulation/electro-flotation for the removal of dyes from textile wastewater. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2005, 7844-7853.
- [31]. Daneshvar N., Khataee A.R., Djafarzadeh N. The use of artificial neural networks (ANN) for modelling of decolourization of textile dye solution containing C.I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 1788-1795.
- [32]. Mollah My.A., Pathak S.R., Patil P.K., Vayuvegula M., Agrawal T.S., Gomes J.A., Kesmez M., Cocke D.L. Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 165-171.
- [33]. Mameri N., Yeddou A.R., Lounici H., Belhocine D., Grib H., Bariou B. Defluoridation of septentrional Sahara water of north Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminium electrodes. *Water research*, 1998, 1604-1612.
- [34]. Trong M D., 1999. Mise au point du fonctionnement d'un réacteur pilote à anode en lit fluidisé pour les traitements des effluents industriels par oxydation électrochimique. Université de Moncton. Thèse de maîtrise.
- [35]. Labanowski J., 2004. Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation. Université de Limoge. Thèse de Doctorat.
- [36]. Muruganathan M., Raju G B., Prabhakar S., 2004. Separation of pollutants from tannery effluents by electroflotation. *Separ. Purif. Technol.* 40: 69- 75.
- [37]. Laforest V., 1999. Technologies propres : Méthodes de minimisation des rejets et de

choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface. Institut national des sciences appliquées de Lyon. Thèse de doctorat.

- [38]. Arya-Farias., 1999. La clarification du jus de pomme par électroflottation. Université Laval. Mémoire de maître ès sciences.
- [39]. Jiang J Q., Graham N., André C., Kelsall G H., Brandon N., 2002. Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. *Wat. Res.*, 36 : 4064- 4078.
- [40]. Gurses A., Yalcin M., Dogar C. Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables. *Waste Management*, 2002, 491-499.
- [41]. Irdemez S., Demircioglu N., Yildiz Y.S. The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 1231-1235.
- [42]. *Kim T.H, Park C., Shin E.B, Kim S.* Decolourization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. *Desalination*, 2002, 165- 175.
- [43]. Khoufi S., Feki F., Sayadi S. Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 58-67.
- [44]. Cahier de charge CIDA hydroquímica.
- [45]. C. Cardot. Les traitements de l'eau Procédés physico-chimiques et biologiques Cours et problèmes résolus. Ellipses 1999, Paris ; 62, 99-110, 185-194.
- [46]. Mireille A. Traitement du lisier de porc par électroépuration, Mémoire de maîtrise recherche en sciences appliquées, Ecole Polytechnique de Montréal, 2006.
- [47]. Aizel L. Traitement des eaux contaminées par la METRIBUZINE dans un réacteur à électrodes bipolaires cylindriques par couplage de l'électrocoagulation et rayons UV, Mémoire de magister, ENP ALGER, 2004.
- [48]. Kobya E. M., Demirbas O.T., Bayramoglu M., Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 132 183-188, 2006.
- [49]. Adhoum N., Monser L. Decolourisation and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation, *Chemical Engineering and Processing*, 43 1281-1287, 2004.
- [50]. Edeline F. L'épuration physicochimique des eaux. Théorie et technologie. Cebedoc, liège, pp 121, 1985.

- [51]. Edeline F. L'épuration physico- chimique des eaux. Editions Cebedoc, Liège, 1996.
- [52]. Daneshvar N., Ashassi Sorkhabi H., Kasiri M.B. Decolourization of dye solution Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of différent électrode connections. Journal of Hazardous Materials, 2004, 55-62.
- [53]. Belhocine D., Mokrane H., Grib H, Lounici H., Pauss A., Mameri N. 2000. Optimization of enzymatic hydrolysis of haemoglobin in a continuous membrane bioreactor. Chemical Engineering Journal 76 (2000) 189–196.
- [54]. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement 2005.
- [55]. <http://www.cieau.com/> (CENTRE D'INFORMATION SUR L'EAU, 2007).

ANNEXES

Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

Standard Methods

Principe : Oxydation chimique des matières réductrices par un excès de $K_2Cr_2O_7$. Cette oxydation se réalise en milieu acide (H_2SO_4), en présence de sulfate de mercure comme catalyseur ($HgSO_4$), à ébullition à reflux pendant 2 heures

Réactifs :

Solution de digestion :

- Dissoudre 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$, dans 500 ml d'eau distillée (solution A).
- Ajouter 167 ml de H_2SO_4 concentré à 33,3 g de $HgSO_4$, dissoudre à température ambiante (Solution B).
- Mélanger les solutions A et B, compléter à 1000 ml.

Réactif d'acide sulfurique :

- Dissoudre 5.5 g d' $Ag_2 SO_4$ dans 1 L de H_2SO_4

Protocole :

- Préparation du blanc : introduction de 2,5 ml d'eau distillée dans un tube contenant les réactifs préparés (1,5 ml de la solution de digestion et 3,5 ml de la solution d'acide sulfurique en présence de sulfate d'argent).
- Introduire 2,5 ml d'échantillon à doser dans un tube contenant au préalable les réactifs (1,5 ml de la solution de digestion et 3,5 ml de la solution d'acide sulfurique en présence de sulfate d'argent).
- Bien agiter les tubes dans le vortex.
- Mettre les tubes ensuite à chauffer à 148 °C pendant 2 heures, dans un DCO mètre.
- Laisser refroidir ensuite pendant environ 20 minutes.
- Lire au spectrophotomètre la valeur de l'absorbance de l'échantillon après avoir fait le zéro avec le blanc à la longueur d'onde de 600 nm.
- La teneur en DCO est déduite du graphe d'étalonnage, exprimé en mg d'oxygène par litre.

Détermination de la Demande Biochimique en Oxygène

NFT 90-103

Principe : L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis en incubation en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon.

L'anhydride carbonique (CO₂) dégagé est piégé par l'hydroxyde de potassium. Cette détermination en oxygène crée une dépression qui est enregistrée par une élévation du niveau de mercure.

Mode opératoire :

La prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, qui elle-même dépend de l'origine de l'échantillon industriel ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matières en suspension. Voici le volume de l'échantillon d'après la DBO présumée

La charge	DBO présumée mg/l	Prise d'essai	facteur	La charge	DBO présumée mg/l	Prise d'essai	facteur
Très faible	0 - 40	432	1	Très faible	0 - 35	428	0.1
Faible	0 - 80	365	2	Faible	0 - 70	360	0.2
Moyenne	0 - 200	250	5	Moyenne	0 - 175	244	0.5
Plus que la moyenne	0 - 400	164	10	Plus que la moyenne	0 - 350	157	1.0
Un peu chargée	0 - 800	97	20	Chargée	0 - 700	94	2.0
Chargée	0 - 2000	43.5	50	Très chargée	0 - 1400	56	4.0
Très chargée	0 - 4000	22.7	100				

Dosage des MES par centrifugation

NFT 90-015

- Centrifuger un volume d'échantillon durant 20 minutes.
- Recueillir le culot, le déposer dans une capsule préalablement séchée à 105 °C.
- Sécher ensuite la capsule et son contenu à 105 °C pendant 24 heures.
- laisser refroidir dans un dessiccateur, puis peser.

Dosage des Nitrites (NO_2^-)

ISO 6777-1984

Principe : Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm.

Réactifs :

Réactifs de diazotation :

- Sulfanilamide.
- N-1- Naphtyléthylènediamine.
- Acide phosphorique (d=1,7).
- Eau distillée

Mode opératoire :

- Dans une fiole jaugée introduire 150ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1ml du réactif de diazotation.
- Attendre au moins 20mn après l'ajout du réactif, l'apparition de la coloration rose indique la présence des nitrites.

Expression des résultats :

- Effectuer la lecture sur le spectrophotomètre à $\lambda = 543$ nm.
- La teneur en nitrates est déduite de la courbe d'étalonnage.

Dosage De L'Azote Ammoniacal (NH_4^+)

ISO 7150/1-1984

Principe : Mesure spectrophotométrique à 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium comme catalyseur.

Réactifs :

Réactif A :

- Acide dichloroisocyanurique.
- Hydroxyde de sodium.
- Eau distillée

Réactif B :

- Tri citrate de sodium.
- Salicylate de sodium.
- Nitroprussiate de sodium.
- Eau distillée

Appareillage :

Spectrophotomètre UV/visible de marque SHIMADZU.

Mode opératoire :

- Introduire dans une fiole 1ml de l'échantillon à analyser
- Compléter à 100ml avec de l'eau distillée et mélanger.
- Prélever 10ml de cette dernière solution et ajouter 4ml de réactif A+ 4ml de réactif B
- Compléter jusqu'à 50ml par de l'eau distillée
- Prévoir une fiole avec 10ml d'eau distillée pour le blanc réactif
- Laisser reposer pendant 1h 30mn

Effectuer la lecture spectrophotométrique à 655 nm.

Expression des résultats : les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage des nitrates (NO_3^-)

ISO 7890-3 et NFT 90-045

Principe : En présence de salicylate de sodium, le nitrate donne du paranitrozonylate de sodium de couleur jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5%
- Solution d'hydroxyde de sodium à 30%
- H_2SO_4 concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium :
- Hydroxyde de sodium
- Tartrate de sodium et de potassium
- Eau distillée

Appareillage :

- Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2à3 gouttes de NaOH à 30%.
- Evaporer à sec au bain marie à température comprise entre 75°C et 88 °C puis laisser refroidir.
- Dissoudre le résidu dans 2ml de H_2SO_4 , laisser au repos 10min.
- Ajouter 15ml de l'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium

Expression des résultats : les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage des graisses

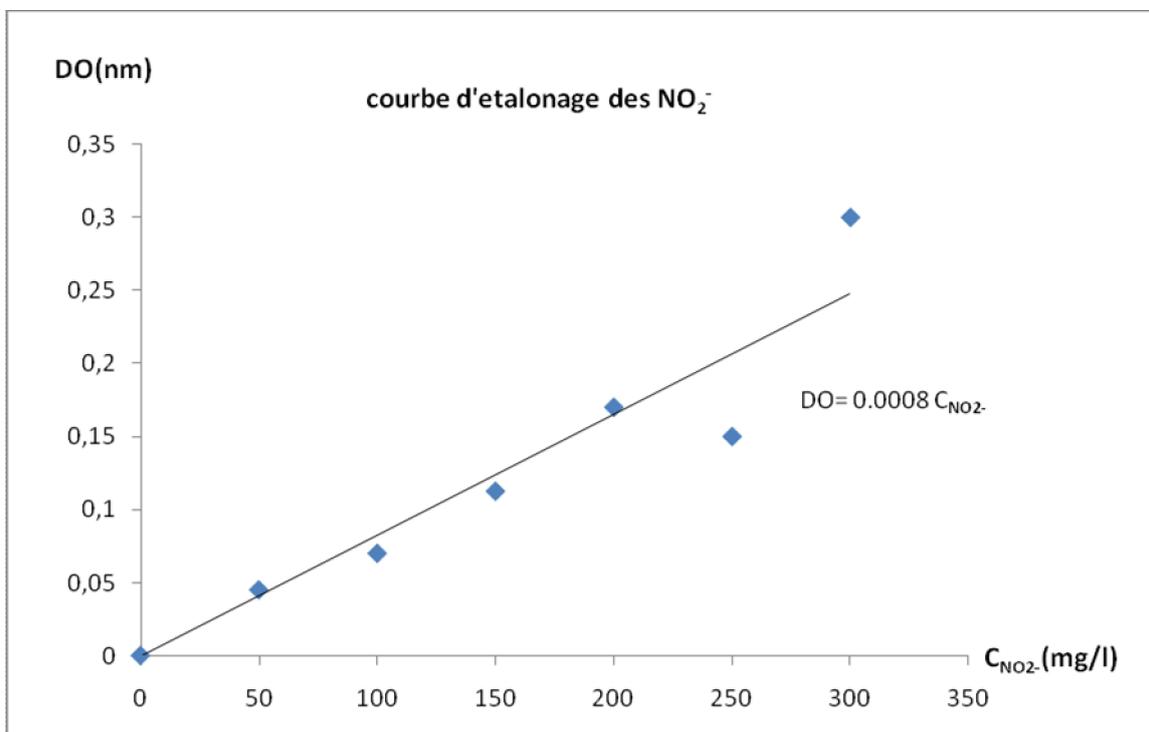
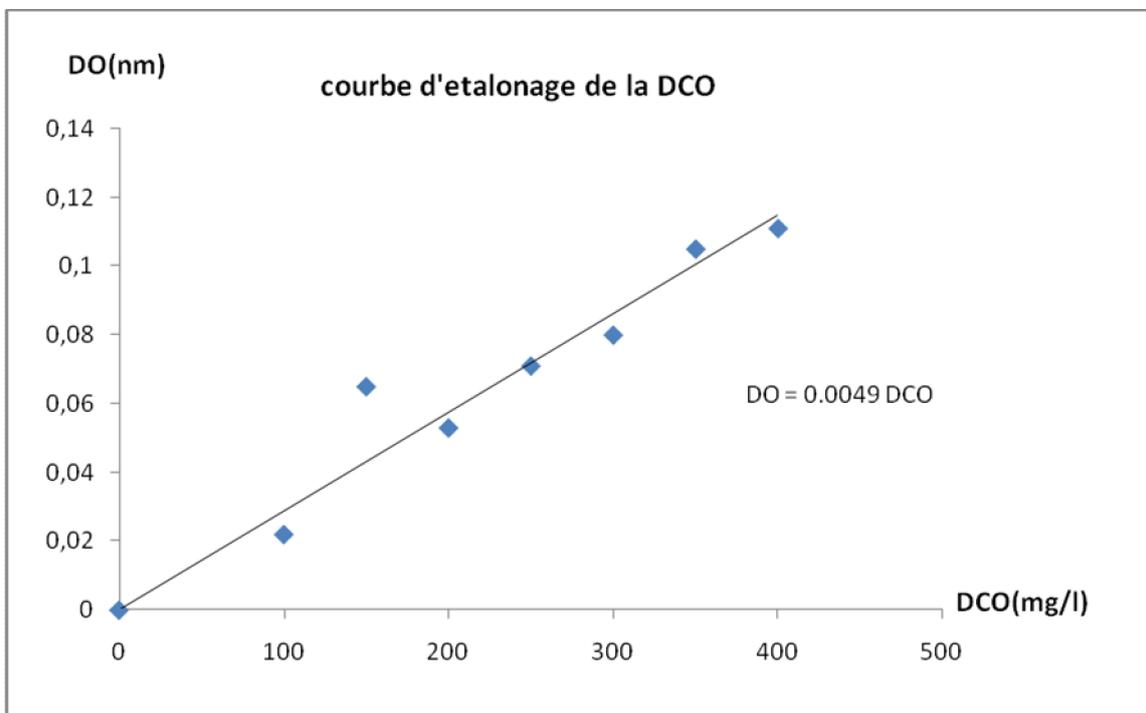
L'extraction se fait à l'aide de solvants organiques volatils dans notre cas c'est l'hexane.

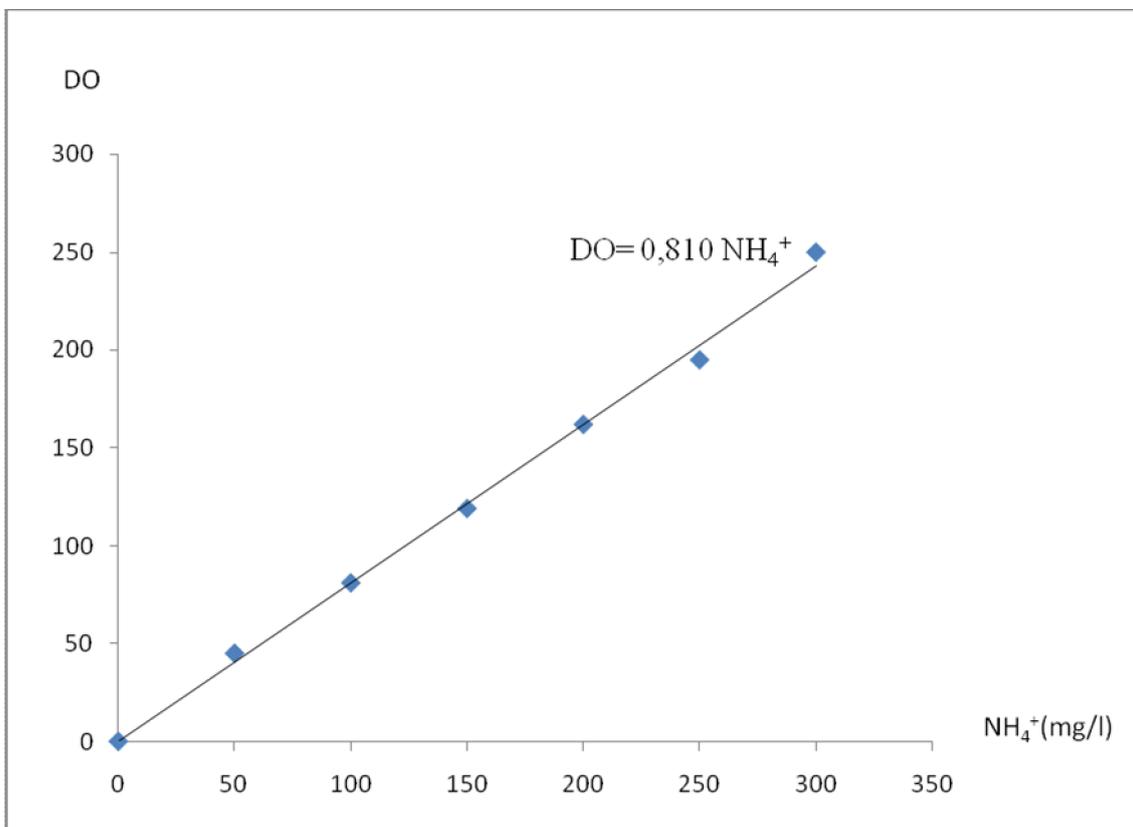
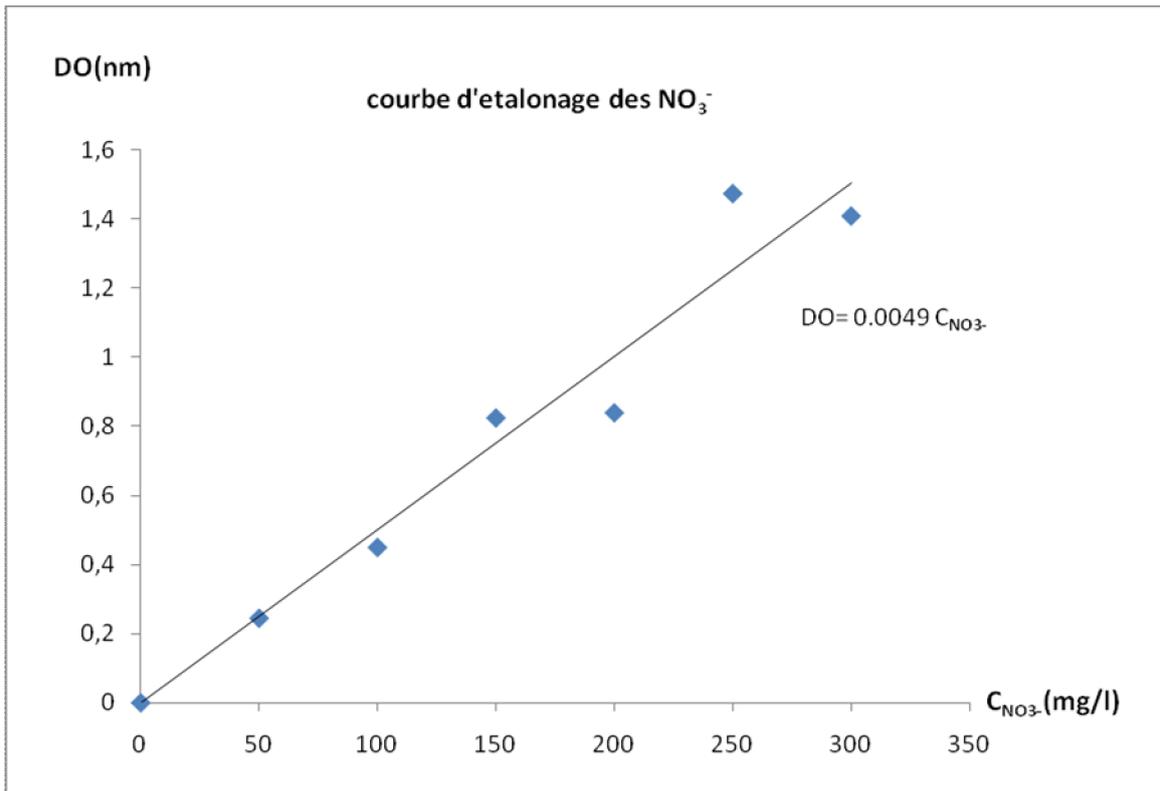
- On prend des quantités bien précises dans des béchers (250 ml, 500 ml)
- On acidifie nos échantillons au pH=2 avec une solution acide H₂SO₄ puis on verse nos échantillons dans les ampoules de 250ml et 500 ml après on ajoute une quantité de l'hexane (25ml, 50ml respectivement dans chaque extraction)
- On agite durant 5min et on laisse décanter pour 10min
- Après on extrait les différentes phases séparément dans des béchers sec et propre et on rince avec 10ml de l'hexane après chaque extraction
- L'extraction s'effectue en plusieurs étapes, on lave la matière avec le solvant trois fois. Il semble que la presque totalité des produits odorants passe en solution dès la première extraction. Mais, étant donné que la matière traitée retient une forte proportion.
- On filtre notre solvant qui contient la fraction en huile pour enlever les impuretés et la quantité d'eau restante dans le solvant à l'aide de l'addition de sel Na₂SO₄ dans un papier filtre mouillé avec de l'hexane
- La filtration se fait dans des béchers sec et leur poids mesuré à l'avance (poids A)
- On met les béchers dans l'étuve à 66°C pour assurer l'évaporation du solvant

A la fin on mesure de nouveau le poids de nos béchers(B) et la fraction en huile sera calculée comme suit :

$$\text{fraction de l'huile ou graisse}(mg) = \frac{(A - B) \times 1000}{V_{\text{échantillon}} (ml)}$$

Courbes d'étalonnage :





ملخص

إن الهدف الرئيسي من بحثنا هذا هو إعداد تشخيص لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي بقاعدة **02-24 سوناطراك حاسي مسعود** واقتراح تهيئة هذه المحطة بتكنولوجية متمثلة في الترشيح الفائق بعد السريير البكتيري أو بالطريقة التخنتر الكهربائي بعد المعالجة الأولية . و أخيرا قمنا بمقارنة بعد تحسين المعطيات المختلفة قصد اختبار فعالية المعالجة كما درسنا إمكانية إعادة استعمال مياه الصرف المعالجة في شتى الميادين.

كلمات المفتاح: تشخيص, معالجة مياه, الترشيح الفائق, التخنتر الكهربائي, إعادة الاستعمال مياه الصرف المعالجة.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'établir le diagnostic de la station d'épuration des eaux usées domestiques de la base **24-02 Sonatrach Hassi Messaoud**. Ensuite, il est proposé une solution pour la mise à niveau de cette station des technologies propres en intégrant l'ultrafiltration après le lit bactérien ou l'électrocoagulation juste après le prétraitement. En fin, une comparaison après l'optimisation des différents paramètres opératoire en termes d'efficacité du traitement a été réalisée. La possibilité de la réutilisation des eaux traitées dans différents domaines a été traitée.

Mots clés : diagnostic, traitement des eaux, ultrafiltration, électrocoagulation, réutilisation des effluents traités

Abstract

The basic aim of this work is to do a diagnosis of the home-sewage treatment station in the station **24-02 Sonatrach Hassi Messaoud** and to propose a technology witch consist on the ultrafiltration after the bacterial bed or the electrocoagulation just after the pretreatment. Finally, we compared the two technologies after optimizing the different parameters in order to testify the efficiency of the treatment as we studied the possibility of using sewage in different fields after being treated.

Key words: diagnostic, sewage treatment, ultrafiltration, electrocoagulation, use the treated water.